



FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

MENCIÓN EN SISTEMA DE POTENCIA

TÍTULO:

**“MODELADO Y ANÁLISIS DE LOS EFECTOS ARMÓNICOS EN
BANCOS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EN LA UNIDAD
EDUCATIVA SALESIANA CRISTÓBAL COLÓN”**

AUTORES:

**IRVING JOSUE TAPIA BAJAÑA
JAVIER JOSUA ICHINA TORRES**

TUTOR:

ING. HOLGER SANTILLAN, Msc

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

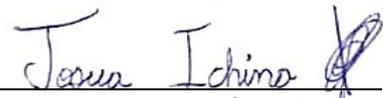
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

En el presente trabajo de titulación se realiza la declaración formal de varios conceptos, hipótesis, análisis y conclusiones que se desarrollaron para la obtención del título de grado y son de exclusiva responsabilidad de los autores, estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, enero 2021



Irving Josué Tapia Bajaña



Javier Josua Ichina Torres

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR

Yo **ING. HOLGER SANTILLAN C. MSc.**, director del proyecto de Titulación denominado “Modelado y análisis de los efectos armónicos en bancos de transformadores trifásicos en la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colón”, realizado por los estudiantes, Irving Josue Tapia Bajaña y Javier Josua Ichina Torres, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Enero 2021



Ing. Holger Santillán Carranza, Msc.

Director de tesis

UPS – SEDE GUAYAQUIL

AGRADECIMIENTO

En mi largo camino de estudios y preparaciones debo siempre ser agradecido en primer lugar por Dios creador de mis metas, sueños y por poner en mi camino a gente maravillosa como lo es mi familia que se esforzaron por brindarme los estudios reconozco su entrega, su motivación y sus enseñanzas, que fueron determinante para forjarme con profesional y como persona, también agradezco a todos mis amigos y docentes que fui conociendo a lo largo de mi preparación académica gracias a ellos por ayudarme a no rendirme, gracias por las alegrías y recuerdos gratos y sobre todo por sus consejos de aliento que me hicieron ver de forma positiva el mundo, por auxiliarme en los problemas que encontré en mí camino. Pero sobre todo agradezco a la señora Flora Tapia Arana la mujer que me inculcó sus valores, me cuidó desde pequeño, me motivó en los días turbios, gracias abuelita por darme todo gracias a ti por el esfuerzo que hiciste conmigo y por siempre tenerme en tus oraciones eres la persona más importante en mi vida.

Irving Josué Tapia Bajaña

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por ser todo en mi vida por guiarme, por no dejarme rendir fácilmente por estar presente en todo momento y por hacer siempre su voluntad en mí.

A mi madre quien fue mi motor y mi mayor inspiración, que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudaron a trazar mi camino, a mi familia que aportaron mucho tanto en lo económico como en lo motivacional, Agradezco a mi tutor de tesis, y a mis profesores quienes, con sus conocimientos y su gran trayectoria, ha logrado en mí culminar mis estudios con éxito. Y por último agradezco a mis amigos por la ayuda incondicional, por los momentos buenos y malos vividos que me enseñaron y me fortalecieron a lo largo de mi carrera Universitaria.

Javier Josua Ichina Torres

DEDICATORIA

A Dios todo honor y toda gloria.

Dedico este trabajo a mis dos grandes mentores: Petita Bajaña y Joaquín Tapia, mis padres que se vieron en la ardua lucha de conseguir un sustento y permitirme seguir mis sueños de prepararme en la carrera que me gusta, a mi familia en general les dedico mis triunfos y mis metas conseguidas. Después de todo estos años académicos también se lo dedico a mis amigos más cercanos que me brindaron su apoyo incondicional, que fueron luces en mi camino para poder lograr hoy por hoy mis objetivos, de todo corazón les dedico este triunfo.

Irving Josué Tapia Bajaña

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios por darme la salud, la sabiduría, y el entendimiento de poder lograr mis metas , mi madre María Isabel Torres que desde pequeño me inculco la disciplina de estudiar y de luchar por mis sueños que constantemente se sacrificó para darme la educación y el sustento de cada día, para el recuerdo de mi abuela Juana Teodoro Moncada que siempre estuvo pendiente de cada paso que di por guiarme en el buen camino y por ponerme a Dios presente ante todo lo que vaya hacer, a mi tía Fanny María Torres por el apoyo y por creer, a mis amigos cercanos por cada consejo por cada impulso a no rendirme a mitad de camino y a todas esas personas que aparecieron en algún momento y no están y que aportaron en mi vida han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos y su aprecio incondicional.

Javier Josua Ichina Torres

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 DELIMITACIÓN	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
 CAPÍTULO 2	 6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANÁLISIS CALIDAD DE ENERGÍA	6
2.1.1 CONCEPTO	6
2.1.2 CARGAS LINEALES	7
2.1.3 CARGAS NO LINEALES	7
2.1.4 CORRIENTE ALTERNA	9
2.2 DEFINICIÓN DE ARMÓNICOS	11
2.2.1 FUENTES DE ARMÓNICOS	15
2.2.2 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS	16
2.2.2.1 EFECTO SOBRE LOS CABLES	16
2.2.2.2 EFECTOS SOBRE LOS TRANSFORMADORES.....	16
2.2.2.3 EFECTOS SOBRE LOS CAPACITORES	17
2.2.2.4 EFECTOS SOBRE LOS MOTORES	18
2.2.2.5 EFECTOS SOBRE OTROS EQUIPOS.....	19
2.2.2.6 SOBRECIENTAMIENTOS DE LOS CONDUCTORES NEUTROS.....	19
2.2.2.7 SOBRECARGAS DE LOS CONDENSADORES DE CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	21
2.2.2.8 SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN	22
2.2.3 FUENTES ARMONICAS.....	23
2.2.3.1 CONVERTIDORES.....	23
2.2.3.2 COMPENSADORES ESTÁTICOS DE POTENCIA	23
2.2.3.3 LAMPARA FLUORESCENTES.....	24
2.2.3.4 EQUIPO DE COMPUTO.....	25
2.2.3.5 EQUIPO DOMÉSTICO	25
2.2.3.6 NUEVAS FUENTES ARMÓNICAS	25
2.2.3.7 FUTURAS FUENTES ARMÓNICAS.....	25
2.3 PERTURBACIONES	25
2.3.1 TRANSITORIOS.....	25
2.3.1.1 TRANSITORIOS IMPULSIVOS	25
2.3.1.2 TRANSITORIOS OSCILATORIOS	27
2.3.2 INTERRUPCIONES	28
2.3.3 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN.....	28
2.3.3.1 SALTO DE TENSIÓN (SWELL)	29
2.3.3.2 DEPRESIÓN DE TENSIÓN	29
2.3.4 FLUCTUACIÓN FLICKER (PARPADEO).....	30

2.3.5 RESUMEN DE PERTURBACIONES	30
2.4 FACTOR DE POTENCIA (FP).....	33
2.4.1 DEFINICIÓN DE FACTOR DE POTENCIA.....	33
2.4.2 PARÁMETROS DEL FACTOR DE POTENCIA	33
2.4.2.1 TRIÁNGULO DE POTENCIAS	35
2.4.2.2 COMO AFECTAN LOS ARMÓNICOS AL FACTOR DE POTENCIA.....	36
2.5 PERDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	38
2.5.1 CARGAS RESISTIVAS.....	38
2.5.2 CARGAS CAPACITIVAS.....	39
2.5.3 CARGAS INDUCTIVAS	39
2.5.4 PERDIDAS TÉCNICAS	40
2.5.5 PERDIDAS NO TÉCNICAS	40
2.6 NORMAS Y REGULACIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	40
2.6.1 NORMALIZACIÓN IEC- COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL	41
2.6.1.1 NORMA IEC 6100032	41
2.6.1.2 NORMA IEC 6100025	41
2.6.1.3 NORMA IEC 61000430	42
2.6.1.4 NORMA IEC 5552	43
2.6.2 NORMALIZACIÓN AMERICANA IEEE - INSTITUTO DE INGENIEROS EN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICOS (IEEE).....	43
2.6.2.1 ESTÁNDAR IEEE 1159	43
2.6.2.2 ESTÁNDAR IEEE 519	44
2.6.3 NORMA EN 50160	46
2.7 LAB VIEW	47
2.7.1 FÁCIL INTEGRACIÓN CON INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS DE MEDIDA.....	47
2.7.2 LABVIEW PARA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS	47
2.7.3 LABVIEW PARA CONTROL DE PROCESOS Y AUTOMATIZACIÓN EN FÁBRICAS	47
2.8 PLANOS ELÉCTRICOS	47
2.8.1 ¿QUÉ CONTIENE LOS PLANOS ELECTRICOS?	48
2.8.2 NORMAS DE LOS PLANOS ELECTRICOS.....	49
2.9 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	50
2.9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	51
 CAPITULO 3	 53
ANÁLISIS DE ENERGIA	53
3.1 CONCEPTO.....	53
3.2 ¿QUÉ VENTAJAS OBTENEMOS CON LOS ANALIZADORES DE REDES.....	53
3.3 FLUKE 434-II/435-II/437-II	54
3.3.1 PARTES DEL ANALIZADOR TRIFÁSICO DE ENERGÍA	54
3.3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	56
3.3.2.1 BATERÍA Y TIEMPO DE CARGA.	56
3.3.2.2 TARJETA DE MEMORIA SD.....	56
3.3.2.3 BOTONES PRINCIPALES	57
3.3.2.4 INFORMACIÓN DE PANTALLAS	58
3.3.3 CONEXIÓN DE ENTRADAS.....	60

CAPITULO 4	63
DESARROLLO DEL TEMA	63
4.1 ACTUALIZACION DE LOS PLANOS ELECTRICOS EN EL COLEGIO CRISTOBAL COLÓN	63
4.1.1 AMPLIACIÓN DE SALA MAGANA Y PASTORAL	64
4.1.2 AMPLIACIÓN DE GIMNASIO	65
4.1.3 AMPLIACIÓN DE EDIFICIO INFANTIL	66
4.1.4 SIMBOLOGIAS ELÉCTRICAS UTILIZADA	67
4.1.4.1 IMAGENES DE LOS PLANOS ELÉTRICOS 2020	69
CAPÍTULO 5	72
ANÁLISIS DE RESULTADO	72
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	74
5.1.1 BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 100KVA	74
5.1.2 BANCO DE CONDENSADORES 1	77
5.1.3 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500KVA	78
5.1.4 TABLERO PRINCIPAL NORTE	79
5.1.5 TABLERO PRINCIPAL SUR	80
5.1.6 BANCO DE CONDENSADORES 2	81
5.2 DESCRIPCIÓN DE ANALISIS	82
5.2.1 TENSIÓN 22/07/2020 HASTA 23/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	82
5.2.2 CORRIENTE 22/07/2020 HASTA 23/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	84
5.2.3 TENSIÓN 23/07/2020 HASTA 24/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	86
5.2.4 CORRIENTE 23/07/2020 HASTA 24/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	88
5.2.5 TENSIÓN 27/07/2020 HASTA 28/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	90
5.2.6 CORRIENTE 27/07/2020 HASTA 28/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	92
5.2.7 TENSIÓN 28/07/2020 HASTA 29/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	94
5.2.8 CORRIENTE 28/07/2020 HASTA 29/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	96
5.2.9 TENSIÓN 29/07/2020 HASTA 30/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	98
5.2.10 CORRIENTE 29/07/2020 HASTA 30/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE	100
5.3 EVENTOS 22/07/2020 HASTA 24/07/2020	102
5.3.1 EVENTOS 27/07/2020 HASTA 29/07/2020	103
5.3.2 EVENTOS 29/07/2020 HASTA 30/07/2020	105
5.3.3 DESCRIPCIÓN DE EVENTUALIDADES EN ANALIZADOR	106
5.4 EVENTO 22/07/2020 14:04:09 176ms	107
5.4.1 Pico (detalle inferior)	107
5.5 23/07/2020 17:46:50 472ms	110
5.5.1 Pico (detalle superior)	110
5.6 28/7/2020 06:49:02 248ms.	113
5.6.1 Hueco	113
5.7 ARMÓNICOS DE TENSIÓN	116
5.7.1 ARMÓNICOS DE CORRIENTE	118
5.8 FLIKERS	121
5.9 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW	122
5.9.1 CÓDIGO DE LABVIEW	122
5.9.2 EJECUCIÓN DE APLICACIÓN	124

5.9.3 COMPARACIÓN.....	126
CAPITULO 6	130
PROPUESTAS DE MEJORAS	130
6.1 <i>TABLERO DE LUCES DEL COLISEO</i>	130
6.2 <i>CUARTO DE TRANSFORMADORES</i>	131
6.3 <i>CONEXIÓN A TIERRA DEL BANCO DE TRANSFORMADOR 100KVA</i>	131
6.4 <i>TABLERO DE LUCES AUDITORIO</i>	132
6.5 <i>CONEXIÓN DE NEUTRO A TIERRA</i>	133
6.6 <i>COLOCAR PROTECCIÓN A INGRESO DE ACOMETIDAS</i>	133
6.6 <i>PROPUESTA</i>	134
CAPITULO 7	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
CONCLUSIONES.....	136
RECOMENDACIONES.....	137
CAPITULO 8	139
BIBLIOGRAFÍA.....	139
8.1 ABREVIATURA.....	141
CAPITULO 9	142
ANEXOS.....	142
.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal</i>	7
<i>Figura 2 Distorsión de voltaje provocada por cargas no lineales</i>	8
<i>Figura 3 Componentes de una onda senoidal</i>	9
<i>Figura 4 Onda sin contenido armónico</i>	11
<i>Figura 5 Onda con contenido armónico</i>	11
<i>Figura 6 Distorsión de la señal eléctrica</i>	12
<i>Figura 7 Onda senoidal y sus armónicos</i>	13
<i>Figura 8 Factor de reducción para motores en redes con armónicos</i>	18
<i>Figura 9 Corrientes armónicas en neutro</i>	19
<i>Figura 10 La sección del conductor neutro se amplió</i>	20
<i>Figura 11 Inductores en el recinto de un condensador</i>	21
<i>Figura 12 Corriente circulante en el bobinado de transformador</i>	22
<i>Figura 13 Rectificador trifásico</i>	23

<i>Figura 14 Magnitud de las corrientes armónicas del TCR monofásico contra ángulo de conducción.</i>	24
<i>Figura 15 Transitorio impulsivo</i>	26
<i>Figura 16 Campo magnético creado por caída de rayo</i>	26
<i>Figura 17 Transitorio oscilante</i>	27
<i>Figura 18 Curva de variación de tensión en las tres fases</i>	28
<i>Figura 19 Incremento de voltaje RMS</i>	29
<i>Figura 20 Reducción de tensión RMS</i>	29
<i>Figura 21 Factor de potencia de desplazamiento</i>	33
<i>Figura 22 Diagrama vectorial de tensión y corriente</i>	33
<i>Figura 23 Triangulo de corriente</i>	34
<i>Figura 24 Triangulo de potencias</i>	35
<i>Figura 25 Triangulo de potencias</i>	36
<i>Figura 26 Diagrama de pérdidas de potencia</i>	38
<i>Figura 27 Onda de voltaje y corriente de carga resistiva.</i>	38
<i>Figura 28 Onda de voltaje y corriente de carga capacitiva</i>	39
<i>Figura 29 Onda de voltaje y corriente de carga inductiva</i>	39
<i>Figura 30 Partes del Analizador de energía</i>	54
<i>Figura 31 Tapa posterior</i>	56
<i>Figura 32 Batería interna</i>	56
<i>Figura 33 Botones principales del Analizador de red</i>	57
<i>Figura 34 Pantalla multímetro</i>	58
<i>Figura 35 Pantalla tendencia</i>	58
<i>Figura 36 Pantalla osciloscopio</i>	59
<i>Figura 37 Pantalla Fasorial</i>	59
<i>Figura 38 Analizador de red en servicio</i>	60
<i>Figura 39 Conexiones del analizador</i>	60
<i>Figura 40 Desconexión del servicio eléctrico</i>	60
<i>Figura 41 Cables de conexiones</i>	61
<i>Figura 42 Cables de conexión de corriente</i>	61
<i>Figura 43 Conexión a barras de distribución</i>	61
<i>Figura 44 Conexión del analizador de red a una fuente de energía</i>	62
<i>Figura 45 Iniciar registro de datos</i>	62
<i>Figura 46 Planta baja arquitectónica</i>	63
<i>Figura 47 Patios de comidas</i>	64
<i>Figura 48 Sala magna y pastoral</i>	64
<i>Figura 49 Gimnasio Primer piso</i>	65
<i>Figura 50 Gimnasio</i>	65
<i>Figura 51 Parqueadero Subterráneo</i>	66
<i>Figura 52 Edificio infantil PB.</i>	66
<i>Figura 53 Esquema eléctrico Planta baja del colegio</i>	71
<i>Figura 54 Cuarto de transformadores</i>	74
<i>Figura 55 Conexión de banco de transformadores 100kva</i>	75
<i>Figura 56 Resumen de Potencia Activa Máxima</i>	75
<i>Figura 57 Cuarto de transformadores interior</i>	76
<i>Figura 58 Niveles de carga durante el día del colegio</i>	76
<i>Figura 59 Banco corrector de factor de potencia</i>	77
<i>Figura 60 Banco de capacitores interior</i>	77

<i>Figura 61 Transformador Trifásico de 500KVA</i>	78
<i>Figura 62 Tablero de distribución norte</i>	79
<i>Figura 63 Diagrama unifilar del TDP norte</i>	79
<i>Figura 64 Tablero de distribución sur</i>	80
<i>Figura 65 Diagrama unifilar del TDP sur</i>	80
<i>Figura 66 Banco corrector de factor de potencia</i>	81
<i>Figura 67 Banco de capacitores interior</i>	81
<i>Figura 68 Tensión de Fase A-B-C-N</i>	82
<i>Figura 69 Corrientes de Fase A-B-C-N</i>	84
<i>Figura 70 Tensión mínimo-medio-máximo</i>	86
<i>Figura 71 Corriente mínimo-medio-máximo</i>	88
<i>Figura 72 Tensión mínimo-medio-máximo</i>	90
<i>Figura 73 Corriente mínimo-medio-máximo</i>	92
<i>Figura 74 Tensión mínimo-medio-máximo</i>	94
<i>Figura 75 Corriente mínimo-medio-máximo</i>	96
<i>Figura 76 Valores de Tensión mínimo-medio-máximo</i>	98
<i>Figura 77 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	100
<i>Figura 78 Pantalla de eventos</i>	106
<i>Figura 79 Descripción gráfica de Pico inferior</i>	107
<i>Figura 80 Eventualidad caída de tensión DIP</i>	107
<i>Figura 81 Comportamiento de Tensión y corriente en eventualidad</i>	109
<i>Figura 82 Descripción gráfica de pico superior</i>	110
<i>Figura 83 Eventualidad Sobretensión SWL</i>	110
<i>Figura 84 Comportamiento de Tensión y corriente en eventualidad</i>	112
<i>Figura 85 Descripción gráfica de hueco</i>	113
<i>Figura 86 Eventualidad caída de tensión DIP</i>	113
<i>Figura 87 Huecos registrados</i>	115
<i>Figura 88 Valores de THD voltaje en el colegio</i>	116
<i>Figura 89 Valores de THD corriente en el colegio</i>	118
<i>Figura 90 Neutro sobrecargado</i>	120
<i>Figura 91 Comportamiento fase neutro</i>	120
<i>Figura 92 Registro de flickers</i>	121
<i>Figura 93 Programa de LabVIEW</i>	123
<i>Figura 94 Código del Programa</i>	123
<i>Figura 95 Exportar datos desde el programa Power Log.</i>	124
<i>Figura 96 Selección de datos para exportar</i>	124
<i>Figura 97 Edición de la hoja de cálculo</i>	124
<i>Figura 98 Ejecución del programa</i>	125
<i>Figura 99 Visualización de la forma de onda de los datos exportados en Excel</i>	125
<i>Figura 100 Agregar 1 pantalla gráfica</i>	126
<i>Figura 101 Gráfica en Power Log</i>	126
<i>Figura 102 Gráficas en LabVIEW</i>	127
<i>Figura 103 Gráficas en LabVIEW modificada</i>	127
<i>Figura 104 Comparación de las gráficas en los 2 programas</i>	128
<i>Figura 105 Tablero de luces</i>	130
<i>Figura 106 Cuarto de banco de transformadores</i>	131
<i>Figura 107 Desconexión de cable a tierra en los terminales primarios</i>	131
<i>Figura 108 Diagrama de conexión con falla localizada</i>	132

<i>Figura 109 Animal muerto en tablero</i>	132
<i>Figura 110 Medición de tensión en sistema desenergizado</i>	133
<i>Figura 111 Tablero principal sur ingreso de acometida</i>	133

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Voltaje pico pico</i>	9
<i>Ecuación 2 Frecuencia</i>	10
<i>Ecuación 3 Voltaje eficaz pico</i>	10
<i>Ecuación 4 Valor eficaz pico pico</i>	10
<i>Ecuación 5 Orden de los armónicos</i>	12
<i>Ecuación 6 Factor Armónico (Para Corriente)</i>	14
<i>Ecuación 7 Factor Armónico (Para Tensión)</i>	14
<i>Ecuación 8 Factor de calidad</i>	14
<i>Ecuación 9 HVF</i>	18
<i>Ecuación 10 Sumatoria de corrientes</i>	19
<i>Ecuación 11 Índice de flicker</i>	30
<i>Ecuación 12 Factor de potencia</i>	33
<i>Ecuación 13 Componente activa</i>	34
<i>Ecuación 14 Componente reactiva</i>	34
<i>Ecuación 15 Componente aparente forma vectorial</i>	34
<i>Ecuación 16 Componente aparente</i>	34
<i>Ecuación 17 Potencia activa</i>	35
<i>Ecuación 18 Potencia reactiva</i>	35
<i>Ecuación 19 Potencia aparente</i>	35
<i>Ecuación 20 Potencia fundamental</i>	37
<i>Ecuación 21 Potencia fluctuante</i>	37
<i>Ecuación 22 Potencia total</i>	37
<i>Ecuación 23 Potencia aparente</i>	37
<i>Ecuación 24 Factor de potencia</i>	37
<i>Ecuación 25 Coseno del ángulo</i>	37
<i>Ecuación 26 Scr</i>	44

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Secuencia de armónicos</i>	13
<i>Tabla 2 Resumen de las principales perturbaciones con sus respectivas soluciones</i>	32
<i>Tabla 3 Límites de corrientes según su armónico</i>	41
<i>Tabla 4 Límites de 7 fenómenos eléctricos</i>	43
<i>Tabla 5 Límites de corriente armónicas</i>	45
<i>Tabla 6 Límite de THD en Alta tensión</i>	45
<i>Tabla 7 LÍMITES SEGÚN NORMA EN 50160</i>	46
<i>Tabla 8 Partes del analizador de red</i>	55
<i>Tabla 9 Simbología Eléctrica</i>	67
<i>Tabla 10 Valores de tensión mínimo-medio-máximo</i>	83
<i>Tabla 11 Fecha de tensiones mínima-media-máxima</i>	83
<i>Tabla 12 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	85
<i>Tabla 13 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo</i>	85
<i>Tabla 14 Valores de tensión mínimo-medio-máximo</i>	87

<i>Tabla 15 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 16 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 17 fecha de corriente mínimo-medio-máximo</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 18 Valores de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 19 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 20 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 21 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 22 Valores de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 23 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 24 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 25 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 26 Valores de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 27 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 28 Valores de corriente mínimo-medio-máximo</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 29 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 30 Lista de eventos del 22-24</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 31 Lista de eventos del 27-29</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 32 Lista de eventos 29-30.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 33 Abreviatura utilizada en el analizador.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 34 Factor de potencia en cada fase.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 35 Registro de caídas de tensión (Huecos).....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 36 Valores de THD V por días</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 37 Valores de THD Amp por día</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 38 Valores registrados de PST durante 7 días</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 39 Lista de rubros para ejecución de obras.....</i>	<i>135</i>

TEMA: MODELADO Y ANÁLISIS DE LOS EFECTOS ARMÓNICOS EN BANCOS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EN LA UNIDAD EDUCATIVA SALESIANA CRISTÓBAL COLÓN

Palabra clave: Calidad de energía, Planos eléctricos, levantamiento eléctrico

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó en el colegio Cristóbal Colón, dicha institución se encarga de transmitir el conocimiento de excelente calidad a la juventud moderna de la ciudad Guayaquileña. Este colegio se fundó en el año 1999 y ha venido creciendo en su infraestructura a lo largo de los últimos años albergando una mayor cantidad de alumnos en la última década y cuenta con varios laboratorios de computación, de música, de física, de química. En esta institución se incentiva a los estudiantes a descubrir su parte investigativa y que puedan realizar sus experimentos en los mejores laboratorios con tecnología de punta.

Con la expansión del colegio se encuentra comprometido el servicio eléctrico ya que en la actualidad cuenta con un transformador sobrecargado, gran parte de la carga que mantiene el colegio se fue añadiendo al banco de transformador trifásico de 100kva, pero para poder seguir realizando remodelaciones en su infraestructura se necesita tener un estudio correspondiente para dictaminar el nivel de calidad energética y así añadir los circuitos necesarios que ayuden a mejorar la eficiencia de todo el establecimiento. Cabe recalcar que la mayoría de los conductores instalados en todas las instalaciones del colegio ya poseen varios años de utilidad y en algunas partes se añadieron equipos electrónicos no programados que aumentan el consumo de corriente a la cual el conductor no fue dimensionado. Dentro de la institución se encuentra conectado un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia que por momentos alcanza valores inferiores a 0,9. En algunos puntos del colegio se presentan eventualidades como sobretensiones o caídas de tensión afectando a la calidad del servicio eléctrico, estas falencias se ven reflejadas en la cantidad de luminarias que se distorsiona su luminosidad y algunas de ellas terminan acortando su vida útil, tienen algunos cuartos donde la tensión se eleva tanto que los usuarios no pueden conectar sus equipos eléctricos y corren el riesgo de averiarse.

Conectamos un analizador de red para poder identificar los problemas que se suscitaron dentro del colegio, descubrimos que cuentan con un gran número de fluctuaciones y estas fallas averían al sistema eléctrico y comprometen la eficiencia del servicio. Para obtener un óptimo estudio se desarrolló una aplicación mediante el programa LabVIEW en la cual podemos mejorar las visualizaciones de las gráficas registradas, concluimos con la interpretación técnica del problema y plantear recomendaciones para restablecer una mayor eficiencia energética en el interior del colegio, concluyendo con una nueva actualización de planos eléctricos e información técnica de cargabilidad del sistema.

THEME: MODELING AND ANALYSIS OF HARMONIC EFFECTS IN BANKS OF THREE-PHASE TRANSFORMERS IN THE CRISTÓBAL COLÓN SALESIAN EDUCATIONAL UNIT

Keyword: Power quality, Electric plans, electric lift

Summary

The present thesis work was carried out in the Christopher Columbus school, this institution is responsible for transmitting the knowledge of excellent quality to the modern youth of the city Guayaquileña. This school was founded in 1999 and has been growing in its infrastructure over the last few years housing a greater number of students in the last decade and has several computer labs, music, physics, chemistry. In this institution, students are encouraged to discover their research and to carry out their experiments in the best laboratories with state-of-the-art technology.

With the expansion of the school is compromised the electric service since at present it has an overloaded transformer, much of the load that maintains the school was added to the bank of transformer three-phase of 100kva, However, in order to carry out further renovations in its infrastructure, it is necessary to have a corresponding study to determine the level of energy quality and thus to add the necessary circuits that help to improve the efficiency of the whole establishment. It should be noted that most of the drivers installed in all the school facilities already have several years of utility and in some parts unscheduled electronic equipment was added that increase the current consumption to which the driver was not dimensioned. Inside the institution is connected a bank of capacitors to improve the power factor that at times reaches values less than 0.9. In some parts of the school there are eventualities such as over voltages or voltage drops affecting the quality of the electric service, these shortcomings are reflected in the number of luminaires that distort their luminosity and some of them end up shortening their useful life, have some rooms where the voltage rises so much that users can't connect their electrical equipment and risk breaking down.

We connected a network analyzer to be able to identify the problems that arose within the school, we discovered that they have a large number of fluctuations and these failures break the electrical system and compromise the efficiency of the service. To obtain an optimal study, an application was developed using the LabVIEW program in which we can improve the visualizations of the recorded graphs, we conclude with the technical interpretation of the problem and put forward recommendations to restore greater energy efficiency inside the school, concluding with a new update of electrical plans and technical information of the system's chargeability.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

En todas las instalaciones donde se necesite una conexión eléctrica se tiene que establecer varios parámetros para llegar a brindar un buen servicio, entre los más importantes encontramos que el nivel de tensión sea el indicado por el usuario, estos valores no deben de aumentar ni de disminuir considerablemente porque esto afectará los equipos conectados. En Ecuador los niveles de voltaje y otras magnitudes eléctricas están establecidas en la empresa distribuidora en relación con el transmisor, cuando se brinda los servicios públicos de electricidad

Para un ingeniero eléctrico es importante colocar las protecciones adecuadas que actúen de manera segura, rápida al momento de presentarse una falla y que desconecte el lugar donde se suscita el cortocircuito sin afectar el servicio a las otras conexiones, todas estas características deben planearse antes de realizar la implementación del sistema eléctrico y se tiene que efectuar un registro mediante diagramas unifilares, planos y en algunos casos simulaciones virtuales en programas como DIGSILENT, adicional se ejecuta mediciones de voltaje, corriente, potencia, armónicos entre otras magnitudes técnicas con el fin de mostrar al usuario final el estado óptimo del servicio eléctrico instalado.

Con el pasar de los tiempos varios equipos pueden deteriorarse por el mal estado del servicio eléctrico y en conclusión podrían llegar a generar perturbaciones adicionales que influyen negativamente en las facturas canceladas al distribuidor, teniendo en cuenta el aumento progresivo de la infraestructura civil del colegio afirmamos que existe también un incremento en los circuitos eléctricos y en relación a esto se reflejará una elevación del nivel de carga generando desbalances en el sistema, variación en la frecuencia, sobrecargas en el transformador, todas estas falencias se pueden llegar a visualizar en el estudio de la calidad energética que dictaminaran alguna clase de mantenimiento que corrija las perturbaciones existentes, mejorando la situación actual del establecimiento.

La unidad educativa Cristóbal Colón se encarga de impartir conocimientos de calidad, formación integral fundamentada en la excelencia académica a nuevos jóvenes desde su

fundación hasta la actualidad y se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, (Avenida Rosa Borja de Icaza #115 y calle Maracaibo, Barrio Centenario). En los últimos años el colegio ha tomado un crecimiento considerable llegando albergar hasta 500,000 estudiantes entre la parte básica y el bachillerato sin contar que por las noches el colegio recibe 2,500 estudiantes universitarios de diferentes carreras. El colegio cuenta con varios laboratorios de computación, audio y visualización, música, gimnasio, partes administrativas y un sistema de iluminación de alto voltaje.

Todos estos departamentos se han añadido hace poco y otros se expandieron, tomando en cuenta que los niveles de cargabilidad aumentaron ocasionando molestias en algunos puntos del colegio, actualmente cuentan con dos correctores de factor de potencia. Teniendo en cuenta todas estas problemáticas debemos añadir que el personal de mantenimiento eléctrico no cuenta con los planos eléctricos actualizados, no se ha realizado un estudio previo de la calidad del sistema.

El colegio tiene pensado implementar varios proyectos que mejoren el nivel didáctico para que los estudiantes logren estar relacionados con la tecnología que el mundo de hoy nos ofrece, pero al igual que las extensiones anteriores no cuentan con un plan técnico para mantener un buen servicio eléctrico dentro del colegio, sin duda alguna el transformador en la actualidad no abastece para el incremento de otra carga mayor a 50kva, si los proyectos de crecimiento se mantienen corren el riesgo de afectar permanentemente el sistema eléctrico de todo el establecimiento y su reparación ostentará valores económicos muy elevados incluso arriesgándose a penalizaciones con la entidad distribuidora de la ciudad de Guayaquil.

1.1.1 DELIMITACIÓN

Los esfuerzos fueron concentrados a realizar un estudio minucioso de los niveles de armónicos que se presentan en la instalación de todo el colegio Cristóbal Colón, el plan actual del presente proyecto de tesis se llevará a cabo dentro de los 6 meses posteriores a la aprobación, ejecutaremos una presentación de forma digital por medio del programa LabVIEW, el comportamiento de los disturbios que se presenten en la conexión principal del tablero de distribución principal norte y el tablero de distribución principal sur, se presenta un informe donde indicamos los errores y posibles fallas en los equipos instalados, se sugiere una lista de

rubros con todos con todas las mejoras que necesitan realizar para la corrección del sistema eléctrico.

Se elabora una comparación de un sistema ideal con el sistema actual del colegio con respecto a la medición de voltaje, corriente ya que estos parámetros deben estar en el rango establecido en la REGULACION No. ARCONEL 005/18.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debemos tener claro que todo circuito eléctrico esta propenso al desgaste de la vida útil de sus elementos conectados, que mantienen altas horas de trabajo, para evitar fallas permanentes es necesario dar mantenimiento preventivo o correctivo dentro de la infraestructura que lo solicite y los encargados del establecimiento tienen que proveer al personal designado para el mantenimiento los planos eléctricos, planillas de cargabilidad e instalaciones actualizado.

En todo sistema eléctrico se deben mantener los niveles estándar de voltaje y frecuencia, lo que no cambiará el funcionamiento de los equipos, pero cada uno de ellos inyectará muy poca distorsión a la red, amenazando la provisión de empresas de distribución de energía calificadas. La calidad del servicio. Cuando hay cualquier tipo de cambio de voltaje, Flicker y la distorsión de la onda amenazarán la eficiencia de todos los dispositivos conectados, y todas estas fallas pueden ser causadas por conexiones de carga no balanceada o no lineal en la red. En Ecuador, la empresa distribuidora de energía eléctrica CENEL EP está obligada a brindar el servicio eléctrico de acuerdo con la normativa de ARCONEL 005/18, y actualizar periódicamente la base de datos almacenando indicadores de calidad en caso de fallas graves. La calidad del servicio eléctrico del usuario debe tomar acciones correctivas y permitir que el personal de CENEL EP y / o ARCONEL visite para verificar el sistema.

El principal problema de la unidad educativa Cristóbal Colón es la expansión del sistema eléctrico sin tener una planificación previa, debido a esto el banco de transformadores se encuentra sobrecargado, es por esta razón se generan muchas fluctuaciones y para poder realizar cualquier tipo de mejoras al sistema el colegio no cuenta con una información técnica actualizada para entender cuáles son los puntos que más carga demandan o que puntos son los más importantes para el servicio eléctrico.

Se detectó el aumento de tensión que se presentan en algunos puntos del establecimiento llegando a tener hasta 138v en el departamento de computación, produciendo daños permanentes en los equipos conectados y dejando esta área fuera de servicio, por seguridad no se puede utilizar para la capacitación de los estudiantes, no existe registro de un estudio sobre los niveles de armónicos en los últimos años pero se tiene la certeza que han crecido proporcionalmente con el incremento de nuevas cargas en las expansiones de su infraestructura tales como: 2 ascensores, nuevos laboratorio de química, de computación, laboratorio de inglés, adicional a esto se ha añadido un gran número de puntos de alumbrado y puntos de tomacorrientes debido al incremento masivo de nuevos estudiantes, tampoco se ha realizado un estudio previo para la nueva demanda energética simplemente se ha conectado nuevos equipos a la red sin analizar el efecto que causa en todo el sistema, no cuentan con el sustento físico y digital de los planos eléctricos y planillas de cargas.

Al aumentar toda esta capacidad se decidió incorporar un nuevo banco de transformador sin realizar un análisis para soportar futuras conexiones a la red eléctrica de cualquier equipo, actualmente cuenta con un banco de capacitores instalado en paralelo al tablero principal del banco de transformadores trifásico de 100KVA, por el nivel de potencia reactiva y su bajo nivel de FP, con la conexión de un analizador de red recolectamos los datos necesarios para poder introducirlos al programa LabVIEW y logramos visualizar el comportamiento de forma más sencilla sus niveles de armónicos y el comportamiento de tensión y corriente.

Con el estudio de las perturbaciones que existe en la red propondremos las soluciones técnicas a seguir con la finalidad de realizar la rectificación de su sistema y establecer un sistema seguro para los usuarios, sobre todo evitar tener penalizaciones legales por parte de la empresa de distribución por exceder el nivel de potencia reactiva. En nuestro proyecto se realiza una actualización de los planos eléctricos con su respectivo diagrama unifilar, para el uso exclusivo de las autoridades del colegio, este plano contiene las nuevas extensiones de los circuitos eléctricos para poder tener claro la ramificación eléctrica del sistema.

Finalmente se concluye con una aplicación en el programa LabVIEW en el cual podremos proyectar las mismas gráficas que realiza la aplicación Power LOG, pero con la gran diferencia de tener mayor facilidad para poder realizar el estudio de las mismas. Con la ayuda de esta aplicación logramos establecer una nueva forma de visualizar todos los comportamientos del sistema, agilitando el manejo de las ventanas gráficas en las cuales se proyecta las diferentes

formas de ondas de voltaje o corriente, comportamiento de las frecuencias, niveles de THD voltaje-corriente y todos los parámetros que incluye el analizador de red, se realizan mejoras para obtener un estudio impecable, puede ser utilizado por los estudiantes de la carrera teniendo en consideración que incluyan modificaciones y optimización en los tiempos de ejecución.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

De acuerdo al Reglamento ARCONEL 005/18, realizar un estudio técnico de los niveles armónicos actuales en el sector educativo de Cristóbal Colón, aplicando un software digital para evidenciar el comportamiento de los armónicos y trazar un modelo estimado de la situación actual y presentar propuestas de mejoras, además de contrastar el modelo teórico con los datos recopilados con el analizador de red en esta unidad educativa.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Digitalizar planos y planillas eléctricas actualizadas de la unidad educativa Cristóbal Colón.

- Elaborar un informe de los mantenimientos correctivos que se deben realizar.

- Realizar un modelado en software LabVIEW que pueda visualizar el comportamiento de los armónicos de la unidad educativa.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANÁLISIS CALIDAD DE ENERGÍA

En la actualidad la sociedad de hoy se ve obligada a obtener los más actualizados y sofisticados equipos electrónicos ya sean para uso doméstico, oficinas o industrias, su aplicación ha facilitado la vida de la mayoría de personas, al agrupar varios de estos equipos electrónicos en un sistema eléctrico llegamos a presenciar perturbaciones y deficiencia en la calidad de energía, en efecto los nuevos dispositivos electrónicos comprometen directamente la magnitud, su onda senoidal, la amplitud, y la regularidad del voltaje. Un ingeniero eléctrico define la calidad de energía como un sistema que contiene un rango tolerable de armónicas, alteraciones de voltaje, caídas de tensión, parada de equipos, sobretensiones, tanto en la distribución principal como en la prestación del servicio energético[1].

El problema general es provocado debido al aumento de la variación armónica que reduce la calidad del servicio. Debido al uso de dispositivos electrónicos más eficientes, se considera que la calidad de la energía puede seguir depreciándose y se usa con mayor frecuencia cada día, lo que se atribuirá a sus ventajas y bajos precios. El aumento de cargas no lineales (cargas con consumo de corriente no sinusoidal) se produce en ausencia de estándares regulatorios que restrinjan las señales armónicas que los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía deben ser capaces de mantenerse y absorber[1].

2.1.1 CONCEPTO

Al distribuir energía eléctrica a cada dispositivo y dispositivo con características diferentes, se puede entender la calidad de la energía, pero esto les permite mantener la continuidad sin afectar su rendimiento o causar un mal funcionamiento de sus componentes. La calidad del suministro de energía está estandarizada a través de servicios estandarizados las especificaciones estipulan los siguientes límites: valor de voltaje, amplitud armónica, cantidad de distorsión de voltaje e interrupción no debe exceder el límite. Podemos decir que si se produce alguna variabilidad en el voltaje, la corriente o la frecuencia, que provoque fallas en el equipo y afecte la economía o el bienestar del usuario, la calidad de la energía disminuirá[2].

Los efectos relacionados con los problemas de calidad energética son:

- Estropear la producción, la economía y la competitividad empresarial[2].
- Aumento en las facturas, degradar la confiabilidad del sistema[2].
- Elevación en las pérdidas energéticas[2].

2.1.2 CARGAS LINEALES

A veces sucede que la carga contiene componentes de resistencia, inductancia y capacitancia de valor fijo, y considerando el aumento de voltaje y corriente sinusoidal, obtenemos la diferencia de fase entre ellos[3].

Con cargas resistivas, las lámparas incandescentes generan calor y son de naturaleza lineal. Esto se debe a que su impedancia es básicamente constante e independiente del voltaje aplicado. Como observamos en la Figura 1, la corriente alterna aumenta en proporción al acrecentamiento de voltaje y disminuye en proporción a la depreciación de voltaje[3].

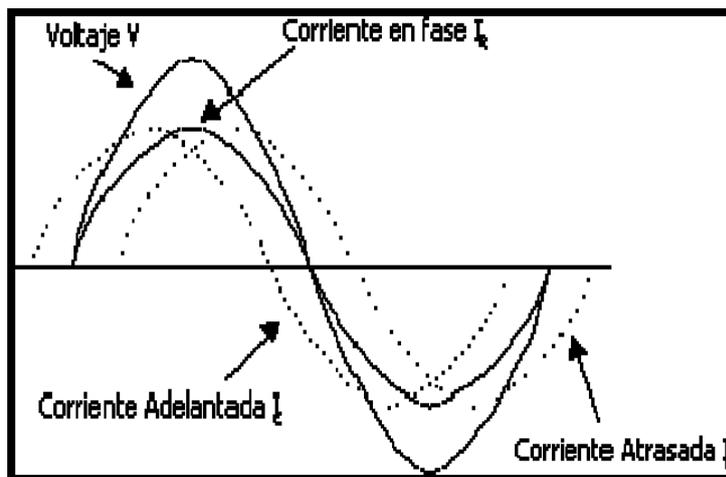


Figura 1 Comportamiento de voltaje y corriente de una carga lineal
Fuente: www.elprisma.com [3]

2.1.3 CARGAS NO LINEALES

Las cargas no lineales requieren una corriente no sinusoidal, que en el momento que circule por la impedancia del sistema induzca una caída de tensión no senoidal, lo cual se entiende como alteración del voltaje en los puntos terminales de la carga[3].

Podemos apreciar el comportamiento de las ondas de tensión y corriente en la figura 2.

Algunas de las cargas que generan distorsión más frecuente, tenemos los hornos de arco, convertidores estáticos y dispositivos magnéticos saturados[3].

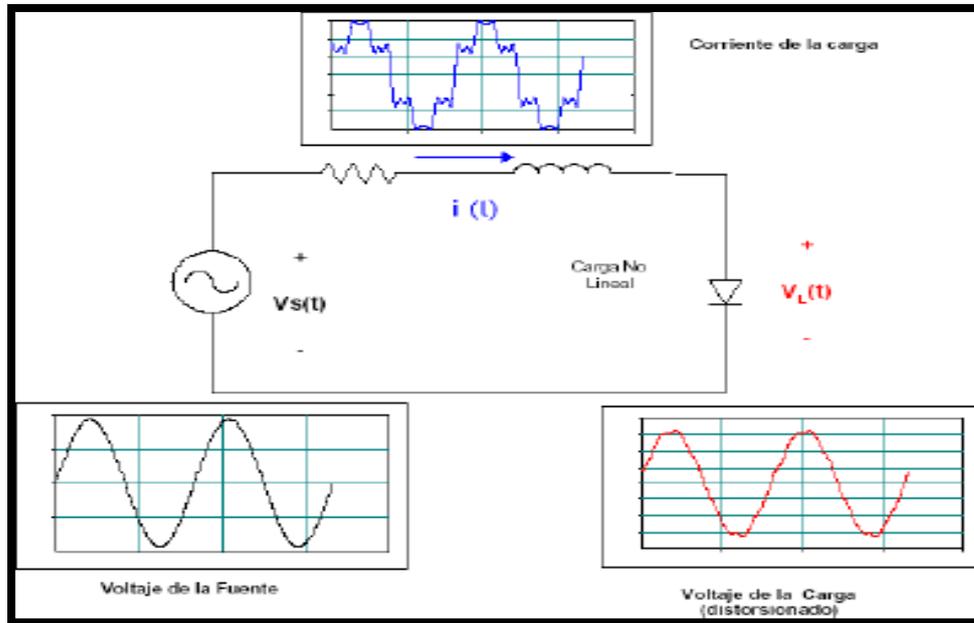


Figura 2 Distorsión de voltaje provocada por cargas no lineales
Fuente: www.elprisma.com [3]

A lo largo de los últimos años se registra un crecimiento considerable de cargas no lineales. La principal fuente de estas distorsiones son los convertidores estáticos que son utilizados en las industrias donde tienen diferentes aplicaciones en su uso, fuentes ininterrumpibles de poder (UPS), variadores de velocidad y fuentes de poder para procesos electroquímicos[3].

Si existe una elevación y distorsión de corriente tiende a provocar calentamientos exagerados en los conductores y transformadores, así como intromisión en equipos de comunicación mientras que la alteración del voltaje desencadena en un mal desempeño de equipos sensibles (computadoras, micro controladores)[3].

Tenemos algunos efectos de las cargas no lineales en los S.E.P.:

- Variación de tensión en el servicio eléctrico[3].
- El proceso de producción se detiene inesperadamente[3].
- Incremento considerable en voltajes de neutro a tierra[3].
- Reducción en la capacidad de los equipos de distribución[3].
- Penalizaciones en facturas debido al decaimiento del factor de potencia[3].

2.1.4 CORRIENTE ALTERNA

La forma de onda que cambia su magnitud en función del tiempo se la denomina corriente alterna, su comportamiento naturalmente es conocido de forma sinusoidal. Con ella se logra obtener una transmisión más eficiente de la energía[4].

Como se muestra en la figura 4 observamos una onda senoidal sin componentes de corriente continua y apreciamos los parámetros más significativos[4].

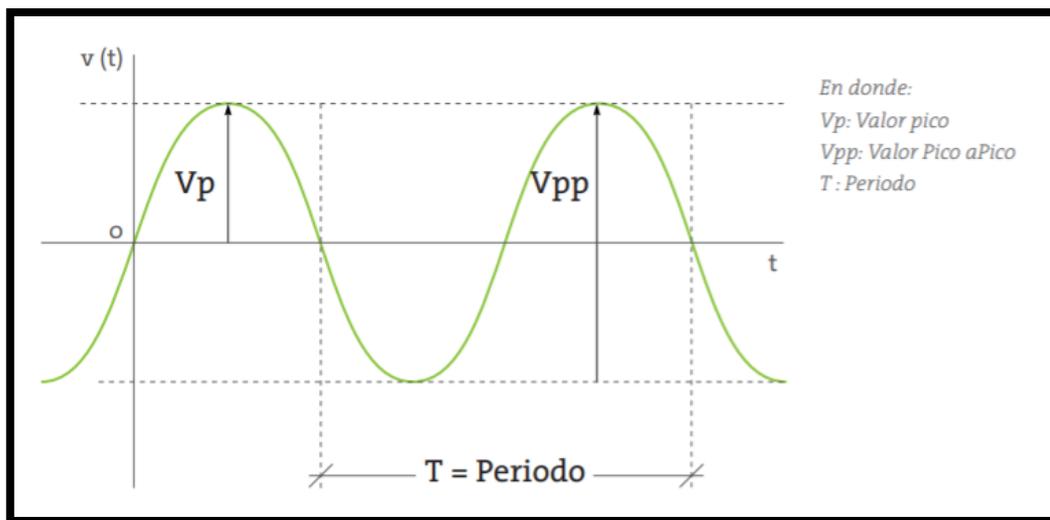


Figura 3 Componentes de una onda senoidal
Fuente:[4]

Valor de pico (V_p): Es el valor máximo alcanzado por la señal. Hay dos picos. Picos positivos y negativos. El pico positivo corresponde al área positiva de la señal y el pico negativo corresponde al área negativa[4].

Valor pico a pico (V_{pp}): Es la magnitud del pico positivo al pico negativo. En una señal simétrica, el valor pico a pico es el doble del valor pico[4].

$$V_{pp} = 2V_p \quad \text{Ecuación 1 Voltaje pico a pico}$$

Periodo: Se define a el tiempo empleado para que la onda complete un ciclo.

El período determinará la frecuencia. Esto indicará el número de ciclos repetidos en un segundo. Su unidad es hertz. Durante este período, la frecuencia de la onda se puede obtener de la siguiente manera[4]:

$$f = \frac{1}{t} \text{ Hertz} \quad \text{Ecuación 2 Frecuencia}$$

El valor eficaz: Es un parámetro utilizado para caracterizar la forma de onda y se define como el valor de una tensión CC que podrá generar la misma potencia que la potencia que se le suministra (a los componentes que consumen toda la potencia del circuito). Proporcione una forma de onda con este valor cuadrático medio. En la siguiente ecuación, tenemos una expresión matemática con valores válidos[4].

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = v_p * \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = v_p * 0.707 \quad \text{Ecuación 3 Voltaje eficaz pico}$$

Remplazando la ecuación 18 en la ecuación 20, obtenemos que el valor eficaz es[4]:

$$V_{ef} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} \quad \text{Ecuación 4 Valor eficaz pico pico}$$

Todos estos parámetros también son considerados para la corriente

Ejemplo:

En una instalación se encuentra un valor pico de 184v.

Calcular el

- A. Voltaje Pico Pico
- B. Voltaje Rms.

Litera A

$$V_{pp} = 2V_p = 2 * 184 = 368V$$

Literal B

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{184}{1.4142} = 130,10V$$

2.2 DEFINICIÓN DE ARMÓNICOS

Antes de definir este enunciado es primordial precisar que el comportamiento de la señal debe mantener una amplitud y frecuencia invariable al igual que una forma senoidal. La Figura 4 representa una señal senoidal sin contenido armónico, con una frecuencia inalterable de 60Hz y una amplitud sin variación de 1pu[5].

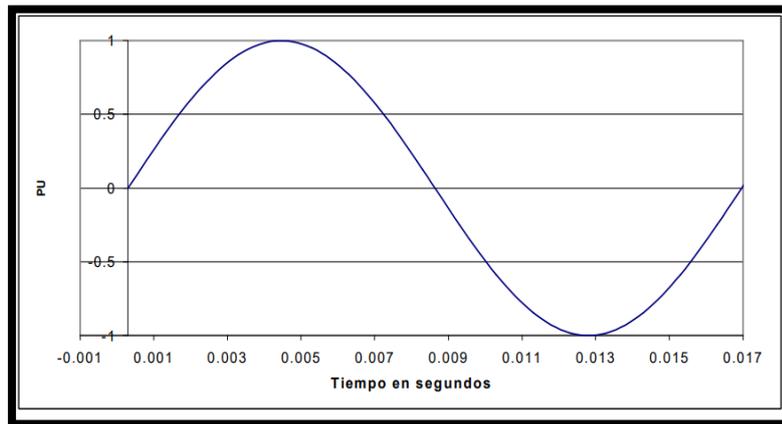


Figura 4 Onda sin contenido armónico

Fuente: José Dariel Arcila jdarcila@ieb.com.co[5]

Cuando una onda de tensión senoidal no es uniforme se atribuye que es producido por los armónicos generados, en cuanto se compromete el valor pico se altera también el voltaje RMS, en efecto si se producen distorsiones puede comprometer el funcionamiento normal de los equipos conectados.

Si la frecuencia de la onda es constante se denomina frecuencia fundamental y los armónicos son señales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de esta frecuencia[5].

La Figura 5 refleja una onda de voltaje que contiene el 30% del quinto armónico.

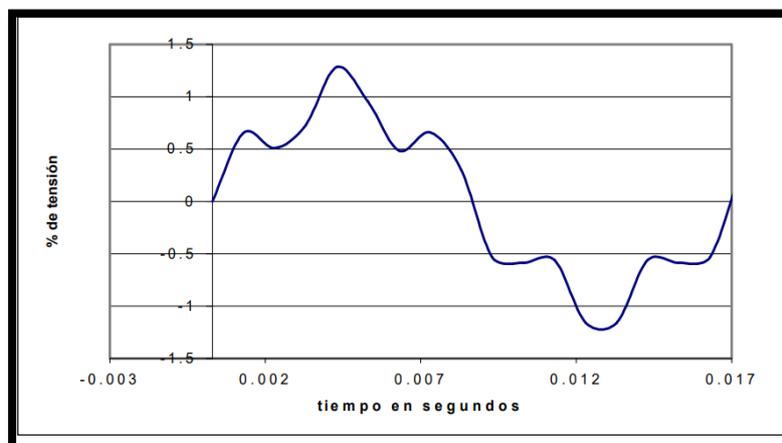


Figura 5 Onda con contenido armónico

Fuente: José Dariel Arcila jdarcila@ieb.com.co[5]

Se puede ver que el contenido de armónicos de esta onda aumenta su valor pico en un 30%.

- **Amplitud:** Indica el equivalencia de la magnitud o intensidad del armónico, la amplitud de un armónico es habitualmente un pequeño porcentaje de la fundamental [6].
- **Fase:** Hace referencia al valor del ángulo entre el armónico y la fundamental[6].
- **Orden:** Indica al valor de su frecuencia referida a la fundamental, es decir un armónico de orden 5 tiene una frecuencia cinco veces superior a la fundamental, es decir 5 x 60 Hz es igual a 300 Hz. La señal es la distribución de la amplitud de varios armónicos como una función del número del armónico. En la figura 6 observamos el comportamiento de los armónicos según su orden[6].

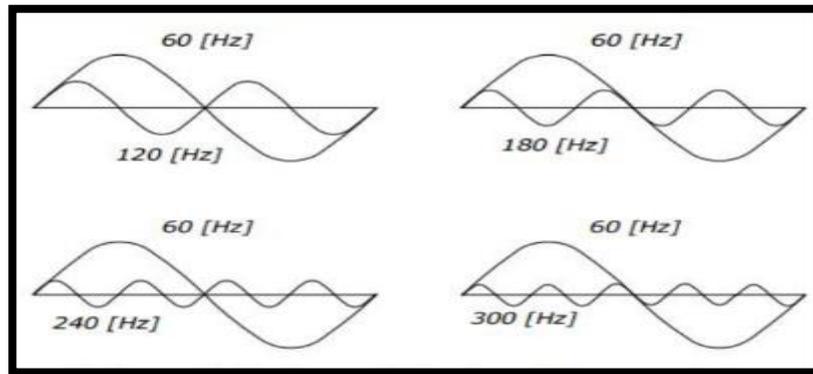


Figura 6 Onda senoidal y sus armónicos

Fuente: [6].

$$n = \frac{f_n}{f_{60}} \quad \text{Ecuación 5 Orden de los armónicos}$$

- **Frecuencia:** Definimos como frecuencia a el resultado de la multiplicación entre el número de orden del armónico y la frecuencia fundamental, en Ecuador es de 60 Hz, por ejemplo[6]:

$$3^{\circ} \text{ armónica } 3 \times 60 \text{ Hz} = 180 \text{ HZ}[6].$$

$$5^{\circ} \text{ armónica } 5 \times 60 \text{ Hz} = 300 \text{ HZ}[6].$$

Podemos observar en la figura 7 el comportamiento de cada armónico con relación a la onda fundamental.

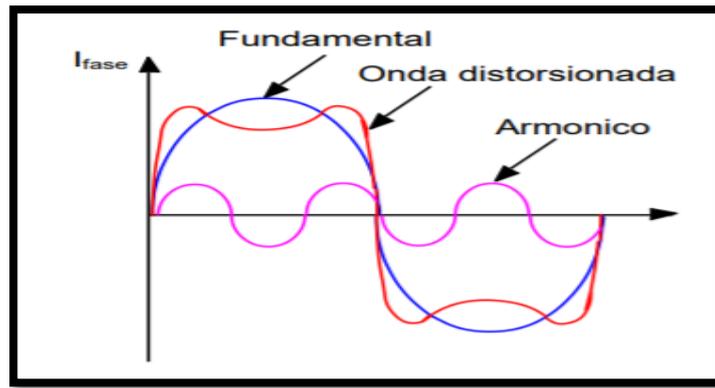


Figura 7 Distorsión de la señal eléctrica
Fuente: [6].

Los armónicos de orden diferentes de par solo se presentan en las redes eléctricas de las fábricas, edificios, hospitales, etc. Los de orden par solo se presentan cuando hay desproporcionalidad en el servicio energético[6].

- **Secuencia:** Pueden ser positiva o negativa de los armónicos y no determinan su comportamiento en el servicio eléctrico, ambos son igual de perjudiciales. Dado que la frecuencia de secuencia cero es un múltiplo eléctrico de la onda fundamental, pasará por el punto neutro, de modo que la intensidad del paso por el punto neutro sea igual o mayor que la intensidad del cambio de fase[6].

Orden	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Frecuencia	60 Hz	120 Hz	180 Hz	240 Hz	300 Hz	360 Hz
	50 Hz	100 HZ	150 Hz	200 HZ	250 Hz	300 Hz
Orden	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Frecuencia	420 Hz	480 Hz	540 Hz	600 Hz	660 Hz	720 Hz
	350 Hz	400 HZ	450 Hz	500 HZ	550 Hz	600 Hz
Secuencia	+	-	0	+	-	0

Tabla 1 Secuencia de armónicos
Fuente: Manual Fluke

En la tabla 1 resume el nivel de frecuencia de cada armónico y la secuencia. En conclusión, los armónicos de ciclo positiva inducen a que un motor opere por el incremento de su tensión fundamental, en comparación los armónicos de secuencia negativa producen que los motores trabajen de manera lenta. En estas situaciones se llega a suscitar perdidas de potencia y sobrecalentamiento en los devanados[7].

Los armónicos de secuencia par desaparecerán si las señales son equilibradas, es decir igualdad positiva y negativa. Los armónicos de corriente de orden cero se suman a los conductores neutro, esto ocasiona sobrecalentamiento[7].

Total Harmonic Distortion (THD). Se hace referencia a el espectro total de los armónicos existentes con sus magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es normal, que se defina a THD como una medida de la alteración[8].

Existen normativas que limitan el nivel que no se puede superar en ningún punto de la red. En la distorsión armónica de tensión total (THD), se ha determinado que para todos los armónicos de cualquier secuencia, estos valores no deben ser superiores al 8% [8].

Factor Armónico. La razón de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (RSS) de todos los armónicos al RMS de la onda fundamental[8].

$$\text{factor armonico}(I) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I}}{I_1} \quad \text{Ecuación 6 Factor Armónico (Para Corriente).}$$

Fuente: Tomado de la Norma IEEE Std 519-1992

$$\text{factor armonico}(v) = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V}}{V_1} \quad \text{Ecuación 7 Factor Armónico (Para Tensión)}$$

Fuente: Tomado de la Norma IEEE Std 519-1992

Factor de Calidad. Se define como: a una frecuencia dada, la relación entre la energía máxima almacenada y la energía consumida en ciclos es dos veces π . La definición equivalente aproximada es que Q es la relación del ancho de banda entre la frecuencia resonante y los del lado opuesto de la frecuencia resonante, donde la respuesta de la estructura resonante es de 3 dB de resonancia. Si el circuito resonante incluye una inductancia L y una capacitancia C en serie con la resistencia efectiva R[8].

$$Q = \frac{1}{R} \times \frac{\sqrt{L}}{C} \quad \text{Ecuación 8 Factor de calidad}$$

2.2.1 FUENTES DE ARMÓNICOS

Son producidos por el uso de cargas no lineales, las cuales ante una señal de tipo sinusoidal alteran su forma. A continuación conoceremos las principales fuentes armónicas [5].

- Hornos de arco eléctrico y diversos equipos de descarga de arco, como lámparas fluorescentes. El horno de arco eléctrico se considera un generador de armónicos de voltaje en lugar de corrientes, y todos los armónicos (segundo, tercero, cuarto, quinto, ...) suelen estar presentes, pero en relación con la base de la onda fundamental, dominan los números impares. Valor típico de estatus[5]:
 - ✓ 20% del 3er armónico[5].
 - ✓ 10% del 5º[5].
 - ✓ 6% del 7º[5].
 - ✓ 3% del 9[5].
- Los núcleos magnéticos de los transformadores y las máquinas eléctricas rotativas requieren corrientes de tercer armónico para excitar el hierro[5].
- La corriente Inrush del transformador genera el segundo armónico y el segundo armónico[5].
- Variadores de velocidad ajustables usados en motores, ventiladores, controladores de proceso y bombas de agua[5].
- Interruptor de estado sólido, corriente de control ajustable, intensidad de luz, calor[5].
- Fuentes reguladoras para equipos electrónicos[5].
- Rectificadores a base de diodos o tiristores para cargadores de baterías, equipos de soldadura, etc[5].
- Compensador de potencia reactiva estática[5].
- Estación de transmisión de CC de alto voltaje[5].
- Inversores de CA a CC[5].

- Equipo de cómputo[5].
- Equipo domestico[5].
- Lámparas fluorescentes[5].
- Saturación de transformadores[5].

2.2.2 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

2.2.2.1 EFECTO SOBRE LOS CABLES

La cámara de corriente en las secciones de los conductores es uniforme únicamente cuando es CC. En CA, a medida que aumenta la frecuencia, la desigualdad de la distribución de la corriente se vuelve más evidente. En un conductor circular, la densidad de corriente aumenta desde el centro hacia la superficie. El flujo magnético de la capa exterior es menor que el flujo magnético de la capa interior, lo que significa que bajo la acción de la corriente alterna, el voltaje inducido longitudinal dentro del conductor es mayor que el voltaje inducido en la superficie, por lo que la densidad de la corriente interna aumenta. La capa exterior del conductor, este fenómeno se llama efecto piel[5].

Al incrementarse la tensión en los conductores aumenta la temperatura que están sometidas, a esto se lo considera como perdida de potencia y en efecto logra disminuir su nivel de aislamiento.

2.2.2.2 EFECTOS SOBRE LOS TRANSFORMADORES

La gran cantidad de transformadores instalados en la zona ecuatoriana que operan en corriente alterna están calculado para que trabajen en una frecuencia de 50 o 60 Hz, tenemos que tomar en cuenta que deben operar en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la especificada por el distribuidor, analizando estos factores es importante que el transformador deba ser capaz de disipar la alta temperatura producida por las extensas horas de trabajo o cuando se encuentra conectado a la carga máxima, estos equipos deben trabajar sin sobrecalentarse porque pueden deteriorar su vida útil[5].

La pérdida del transformador incluye la pérdida sin carga o del núcleo y la pérdida de carga, incluida la pérdida I^2R , la pérdida por corrientes parásitas y la pérdida adicional de tanques,

sujetadores u otras piezas de hierro. A continuación se describe el impacto de los armónicos en estas pérdidas[5]:

- **Pérdidas por corrientes de Eddy:** Estas pérdidas a la frecuencia fundamental son proporcionales a la corriente de carga elevadas al cuadrado y proporcionales al cuadrado de la frecuencia, por lo que las pérdidas en los devanados que llevan corrientes de carga no sinusoidales aumentarán excesivamente a sus temperaturas[5].
- **Pérdidas sin carga o de núcleo:** Producida por la tensión de excitación en el núcleo. Independientemente de la corriente de carga, las formas de onda de voltaje en el devanado primario se consideran ondas sinusoidales, por lo que, para las corrientes de carga de onda no sinusoidal, no se considera que aumenten. Aunque la corriente de excitación se compone de armónicos, los armónicos son muy pequeños en comparación con la corriente de carga, por lo que tienen poco efecto sobre la pérdida total[5].
- **Pérdidas I^2R :** Si la corriente de carga contiene armónicos, estas pérdidas también aumentarán debido al efecto skin[5].
- **Pérdidas adicionales:** Estas pérdidas aumentarán la temperatura de las partes fundamentales de los transformadores y según la clase del transformador, afectarán o no el sobrecalentamiento de los devanados. Se considera que varían con el cuadrado de la frecuencia y corriente[5].

2.2.2.3 EFECTOS SOBRE LOS CAPACITORES

En todo S.E.P. que se encuentre conectado un banco de capacitores existe la alta posibilidad de encontrar un efecto resonante, esto produce que el valor de su voltaje y corriente aumente y que el ángulo de desfase entre ellos varíe.

Dado que la reactancia del condensador se reduce en el preciso instante que se eleva la frecuencia, actuará como una "corriente de fuga" para corrientes con altas frecuencias armónicas. Este efecto aumentará la tensión dieléctrica y la generación de calor del condensador. El calentamiento no es un problema, porque algunos condensadores están diseñados con película y papel de aluminio, lo que puede reducir en gran medida las pérdidas.

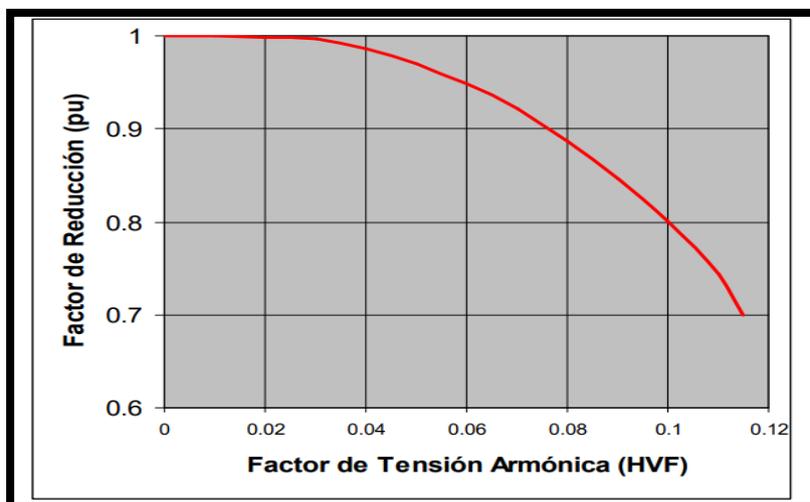
Es importante considerar el esfuerzo dieléctrico porque el voltaje en el capacitor aumentará el valor pico del voltaje fundamental.[5].

Cuando los capacitores se encuentran sometidos a sobretensiones en largos periodos su laminado del dieléctrico se debilita y causa que la vida útil se acorte.

2.2.2.4 EFECTOS SOBRE LOS MOTORES

Los armónicos de voltaje tienen afectare en gran parte los motores de inducción y motores giratorios síncronos por las elevaciones de temperatura producido a la pérdida de hierro y cobre por el incremento de la frecuencia, por lo que los armónicos comprometen la eficiencia (Torque de la máquina)[5].

Los pares de armónicos de corriente (como el quinto y el séptimo armónico) pueden causar interferencia mecánica en la agrupación del generador de turbina o el sistema de carga del motor. Estos resultados ocurren durante las oscilaciones de par y son causados por la relación entre la corriente armónica y el campo generado por la frecuencia fundamental. Por ejemplo, los armónicos de orden 5 y 7 se pueden combinar para producir un par a la frecuencia del sexto armónico en el rotor del generador. Si la frecuencia de resonancia mecánica tiende a igualarse con la frecuencia de resonancia eléctrica, algunas partes del motor pueden generar una fuerza mecánica mayor. Dado que las corriente armónica se combinarán y afectarán el sentido de rotación de la máquina, se necesita más corriente para generar el mismo trabajo, por lo que la eficiencia se reducirá. Cuando se utilizan maquinas giratorias alimentadas por voltajes no senoidales, debemos cerciorarnos que no puedan funcionar a la capacidad nominal[5].



$$HVF = \sqrt{\sum_{n=5}^{\infty} \frac{(V_n)^2}{n}}$$

Ecuación 9 HVF

Figura 8 Factor de reducción para motores en redes con armónicos
Fuente: José Dariel Arcila jdarcila@ieb.com.co[5]

2.2.2.5 EFECTOS EN OTROS EQUIPOS

La mayor parte de equipos electrónicos sensibles son propensos a un funcionamiento incorrecto debido a los flicker. En ciertos casos, estos dispositivos pende de la determinación exacta del encuentro por cero entre la tensión u otros aspectos de la forma de onda, por lo que las condiciones de distorsión pueden afectar su funcionamiento normal. Para los equipos de medida e instrumentos, estos se verán afectados por componentes armónicos, principalmente en presencia de condiciones de resonancia que provocarán un voltaje armónico alto en el circuito. En el caso de los contadores eléctricos, pende del contador eléctrico y de los armónicos implicados, puede haber errores positivos o negativos.[5].

2.2.2.6 SOBRECALENTAMIENTO EN EL CONDUCTOR NEUTRO.

En los sistemas trifásicos balanceado con un cable neutro compartido (es decir, con 4 hilos y cargas lineales), los componentes fundamentales de la corriente de 50 Hz que circula a través de cada una de las tres líneas activas se cancelan en el cable neutro porque estas corrientes son Un tercio del período de tiempo (120°) está desfasado, por lo que la suma de estas tres corrientes es cero. Sin embargo, en el caso de una carga monofásica no lineal, ciertos armónicos de orden impar llamados "tríos" (múltiplos impares del tercer armónico: 3° , 15° , 21° , etc.) no se cancelarán en el punto neutro. , En lugar de compensar, se agregan al conductor (Figura 9)[9].

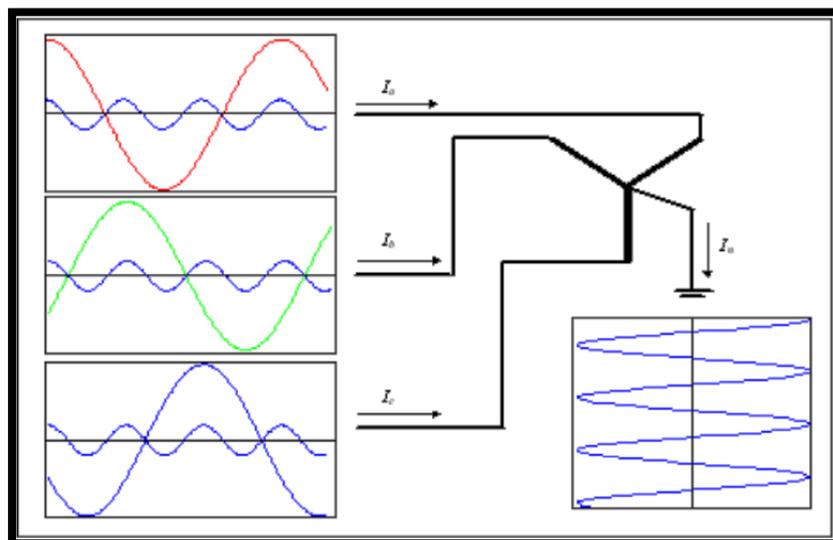


Figura 9 Corrientes armónicas en neutro

Fuente:[9]

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad \text{Ecuación 10 Sumatoria de corrientes}$$

En un sistema eléctrico que contiene gran cantidad de cargas monofásicas no lineales, se puede suscitar que el corriente neutro tome valores más elevados que los previstos en los análisis realizados y pueden superar las magnitudes que conducen cada una de las fases. El principal riesgo de tener un neutro con sobre corriente es el excesivo aumento de la temperatura de su conductor y al no poseer ningún tipo de protección no se puede interrumpir el circuito, tal como ocurre en los alimentadores.

Una corriente excesiva en el cable neutro también provocará una desigualdad de voltaje desmesurada entre el cable neutro y ground[9].

Solución:

Adoptando un tamaño de sección transversal suficientemente grande para considerar el tamaño de la línea neutra, se puede evitar la sobrecarga del conductor de la línea neutra, a fin de tener en cuenta el entorno eléctrico donde eventualmente existen armónicos. Cuando el circuito final debe alimentar el sistema informático, es mejor proporcionar un cable neutro que sea 1,7 veces mayor que las áreas de las secciones transversales de los conductores de fase, o simplemente el doble del cable neutro (Figura 10). También se puede usar un cable neutro separado para cada fase. En la parte superior del sistema de alimentación de CA, otra forma de evitar el paso del "trípode" armónico es utilizar un transformador de aislamiento con un circuito de conexión en estrella delta[9].

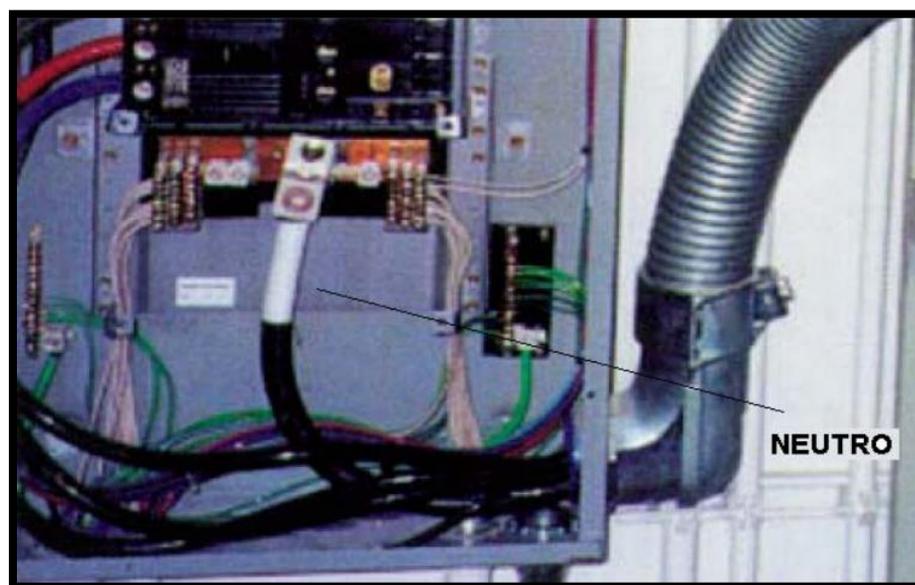


Figura 10 La sección del conductor neutro se amplió
Fuente:[9]

2.2.2.7 SOBRECARGAS EN LOS CAPACITORES DE CORRECCIÓN DEL FP.

Dado que los valores de reactancias de los capacitores son inversamente proporcionales a la frecuencia, es más probable que las corrientes armónicas superiores a la frecuencia fundamental fluyan a través de la ruta de baja impedancia del capacitor en lugar de fluir a la ruta de baja impedancia del capacitor. Transformador de distribución. Por tanto, los condensadores se llegan a sobrecargar y generan calor producido por las corrientes armónicas.

Cuando el capacitor y la inductancia de los sistemas de distribución energética componen varios circuitos paralelos resonantes, y la frecuencia resonante está cerca de una de las frecuencias armónicas existentes, pueden ocurrir problemas más serios, lo cual es muy importante. Las corrientes armónicas resultantes puede alcanzar valores muy altos, llegando a sobrecargar el condensador y quemar los fusibles[9].

Solución:

La resonancia se puede eliminar conectando un inductor en serie a él capacitor (Figura 11) para eliminar la frecuencia de resonancia en respuesta característica del servicio, o instalando dispositivos de correcciones de corriente reactiva especialmente diseñado (kVAR)[9].

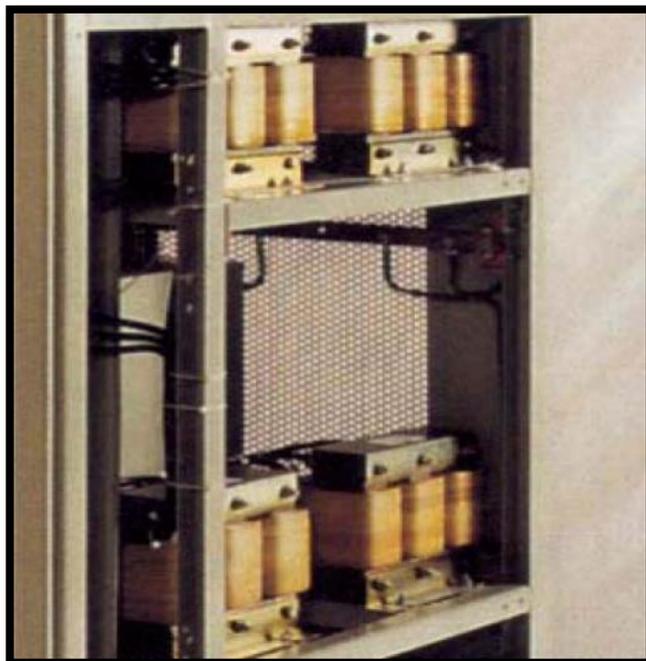


Figura 11 Inductores en el recinto de un condensador
Fuente:[9]

2.2.2.8 SOBRECARGA EN LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Los armónicos tienen un impacto negativo en los transformadores que distribuyen el servicio energético a cargas no lineales. El aumento en el valor rms actual debido a la distorsión de la forma de la señal causará un aumento de pérdidas en los cables de cobre del devanado de fase. Las corrientes armónicas con elevadas frecuencias también pueden causar mayores pérdidas debido a las corrientes parásitas, carcasas metálicas y un núcleo de hierro en el devanado. Estas gran cantidad de pérdidas reducirán las capacidades de carga en el condensador. En el transformador en Y- Δ , la corriente armónica "triple" agregada de forma algebraica en el punto neutro del devanado secundario en Y aparece como la corriente circulante en el devanado delta del devanado primario y causa sobrecalentamiento, lo que puede provocar fallas. Transformador (Figura 12)[9].

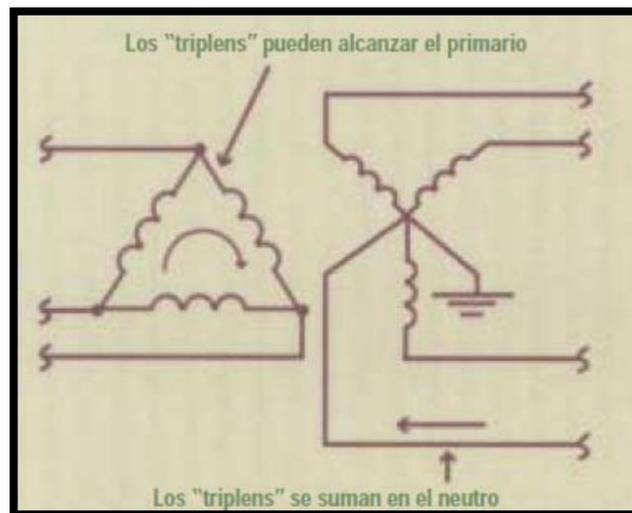


Figura 12 Corriente que fluye en el bobinado de transformador
Fuente:[9]

Solución:

Una de las formas de proteger los transformadores por armónicos es restringir su carga por debajo de su valor nominal. En algunos casos, los transformadores estándar no pueden soportar el calor adicional causado por los armónicos. De acuerdo con las condiciones actuales, puede ser necesario limitar la carga proporcionada por el transformador al 50% de su potencia nominal. Con esta idea podemos ayudar a resolver la problemática de los armónicos, pero reducirá en gran medida la eficiencia efectiva de los transformadores. Además, también se puede hacer uso de los transformadores tipo K, que están especialmente diseñados para proporcionar cargas armónicas[9].

El diseño de los transformadores tipo K a menudo incluyen una o más de las siguientes modificaciones: aumentar el tamaño de los devanado primario para mantener la corriente triple armónica, duplicar la sección del conductor neutro secundario para soportar la corriente triple armónica; paso bajo Para usar hierro de mayor calidad, use varios conductores paralelos de sección transversal pequeña en el devanado secundario para disminuir el efecto de skin y / o diseño en el secundario múltiples devanado, estos devanados cambiarán de fase a secuencia cero para eliminar Triple corriente armónica[9].

2.2.3 FUENTES ARMÓNICAS

2.2.3.1 CONVERTIDORES.

Los convertidores son equipos que inducen armónicos en el sistema de CA producidos al funcionamiento de elementos de conmutación (tiristores). En la Figura 13 se muestra un rectificador común[10].

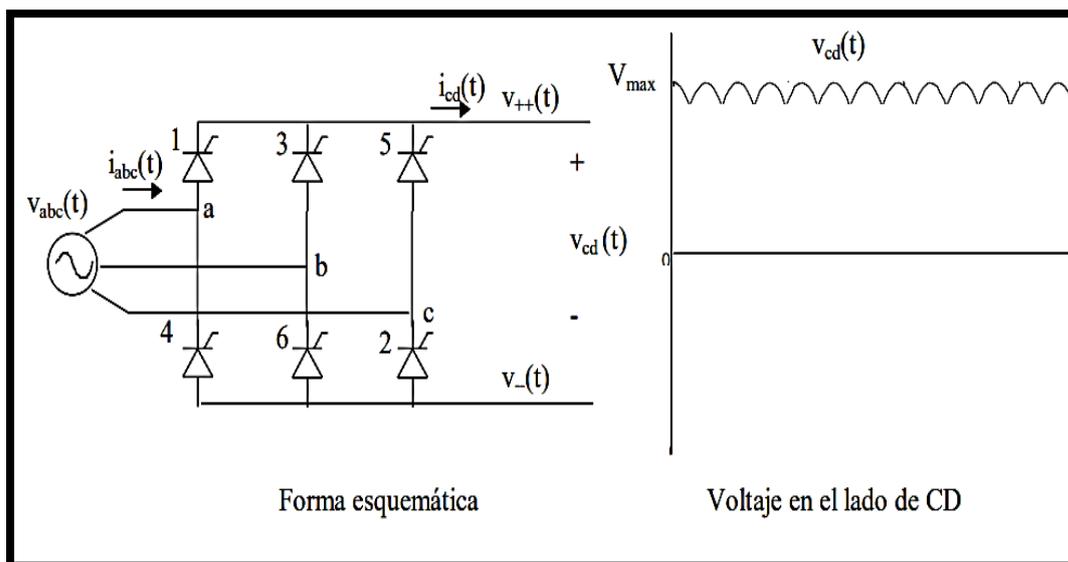


Figura 13 Rectificador trifásico
Fuente: ARMONICOS EN LAS REDES ELECTRICAS[10].

En este caso, el índice de generación de armónicos depende del funcionamiento del mismo rectificador y de la carga que lo sustenta[10].

2.2.3.2 COMPENSADORES ESTÁTICOS DE POTENCIA.

Los compensadores estáticos hacen uso principalmente tiristores que controlan las potencias reactivas y también se utilizan principalmente para el manejo de las tensiones en redes de transmisión[10].

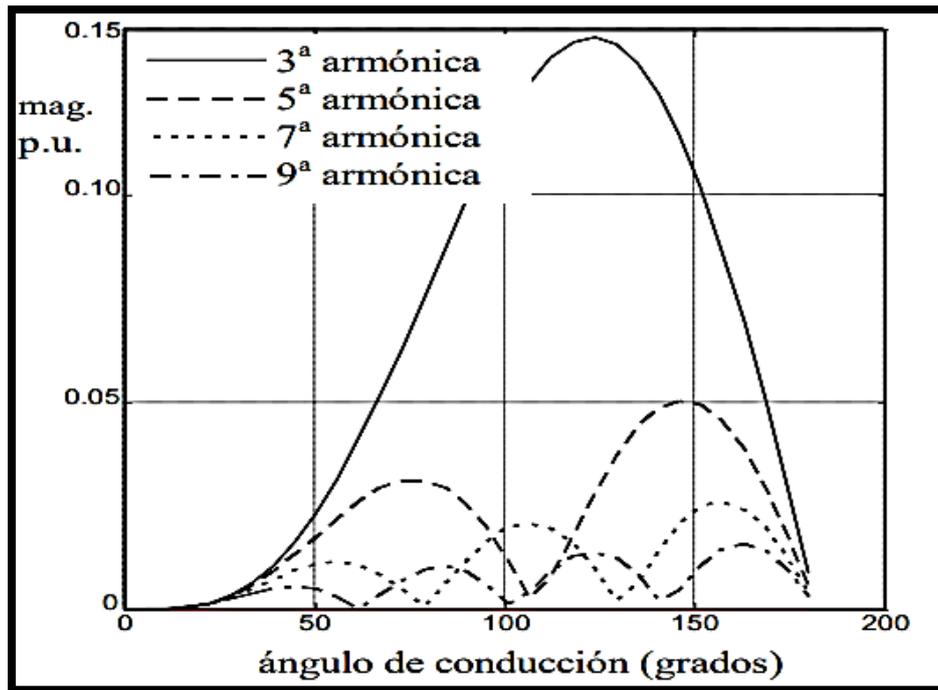


Figura 14 Valores de las corrientes armónicas del TCR monofásico vs ángulo de conducción.

Fuente: ARMONICOS EN LAS REDES ELECTRICAS[10].

Como se aprecia en la Figura 14, TCR1 inyecta diferentes armónicos según el ángulo de disparo. Si conecta el TCR delta trifásico, puede eliminar algunos armónicos (triple)[10].

2.2.3.3 LÁMPARA FLUORESCENTES

Recientemente, en muchas partes del mundo, las lámparas fluorescentes se utilizan ampliamente para disminuir los consumos de energías. El uso de lámparas fluorescentes y lámparas de vapor de metal constituye un sistema de iluminación más eficaz. Sin embargo, es de vital importancia examinar los efectos negativos de la utilización a gran escala de lámparas fluorescentes debido a la generación de armónicos[10].

Dado que las lámparas incandescentes son lineales, cuando se alimentan con una de las fuentes de tensión sinusoidal con la frecuencia igual, producirán un bucle de corriente ideal. Por otro lado, las luminarias fluorescentes tienen cargas que no son lineales, en lo que cuando se les aplica un voltaje sinusoidal, fluyen corrientes no sinusoidales. Porque la corriente armónica generada fluye a través de lámparas fluorescentes de alta eficiencia y puede fluir a través de conductores al sistema de distribución[10].

2.2.3.4 EQUIPO DE CÓMPUTO

La computadora se basa en funcionar como fuente de alimentación para el puente rectificador, que puede generar naturalmente frecuencias armónicas[10]. Por ello, se recomienda encarecidamente utilizar un dimmer con supresor de sobretensiones, aunque según el diseño, el nivel de tolerancia de cada marca no debe superar el 5% de distorsión[11].

2.2.3.5 EQUIPO DOMÉSTICO

En la actualidad la mayor parte de equipos domésticos utilizan gran cantidad de dispositivos electrónicos los cuales son considerados cargas no lineales, son fuentes de frecuencias armónicas[10].

2.2.3.6 NUEVAS FUENTES ARMÓNICAS

Actualmente, otra fuente importante de alteración armónica son nada más y nada menos que los rectificadores con control de ángulo de fase e inversores[10].

2.2.3.7 FUTURAS FUENTES ARMÓNICAS

Se debe a la utilización a gran escala de vehículos eléctricos, que requerirán cargar sus baterías en el grupo rectificador, se espera que el nivel de armónicos en la red aumente significativamente[10].

2.3 PERTURBACIONES

2.3.1 TRANSITORIOS

Los eventos transitorios en un sistema eléctrico son eventos negativos y tienen la particularidad durar pocos segundos[12].

2.3.1.1 TRANSITORIOS IMPULSIVOS.

Los transitorios de impulso son eventos no tan frecuentes de pico alto que aumentan los niveles de voltaje y / o corriente en una secuencia positiva o negativa. Esta clase de eventualidades pueden clasificarse además por la rapidez a la que se generan (rápido, medio y lento). Los

pulsos transitorios pueden ser eventos muy veloces en muy poco tiempo (menos de 50 ns) (el tiempo de subida del estado estable al pico del pulso es de 5 nanosegundos [ns]), como se presenta en la figura 15[12].

Nota: [1000 ns = 1 s] [1000 s = 1 ms] [1000 ms = 1 segundo]

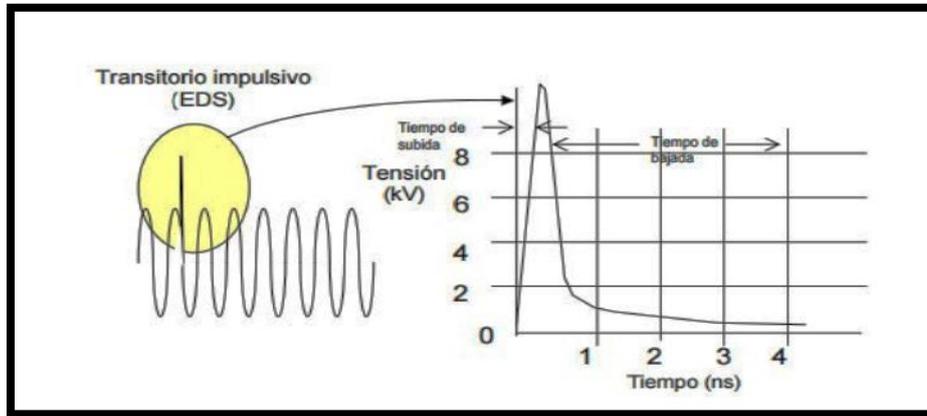


Figura 15 Transitorio impulsivo

Fuente:[12]

La mayoría de la gente dice que cuando ocurren transitorios o sobretensiones a largo plazo, se refieren a impulsos transitorios. Se han utilizado muchos términos diferentes para describir los impulsos transitorios, como caídas de tensión, defectos técnicos, sobretensiones cortas o largas. Los motivos de los impulsos transitorios introducen cargas inductivas que se incendian, rayos, mala conexión a tierra, liberación de fallas de red y ESD (descarga electrostática). Los efectos van desde la pérdida (o daño) de datos hasta la averiación de los dispositivo. De todas estas razones, los rayos pueden ser los más destructivos[12].

Es fácil identificar problemas de truenos y relámpagos al presenciar tormentas eléctricas. La energía necesaria para iluminar el cielo nocturno seguramente destruirá los equipos sensibles. Además, no se requiere el impacto directo de un rayo para causar daño. El campo electromagnético que se muestra en la Figura 16 producido por los rayos puede causar muchos daños potenciales al inducir corriente en estructuras conductoras cercanas[12].

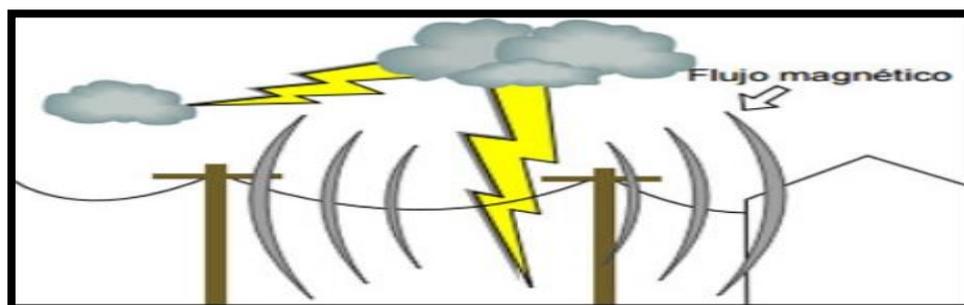


Figura 16 Campo magnético creado por caída de rayo

Fuente:[12]

2.3.1.2 TRANSITORIOS OSCILATORIOS

Los transitorios de oscilación son cambios repentinos en las condiciones de estado estable del voltaje o la corriente de las señales, o ambos, que oscilan a las frecuencias naturales del sistema dentro de los límites positivos y negativos de la señal. En pocas palabras, los transitorios causarían un aumento repentino en la señal de potencia, que luego producirá rápida y alternativamente una caída de voltaje. Los transitorios de oscilación generalmente caen a valores neutros en el interior de un ciclo (oscilación descendente)[12].

Estos transitorios suceden cuando las personas conmutan una carga capacitiva o inductiva (como una máquina giratoria o un conjunto de condensadores). La consecuencia es una oscilación transitoria porque la carga se opone al cambio. Esto es igual a lo que sucede cuando de repente cierra una llave de paso que se mueve rápidamente y escucha el grifo en la tubería. El agua que fluye resiste los cambios y produce un fluido transitorio oscilante equivalente[12].

Por ejemplo, cuando apagas un motor eléctrico giratorio, porque pierde potencia, actúa brevemente como generador, generando electricidad y enviándola entre la distribución. Los grandes sistemas que distribuyen la energía pueden funcionar como osciladores al conectar o desconectar la energía, porque todos los sistemas tienen alguna inductancia inherente y capacitancia distribuida, lo que proporcionará energía durante un breve período de tiempo[12].

Cuando aparecen transitorios oscilantes en circuitos energizados, que generalmente son el resultado de manipulaciones de conexión de energía (especialmente cuando los bancos rectificadores se añaden automáticamente al servicio), pueden dañar gravemente los equipos electrónicos. La Figura 17 muestra los típicos transitorios de oscilación de inferior frecuencia debido al acoplamiento del banco rectificador [12].

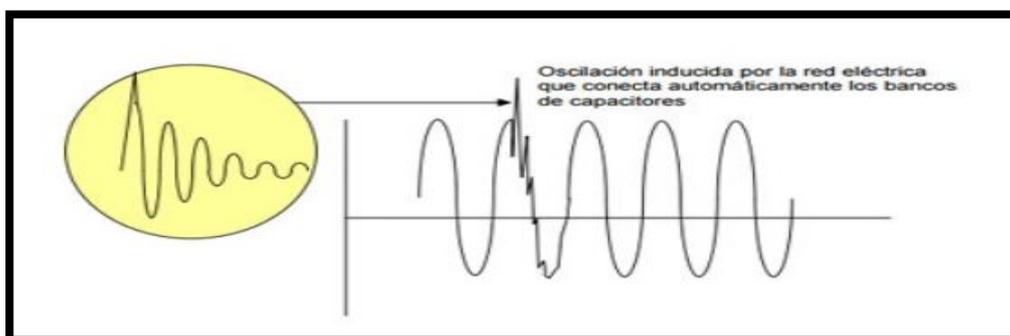


Figura 17 Transitorio oscilante
Fuente:[12]

2.3.2 INTERRUPCIONES

Definiremos a una interrupción cuando el servicio eléctrico llega a producirse una disminución cerca de 0 de tensión o corriente dependiendo de su duración que pueden ser las siguientes[12].

- Instantánea 0,5 a 30 ciclos
- Momentánea 30 ciclos a 2 segundos
- Temporal 2 segundos a 2 minutos
- Sostenida > a 2 minutos

Los cortes de energía pueden ser el resultado de fallas del sistema eléctrico, fallas del equipo o fallas del sistema de control[12].

2.3.3 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN

La fluctuación de voltaje (incluido el parpadeo) son las principales problemáticas de regulación de voltaje en el sector eléctrico. Se refleja en el costo y el precio. La duración de los cambios de voltaje es de entre unos milisegundos y uno a veinte segundos, como se muestra en la Figura 18. El rango de variación no excede $\pm 10\%$ de la tensión nominal[13].

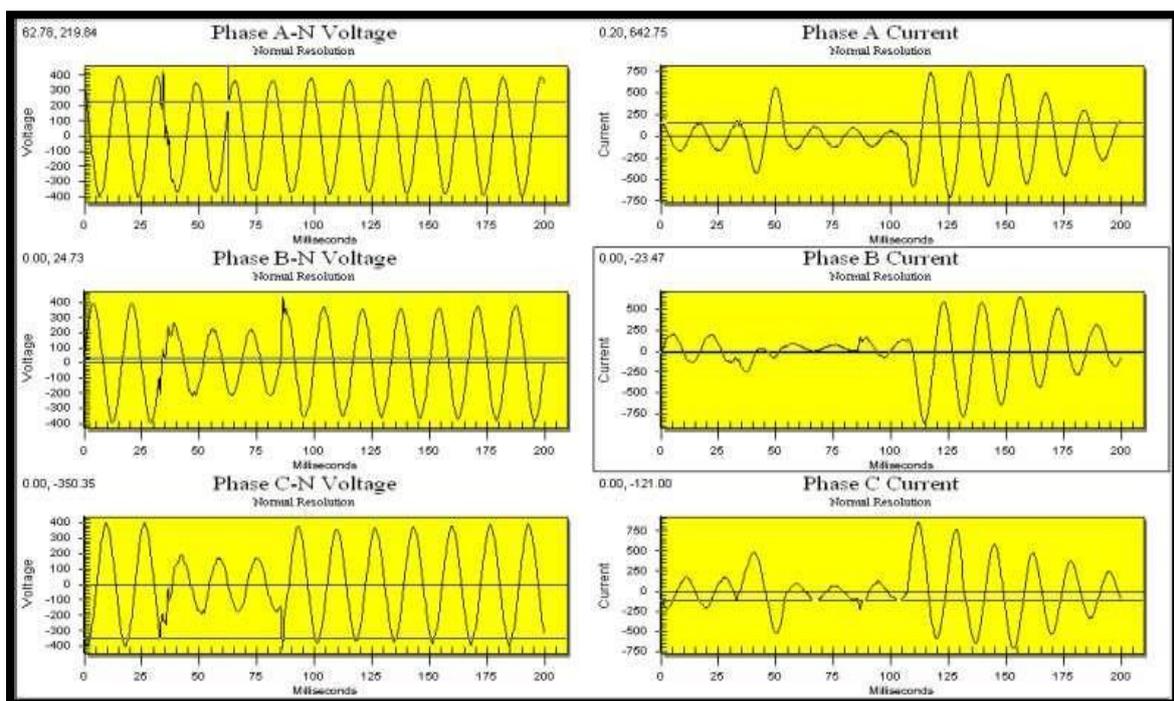


Figura 18 Curva de variación de tensión en las tres fases

Fuente:[13]

2.3.3.1 SALTO DE TENSION (SWELL)

El voltaje de "expansión" se define en el estándar IEEE 1159 como un aumento en el voltaje RMS del 110% al 180% del voltaje nominal (ver Figura 19), con una duración de 0.5 minutos a 1 minuto. Se considera que es un fenómeno de voltaje de cortocircuito, que está relacionado con la condición de falla desequilibrada en el sistema eléctrico. El voltaje de "expansión" dañará seriamente el aislamiento de los equipos electrónicos y las fuentes de alimentación[13].

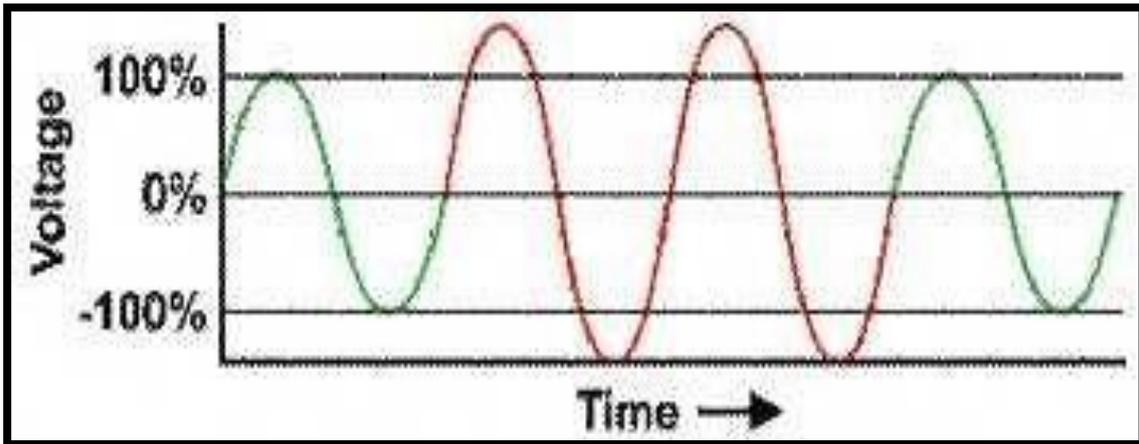


Figura 19 Incremento de voltaje RMS
Fuente:[13]

2.3.3.2 DEPRESIÓN DE TENSION

De manera similar, el voltaje "SAG" se define en el estándar IEEE 1159, y el valor efectivo del voltaje cae instantáneamente a valores de 0.1 a 0.9 (pu) dentro de una transición de 0.5 a 1min, ver Figura 20. Por lo general, esta falla es causada por el arranque de un motor más grande, lo que puede causar la interrupción del proceso de producción industrial[13].

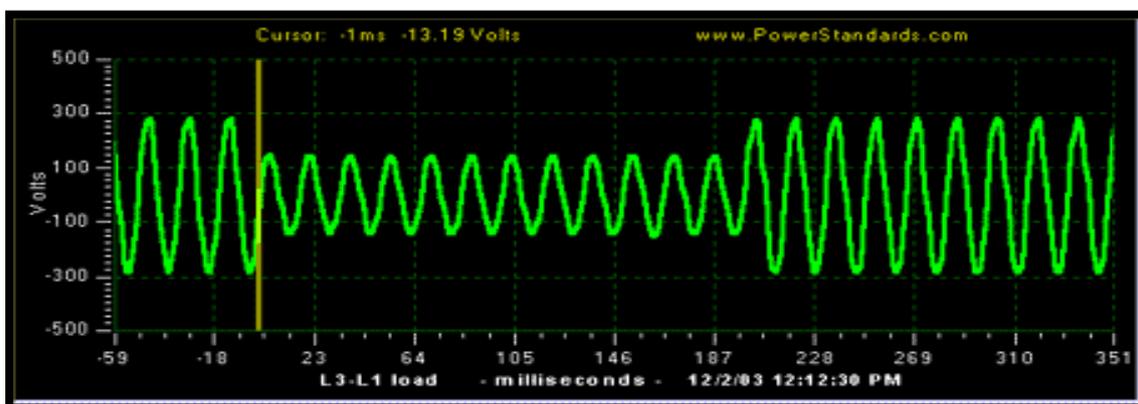


Figura 20 Reducción de tensión RMS
Fuente:[13]

2.3.4 FLUCTUACIÓN FLICKER (PARPADEO)

Se trata de un cambio de voltaje rápido y periódico, que provoca fluctuaciones de voltaje en la frecuencia permisible por el ojo humano en la red[13].

El criterio de medición permite saber del nivel de sensación que experimentaríamos los observadores medio en el punto del servicio en el que se conecte el indicador.

El índice de evaluación del “flicker” está estipulado por la siguiente ecuación[13]:

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

Ecuación 11 Índice de flicker

Donde:

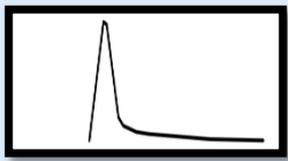
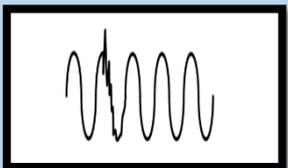
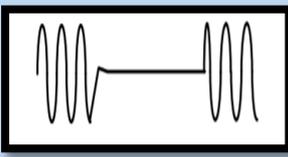
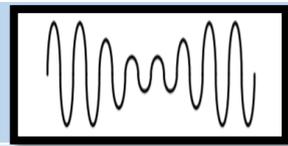
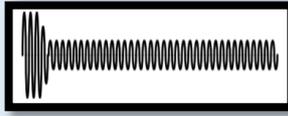
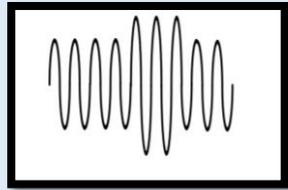
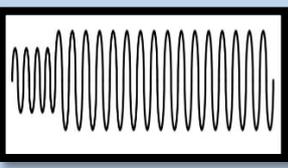
Pst: Evaluación de la gravedad del parpadeo a corto plazo a rangos de apreciación de 10min.
Si "Pst" es mayor que 1, es considerado como un efecto negativo.

Plt: Evalúa la severidad del flicker a largo plazo, con intervalos de observación de 2 horas[13].

2.3.5 RESUMEN DE PERTURBACIONES

En la siguiente tabla 2 realizaremos una exposición de los efectos, causas y soluciones de las perturbaciones producidas en una instalación eléctrica.

Clasificaremos las eventualidades para tener una mejor apreciación.

CATEGORÍA DE PERTURBACIÓN	FORMA DE LA ONDA	EFFECTOS	POSIBLES CAUSAS	POSIBLE SOLUCIONES
1. Transitorios				
Impulsiva		Perdidas de datos, posibilidad de daños, apagado del sistema	Rayos, ESD, impulsos de conexión, eliminación de fallas de red	TVSS, mantener humedad entre 35-50%
Oscilatoria		Perdida de datos, posibilidad de daños	Desconexión de cargas inductivas/capacitivas	TVSS, UPS, reactores/bobinas de choque, interruptor de secuencia neutra
2. Interrupciones				
Inverter		Perdidas de datos, posibilidad de daños, paros	Interruptor, falla de red, disparo del disyuntor, falla de componente	UPS
3. Bajada de tensión/subtensión				
Bajada de tensión		Paro del sistema, pérdida de datos, cierre	Cargas de arranque, fallas	Acondicionadores de energía, UPS
Subtensión		Paro del sistema, pérdida de datos, cierre	Problemas en la red, cambios de carga	Acondicionadores de energía, UPS
4. Aumento de tensión/sobretensión				
Aumento de tensión		desconexión por interferencia, daños al equipo/vida reducida	Modificación de carga, problemas en la red	Acondicionador de energía, UPS, transformadores de control ferrosnante
Sobretensión		Disparo por interferencia, vida reducida	Salto de carga, fallas de la red	Acondicionador de energía, transformadores de control ferrosnante
4. Aumento de tensión/sobretensión				

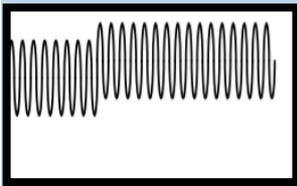
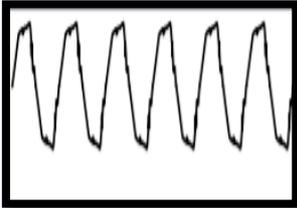
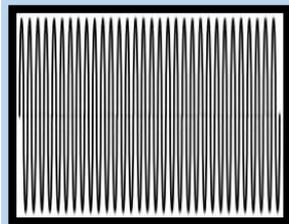
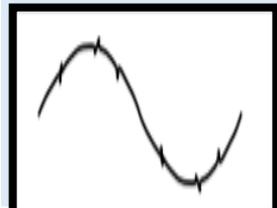
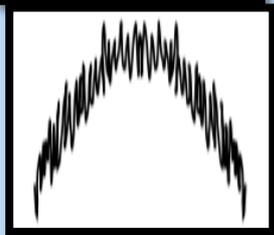
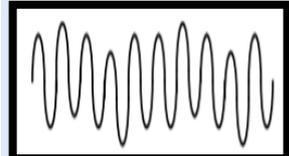
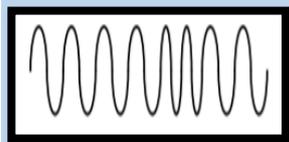
Desplazamiento por CC		Transformadores calientes, corriente de falla, desconexión por interferencia	Rectificadores, fuentes de generación averiados	Encontrar el problema y reemplazarlo
Armónicas		Transformadores calientes, desconexión del sistema	Cargas eléctricas (no lineales)	Calibrar la distribución, instalar transformadores tipo k, utilizar fuentes conmutadas con PFC
Interarmónico		intermitencia de la luz, sobrecalentamiento, interferencias	Señales de dominio, dispositivos averiados, convertidores de frecuencia, maquinas giratorias de inducción, equipos generadores de arco	Acondicionadores de energía, filtros, UPS
Corte Intermitente		desconexión del sistema, pérdida de datos	Mecanismo de velocidad variable, soldadores	Reconfiguración de la distribución, cambiar cargas sensibles, acoplar filtros
Ruido		Detención de los sistemas, pérdida de datos	Transmisores, equipos averiados	Sacar transmisión, recalibrar puesta a tierra, distanciar de la fuente EMI/RFI
Fluctuaciones de tensión		Paro del sistema, parpadeo de luces	Funcionamiento intermitente de los equipos de carga	Reconfigurar la distribución, trasladar las cargas sensibles
Variaciones de la frecuencia eléctrica		Daño en el dispositivo, sin efecto sobre los equipos informáticos	Generadores regulados en forma ineficiente	Modificar el regulador del generador

Tabla 2 Resumen de las principales perturbaciones con sus respectivas soluciones

Fuente: Los 7 tipos de problemas en el suministro eléctrico

2.4 FACTOR DE POTENCIA (FP)

2.4.1 DEFINICIÓN.

El factor de potencia (FP) de diferentes equipos eléctricos es: la correlación entre la potencia activa en kilovatios (KW) y la potencia aparente en kilovoltios-amperios (KVA)[14].

$$FP = \frac{P}{S} \left[\frac{KW}{KVA} \right] \quad \text{Ecuación 12 Factor de potencia}$$

En el estado sinusoidal (solo se consideran los componentes básicos), no hay armónicos, y el factor de potencia encaja con el valor del coseno del ángulo de fase entre voltajes y corrientes, que se denomina factor de potencia de desplazamiento (DPF = $\cos\phi$), en la figura 21 observamos su comportamiento[14].

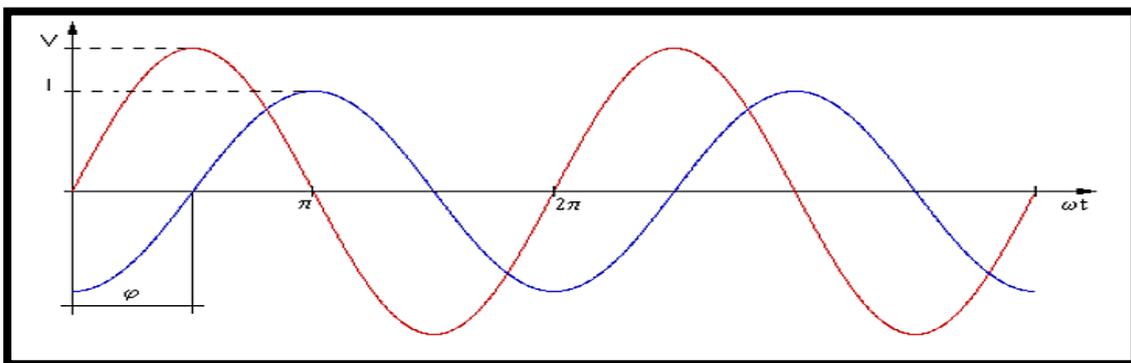


Figura 21 Factor de potencia de desplazamiento

Fuente: [14].

2.4.2 PARÁMETROS DEL FACTOR DE POTENCIA

La corriente en un sistema lineal provisto por una CA senoidal es también una corriente senoidal, con la misma frecuencia que las tensiones, y con un cierto retardo o ángulo de avance (factor de potencia desplazado) en relación con la tensión, dependiendo de qué carga inductiva o capacitiva[14].

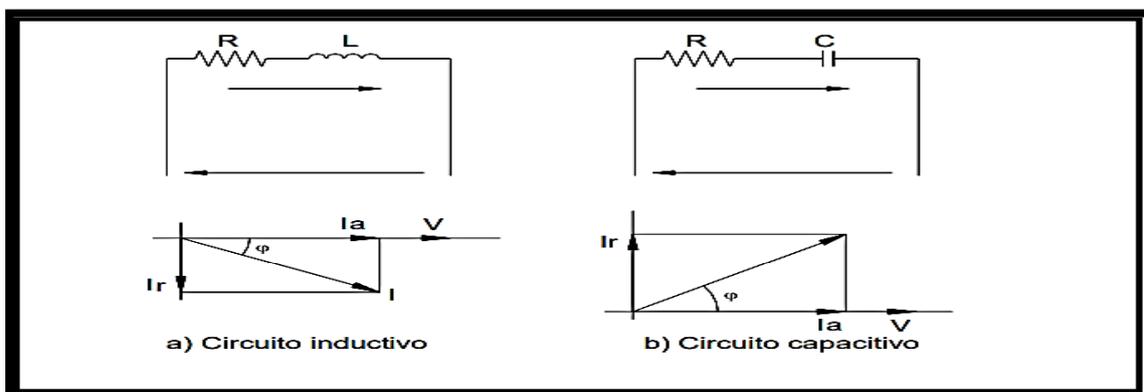


Figura 22 Diagrama vectorial de tensión y corriente

Fuente: [14].

En la Figura 22, en este caso, utilice el voltaje como punto de partida de la fase para representar el diagrama vectorial de voltaje y corriente.:

- a) Cargas inductivas (R/L).
- b) Cargas capacitivas (R/C). En cualquier caso, el vector se puede descomponer en dos componentes:

1. Corriente activa, I_a en fase con él voltaje.
2. Corriente reactiva, I_r desfasada 90° con respecto al voltaje.

Por lo tanto: para cargas inductivas, el cambio de fase es negativo (retrasado), para cargas capacitivas, el cambio de fase es positivo (adelantado).

La relación entre la corriente total I (llamada corriente aparente) y sus componentes se descomponen del triángulo de corriente de la Figura 23[14].

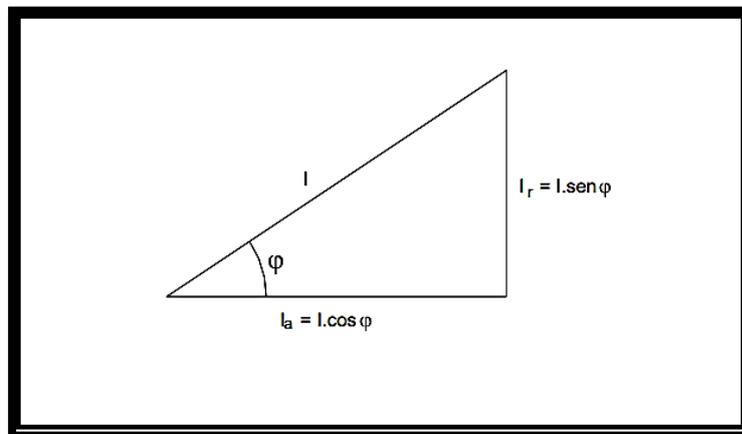


Figura 23 Triangulo de corriente

Fuente: [14].

$$I_a = |I| * \cos \varphi \quad \text{Ecuación 13 Componente activa}$$

$$I_r = |I| * \sin \varphi \quad \text{Ecuación 14 Componente reactiva}$$

$$\vec{I} = |I_a| + jI_r \quad \text{Ecuación 15 Componente aparente forma vectorial}$$

$$|I| = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad \text{Ecuación 16 Componente aparente}$$

2.4.2.1 TRIÁNGULOS DE POTENCIAS

Usando las separaciones actuales del estudio anterior, podemos agregar que la potencia activa (P) resulta ser el resultado de la corriente activa ($I \cdot \cos\phi$, en fase con el voltaje). En tal caso, la potencia aparente (S) se puede separar en dos componentes, al igual que la corriente, y se establece un triángulo de potencia para separar la potencia generada por los componentes activo (P) y reactivo (Q), como se muestra en la Figura 24[14].

De la Ecuación 17 a la Ecuación 19, se enumeran las relaciones que aparecen en el triángulo.

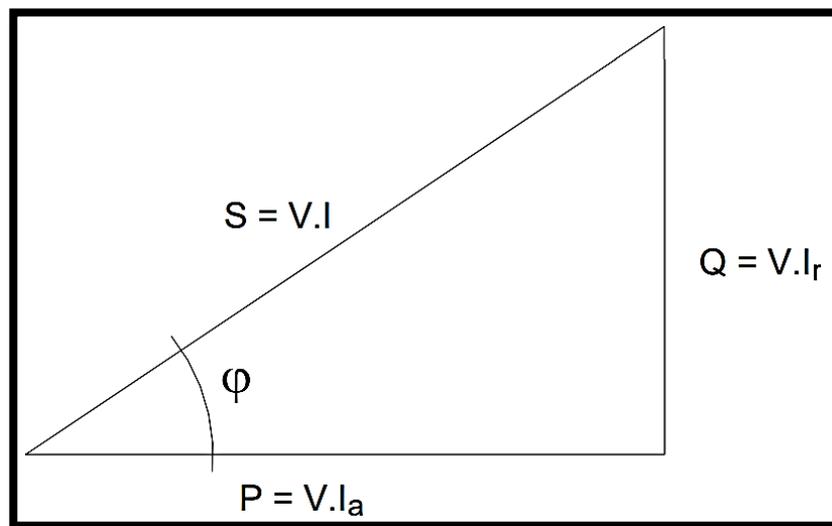


Figura 24 Triangulo de potencias

Fuente: [14].

$$P = S * \cos \phi = V * I_a \text{ [KW]}$$

Ecuación 17 Potencia activa

$$Q = S * \sen \phi = V * I_r \text{ [KVAR]}$$

Ecuación 18 Potencia reactiva

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = V * I \text{ [KVA]}$$

Ecuación 19 Potencia aparente

Donde:

P: Potencia Activa.

Q: Potencia Reactiva.

S: Potencia Aparente.

La potencia activa es el único factor que genera trabajo útil, en cambio la potencia reactiva solo se emplea para generar campos electromagnéticos, que son esenciales para la actividad de varios receptores industriales (como maquinas giratorias, transformadores, etc.). Esto requiere que exista una cierta cantidad de potencia reactiva, que debe enviarse, por lo que hará que el factor de potencia se deteriore[14].

Dependiendo de si la corriente se atrasa o sobrepasa con respecto a la tensión, la potencia reactiva tiene un signo diferente. Para cargas inductivas (maquinas giratorias, transformadores, etc.), si es negativo y generalmente se interpreta como el uso de potencia reactiva. Por otro lado, para cargas capacitivas, si es positivo para compensar la potencia reactiva adquirida por varios receptores industriales[14].

2.4.2.2 ¿LOS ARMÓNICOS AFECTAN AL FACTOR DE POTENCIA?

En el ítem anterior, vimos la ilustración gráfica de la potencia activa, reactiva y aparente a través del triángulo de potencia. De manera similar, la potencia en un sistema con armónicos se puede representar gráficamente con la ayuda de varios triángulos relacionados con cada ecuación desde la (20) a (23). La exhibición gráfica conjunta de todos estos produce la potencia tetraédrica que se aprecia en la Figura 25[14].

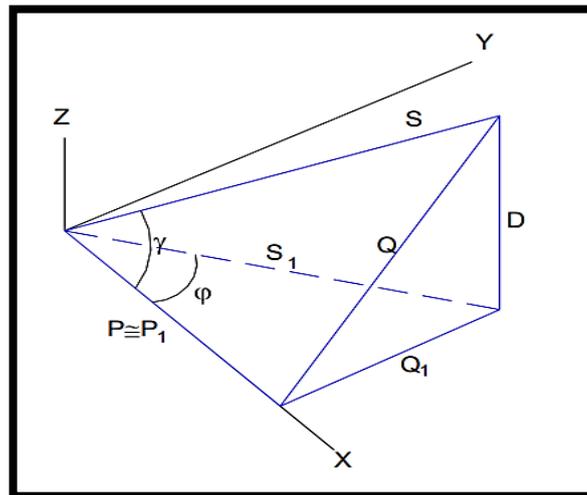


Figura 25 Triangulo de potencias
Fuente: [13]

Donde: D: Potencia de Distorsión.

De la Figura 25 se distingue cuatro triángulos:

- El de potencias fundamentales, P1, Q1, S1.

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad \text{Ecuación 20 Potencia fundamental}$$

- El de potencias fluctuantes, Q1, D, Q

$$Q^2 = Q_1^2 + D^2 \quad \text{Ecuación 21 Potencia fluctuante}$$

- El de potencias totales, S, P, Q.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{Ecuación 22 Potencia total}$$

- El de potencias aparentes, S, S1, D.

$$S^2 = S_1^2 + D^2 \quad \text{Ecuación 23 Potencia aparente}$$

En circuitos con armónicos, la correlación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente total (S) seguirá llamándose factor de potencia (FP). Tenga en cuenta que cuando hay una corriente armónica, FP no se asemeja con el coseno del ángulo ϕ formado por el componente fundamental. La relación en este caso es la siguiente[14]:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}} = \text{COS}\gamma \quad \text{Ecuación 24 Factor de potencia}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad \text{Ecuación 25 Coseno del ángulo}$$

Al comparar estas ecuaciones, se puede encontrar que el FP total es siempre inferior que el cos o FP del componente básico. Esto significa que para transferir la misma potencia activa (vatios) en el sistema armónico, es necesario ajustar el tamaño del equipo para incrementar la potencia aparente (en KVA)[14].

Análisis de las corrientes armónicas

Se sabe que la onda de corriente o tensión medida en cualquier punto de un servicio eléctrico se halla distorsionada, comparado a la onda sinusoidal que idealmente se debe presentar, afirmamos que se trata de una onda contenida con factores armónicas[15].

2.5 PERDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema nacional interconectado está compuesto por una cantidad de elementos que están relacionados entre sí; tal manera que al cambiar cualquiera de sus elementos se verá afectado al conjunto de todo el sistema, en podemos encontrar las consecuencias e influencias por las cuales se generan pérdidas en un sistema eléctrico[13].



Figura 26 Diagrama de pérdidas de potencia

Fuente: [13]

Para diferenciar los tipos de pérdidas de energía eléctrica hay que detallar los tipos de cargas:

2.5.1 CARGAS RESISTIVAS

En este tipo de cargas la tensión y la corriente se encuentran en fase por lo que se tiene un FP igual a uno, por lo general las lámparas incandescentes, calefactores, resistencias de carbón son ejemplos de cargas resistivas[16].

La principal característica de este tipo de carga es que los ángulos de fases entre los voltajes y corrientes es nulo, como se muestra en la figura 27.

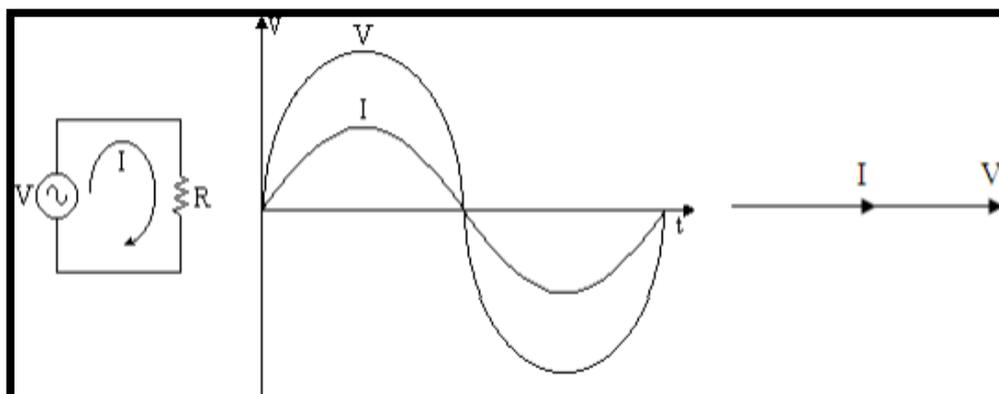


Figura 27 Onda de voltaje y corriente de carga resistiva.

Fuente: [16]

2.5.2 CARGAS CAPACITIVAS

En una carga capacitiva (como un capacitor), la carga puede albergar energía en el estado de campo eléctrico, por lo que la corriente conduce al voltaje, por lo que hay un cambio de fase positivo, como se aprecia en la Figura 28[16].

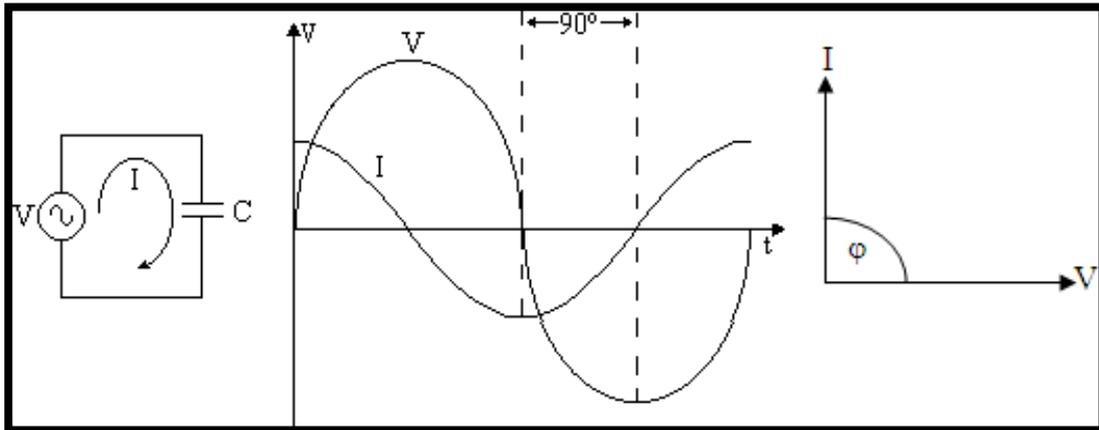


Figura 28 Onda de voltaje y corriente de carga capacitiva
Fuente: [16].

2.5.3 CARGAS INDUCTIVAS

Principalmente ejemplos de cargas inductivas, tenemos motores y transformadores, las características principales de esta clase de carga es que la corriente va por detrás de la tensión, es decir, el desfase negativo es (-90). En este caso, el factor de potencia se retrasará, consulte la Figura 29[16].

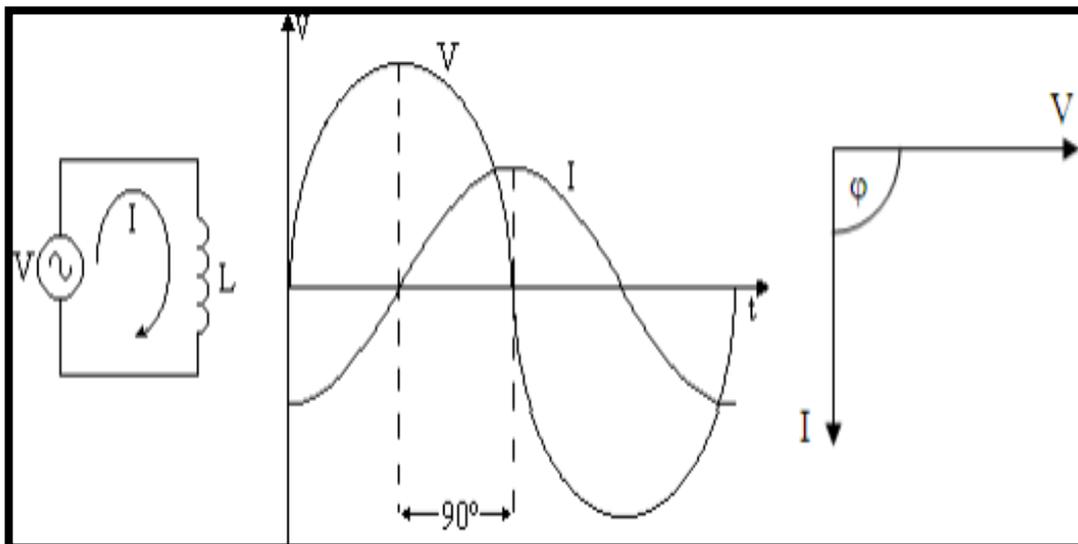


Figura 29 Onda de voltaje y corriente de carga inductiva
Fuente: [16].

2.5.4 PÉRDIDAS TÉCNICAS

Estas pérdidas se generan por la energía adquirida por los equipos agrupados en la generación, transmisión, subtransmisión y distribución, en pocas palabras es la energía no facturada del suministro eléctrico. Es un espejo de la ingeniería implementada en las instalaciones eléctricas, dependen esencialmente de la estructura, operación y mantenimiento del sistema eléctrico. La mayor concentración de pérdidas técnicas se refleja en la transmisión por parte de los transformadores, conductores y otros equipos del sistema de distribución eléctrica[13].

2.5.5 PÉRDIDAS NO TÉCNICAS

Este tipo de pérdidas son directamente relacionadas con la sociedad, ya que los instrumentos de medición se ven afectados por manipulación del equipo. Es lo que obtenemos después de utilizar ilegalmente la energía, transformándose en pérdidas económicas para la institución distribuidora, usualmente se las denomina “pérdidas negras” y están compuestas por[13]:

- Pérdidas sociales por robo de electricidad[13].
- Pérdidas comerciales, las cuales son causadas por la alteración de los dispositivos de medición y la alteración ilegal de las conexiones externas instaladas en los equipos de distribución de energía[13].

2.6 NORMAS Y REGULACIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA

Una norma es un documento consensuado y aprobado por una institución reconocida, el documento establece reglas y pautas o características comunes y reutilizables para determinadas actividades o sus resultados con el fin de lograr el mejor grado de orden en un contexto determinado[17].

El servicio eléctrico, como cualquier otro producto, debe cumplir ciertos estándares de calidad que aseguren la conformidad del cliente. Estos niveles de calidad se encuentran normados por organizaciones internacionales, los cuales son acogidos y reformulados por cada país o región[13].

Las normativas tomadas en cuenta para este estudio son:

2.6.1 NORMALIZACIÓN IEC- COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

La IEC agrupa los estándares referentes a “Compatibilidad Electromagnética” en las siguientes categorías[13]:

2.6.1.1 NORMA IEC 6100032

Esta norma indica los límites que deben tener las corrientes armónicas, para equipo que sean menor o igual a 16 amperios de entrada por cada fase[13].

Orden armónico	Corriente (A)
Armónicos Impares	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq h \leq 39$	$0.25/h$
Armónicos Pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq h \leq 40$	$1.84/h$

Tabla 3 Límites de corrientes según su armónico

Fuente: [13].

2.6.1.2 NORMA IEC 6100025

IEC 6100025 establece la compatibilidad con interferencias a nivel industrial y también es aplicable a sistemas de distribución de baja o media tensión de 50 y 60 Hz. Las características definidas por el estándar son: amplitud, frecuencia, forma de onda y balance de fase. Para implementar este estándar, se deben considerar diferentes dispositivos y sus características[13].

Clase 1: Se describe a equipos que son muy sensibles a las interferencias de energía.

Clase 2: Se trata de puntos de conexión públicos y puntos de conexión interiores en un entorno industrial.

Clase 3: Este tipo es adecuado para la alimentación proporcionada por convertidores de frecuencia, máquinas de alto consumo energético o máquinas giratorias grandes que se ponen en marcha con frecuencia.

2.6.1.3 NORMA IEC 61000430

Define cómo medir los factores de calidad energética y cómo descifrar los resultados. Además, define claramente el ancho de banda, la precisión y el conjunto mínimo de parámetros. El propósito es hacer que las conjeturas ya no requieran una selección precisa de instrumentos para el estudio de la calidad de la energía[13].

Los parámetros que se incluyen son los siguientes:

- Frecuencia de la tensión de alimentación[13].
- El tamaño de la tensión suministrada [13].
- “Flicker” (parpadeo de tensión) [13].
- Armónicos e interarmónicos[13].
- Fluctuación del voltaje de la fuente de alimentación[13].
- Interrupciones en la tensión suministrada[13].
- Desequilibrios en la tensión suministrada[13].
- Transmisión de señales a través de la alimentación[13].
- Cambios rápidos en la tensión suministrada[13].

El equipo que cumple con todo el estándar se clasifica como Clase A. Si existen requisitos que no cumplen los requisitos o cumplen otras condiciones, se clasifican en la categoría B [13].

2.6.1.4 NORMA IEC 5552

Esta norma estipula los requisitos de armónicos que se debe ejecutar en todos los dispositivos que consuman menos de 16amp por fase en una red de 220 V a 415 V. La norma establece un límite basado en el valor efectivo (RMS) de cada armónico. Valor, entre el valor máximo efectivo y el valor máximo[13].

2.6.2 NORMALIZACIÓN AMERICANA IEEE - INSTITUTO DE INGENIEROS EN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICOS (IEEE).

La estandarización de la calidad energética en los Estados Unidos se basa en "Prácticas recomendadas" y "Pautas de aplicación", las más importantes de las cuales son las siguientes[18]:

2.6.2.1 ESTÁNDAR IEEE 1159

Puntualiza siete eventualidades electromagnéticas en las redes eléctricas: transitorio, cambio a corto plazo, cambio a largo plazo, desequilibrio de voltaje, distorsión, forma de onda, fluctuación de voltaje y cambio de frecuencia. Según su duración, cada tipo de fenómeno (SAG, SWELL) se clasifica en transitorio, transitorio o temporal[13].

Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
Variaciones de corta duración.		
Instantáneo		
Hueco	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 p.u
Salto de tensión	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 p.u
Momentáneo		
Interrupción	0.5 ciclos – 3 segundos	< 0.1 p.u
Hueco	30 ciclos – 3 segundos	0.1 - 0.9 p.u
Salto de tensión	30 ciclos – 3 segundos	1.1 – 1.4 p.u
Variaciones de larga duración		
Interrupción	> 1 min	0.0 p.u
Subtensión	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u
Sobretensión	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u

Tabla 4 Límites de 7 fenómenos eléctricos

Fuente: [13].

2.6.2.2 ESTÁNDAR IEEE 519

La norma no solo se refiere a la magnitud total de armónicos causados por la fuente, sino también a la cantidad de los armónicos en relación con la red de suministro de energía[13].

Es obligatorio resolver este tipo de problemas con lo que respecta a los armónicos ya que por tal motivo se evita fallos transitorios en los equipos, el tamaño del sistema de energía se define por el tamaño de la corriente de cortocircuito ISC al PCC. Estas dos corrientes definen el tiristor[13]:

$$Scr = \frac{Isc}{Il} \quad \text{Ecuación 26 } Scr$$

Donde:

ISC: corriente de circuito

IL: corriente de carga

Una relación superior significa que la carga es respectivamente inferior y el límite aplicable será menos estricto que el límite aplicado cuando la relación es menor. Esto se puede ver en la Tabla 5. Según el valor SCR y el orden de los armónicos, se recomienda el nivel máximo de distorsión armónica. La tabla también determina el nivel total de distorsión armónica. Todos los valores de alteración de corriente se basan en la corriente de carga máxima (demanda) dada. La variación total se refiere a la distorsión total de la demanda (TDD), en lugar del término más común THD. La Tabla 5 enumera el límite de corriente de un solo componente armónico y la distorsión armónica total. Por ejemplo, el límite recomendado para TDD para usuarios con SCR entre 50 y 100 es 12.0%, y para un solo componente armónico impar con un orden de magnitud menor que 11, el límite es 10%. Es de vital importancia notar que los componentes individuales de las corrientes armónicas no se añaden directamente para que todo el armónico característico no pueda estar a su límite máximo individual sin exceder el TDD límites en la distorsión de la corriente, ver tabla 5. Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un Es importante tener en cuenta que los diversos componentes de la corriente armónica no se sumarán directamente, por lo que todo el armónico

característico no puede estar en su valor máximo sin exceder el límite TDD de distorsión de corriente, consulte la Tabla 5. Una hora. En un período de tiempo más corto, el límite aumentó en un 50% [13].

Límites de corriente armónica para carga no lineal en el punto común de acoplamiento con otras caras, para voltajes entre 120 – 69000 voltios.						
Máxima distorsión impar de la corriente, en % del armónico fundamental						
ISC/IL	< 11	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	TDD
< 20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 5 Límites de corriente armónicas
Fuente: [13].

Las pautas de la compañía eléctrica consisten en la segunda agrupación de estándares establecidos por IEEE 519, que tratan sobre la limitación de la variación de tensión. Estos controlan la cantidad aceptable de alteración de voltaje que la empresa de servicios públicos entrega en el PCC del usuario. Las restricciones de voltaje de armónicos aconsejables se basan en niveles lo suficientemente inferiores como para garantizar que el dispositivo del usuario pueda funcionar satisfactoriamente. La Tabla 6 indica los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo con IEEE 519 (para condiciones que duran más de una hora. Cuanto más corto sea el tiempo, el límite aumentará en un 50%)[13].

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de tensión (%)	Distorsión total de voltaje THD (%)
Hasta 69 kV	3.0	5.0
De 69 kV a 137.9 kV	1.5	2.5
138 kV y más	1.0	1.5

Nota: Cuando la causa es un voltaje alto del terminal de CC, la distorsión armónica total del sistema de alto voltaje puede aumentar en un 2%, lo que puede atenuarse.

Tabla 6 Limite de THD en Alta tensión
Fuente: [13].

Generalmente, los límites de distorsión total y de componente único se imponen sobre la combinación de todos los voltajes armónicos (THD). Sin embargo, la diferencia en esta tabla se indica tres límites desiguales. Representan tres tipos de voltaje. Hasta 69 KV, de 69 a 161 KV y superior a 161 KV. A medida que aumenta el voltaje, el límite de distorsión disminuye y el límite de corriente disminuye[13].

2.6.3 NORMA EN 50160

Esta norma describe el estado de la fuente de alimentación desde la perspectiva de la entrega del cliente, así como las principales características de la tensión proporcionada por las alimentadoras de baja y media tensión en estado normal de funcionamiento. Declaró en su documento original: “Esta norma establece los límites o valores de las características de voltaje que cada cliente tiene derecho a aguardar, en lugar de los típicos valores en las redes de distribución general”[13].

El estándar especifica amplitud de voltaje, frecuencia de voltaje nominal, cambios rápidos de voltaje, caídas de voltaje, interrupciones a corto y largo plazo, sobretensiones temporales y transitorias, desequilibrios de voltaje, transmisión de señales de red y protocolos de medición[13].

Cabe señalar que la norma EN50160 se aplica en condiciones normales de funcionamiento e añade una serie de operaciones que no son aplicables a límites por eventos externos en el sistema eléctrico[13].

Evento en la tensión de suministro	Magnitud	Duración
SAG	90% < 1%	10 ms < 1 minuto
Baja de tensión	90% < 1%	> 1 minuto
Interrupción de suministro	< 1%	< 3 minutos (breve)
		> 3 minutos (larga)
Sobretensión temporal	> 110%	Relativamente larga
Sobretensión transitoria	> 110%	Algunos milisegundos

Tabla 7 LÍMITES SEGÚN NORMA EN 50160

Fuente: [13].

2.7 LAB VIEW

LabVIEW es una plataforma de desarrollo gráfico con funciones incorporadas para la obtención de datos, análisis de medidas, control de instrumentos y presentación de datos. LabVIEW es un lenguaje poderoso en un entorno de programación gráfica, pero es mucho más simple que un entorno tradicional[19].

El lenguaje desarrollado para medición, control y automatización es diferente al lenguaje general LabVIEW tiene funciones específicas para agilizar el desarrollo de aplicaciones de control, medición y automatización[19].

2.7.1 FÁCIL INTEGRACIÓN CON INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS DE MEDIDA

LabVIEW se puede conectar sin problemas a todo tipo de hardware, incluidos instrumentos, tarjetas de adquisición, controladores lógicos programables (PLC)[19].

2.7.2 LABVIEW PARA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

Puede utilizarse LabVIEW para analizar y registrar resultados reales para aplicaciones en amplios sectores orientados a la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, biomédica, etc[19].

2.7.3 LABVIEW PARA CONTROL DE PROCESOS Y AUTOMATIZACIÓN EN FÁBRICAS

LabVIEW se puede utilizar en muchas aplicaciones de automatización y control de procesos para realizar mediciones y control multicanal de alta velocidad[19].

2.8 PLANOS ELÉCTRICOS

Los planos eléctricos son de vital importancia para los ingenieros o personal encargado de realizar cualquier acción, puede ser mantenimientos, extensiones de los circuitos o incluso realizar reparaciones de todo el sistema. En los planos se detalla dónde están ubicados cada uno de los elementos y se especifica con que materiales se instalaron. Para la persona que interpreta estos planos es fundamental que se realicen con las simbologías y normas técnicas ya que esto evitara equivocaciones[20].

El sistema de planos de AutoCAD está formado por los siguientes componentes[21]:

- Plano: un plano es un diseño de espacio de papel registrado como un plan. Una hoja de papel puede contener una o más vistas[21].
- Vista de plano: Es una ventana de espacio papel creada al arrastrar y soltar la vista del espacio modelo en el navegador del proyecto sobre el papel[21].
- Conjunto de planos: Es el conjunto de hojas de trabajo, las hojas de trabajo están organizadas en subconjuntos[21].
- Dibujo de plano: Un plano de planta es un archivo gráfico que contiene uno o más planos de planta[21].

En la unidad educativa salesiana Cristóbal Colón se ha realizado una actualización de los planos en los años 2009 pero desde esa fecha hasta la actualidad el colegio ha tenido varias remodelaciones y un aumento considerable en su infraestructura por otra parte los planos se han extraviado y por la desactualización no se realizó un respaldo de manera digital[20].

2.8.1 ¿QUÉ CONTIENE LOS PLANOS ELECTRICOS?

Para poder realizar un plano eléctrico se debe contar con un plano arquitectónico de la planta baja y si es una edificación de varios pisos también cada uno de los niveles, dentro de ello se debe detallar símbolos de puertas, muros, ventanas, pilares, etc.[20].

Luego de adquirir el plano arquitectónico se debe dibujar sobre ello todos los símbolos de los equipos que necesitamos instalar dentro de la edificación para ello debemos detallar en una tabla cada uno de estos símbolos eléctricos normalizados, estos son algunos de los elementos principales que se deben dibujar tableros, transformadores, tableros de medidores, luminarias, tomacorrientes, cargas especiales, etc[20].

Debemos dibujar la distribución de los circuitos desde el tablero, incluir la fase a la cual se está conectando y colocar un nombre al circuito para el reconocimiento de forma rápida[20].

Adicional debemos detallar el tipo de cable y cantidad de conductores que se van a instalar por todo el plano del proyecto, y al mismo tiempo el tubo por el cual se ubicara el conductor[20].

Para poder presentar un plano se debe colocar una tabla o fichero donde contenga nombre y firma del ingeniero encargado de realizar el dibujo o proyecto, ubicación de la obra, escala del plano y fecha, como parte no tan esencial podemos colocar una imagen de la empresa o sello. Debemos tener en cuenta todas estas disposiciones al momento de realizar un plano eléctrico y como observación final deben utilizar un color estándar para el plano arquitectónico que es el gris 253, y para los elementos eléctricos, conexiones y simbologías se debe colocar un color diferente[20].

2.8.2 NORMAS DE LOS PLANOS ELÉCTRICOS

- Los símbolos eléctricos se deben dibujar sobre el plano arquitectónico donde podemos evidenciar la localización y el tipo de equipo instalado[20].
- Colocar la cantidad de luminarias y el tipo de instalación área, de pared o al ras de piso[20].
- Los interruptores de control se deben colocar en el lado opuesto del sentido de apertura de la puerta y con una separación de 10 a 20 cm con una altura de 1.5 mts[20].
- Los conductores se deben colocar de acuerdo al nivel de carga instalada y tomando en cuenta el conductor que indique la tabla de capacidades[20].
- La especificación del conductor del área residencial de dos cables no debe ser menor que # 8[20].
- Para el calibre del neutro en instalaciones residenciales bifilares debe ser igual al número de sección utilizado en las fases[20].
- El cuadro de distribución principal debe estar ubicado en el edificio y debe estar ubicado en un área de fácil acceso. Para los circuitos derivados, debemos especificar el nivel del polo y el nivel de amperaje (1p-20Amp)[20].

- En las instalaciones residenciales no debemos sobrepasar la conexión de 10 elementos en un solo circuito, no debemos superar los 15 amp[20].
- Los tomacorrientes deben tener una separación de 3mts en las siguientes zonas: Salas, comedores, dormitorios, o vestíbulo[20].
- Las tuberías deben colocarse con líneas entrecortadas si su trayectoria es enterrada en el suelo, y con líneas continuas si es aérea[20].
- En las instalaciones residenciales el conductor mínimo para la iluminación es N° 14 y para los tomacorrientes N° 12[20].
- Para la instalación de luminarias en escaleras se debe colocar en el techo o de pared y los interruptores de control deben instalarse al inicio y el fin[20].
- Los tomacorrientes de tipo carga especial se deben colocar a una altura mayor a los 2mts[20].

2.9 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Se desarrollan un plan de mantenimiento correctivo y un plan preventivo para inspecciones periódicas. El correcto mantenimiento de los equipos eléctricos incluye la implementación de intervenciones planificadas periódicamente para evitar y reducir el número de fallas que puedan sufrir los equipos eléctricos, y para asegurar la protección de los equipos y trabajadores. Este mantenimiento debe ser realizado por personal calificado y competente asignado para realizar este trabajo[22].

El trabajo que se realiza suele ser principalmente de limpieza, y suele realizarse cada dos años, salvo avería o accidente, y con la frecuencia más conveniente. En la placa actual, apriete los tornillos, verifique la presencia y el estado de las partes vivas expuestas y las señales de registro electrónico; también asegúrese de que la conexión a ground[22].

El cableado de los dispositivos eléctricos también requiere este tipo de mantenimiento, por lo que verifique el estado y presencia de tuberías y accesorios, controle el desgaste en los cables, verifique los terminales de conexión y registre la carga de cada línea. Verificar el tamaño y el uso efectivo de la instalación. También hay que ajustar el equipo de iluminación, así se ajusta

la lámpara, se controla la fijación del tubo fluorescente y se desmonta para su limpieza y ajustes periódicos[22].

Los defectos que pueden aparecer en el transformador pueden ser: deterioro del aceite de aislamiento, falla de accesorios, defecto de bobinado, conexión floja, sobretensión o sobrecarga[23]

Un buen mantenimiento correctivo garantizará que no se produzcan disputas de ningún tipo en el edificio, asegurando así que todo se lleve a cabo con normalidad, y tomando las medidas oportunas y preventivas para que su casa o negocio cumpla con los requisitos de normativa y expectativas. Hospedarse. Para que todo funcione correctamente, todos los puntos escritos en el plan de mantenimiento deben ser considerados en las acciones correctivas y preventivas[23].

2.9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como sugiere su nombre, el mantenimiento preventivo está diseñado para utilizar una serie de datos sobre diferentes sistemas, subsistemas e incluso partes para predecir y predecir fallas de máquinas y equipos. Bajo esta premisa, se debe utilizar la frecuencia de calendario o equipo al diseñar el programa para llevar a cabo cambios de aceite de motor, cambios de componentes, reparaciones, cambios de piezas, ajustes y lubricantes, etc. para maquinaria, equipos e instalaciones. Evitar el fracaso es fundamental. Es importante redactar la organización del diseño, incluidos los componentes de protección, confiabilidad y mantenibilidad, así como planes para mejorar las capacidades de gestión de varios niveles organizacionales y empleados, independientemente de su ubicación geográfica, y determinar compromisos para garantizar el cumplimiento[24].

El mantenimiento preventivo se centra en acciones tales como: sustitución, adecuación, reparación, inspección, evaluación, etc. Realizado en un cierto período de tiempo por calendario o utilizando equipo. (Indicación de tiempo)[24].

Beneficios.

Debe planificar los beneficios del mantenimiento preventivo, los más relevantes son los siguientes.

- Reducir averías y tiempos muertos (incrementar la disponibilidad de equipos e instalaciones). Obviamente, si tiene que lidiar con muchas fallas, puede dedicar menos tiempo al mantenimiento regular y utilizará un costoso mantenimiento pasivo porque es un mantenimiento de "extintor de incendios"[24].
- Prolongar la vida útil de equipos e instalaciones. Mantener el equipo correctamente ayudará a prolongar su vida útil en los equipos. Sin embargo, esto requiere que todos participen en la implementación y seguimiento fiel de las prioridades inevitables del plan[24].
- Mejorar la utilización de recursos. Al realizar trabajos con alta calidad y ejecutar fielmente los procedimientos. El mantenimiento preventivo aumentará el uso de maquinaria, equipos e instalaciones, lo que está directamente relacionado con lo siguiente: el plan de mantenimiento preventivo completado. Qué se puede hacer y qué se debe hacer[24].

¿Cuándo llevar a cabo el mantenimiento preventivo?

Es mejor seguir las recomendaciones del fabricante. Sin embargo, se recomienda el mantenimiento preventivo para los siguientes equipos[25]:

- Tengan una función operativa crítica
- Tengan modos de falla que pueden prevenirse con mantenimiento regular.
- Se hayan usado por mucho tiempo.

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE ENERGÍA

3.1 CONCEPTO

El analizador de redes eléctricas es un equipo electrónico que nos ayuda a visualizar muy fácil en tiempo real y podremos registrar el desempeño de todo el sistema, puede realizar múltiples funciones como medir corriente continua, corriente alterna, voltajes DC, voltajes AC y la potencia. Otras operaciones que logra digitalizar el A.R.E son los armónicos, al finalizar el tiempo de medición transferimos los datos a nuestros pc y podemos generar un reporte de todo lo que se ha registrado[7]

3.2 ¿QUÉ VENTAJAS OBTENEMOS CON LOS ANALIZADORES DE REDES

- Detectar y prevenir consumos excesivos (kWh)
- Analice la curva de carga para ver dónde ocurre la máxima demanda de energía.
- Compruebe si es necesario instalar el banco de condensadores y su fuente de alimentación.
- Detectar fraude en el contador.
- Son una opción ideal para el mantenimiento regular del estado de la red en condiciones de baja y media tensión, visualizando la curva de arranque del motor, detectando posible saturación en los transformadores de potencia, fallo de tensión, mala calidad de la potencia, etc.
- Capaz de analizar los problemas en el servicio eléctrico, y resolver los problemas de disparos intempestivos, fugas diferenciales, calentamiento de cables, resonancia, armónicos, interferencias, parpadeos y desequilibrios de fase. Al mismo tiempo, nos permite diseñar dimensiones adecuadas para filtros de armónicos activos o pasivos y variadores de velocidad.

3.3 FLUKE 434-II/435-II/437-II

3.3.1 PARTES DEL ANALIZADOR TRIFÁSICO DE ENERGÍA

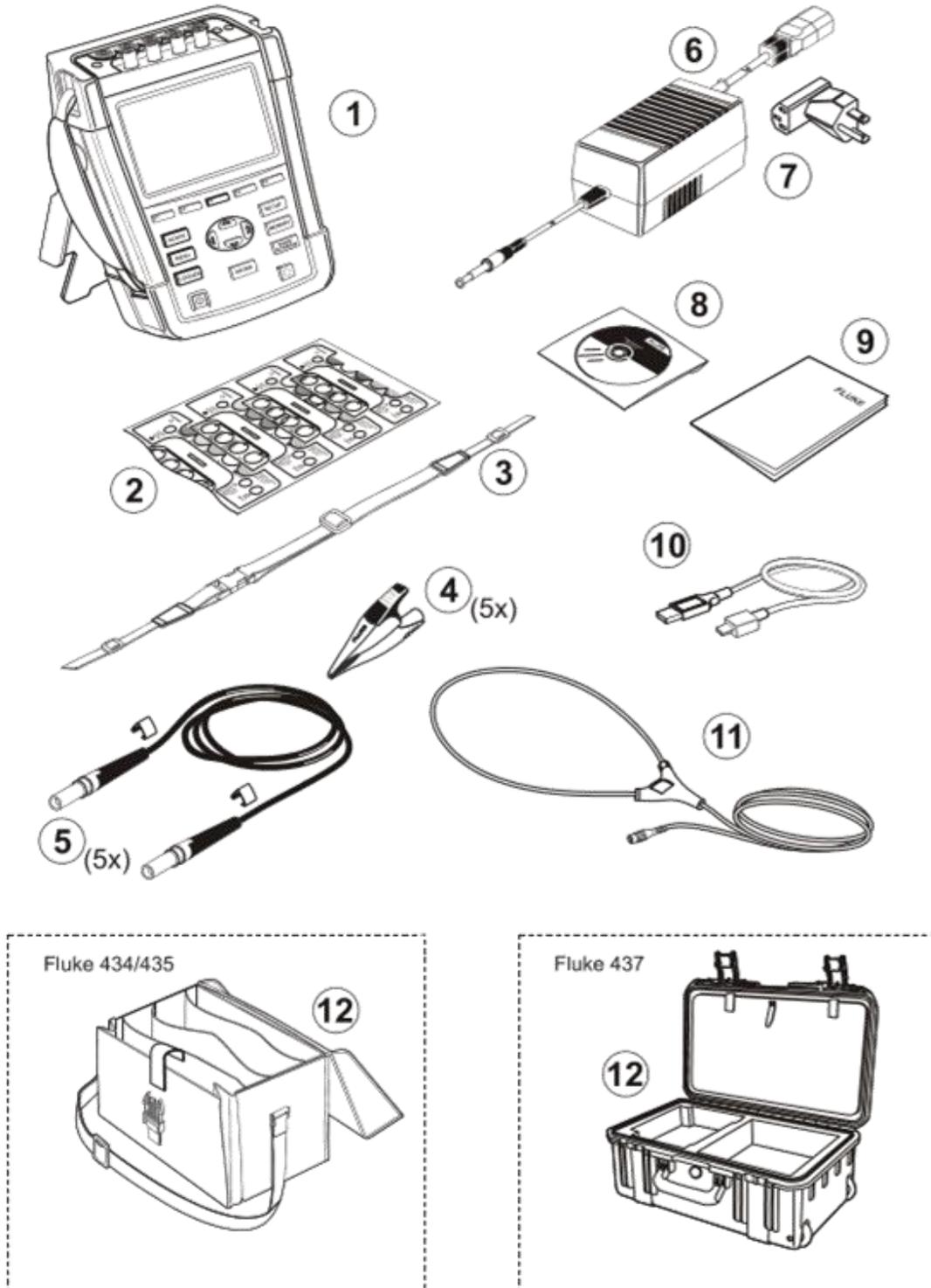


Figura 30 Partes del Analizador de energía
Fuente: Manual

N°	Descripción
1	Analizador Fluke 43x serie II más correa lateral, juego de baterías BP290(28Wh) y tarjeta de memoria SD de 8GB instalada y extraíble
2	Conjunto de etiquetas de toma de entrada
3	Correa
4	Juego de 5 pinzas de cocodrilo
5	Juego de 5 cable de prueba, 2.5 mts más pinzas codificada de colores
6	Adaptador de Red
7	Juego de adaptadores de enchufe de red
8	Manual de instrucciones de seguridad
9	CD-ROM con manuales, Software PowerLog y controladores USB
10	Cable de interfaz USB para conexiones al PC
11	Sonda de corriente de CA 6000 Amp flexible
12	Maletín o estuche de transporte

Tabla 8 Partes del analizador de red

Fuente: Autores

3.3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.3.2.1 BATERÍA Y TIEMPO DE CARGA.

El A.R. cuenta en su interior con una batería recargable de iones de litio, mientras está apagado el proceso de carga dura 4 horas a la vez que el proceso de descarga dura aproximadamente 7 horas. Es recomendable que cuando analicemos una instalación por tiempos prolongados dejemos conectado el analizador a la red eléctrica. Para ingresar a las descripciones de la batería dentro del A.R. nos desplazamos por las ventanas siguiendo estos pasos [7].

- Setup (F2)
- Versión y cal (F2)
- Bat. Info

En la parte posterior cuenta con una tapa extraíble que permite retirar y colocar la batería, como se muestra en las figuras 31-32 pero es preferible que no se la manipule tan seguido[7].



Figura 32 Batería interna
Fuente: autores



Figura 31 Tapa posterior
Fuente: autores

3.3.2.2 TARJETA DE MEMORIA SD

El A.R. tiene incorporado con una tarjeta extraíble SD de 8 GB que permite agendar 365 días de análisis, cuando el analizador se encuentra fuera de servicio podemos retirar la tarjeta y colocarla en nuestro pc para verificar los datos almacenados, Este método se lo puede aplicar en caso de que el cable de conexión se extravíe o pueda averiarse[7].

Puede apreciarse la ubicación de la tarjeta de memoria en la figura 32, cuenta con un espacio amplio para introducir las manos y retirar la memoria de forma sencilla y de la misma forma poder colocarla.

3.3.2.3 BOTONES PRINCIPALES



Figura 33 Botones principales del Analizador de red
Fuente: autores

Los botones F1 hasta el F5 cambian de función a medida que nos desplazamos por las ventanas

1. El botón SCOPE nos permite ubicarnos en la ventana de osciloscopio donde vemos el comportamiento senoidal y el diagrama fasorial del análisis en tiempo real[7].
2. El botón MENU nos permite ubicarnos en una ventana donde podemos seleccionar 1 sola forma de trabajo a la cual vamos a someter el analizador[7].
3. El botón LOGGER nos permite ubicarnos en una ventana donde programaremos el almacenamiento de datos, podemos modificar el tiempo que dura el análisis, los datos que necesitamos registrar, el tiempo en el cual se van guardando los datos, modificar el nombre del archivo y podemos observar cuanta memoria nos queda disponible[7].
4. El botón SETUP nos permite ubicarnos en una ventana la cual podremos visualizar las configuraciones de conexión a la cual estaremos enlazando el analizador y modificar los límites de tensión, corriente y frecuencia según el sistema eléctrico a estudiar[7].
5. El botón MEMORY nos permite ubicarnos en la ventana donde veremos todos los registros que se han guardado y captura de pantallas[7].
6. El botón SAVE SCREEN nos permite realizar una foto a la pantalla en la ventana que se encuentre ubicado[7].
7. El botón de enter sirve para seleccionar cualquier acción dentro de las pantallas y también nos ayuda a bloquear todas las operaciones del teclado inferior mientras está registrando datos, dando 2 veces seguidas clic al botón[7].
8. El botón de encender y apagar, al encenderse se oirá un pitido[7].
9. El botón de brillo se encarga de ajustar el nivel de luminosidad que emana el equipo.

3.3.2.4 INFORMACIÓN DE PANTALLAS

El A.R. cuenta con varias pantallas que facilita al operador poder observar los valores en tiempo real y nos ofrece la capacidad de visualizarlos mediante gráficas y tabla de datos. En la parte superior de la pantalla podemos visualizar el nombre de la ventana situada[7].



Figura 34 Pantalla multímetro
Fuente: autores

Pantalla de multímetro: Nos permite visualizar en tiempo real de forma general un gran número de valores numéricos de los parámetros seleccionados como observamos en la figura 34. Todos estos valores se visualizan y registran en la memoria[7].



Figura 35 Pantalla tendencia
Fuente: autores

Pantalla de tendencia: En esta pantalla podemos visualizar los datos registrados en forma de gráfica como observamos en la figura 35 y mientras se realiza el registro de los valores podemos observar el comportamiento de los parámetros seleccionados a guardar[7].

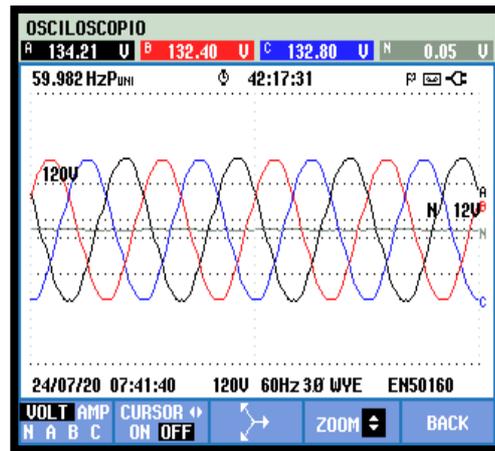


Figura 36 Pantalla osciloscopio

Fuente: autores

Pantalla de forma de onda: muestra las formas de onda sinusoidal de voltaje y corriente que aparecen en el osciloscopio, como se muestra en la Figura 36. Podemos incluir un cursor en la gráfica que nos permita movernos de izquierda a derecha[7].

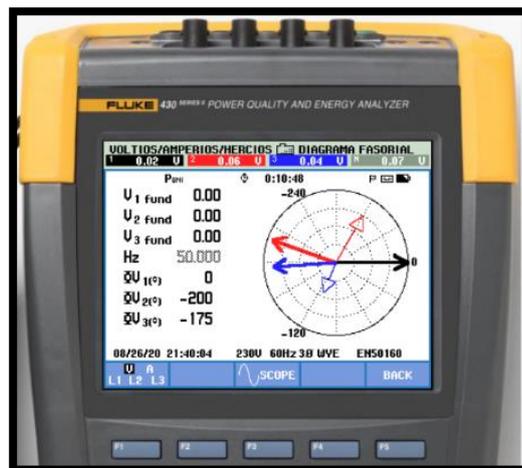


Figura 37 Pantalla Fasorial

Fuente: autores

Pantalla de fasor: muestra la relación de fase entre tensiones y corrientes en un diagrama de vectores y los valores de tensión Rms con su respectivo ángulo como observamos en la figura 37[7].

Cabe recalcar que en cada una de las pantallas los botones F1-F2-F3-F4-F5 tienen diferentes funciones e incluso algunos de ellos quedan sin servicio. En el instante que realicemos un análisis algunos botones principales del teclado inferior no tendrán servicio incluso si llegasen a presionarlos el analizador mostrara un mensaje que indica que el botón esta sin función directa.

3.3.3 CONEXIÓN DE ENTRADAS



Figura 38 Analizador de red en servicio
Fuente: autores

Para realizar las conexiones en las entradas del A.R. como se muestra en la figura 38 debemos tomar en cuenta estas especificaciones.

- El analizador tiene una pantalla que nos muestra varias alternativas de conexión, que nos facilita a saber el cómo conectar todas las entradas, como se muestra en la figura 39.

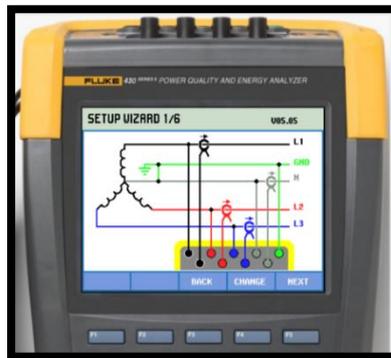


Figura 39 Conexiones del analizador
Fuente: autores

- Realizar la desenergización del tablero donde se colocará el analizador



Figura 40 Desconexión del servicio eléctrico
Fuente: autores

- Separar los cables y colocamos su pinza de colores pertinente para la identificación visual como se ilustra en la figura 41.



Figura 41 Cables de conexiones

Fuente: autores

- Colocar los cables de medición de corriente, tenemos que asegurarnos que la flecha guía siga el sentido del tablero a la carga como se muestra en la figura 42.



Figura 42 Cables de conexión de corriente

Fuente: autores

- Colocar los cables con las pinzas en las barras de voltaje como se observa en la figura 43.

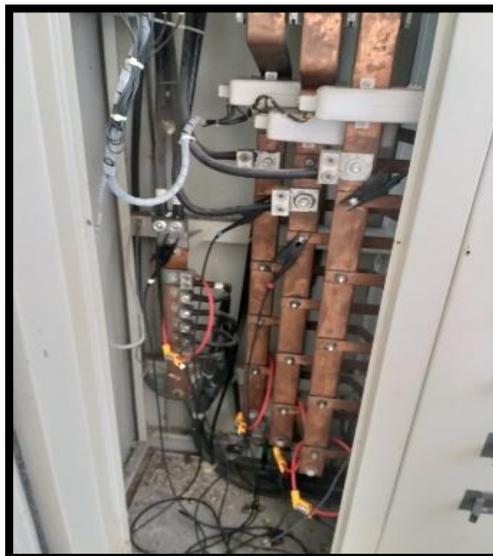


Figura 43 Conexión a barras de distribución

Fuente: autores

- Si realizaremos varios días de registro de datos, debemos conectar el analizador a la red eléctrica mediante el cargador como se presenta en la figura 44.



Figura 44 Conexión del analizador de red a una fuente de energía

Fuente: autores

- Programamos los valores a registrarse y procedemos a darle inicio al analizador como se ilustra en la figura 45.



Figura 45 Iniciar registro de datos

Fuente: autores

CÁPITULO 4 DESARROLLO DEL TEMA

4.1 ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANOS ELÉCTRICOS EN EL COLEGIO CRÍSTOBAL COLÓN

Para la elaboración de los planos eléctricos del colegio contamos con la ayuda del programa AutoCAD en el cual quedará como registro digital para su revisión y si necesitan realizar algunas nuevas remodelaciones en el futuro podrán agregarlas fácilmente, para la elaboración del plano se realizaron las mediciones a todo el colegio que tiene un área aproximada de 12478.85 mts. Cuenta las actualizaciones que se llevaron a cabo en el año 2009.

Panta baja del colegio vista desde la parte superior

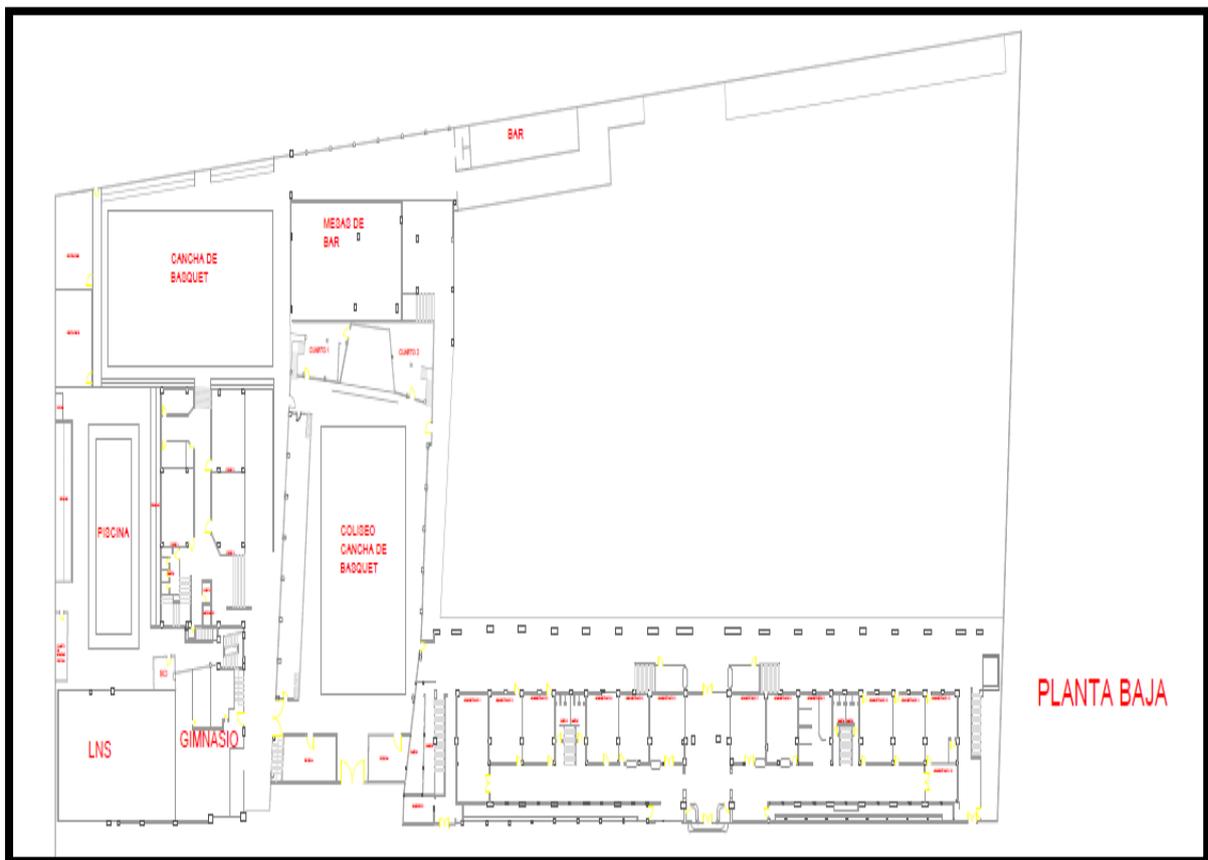


Figura 46 Planta baja arquitectónica

Fuente: autores

Para poder obtener el plano que vemos en la figura 46, realizamos las mediciones correspondientes de todas las áreas del colegio, dibujando un nuevo plano con medidas a escala real y la aplicación de las normas del capítulo 2.8.2.

En la planta baja contamos con los departamentos administrativos del colegio el cual contiene gran número de equipos de cómputo y cada uno posee su respectivo ac. Cabe recalcar que esta área administrativa demanda más consumo energético en los horarios de 09:00 am hasta 16:00.

4.1.1 AMPLIACIÓN DE SALA MAGNA Y PASTORAL

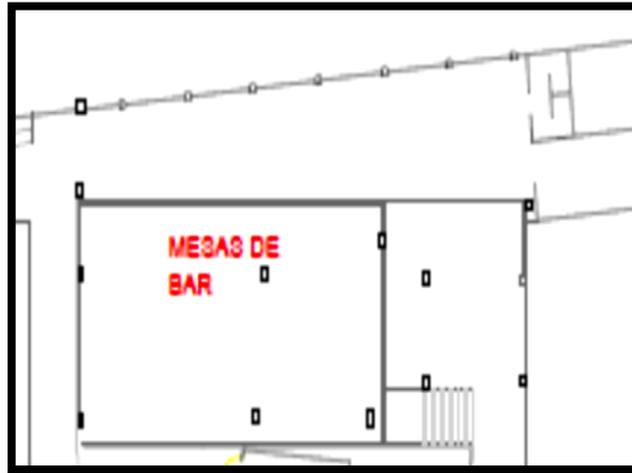


Figura 47 Patios de comidas

Fuente: autores



Figura 48 Sala magna y pastoral

Fuente: autores

Esta sala magna y el cuarto de pastoral como se muestra en las figuras 47-48 son una de las nuevas extensiones que se implementaron en los últimos años dentro del colegio y está ubicada en la parte superior de donde se colocan las mesas del bar, en este sitio cuentan con una central de aire para abastecer el nivel de climatización de toda la sala y en el departamento de pastoral cuentan con un gran número de equipos de cómputos. El Dep. Pastoral realiza consumo de

energía desde las 09:00 am hasta las 15:00 pm mientras que la sala magna realiza consumo eventualmente.

4.1.2 AMPLIACIÓN DE GIMNASIO



Figura 49 Gimnasio Primer piso

Fuente: autores



Figura 50 Gimnasio

Fuente: autores

El gimnasio cuenta con 1 piso superior y lo podemos observar en las figuras 49-50, se encuentra ubicado a lado del edificio de aprendizaje infantil y es una de las nuevas extensiones dentro del colegio, contiene maquinas caminadoras de 220v y aires acondicionado para mantener el área

con un clima agradable, realizan un gran consumo de energía desde las 12:00 am hasta las 18:00 pm.

4.1.3 AMPLIACIÓN DE EDIFICIO INFANTIL



Figura 51 Parqueadero Subterráneo

Fuente: autores

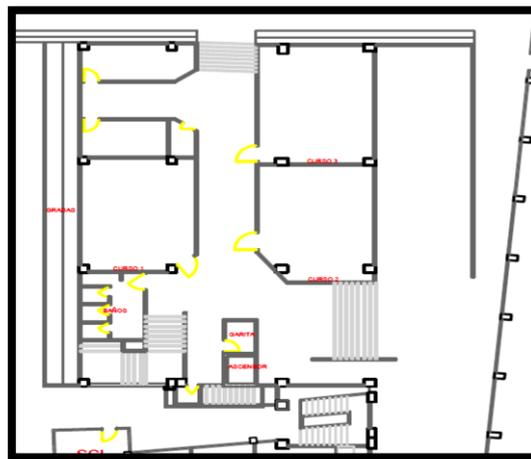


Figura 52 Edificio infantil PB.

Fuente: autores

El parqueadero subterráneo está ubicado debajo de la planta baja del nuevo edificio infantil y podremos observarlo en las figuras 51-52, fue inaugurado en el 2009 y hasta el día de hoy acoge a niños de 3 hasta 4 años para el aprendizaje temprano, este edificio es una de las nuevas extensiones y una de las más utilizadas por el colegio, consumen gran cantidad de energía desde las 09:00 am hasta las 14:00pm.

4.1.4 SIMBOLOGIAS ELÉCTRICAS UTILIZADA

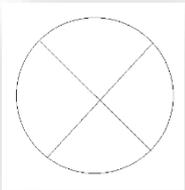
IMAGEN	DESCRIPCIÓN
	Lampara fluorescente de 2 tubos de 60w-120v
	Lampara incandescente 120w-240v
	Lampara fluorescente de 2 focos de 60w-120v
	Lampara fluorescente de 3 tubos de 60w-120v
	Foco de 60w-120v

Tabla 9 Simbología Eléctrica
Fuente: autores

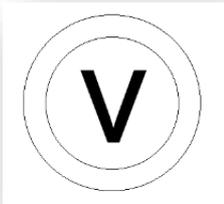
	<p>Interruptor de control sencillo</p>
	<p>Interruptor de control sencillo</p>
	<p>Interruptor de triple sencillo</p>
	<p>Interruptor de control conmutado</p>
	<p>Ventilador 120v</p>
	<p>Variador de velocidades para ventilador</p>

Tabla 10 Simbología Eléctrica
Fuente: autores

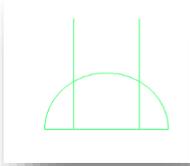
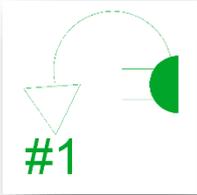
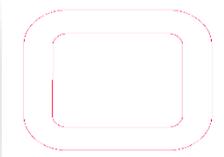
	Tomacorrientes de 120v
	Tomacorrientes de 240v
	Conexión de circuitos
	Electrocanal
	Tablero de distribución monofásico
	Condensadores

Tabla 11 Simbología Eléctrica
Fuente: autores

4.1.4.1 IMÁGENES DE LOS PLANOS ELÉTRICOS 2020

En nuestra actualización de los planos eléctricos debemos resaltar las grandes cantidades de luminarias que contiene el colegio, son luminarias de tipo fluorescente. En nuestros planos eléctricos utilizamos las simbologías eléctricas de la Tabla 9, para obtener todos los circuitos actualizados del colegio realizamos una desconexión temporal de los disyuntores de cada piso para la verificación del circuito, durante 7 días realizamos el levantamiento de la red eléctrica de la institución, posteriormente se dibujó cada circuito dentro de los planos arquitectónicos actualizados.

En el coliseo del colegio todavía se utilizan luminarias de 220v de tipo incandescente, también resaltamos que la institución cuenta con 2 ascensores, para facilitar el acceso a cada piso superior a los estudiantes y personas con discapacidad.

Resaltamos que el uso de mayor cantidad de energía se produce en la PB del colegio, donde mantienen grandes equipos de oficina, y gran parte de aires acondicionados para la climatización de cada área. En la figura 53.

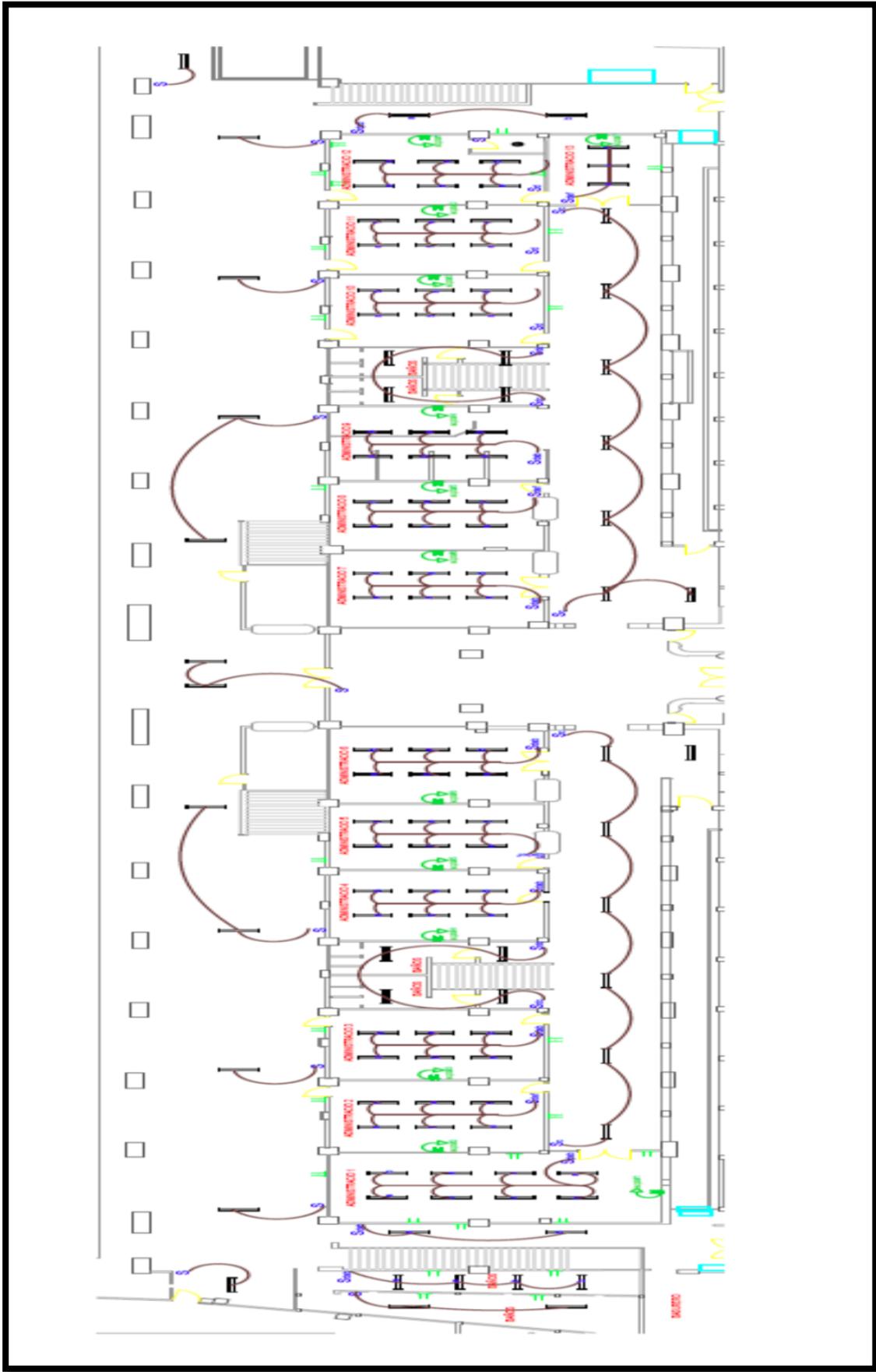


Figura 53 Esquema eléctrico Planta baja del colegio
Fuente: autores

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADO

En nuestro análisis efectuado en el colegio Cristóbal Colón hemos adquirido en 7 días los datos necesarios para efectuar un reporte y visualizar el comportamiento real de la instalación eléctrica, los datos se comenzaron a censar desde el día 22/07/2020 hasta 29/07/2020. Por lo ocurrido a nivel mundial Ecuador se acogió a la disposición del COE nacional que dictaminó mantener cuarentena durante 7 meses, los mismos días que el colegio no acepto la intervención de nadie en sus instalaciones, pero obtuvimos los permisos correspondientes para realizar nuestro proyecto de tesis solo el tiempo ya mencionado, durante este lapso se encendió en el colegio todas las cargas importantes, cada día alrededor de 7 horas, las cuales fueron necesarios para nuestro estudio y el análisis del servicio eléctrico que mantiene muchas fluctuaciones. Durante este tiempo se produjeron diferentes eventos los cuales reflejaron que el establecimiento tiene algunas falencias en la red eléctrica que deben de ser corregidas para el bienestar de los usuarios restablecer una gran eficiencia.

Al realizar un estudio de la calidad energética se evalúa el comportamiento del sistema cuando se encuentran en pleno uso de todos los equipos instalados y que tienen cierto uso de energía, analizando cuanto es su consumo y que efectos generan. Realizaremos una comparación; cuando se realiza una auditoria en una empresa se reflejan los gastos de su capital, en la rama de la ingeniería eléctrica se realiza una auditoria energética para constatar cómo se consume la energía, es decir:

- En qué nivel y estado la energía ingresa en la instalación.
- A qué hora del día se realizan los picos más altos de energía.
- Si existe diferencia entre el gasto que factura la empresa de distribución y el consumo real.

Pasos seguidos para realizar el análisis de la calidad energética en el Colegio Salesiano Cristóbal Colón:

- 1. Establecer una reunión con el rector y el jefe de mantenimiento del colegio:** Establecer los límites del proyecto y el compromiso por parte de los encargados de realizar el análisis.
- 2. Establecer la delimitación del análisis:** Definir como están los niveles de tensión y corriente del sistema eléctrico y el nivel de armónicos que contiene, realizar las recomendaciones y acciones necesarias que deben seguir.
- 3. Analizar la calidad de energía:** Organizar los datos censados y mostrarlos de forma entendible y resumida el nivel que mantiene su sistema eléctrico.
- 4. Evaluar los beneficios:** Cuantifique los ahorros de energía y los beneficios económicos y energéticos obtenidos.

MÉTODOS

Método Analítico: En la aplicación de este método debemos reflejar el esfuerzo investigativo que realizamos antes de empezar nuestro proyecto de tesis, reconociendo la forma correcta de ejecutarlo y estudiando el impacto generado cabe recalcar la gran necesidad de aplicarlo a las edificaciones que presenta problemas.

Método deductivo: En la aplicación de este método debemos reflejar la interpretación que alcanzamos como profesionales en el área para brindar nuestras soluciones y posibles fallas que se puedan generar en los próximos años junto a los resultados del análisis generado en el colegio Cristóbal Colón.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

5.1.1 BANCO DE TRANSFORMADORES TRÍFASICOS DE 100KVA

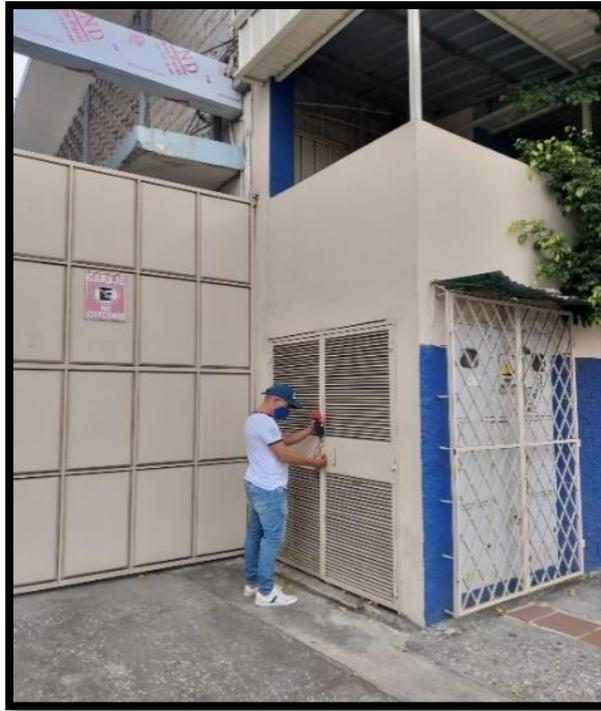


Figura 54 Cuarto de transformadores
Fuente: autores

En la figura 54 observamos la ubicación y el ingreso del cuarto del banco de transformadores trifásicos de 100KVA, dicho ingreso está en la parte exterior del colegio.

El colegio cuenta en sus instalaciones con dos sistemas de transformación de tensión, la mayor parte de la carga es abastecida por la conexión de un banco de 3 transformadores de 100kva instalado desde el año 2014, este banco de transformadores se encuentra ubicado cerca del ingreso central del colegio, cabe recalcar que en el interior del cuarto no cuenta con un sistema de desconexión ya sea por fusibles o por medio de una celda de media tensión. El nivel de tensión primaria es de 13.8kv y el nivel de tensión secundaria es de 225v/130v, la conexión del transformador es una YYN1 como podemos apreciar en la figura 55.

Un dato importante es que desde la creación del colegio hasta el año 2014 la institución contaba con un banco de transformadores de 50KVA el cual fue cambiado por el sistema de transformación que tenemos actualmente y lo mencionamos en el párrafo anterior, este sistema se ve ahora en riesgo por el nivel de carga que se llegó a instalar si tener una planificación previa.

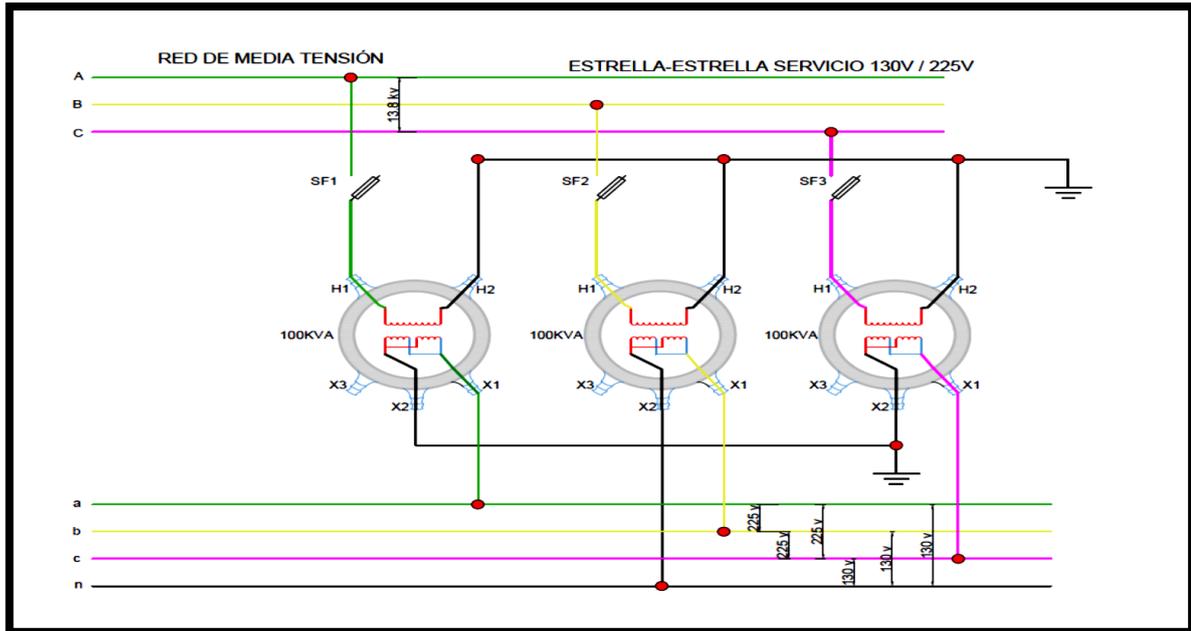


Figura 55 Conexión de banco de transformadores 100kva
Fuente: autores

Actualmente el banco de transformadores se encuentra sobrecargado, lo observamos en la figura 56, muestra el valor de carga aparente(KVA) que mantiene una parte del colegio sin contar con algunas nuevas instalaciones que al momento de estar en servicio aumenta esta potencia y llegan a saturar el nivel de cargabilidad del banco de transformadores y una de las razones es la conexión de nuevas cargas sin haber realizado un análisis sobre la capacidad del transformador con los nuevos elementos conectados, el colegio cuenta con una gran cantidad de aires acondicionados, computadoras, bombas de aguas y otros equipos electrónicos, la agrupación de todos estos equipos en diferentes circuitos eléctricos logran generar niveles de armónicos y este efecto negativo se pueden visualizar en las fluctuaciones de varias luminarias.

Resumen	
Desde	22/7/2020 13:25:09
Hasta	25/7/2020 3:56:09
Valor máximo	203190 VA
En	22/7/2020 13:28:09
Valor mínimo	2550 VA
En	23/7/2020 9:59:09
μ (Med)	10367,5 VA
s	22378,7 VA
5% percentil	2730 VA
95% percentile	2,217E4 VA
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

Figura 56 Resumen de Potencia Activa Máxima
Fuente: autores

En la figura 57 podemos observar el interior del cuarto de transformadores



Figura 57 Cuarto de transformadores interior
Fuente: autores

El colegio tiene las horas picos de carga que van desde las 07:00 am hasta las 15:00 pm luego disminuye la demanda hasta las 19:00 pm y vuelve a retomar gran cantidad de la carga hasta las 22:00 pm. Todas estas horas de trabajo se mantienen durante los 5 días de las semanas (lunes-viernes) mientras que los sábados y domingos el colegio tiene valores de carga no tan elevados. El uso elevado de energía se ve reflejado en el periodo lectivo dura 12 meses desde abril hasta febrero. En la figura 58 observamos el nivel de cargabilidad del colegio durante 1 día.

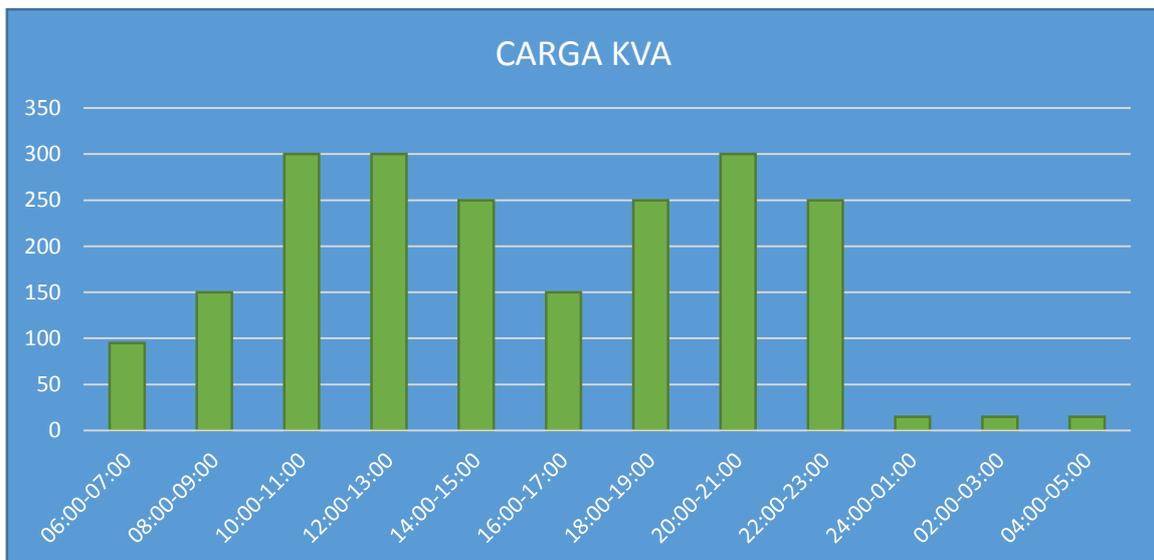


Figura 58 Niveles de carga durante el día del colegio
Fuente: autores

5.1.2 BANCO DE CONDENSADORES 1



Figura 59 Banco corrector de factor de potencia
Fuente: autores

El colegio cuenta con un banco rectificador cuya descripción se muestra en la figura 59, es necesario para poder corregir el factor de potencia de todo el sistema eléctrico, se encuentra instalado en paralelo al banco de transformadores de 100kva, esto ayuda a disminuir la potencia reactiva que se encuentra muy elevada, se instaló en el año 2005 y recibe anualmente mantenimiento.



Figura 60 Banco de capacitores interior
Fuente: autores

El banco rectificador visto interiormente se ilustra en la figura 60 y cuenta con un sistema automático que realiza la corrección del sistema cuando el factor de potencia disminuye considerablemente, realizando una inyección de voltaje que en algunos casos la tensión logra obtener valores superiores a los 130v nominales de toda la instalación.

5.1.3 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500KVA

En el año 2014 se instaló un nuevo transformador trifásico de 500kva, se puede apreciar en la figura 61, está destinado a abastecer un 30% de la carga de todo el colegio, se encuentra ubicado en el ingreso lateral derecho, a diferencia del primer transformador en el cuarto si se encuentra instalado una celda de media tensión que ayuda a una rápida y simple desconexión energética para poder realizar cualquier maniobra de mantenimiento, tiene una instalación DY0N y su tensión primaria es de 13.8kv y en el secundario 225/130v

El transformador trifásico de 500kva comparte las mismas horas de trabajo que el banco de transformadores de 100kva como se muestra en la figura 58, pero la gran diferencia es que este transformador no se encuentra sobrecargado.

Los puntos que más demanda energía desde este transformador son las áreas

- auditorio ubicado en el cuarto piso del colegio
- sala magna ubicada en la parte superior del patio de comidas

Estas áreas son los puntos donde se produce mayor demanda de energía, pero son utilizadas eventualmente, y no coinciden al momento poner em servicio.



Figura 61 Transformador Trifásico de 500KVA
Fuente: autores

5.1.4 TABLERO PRINCIPAL NORTE

En el tablero de la figura 62 se distribuye todo el circuito eléctrico de la mitad del colegio y gran parte de los nuevos edificios construidos, este tablero cuenta con un breaker principal 3P-1500amp regulable y con 5 breakers 3P-500amp regulables.



Figura 62 Tablero de distribución norte
Fuente: autores

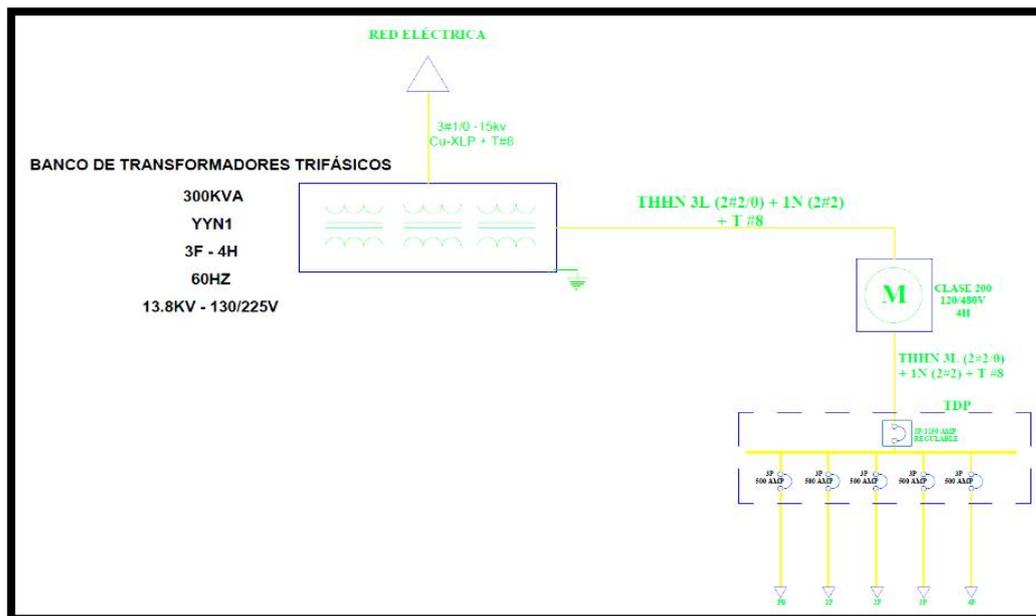


Figura 63 Diagrama unifilar del TDP norte
Fuente: autores

En la figura 63 muestra el diagrama unifilar del tablero de distribución principal norte, es aquí donde colocamos el analizador ya que desde este tablero controla gran cantidad de carga del colegio y es uno de los puntos donde más potencia demanda, su potencia máxima registrada se puede observar en la figura 56, saturando al banco de transformadores.

5.1.5 TABLERO PRINCIPAL SUR

En el tablero de la figura 64 se distribuye todo el circuito eléctrico de la otra mitad del colegio y abastece a los bares y el edificio de pastoral. Aquí encontramos 1 breaker principal 3P-1500amp regulable y con 5 breaker 3P-500amp regulables más 1 breaker 3P-150amp.



Figura 64 Tablero de distribución sur

Fuente: autores

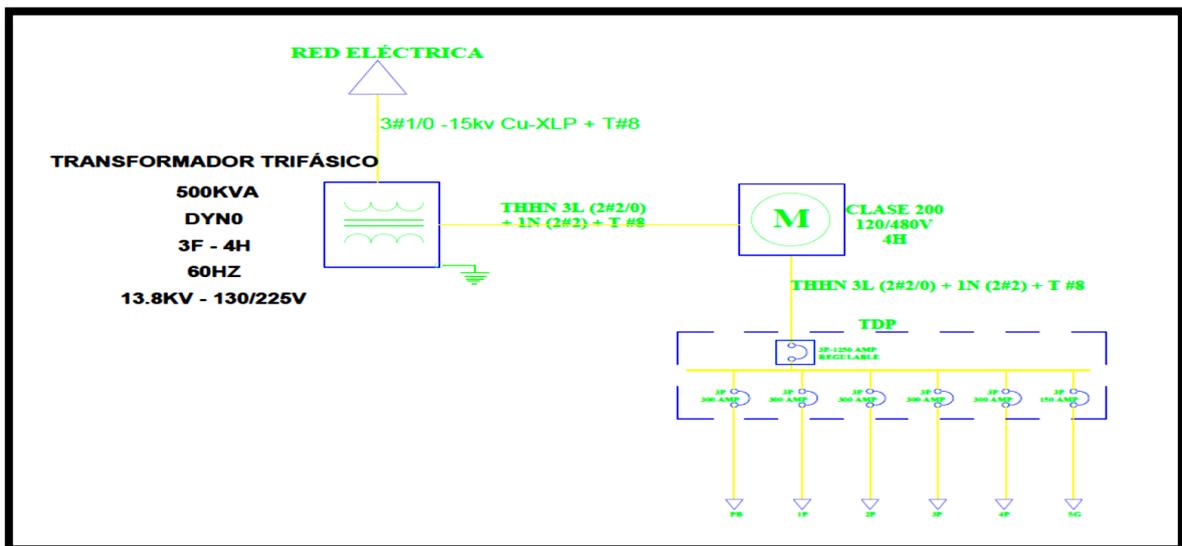


Figura 65 Diagrama unifilar del TDP sur

Fuente: autores

En la figura 65 muestra el diagrama unifilar del tablero de distribución principal sur, es aquí donde colocamos otro analizador de red y en los estudios no se encontró mayor novedad por que la carga instalada no supera el 80% de la cargabilidad del transformador.

5.1.6 BANCO DE CONDENSADORES 2



Figura 66 Banco corrector de factor de potencia
Fuente: autores

El colegio cuenta con un banco rectificador cuya descripción se muestra en la figura 66, y su es utilizado para poder corregir el factor de potencia de todo el sistema eléctrico, se encuentra instalado en paralelo al transformador trifásico de 500kva, esto ayuda a disminuir la potencia reactiva que se encuentra muy elevada, se instaló en el año 2005 y recibe anualmente mantenimiento.



Figura 67 Banco de capacitores interior
Fuente: autores

El banco de capacitores cuenta con un sistema automático que realiza la corrección del sistema cuando el factor de potencia disminuye considerablemente, realizando una inyección de voltaje que en algunos casos la tensión logra obtener valores superiores a los 130v nominales de toda la instalación. En la figura 67 muestra la parte interna del tablero.

5.2 DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS

A continuación, reflejaremos el comportamiento del servicio eléctrico mediante graficas generadas por el analizador de red dentro del colegio salesiano Cristóbal Colón, nuestra medición fue estimada en 7 días para la recolección de datos, por motivo de la pandemia que golpeó a todo el mundo, nuestro país se vió obligado adoptar la cuarentena como medida preventiva para salvaguardar las vidas de los ecuatorianos y con esto los colegios se vieron forzados a cerrar sus puertas, por este motivo no pudimos extenderos más días para obtener más datos, adicional a esto recalcamos que los datos censados no fueron a plena carga del colegio, realizamos el encendido de las cargas más importantes, pero los datos censados desde capítulo 5.2.1 hasta el 5.2.10 muestran algunas falencias. En la regulación de voltaje las normas del CONELEC indican que debe de rondar $\pm 10\%$ del voltaje nominal, en el presente estudio el voltaje nominal es 130V el nivel de tensión podrá axilar de 117V a 143V como límites mínimos-máximos.

5.2.1 TENSIÓN 22/07/2020 HASTA 23/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE



Figura 68 Tensión de Fase A-B-C-N

Fuente: autores

En la figura 68 observamos el comportamiento de los voltajes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 13:25 pm del 22/07 hasta las 13:25 pm del 23/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	22/7/2020 13:25 pm		
FECHA FINAL	23/7/2020 13:25 pm		
FASE	valores de tensión [V]		
	mínimo	medio	máximo
A	130,14	132,86	136,3
B	128,43	132,02	134,5
C	126,5	133,55	134,99
NEUTRO	0,04	0,05	0,53

Tabla 12 Valores de tensión mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

TENSIÓN FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
130,14	Mínimo	22/7/2020	13:28:09.465
136,30	Máximo	23/7/2020	06:12:09.465
TENSIÓN FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
128,43	Mínimo	22/7/2020	14:04:09.465
134,5	Máximo	23/7/2020	06:12:09.465
TENSIÓN FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
126,5	Mínimo	22/7/2020	14:04:09.465
134,99	Máximo	23/7/2020	06:12:09.465
TENSIÓN FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
0,04	Mínimo	23/7/2020	1:50:09.465
0,53	Máximo	22/7/2020	13:28:09.465

Tabla 13 Fecha de tensiones mínima-media-máxima
Fuente: autores

En la tabla 10 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 11 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 68 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de tensión que el analizador los catalogó como eventualidades, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 136,30V que en valores por unidad es 1,04 y un voltaje mínimo de 126,5V que en valores por unidad es 0,97.

5.2.2 CORRIENTE 22/07/2020 HASTA 23/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

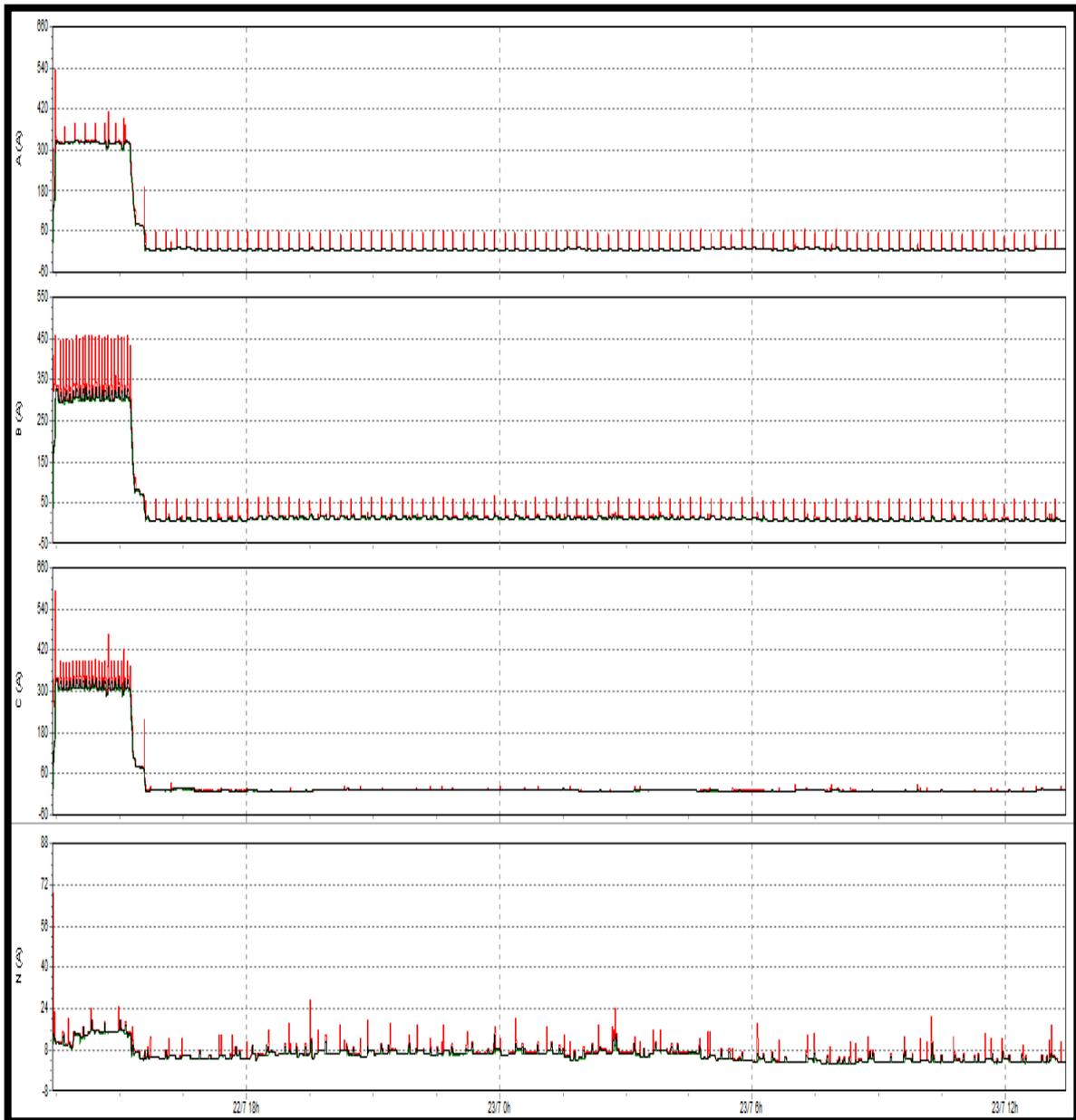


Figura 69 Corrientes de Fase A-B-C-N

Fuente: autores

En la figura 69 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 13:25 pm del 22/07 hasta las 13:25 pm del 23/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	22/7/2020 13:25 pm		
FECHA FINAL	23/7/2020 13:25 pm		
FASE	valores de corriente [Amp]		
	mínimo	medio	máximo
A	3,5	4,2	533,6
B	6,3	12,2	457
C	7,4	7,8	593,3
NEUTRO	2,7	7,1	68,7

Tabla 14 Valores de corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

CORRIENTE FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
3,5	Mínimo	23/7/2020	10:15:09.465
533,6	Máximo	22/7/2020	13:28:09.465
CORRIENTE FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
6,3	Mínimo	23/7/2020	10:15:09.465
457	Máximo	22/7/2020	13:58:09.465
CORRIENTE FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
7,4	Mínimo	23/7/2020	6:39:09.465
593,3	Máximo	22/7/2020	13:28:09.465
CORRIENTE FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
2,7	Mínimo	23/7/2020	8:18:09.465
68,7	Máximo	22/7/2020	13:25:09.465

Tabla 15 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la tabla 12 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 13 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 69 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de corriente, mientras tanto en esta fecha tuvimos una corriente máxima de 533,6Amp y una corriente mínima de 3,5Amp.

5.2.3 TENSIÓN 23/07/2020 HASTA 24/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

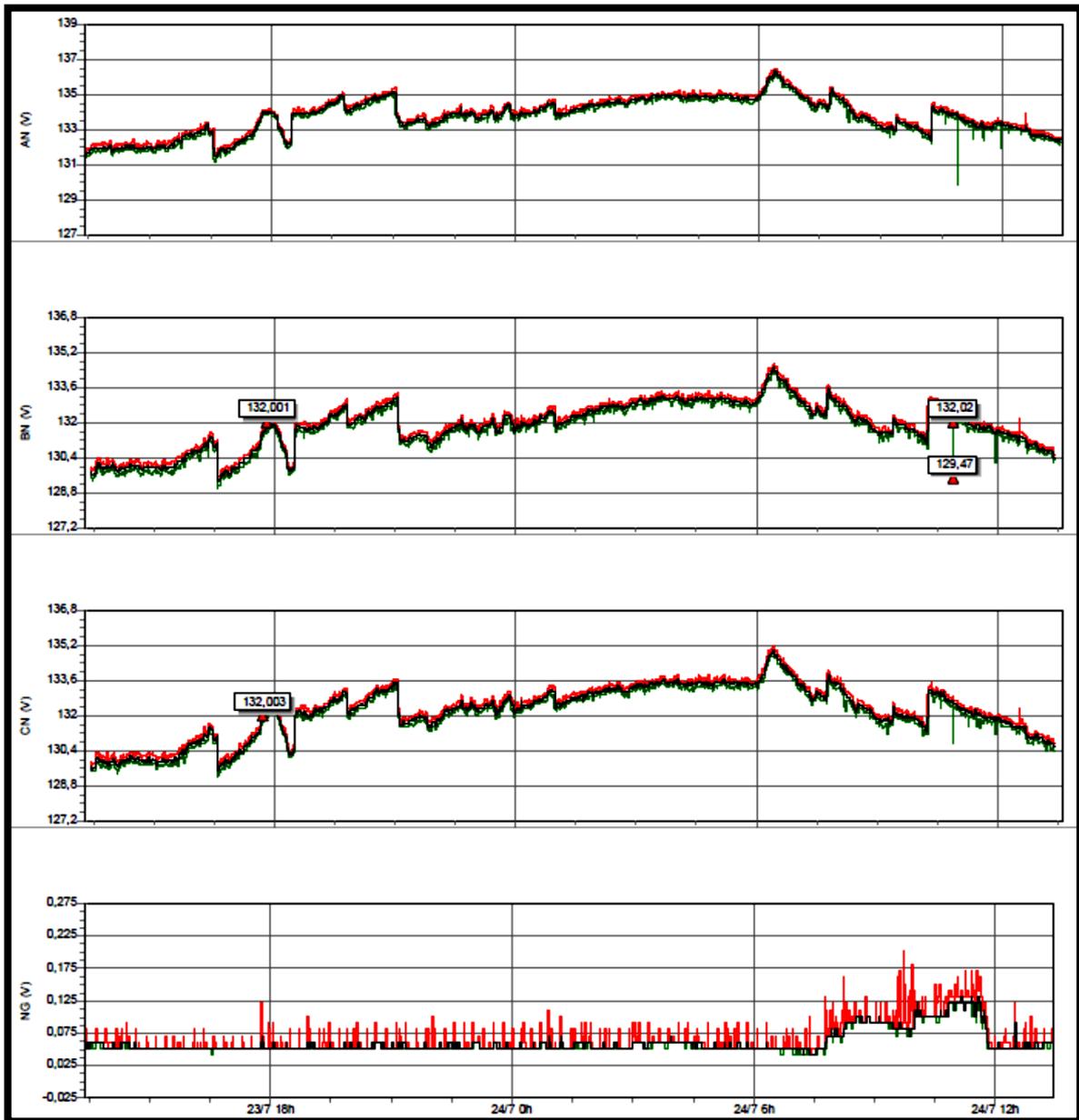


Figura 70 Tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 70 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 13:25 pm del 23/07 hasta las 13:25 pm del 24/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	23/7/2020 13:25 pm		
FECHA FINAL	24/7/2020 13:25 pm		
FASE	valores de tensión [V]		
	mínimo	medio	máximo
A	129,81	132,86	136,46
B	128,98	132,02	134,69
C	129,21	133,55	135,18
NEUTRO	0,04	0,05	0,2

Tabla 16 Valores de tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

TENSIÓN FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
129,81	Mínimo	24/7/2020	10:53:09.465
136,46	Máximo	24/7/2020	6:26:09.465
TENSIÓN FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
128,98	Mínimo	23/7/2020	16:35:09.465
134,69	Máximo	24/7/2020	6:26:09.465
TENSIÓN FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
129,21	Mínimo	23/7/2020	16:34:09.465
135,18	Máximo	24/7/2020	6:26:09.465
TENSIÓN FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
0,04	Mínimo	24/7/2020	6:40:09.465
0,2	Máximo	24/7/2020	9:43:09.465

Tabla 17 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la tabla 14 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 15 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 70 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de tensión que el analizador los catalogó como eventualidades, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 136,46V que en valores por unidad es 1,04 y un voltaje mínimo de 128,98V que en valores por unidad es 0,99.

5.2.4 CORRIENTE 23/07/2020 HASTA 24/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

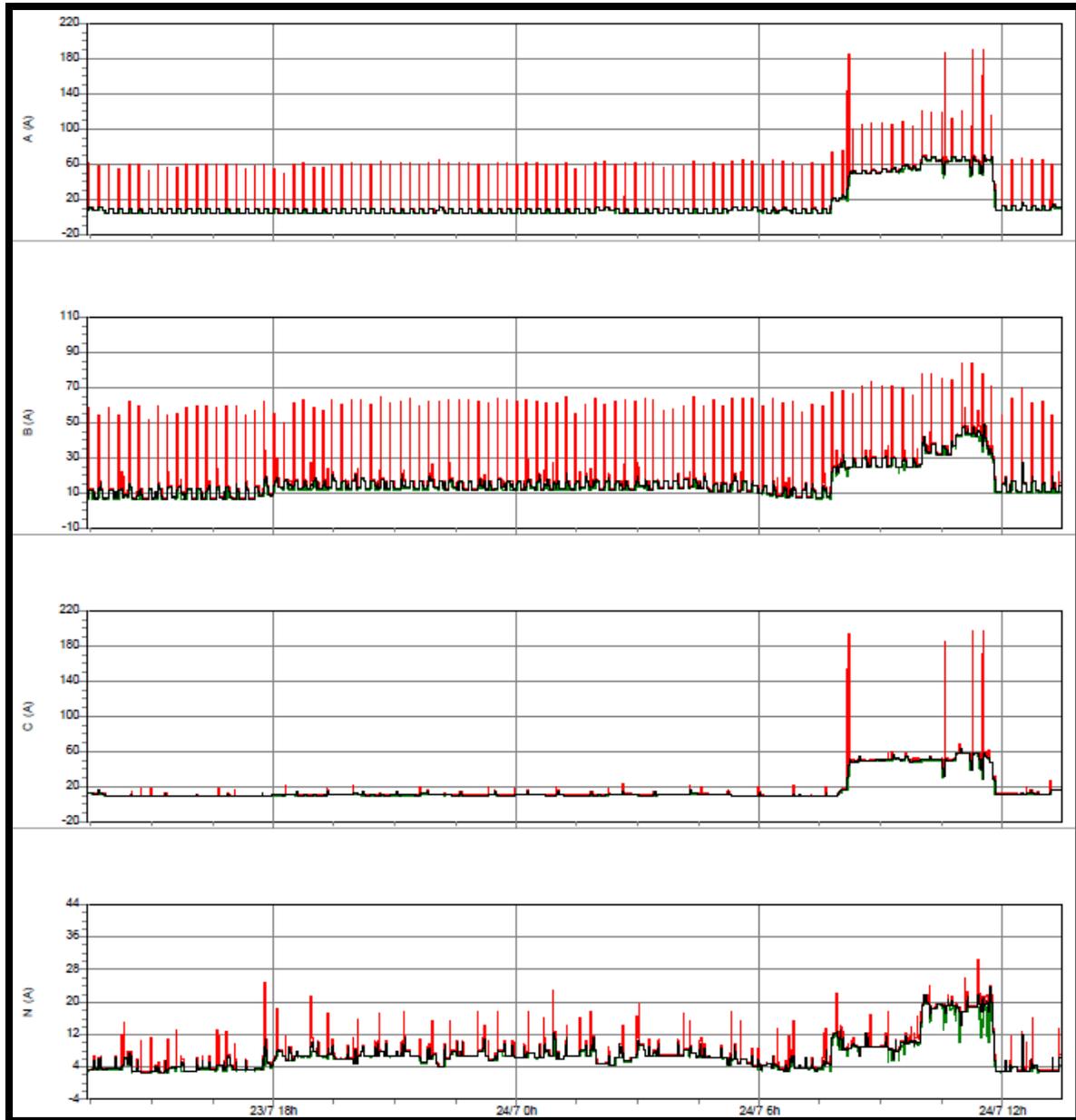


Figura 71 Corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 71 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 13:25 pm del 23/07 hasta las 13:25 pm del 24/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	23/7/2020 13:25 pm		
FECHA FINAL	24/7/2020 13:25 pm		
FASE	valores de corriente [Amp]		
	mínimo	medio	máximo
A	3,5	58,4	190
B	6,3	60	84,1
C	7,5	57,1	196,8
NEUTRO	2,7	15,65	30,3

Tabla 18 Valores de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

CORRIENTE FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
3,5	Mínimo	23/7/2020	14:26:09.465
190	Máximo	24/7/2020	11:16:09.465
CORRIENTE FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
6,3	Mínimo	23/7/2020	15:09:09.465
84,1	Máximo	24/7/2020	11:00:09.465
CORRIENTE FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
7,5	Mínimo	23/7/2020	16:21:09.465
196,8	Máximo	24/7/2020	11:16:09.465
CORRIENTE FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
2,7	Mínimo	24/7/2020	12:54:09.465
30,3	Máximo	24/7/2020	11:25:09.465

Tabla 19 fecha de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

En la tabla 16 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 17 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 71 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 13:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de corriente, mientras tanto en esta fecha tuvimos una corriente máxima de 196,8Amp y una corriente mínima de 3,5Amp.

5.2.5 TENSIÓN 27/07/2020 HASTA 28/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

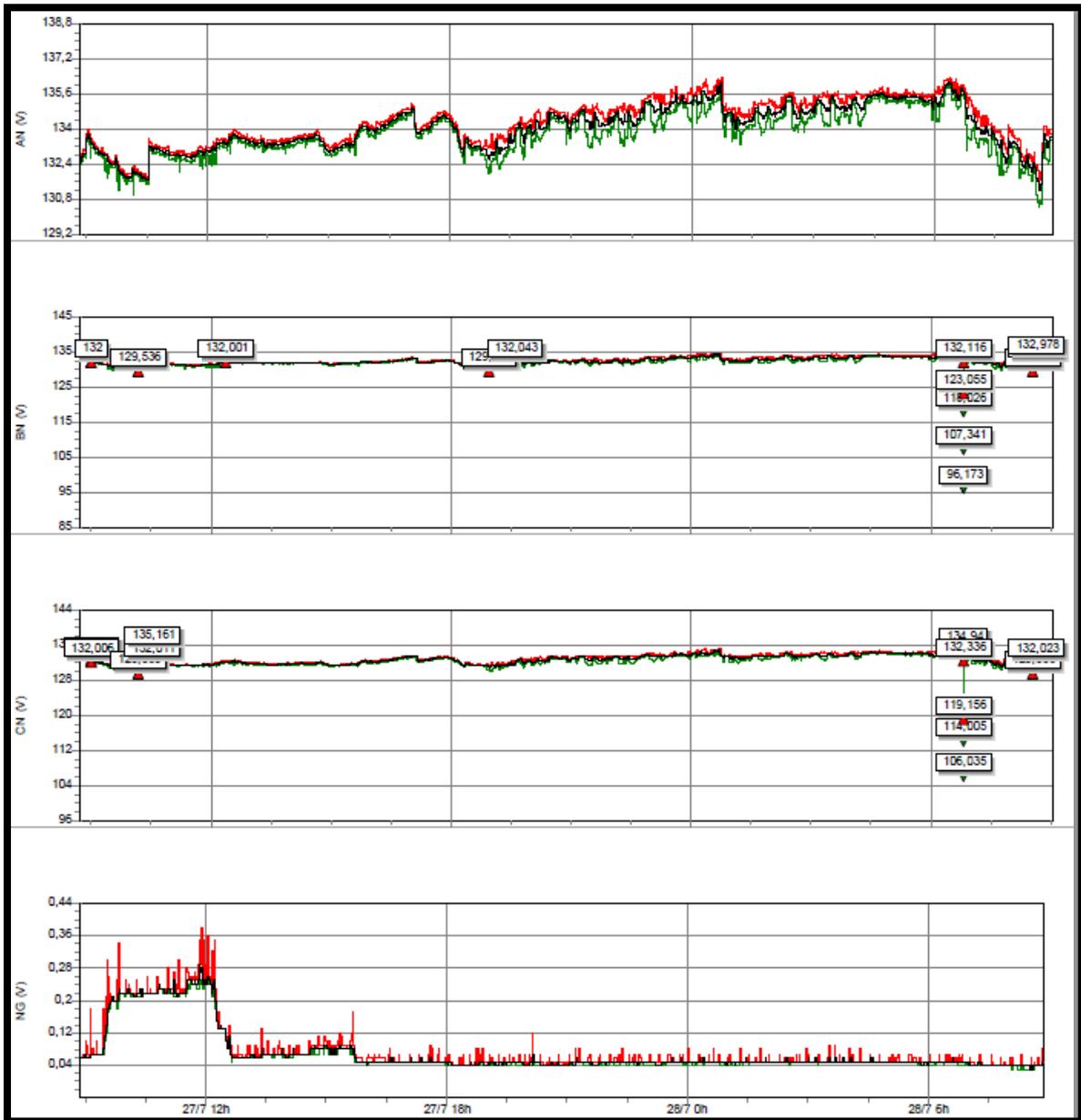


Figura 72 Tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 72 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 27/07 hasta las 08:52 am del 28/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	27/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL	28/7/2020 08:52 pm		
FASE	valores de tensión [V]		
	mínimo	medio	máximo
A	130,43	132,86	136,34
B	123,06	132,02	134,65
C	124,96	133,55	135,11
NEUTRO	0,03	0,05	0,38

Tabla 20 Valores de tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

TENSIÓN FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
130,43	Mínimo	28/7/2020	8:35:29.500
136,34	Máximo	28/7/2020	0:44:29.500
TENSIÓN FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
123,06	Mínimo	28/7/2020	6:49:29.500
134,65	Máximo	28/7/2020	0:43:29.500
TENSIÓN FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
124,96	Mínimo	28/7/2020	6:49:29.500
135,11	Máximo	28/7/2020	0:21:29.500
TENSIÓN FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
0,03	Mínimo	28/7/2020	8:35:29.500
0,38	Máximo	27/7/2020	11:53:29.500

Tabla 21 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la tabla 18 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 19 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 72 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 15:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 136,34V que en valores por unidad es 1,04 y un voltaje mínimo de 123,06V que en valores por unidad es 0,94.

5.2.6 CORRIENTE 27/07/2020 HASTA 28/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

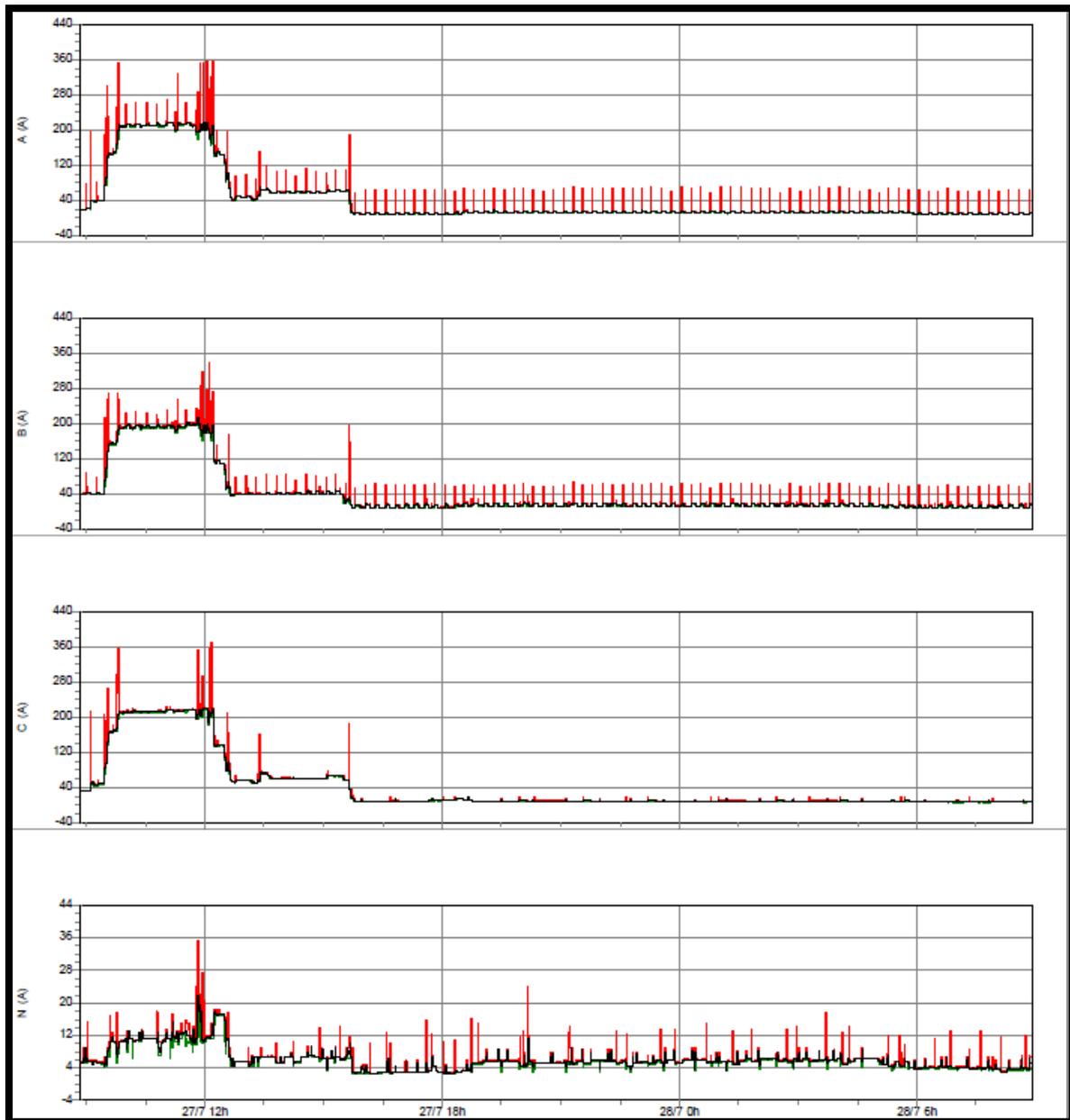


Figura 73 Corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 73 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 27/07 hasta las 08:52 am del 28/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	27/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL	28/7/2020 08:52 pm		
FASE	valores de corriente [Amp]		
	mínimo	medio	máximo
A	6,3	200	353,7
B	6,8	189	338,3
C	5,9	230	368,3
NEUTRO	2,6	21,8	35,3

Tabla 22 Valores de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

CORRIENTE FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
6,3	Mínimo	28/7/2020	6:48:29.500
353,7	Máximo	27/7/2020	12:13:29.500
CORRIENTE FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
6,8	Mínimo	27/7/2020	17:34:29.500
338,3	Máximo	27/7/2020	12:07:29.500
CORRIENTE FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
5,9	Mínimo	28/7/2020	7:03:29.500
368,3	Máximo	27/7/2020	12:11:29.500
CORRIENTE FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
2,6	Mínimo	27/7/2020	16:42:29.500
35,3	Máximo	27/7/2020	11:50:29.500

Tabla 23 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

En la tabla 20 indica los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 21 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 73 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de corriente, mientras tanto en esta fecha tuvimos una corriente máxima de 338,3Amp y una corriente mínima de 5,9Amp.

5.2.7 TENSIÓN 28/07/2020 HASTA 29/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

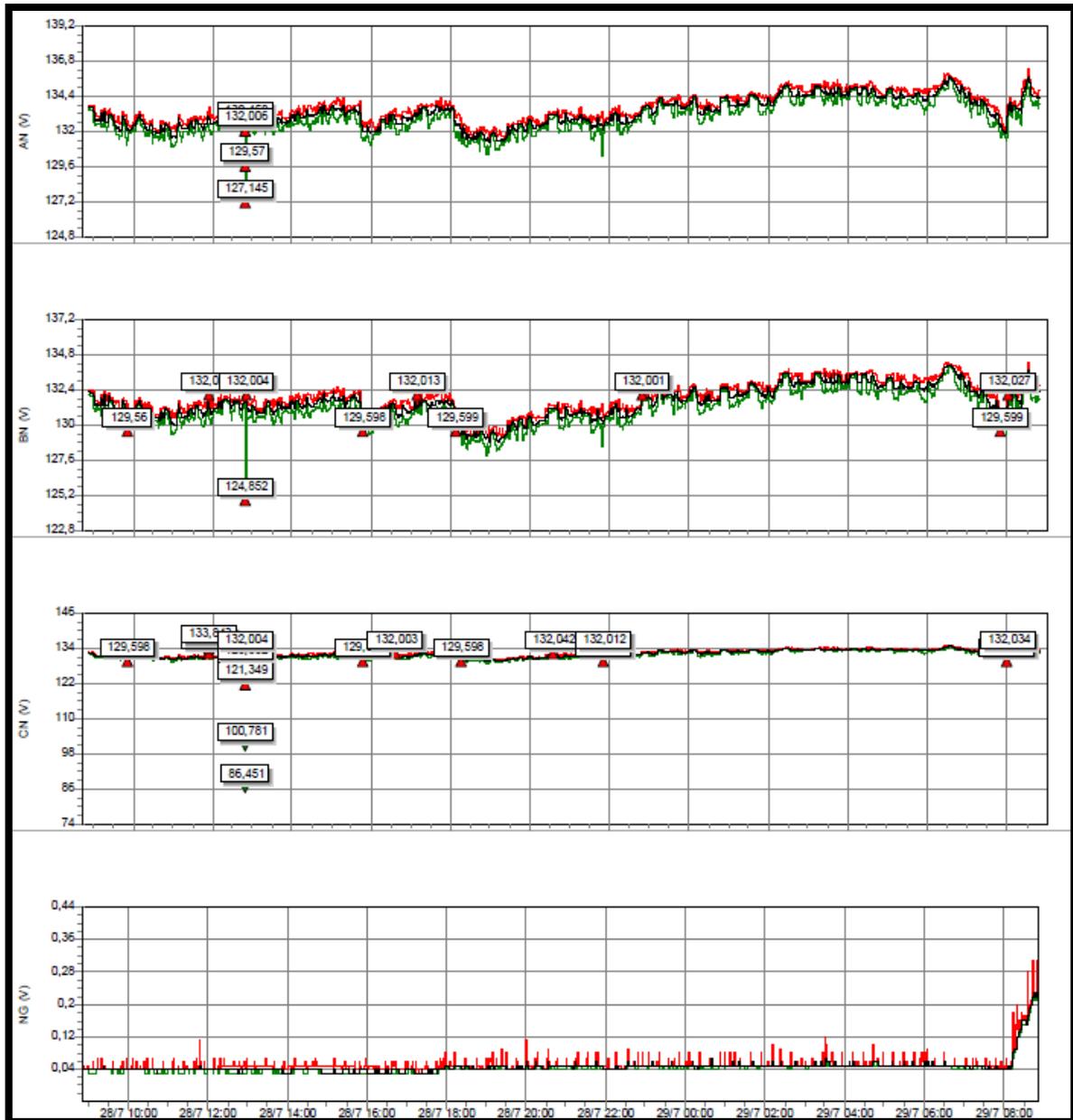


Figura 74 Tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 74 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 28/07 hasta las 08:52 am del 29/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	28/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL	29/7/2020 08:52 pm		
FASE	valores de tensión [V]		
	mínimo	medio	máximo
A	128,23	132,86	136,28
B	125,75	132,02	134,28
C	125,03	133,55	134,89
NEUTRO	0,03	0,05	0,31

Tabla 24 Valores de tensión mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

TENSIÓN FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
128,23	Mínimo	28/7/2020	12:50:29.500
136,28	Máximo	29/7/2020	8:35:29.500
TENSIÓN FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
125,75	Mínimo	28/7/2020	12:50:29.500
134,28	Máximo	29/7/2020	6:32:29.500
TENSIÓN FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
125,03	Mínimo	28/7/2020	12:50:29.500
134,89	Máximo	29/7/2020	6:34:29.500
TENSIÓN FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
0,03	Mínimo	28/7/2020	17:45:29.500
0,31	Máximo	29/7/2020	8:45:29.500

Tabla 25 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo.
Fuente: autores

En la tabla 22 muestra los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 23 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 74 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de tensión que el analizador los catalogó como eventualidades, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 136,28V que en valores por unidad es 1,04 y un voltaje mínimo de 125,03V que en valores por unidad es 0,96.

5.2.8 CORRIENTE 28/07/2020 HASTA 29/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

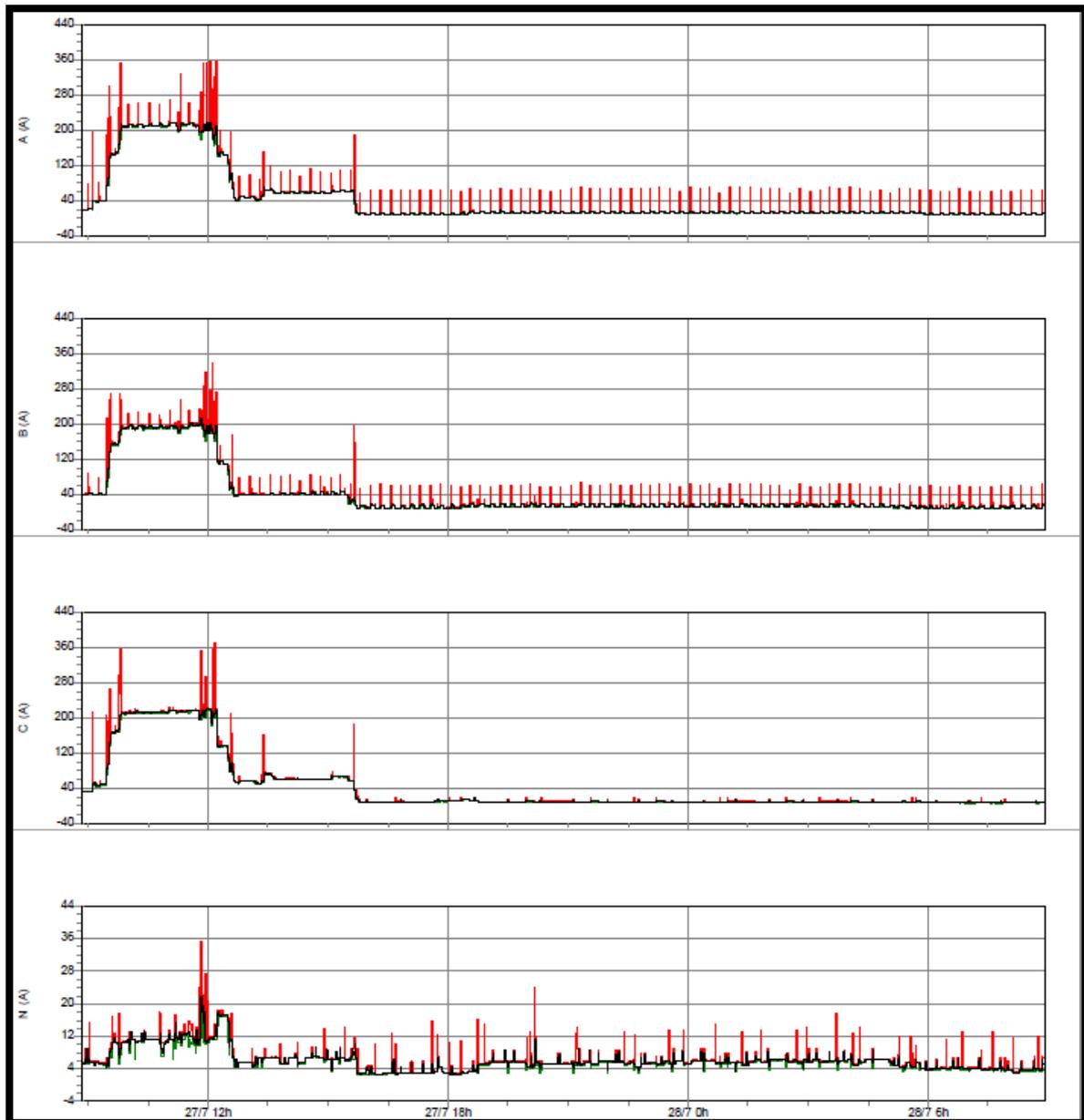


Figura 75 Corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 75 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 28/07 hasta las 08:52 am del 29/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	28/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL	29/7/2020 08:52 pm		
FASE	valores de corriente [Amp]		
	mínimo	medio	máximo
A	6,2	200	253,2
B	6,8	189	297,6
C	5,9	230	287,7
NEUTRO	2,6	21,8	25,1

Tabla 26 Valores de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

CORRIENTE FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
6,2	Mínimo	28/7/2020	12:50:29.500
253,2	Máximo	29/7/2020	8:36:29.500
CORRIENTE FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
6,8	Mínimo	29/7/2020	6:44:29.500
297,6	Máximo	29/7/2020	8:42:29.500
CORRIENTE FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
5,9	Mínimo	29/7/2020	7:03:29.500
287,7	Máximo	29/7/2020	8:50:29.500
CORRIENTE FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
2,6	Mínimo	28/7/2020	10:38:29.500
25,1	Máximo	29/7/2020	3:32:29.500

Tabla 27 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

En la tabla 24 muestra los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 25 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 75 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de corriente, mientras tanto en esta fecha tuvimos una corriente máxima de 297,6Amp y una corriente mínima de 5,9Amp.

5.2.9 TENSIÓN 29/07/2020 HASTA 30/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

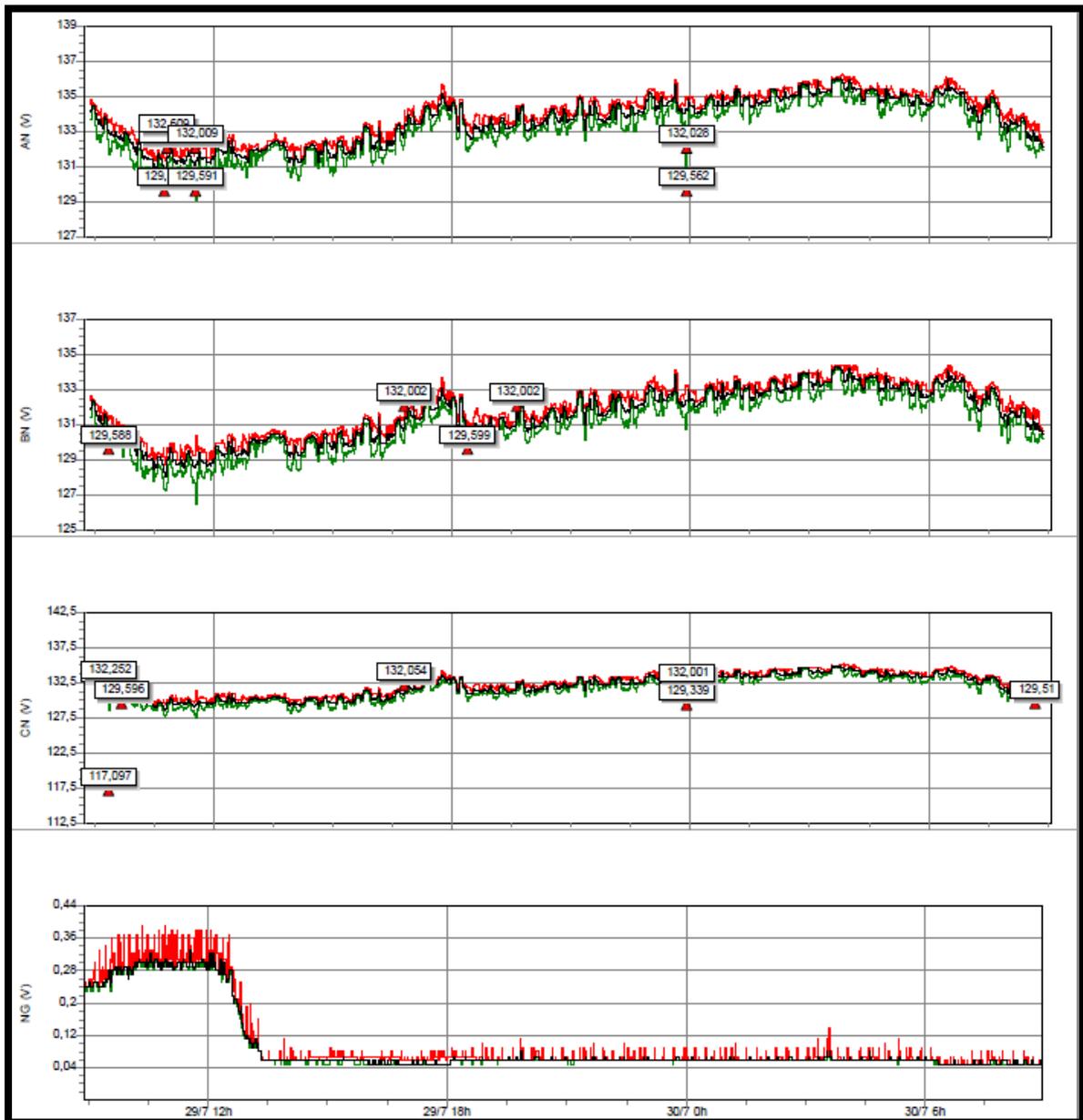


Figura 76 Valores de Tensión mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 76 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 29/07 hasta las 08:52 am del 30/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO	29/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL	30/7/2020 08:52 pm		
FASE	valores de tensión [V]		
	mínimo	medio	máximo
A	129,09	132,86	136,72
B	126,49	132,02	135,11
C	127,43	133,55	135,49
NEUTRO	0,05	0,05	0,39

Tabla 28 Valores de tensión mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

TENSIÓN FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
129,09	Mínimo	29/7/2020	11:35:03.411
136,72	Máximo	30/7/2020	6:31:03.411
TENSIÓN FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
126,49	Mínimo	29/7/2020	11:35:03.411
135,11	Máximo	30/7/2020	6:31:03.411
TENSIÓN FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
127,43	Mínimo	29/7/2020	11:35:03.411
135,49	Máximo	30/7/2020	6:31:03.500
TENSIÓN FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
0,05	Mínimo	29/7/2020	6:31:03.411
0,39	Máximo	29/7/2020	10:21:03.411

Tabla 29 Fecha de tensión mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

En la tabla 26 muestra los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 27 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 76 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de tensión que el analizador los catalogó como eventualidades, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 136,72V que en valores por unidad es 1,04 y un voltaje mínimo de 126,49V que en valores por unidad es 0,97.

5.2.10 CORRIENTE 29/07/2020 HASTA 30/07/2020 EN TRANSFORMADOR NORTE

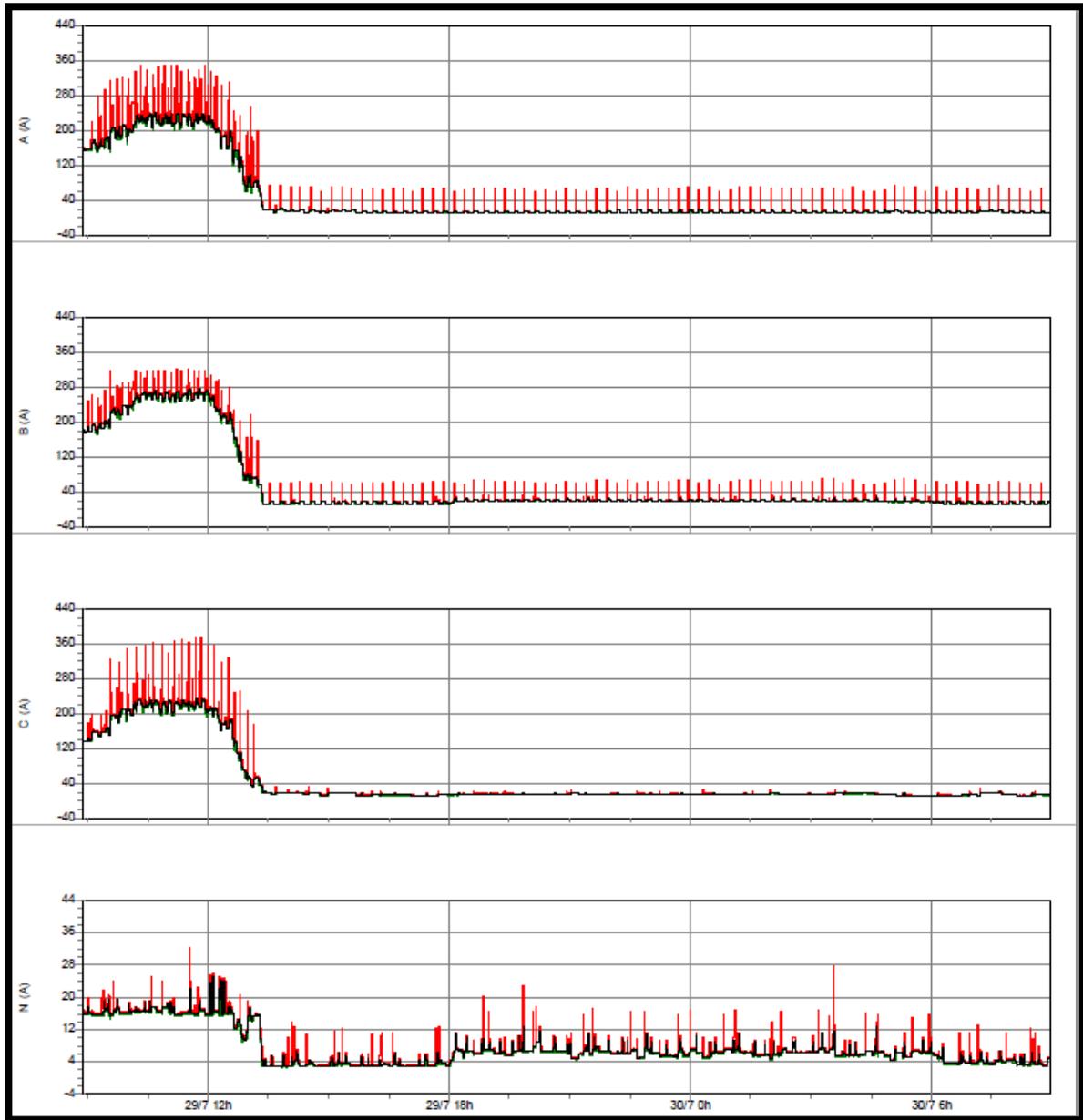


Figura 77 Valores de corriente mínimo-medio-máximo

Fuente: autores

En la figura 77 observamos el comportamiento de las corrientes de L-N de las fases A-B-C y N-G, se registraron los valores máximos, medios y mínimos de las tensiones. Estos datos fueron censados desde las 08:52 am del 29/07 hasta las 08:52 am del 30/07, los datos fueron registrados pasando 1 min.

FECHA INICIO		29/7/2020 08:52 pm		
FECHA FINAL		30/7/2020 08:52 pm		
FASE		valores de corriente [Amp]		
		mínimo	medio	máximo
A		9	200	349,6
B		10,2	189	320,7
C		10,4	230	376
NEUTRO		2,8	21,8	35,6

Tabla 30 Valores de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

CORRIENTE FASE A	ESTADO	FECHA	HORA
9	Mínimo	30/7/2020	11:45:03.411
349,6	Máximo	29/7/2020	10:21:03.411
CORRIENTE FASE B	ESTADO	FECHA	HORA
10,2	Mínimo	29/7/2020	17:37:03.411
320,7	Máximo	29/7/2020	11:31:03.411
CORRIENTE FASE C	ESTADO	FECHA	HORA
10,4	Mínimo	30/7/2020	6:39:03.411
376	Máximo	29/7/2020	11:42:03.411
CORRIENTE FASE N	ESTADO	FECHA	HORA
2,8	Mínimo	29/7/2020	13:50:03.411
35,6	Máximo	30/7/2020	12:29:03.411

Tabla 31 Fecha de corriente mínimo-medio-máximo
Fuente: autores

En la tabla 28 muestra los valores máximos, medios y mínimos registrados durante el día y en la tabla 29 muestra la hora exacta en la cual se registraron esos valores, observamos en la figura 77 las horas que presentaron más uso de energía fueron desde las 07:00 am hasta las 14:00 pm, durante este periodo se encendieron computadoras, aires acondicionados, bombas de aguas y otros equipos electrónicos. Se realizaron unos aumentos de corriente, mientras tanto en esta fecha tuvimos un voltaje máximo de 376Amp y una corriente mínima de 9Amp.

En las siguientes fechas el A.R. registró varias anomalías que nos incentivan a plantear algunas hipótesis y que como ingenieros nos vemos obligados a encontrarle una óptima solución, estos efectos negativos suscitados en los circuitos eléctricos pueden afectar directa o indirectamente el bienestar de las personas que transitan por todo el colegio, en las tablas 30, 31 y 32 se registraron los eventos, la fecha y hora exacta que se produjeron, el nivel de tensión que alcanzo y en qué fase se produjo. La tensión nominal del colegio está establecida en 130v, pero en algunos momentos del día las tensiones llegan tomar valores que sobrepasan la tensión nominal y esto no es normal, a continuación, mostraremos el comportamiento de todo el sistema eléctrico al presentarse estas eventualidades.

5.3 EVENTOS 22/07/2020 HASTA 24/07/2020

LISTA DE EVENTOS				
FECHA	DURACIÓN	TIPO	NIVEL	CANAL
22/07/2020 14:04:09 176ms		Pico (detalle inferior)	129,261v	A(v)
22/07/2020 14:06:20 164ms	33min. 31s. 429ms	Pico (detalle superior)	132v	A(v)
22/07/2020 14:06:20 164ms		Pico	136,527v	A(v)
22/07/2020 15:34:04 251ms		Pico (detalle superior)	132,002v	B(v)
22/07/2020 15:34:09 584ms		Pico (detalle superior)	132,003v	C(v)
22/07/2020 20:02:00 493ms		Pico (detalle inferior)	129,588v	B(v)
22/07/2020 20:04:08 827ms		Pico (detalle inferior)	129,574v	C(v)
22/07/2020 22:20:26 390ms		Pico (detalle superior)	132,015v	C(v)
22/07/2020 22:48:37 461ms		Pico (detalle superior)	132,002v	B(v)
23/07/2020 11:47:40 276ms		Pico (detalle inferior)	129,333v	C(v)
23/07/2020 13:11:11 461ms		Pico (detalle inferior)	129,597v	B(v)
23/07/2020 17:41:52 360ms		Pico (detalle superior)	132,003v	C(v)
23/07/2020 17:46:50 472ms		Pico (detalle superior)	132,001v	B(v)
24/07/2020 10:52:16 272ms		Pico (detalle inferior)	129,47v	B(v)
24/07/2020 10:52:45 955ms		Pico (detalle superior)	132,02v	B(v)
24/07/2020 13:56:45 894ms		Pico (detalle inferior)	129,393v	B(v)
24/07/2020 13:56:45 916ms		Pico (detalle inferior)	129,292v	C(v)
24/07/2020 14:39:51 593ms		Pico (detalle inferior)	129,57v	A(v)
24/07/2020 14:39:51 710ms	13h. 15min. 57s. 397ms.	Pico	132,017v	A(v)
24/07/2020 14:39:51 710ms		Pico (detalle superior)	132,017v	A(v)
24/07/2020 17:30:30 406ms		Pico (detalle superior)	132v	C(v)
24/07/2020 17:43:01 925ms		Pico (detalle superior)	132,004v	B(v)

Tabla 32 Lista de eventos del 22-24

Fuente: autores

5.3.1 EVENTOS 27/07/2020 HASTA 29/07/2020

LISTA DE EVENTOS				
FECHA	DURACIÓN	TIPO	NIVEL	CANAL
27/7/2020 08:59:33 903ms.	1h.11m.21s.	Pico	132,856v	C(v)
27/7/2020 08:59:33 903ms.		Pico (detalle superior)	132,006v	C(v)
27/7/2020 09:00:26 501ms.		Pico (detalle superior)	132v	B(v)
27/7/2020 10:10:55 270ms.		Pico (detalle inferior)	129,536v	B(v)
27/7/2020 10:10:55 244ms.		Pico (detalle inferior)	129,535v	C(v)
27/7/2020 10:32:36 270ms.		Pico (detalle superior)	132,011v	C(v)
27/7/2020 10:32:36 270ms.	20h.16m.25s.	Pico	135,161v	C(v)
27/7/2020 12:21:10 146ms.		Pico (detalle superior)	132,001v	B(v)
27/7/2020 18:57:04 242ms.		Pico (detalle inferior)	129,585v	B(v)
27/7/2020 19:36:33 256ms.		Pico (detalle superior)	132,043v	B(v)
28/7/2020 06:49:02 240ms.		Pico (detalle inferior)	127,055v	B(v)
28/7/2020 06:49:02 245ms.		Pico (detalle inferior)	119,156v	C(v)
28/7/2020 06:49:02 248ms.		Hueco (detalle inferior)	107,341v	B(v)
28/7/2020 06:49:02 248ms.	0m.0s.50ms.	Hueco	96,173v	B(v)
28/7/2020 06:49:02 262ms.		Hueco (detalle inferior)	106,035v	C(v)
28/7/2020 06:49:02 295ms.		Hueco (detalle superior)	114,005v	C(v)
28/7/2020 06:49:02 298ms.		Hueco (detalle superior)	118,026v	B(v)
28/7/2020 06:49:02 362ms.	1h.43m.6s.	Pico	134,94v	C(v)
28/7/2020 06:49:02 362ms.		Pico (detalle superior)	132,336v	C(v)
28/7/2020 06:49:02 365ms.		Pico (detalle superior)	132,116v	B(v)
28/7/2020 08:32:06 431ms.		Pico (detalle inferior)	129,586v	C(v)
28/7/2020 08:32:09 307ms.		Pico (detalle inferior)	129,561v	B(v)
28/7/2020 08:38:56 242ms.		Pico (detalle superior)	132,063v	B(v)
28/7/2020 08:38:56 242ms.	1h.11m.38s.	Pico	132,978v	B(v)
28/7/2020 08:38:56 349ms.		Pico (detalle superior)	132,027v	C(v)
28/7/2020 09:50:30 389ms.		Pico (detalle inferior)	129,598v	C(v)
28/7/2020 09:50:34 766ms.		Pico (detalle inferior)	129,56v	B(v)
28/7/2020 11:54:58 104ms.		Pico (detalle superior)	132,022v	C(v)
28/7/2020 11:54:58 104ms.	54m.54s.313ms.	Pico	133,843v	C(v)

28/7/2020 11:54:58 106ms.		Pico (detalle superior)	132,027v	B(v)
28/7/2020 12:49:37 282ms.		Pico (detalle inferior)	121,349v	C(v)
28/7/2020 12:49:37 290ms.		Hueco (detalle inferior)	100,781v	C(v)
28/7/2020 12:49:37 290ms.	0m.0s.34ms.	Hueco	86,451v	C(v)
28/7/2020 12:49:37 296ms		Pico (detalle inferior)	129,57v	A(v)
28/7/2020 12:49:37 324ms.		Hueco (detalle superior)	127,288v	C(v)
28/7/2020 12:49:37 329ms.		Pico (detalle superior)	132,458v	A(v)
28/7/2020 12:49:37 427ms.		Pico (detalle superior)	132,001v	C(v)
28/7/2020 12:49:52 412ms.		Pico (detalle inferior)	124,852v	B(v)
28/7/2020 12:49:52 414ms.		Pico (detalle inferior)	127,145v	A(v)
28/7/2020 12:49:52 417ms.		Pico (detalle inferior)	128,882v	C(v)
28/7/2020 12:49:53 498ms.	20h.1m.36s.	Pico	132,006v	A(v)
28/7/2020 12:49:53 498ms.		Pico (detalle superior)	132,006v	A(v)
28/7/2020 12:50:02 370ms.		Pico (detalle superior)	132,004v	C(v)
28/7/2020 12:50:11 641ms.		Pico (detalle superior)	132,004v	B(v)
28/7/2020 15:46:01 242ms.		Pico (detalle inferior)	129,587v	C(v)
28/7/2020 15:47:15 339ms.		Pico (detalle inferior)	129,598v	B(v)
28/7/2020 16:35:06 799ms.		Pico (detalle superior)	132,003v	C(v)
28/7/2020 17:10:01 102ms.		Pico (detalle superior)	132,013v	B(v)
28/7/2020 18:07:59 716ms.		Pico (detalle inferior)	129,599v	B(v)
28/7/2020 18:15:37 714ms.		Pico (detalle inferior)	129,598v	C(v)
28/7/2020 20:33:42 777ms.		Pico (detalle superior)	132,042v	C(v)
28/7/2020 21:50:01 804ms.		Pico (detalle inferior)	129,461v	C(v)
28/7/2020 21:50:06 217ms.		Pico (detalle superior)	132,012v	C(v)
28/7/2020 22:48:36 414ms.		Pico (detalle superior)	132,001v	B(v)
29/7/2020 07:51:31 521ms.		Pico (detalle inferior)	129,599v	B(v)
29/7/2020 08:01:28 917ms.		Pico (detalle inferior)	129,397v	C(v)
29/7/2020 08:01:41 902ms.		Pico (detalle superior)	132,034v	C(v)
29/7/2020 08:01:45 689ms.		Pico (detalle superior)	132,027v	B(v)

Tabla 33 Lista de eventos del 27-29

Fuente: autores

5.3.2 EVENTOS 29/07/2020 HASTA 30/07/2020

LISTA DE EVENTOS				
FECHA	DURACIÓN	TIPO	NIVEL	CANAL
29/7/2020 09:22:41 200ms.		Pico (detalle inferior)	129,598v	B(v)
29/7/2020 09:23:14 38 ms.		Pico (detalle inferior)	117,097v	C(v)
29/7/2020 9:23:15 138 ms.		Pico (detalle superior)	132,018v	C(v)
29/7/2020 9:23:15 138 ms.	19m.18s.032ms.	Pico	132,252v	C(v)
29/7/2020 09:42:33 170ms.		Pico (detalle inferior)	129,596v	C(v)
29/7/2020 10:46:20 436ms.		Pico (detalle inferior)	129,592v	A(v)
29/7/2020 10:51:13 797ms.		Pico (detalle superior)	132,011v	A(v)
29/7/2020 10:51:13 797ms.	42m.52s.151ms.	Pico	132,609v	A(v)
29/7/2020 11:34:05 948ms.		Pico (detalle inferior)	129,591v	A(v)
29/7/2020 11:34:10 269ms.	3h.19m.2s.621ms.	Pico	132,009v	A(v)
29/7/2020 11:34:10 269ms.		Pico (detalle superior)	132,009v	A(v)
29/7/2020 16:48:50 196ms.		Pico (detalle superior)	132,054v	C(v)
29/7/2020 16:49:02 032ms.		Pico (detalle superior)	132,002v	B(v)
29/7/2020 18:24:50 958ms.		Pico (detalle inferior)	129,599v	B(v)
29/7/2020 19:38:43 295ms.		Pico (detalle superior)	132,002v	B(v)
29/7/2020 23:55:01 357ms.		Pico (detalle inferior)	129,339v	C(v)
29/7/2020 23:55:01 371ms.		Pico (detalle inferior)	129,562v	A(v)
29/7/2020 23:55:02 321ms.		Pico (detalle superior)	132,028v	A(v)
29/7/2020 23:55:03 048ms.		Pico (detalle superior)	132,001v	C(v)
29/7/2020 08:41:56 277ms.		Pico (detalle inferior)	129,51v	C(v)
30/7/2020 09:07:42 903ms.		Pico (detalle inferior)	129,575v	B(v)
30/7/2020 09:22:04 100ms.		Pico (detalle superior)	132,051v	B(v)
30/7/2020 9:22:04 205 ms.		Pico (detalle superior)	132,086v	C(v)
30/7/2020 10:46:01 201 ms.		Pico (detalle inferior)	128,237v	A(v)
30/7/2020 10:46:01 676 ms.		Pico (detalle superior)	132,061v	A(v)
30/7/2020 10:46:22 807 ms.		Pico (detalle inferior)	128,934v	C(v)
30/7/2020 10:46:45 304 ms.		Pico (detalle inferior)	126,001v	B(v)
30/7/2020 10:47:29 576 ms.		Pico (detalle superior)	132,011v	B(v)

30/7/2020 10:49:07 538 ms.		Pico (detalle superior)	132,022v	C(v)
30/7/2020 11:21:29 913 ms.		Pico (detalle inferior)	129,565v	C(v)
30/7/2020 11:37:17 356 ms.		Pico (detalle superior)	132,006v	C(v)
30/7/2020 15:30:08 626 ms.		Pico (detalle inferior)	129,57v	B(v)
30/7/2020 15:30:16 235 ms.		Pico (detalle inferior)	129,576v	C(v)
30/7/2020 16:20:15 279 ms.		Pico (detalle superior)	132,003v	C(v)
30/7/2020 16:21:27 052 ms.		Pico (detalle superior)	132,003v	B(v)

Tabla 34 Lista de eventos 29-30

Fuente: autores

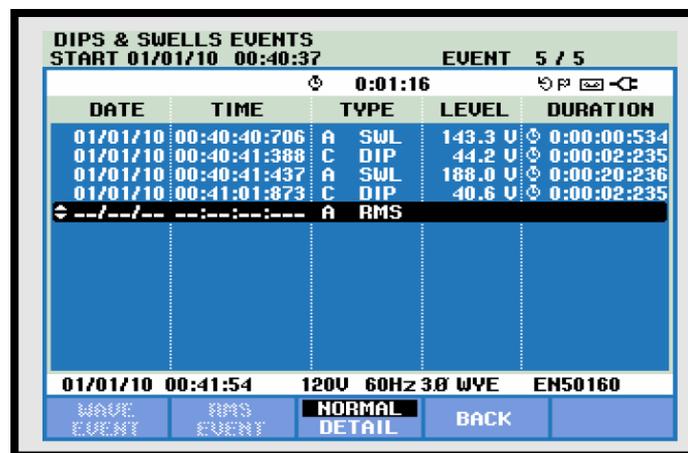
5.3.3 DESCRIPCIÓN DE EVENTUALIDADES EN ANALIZADOR

En los días de análisis se registraron algunas fluctuaciones como observamos en la figura 78, pero estas eventualidades se graban como interrupciones, caídas de tensión, cambios rápidos de tensión y subidas de tensión y el Analizador las abrevia como observamos en la tabla 33.

Abreviatura	Descripción
CHG	Cambio rápido de tensión
DIP	Fluctuación de tensión
INT	Interrupción de tensión
SWL	Subida de tensión
TRA	Transitorios
AMP	Valor excedido de amperios

Tabla 35 Abreviatura utilizada en el analizador

Fuente: Manual



DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
01/01/10	00:40:40:706	A SWL	143.3 U	0:00:00:534
01/01/10	00:40:41:388	C DIP	44.2 U	0:00:02:235
01/01/10	00:40:41:437	A SWL	188.0 U	0:00:20:236
01/01/10	00:41:01:873	C DIP	40.6 U	0:00:02:235

01/01/10 00:41:54 120V 60Hz 3Ø WYE EN50160

WAVE RMS NORMAL BACK
EVENT EVENT DETAIL

Figura 78 Pantalla de eventos

Fuente: Manual

5.4 EVENTO 22/07/2020 14:04:09 176ms

5.4.1 Pico (detalle inferior)

Analizaremos este evento ocurrido en las fases A-B-C, que se produjeron caídas de tensión que llegó a un nivel inferior del límite como se presenta en la figura 79.

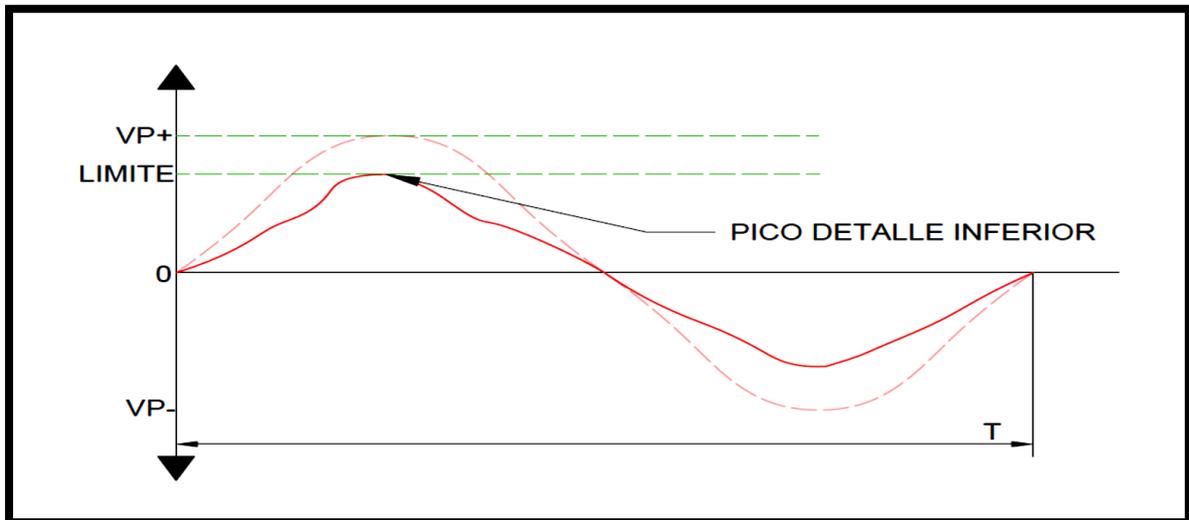


Figura 79 Descripción gráfica de Pico inferior
Fuente: autores

$$VP_{nominal} = 183.87v$$

$$Vrms_{nominal} = 130v$$

Esta fluctuación tuvo una pequeña duración de 0.50ms.

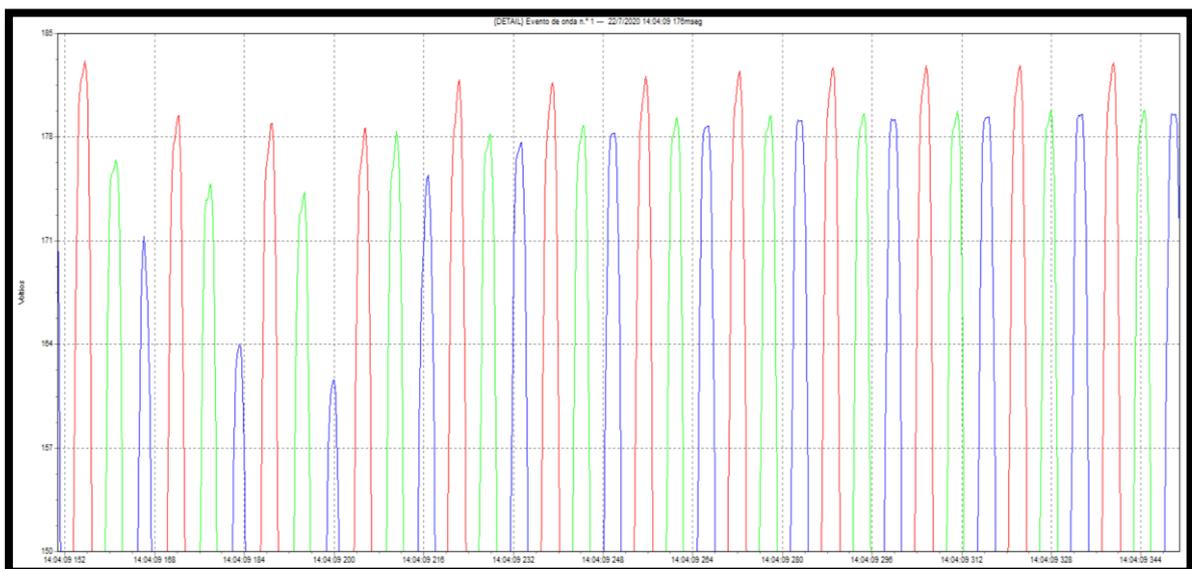


Figura 80 Eventualidad caída de tensión DIP
Fuente: autores

En la figura 80, observamos que los valores del voltaje pico de cada una de las fases son los siguientes:

$$VP_A = 178,516v$$

$$VP_B = 174,317v$$

$$VP_C = 161,542v$$

Establecimos que los valores de tensión no pueden aumentar ni disminuir 10% del valor nominal.

Realizaremos el cálculo para obtener el voltaje rms, que se presenta en el momento de la fluctuación, mediante la ecuación 3.

$$VRMS_A = 178,516 * 0,707v = 126,213v$$

$$VRMS_B = 174,317 * 0,707v = 127,242v$$

$$VRMS_C = 161,542 * 0,707v = 114,210v$$

El voltaje eficaz de las fases A-B son menores al valor nominal del servicio eléctrico del colegio, pero no excede el -10 % de la tensión nominal (130V).

$$Fase A: 117v < 126,213v < 130v$$

$$Fase B: 117v < 127,242v < 130v$$

$$Fase C: 114,210 < 117v$$

Sin embargo, la fase C presentó una caída de tensión menor al 10%, en valores por unidad 0,87 en 30 ciclos.

Estas caídas de tensión suceden varias veces al día y algunas otras acarrear valores inferiores o similares a los mostrados, y con esta eventualidad podemos correr el riesgo de averiar algunos equipos electrónicos.

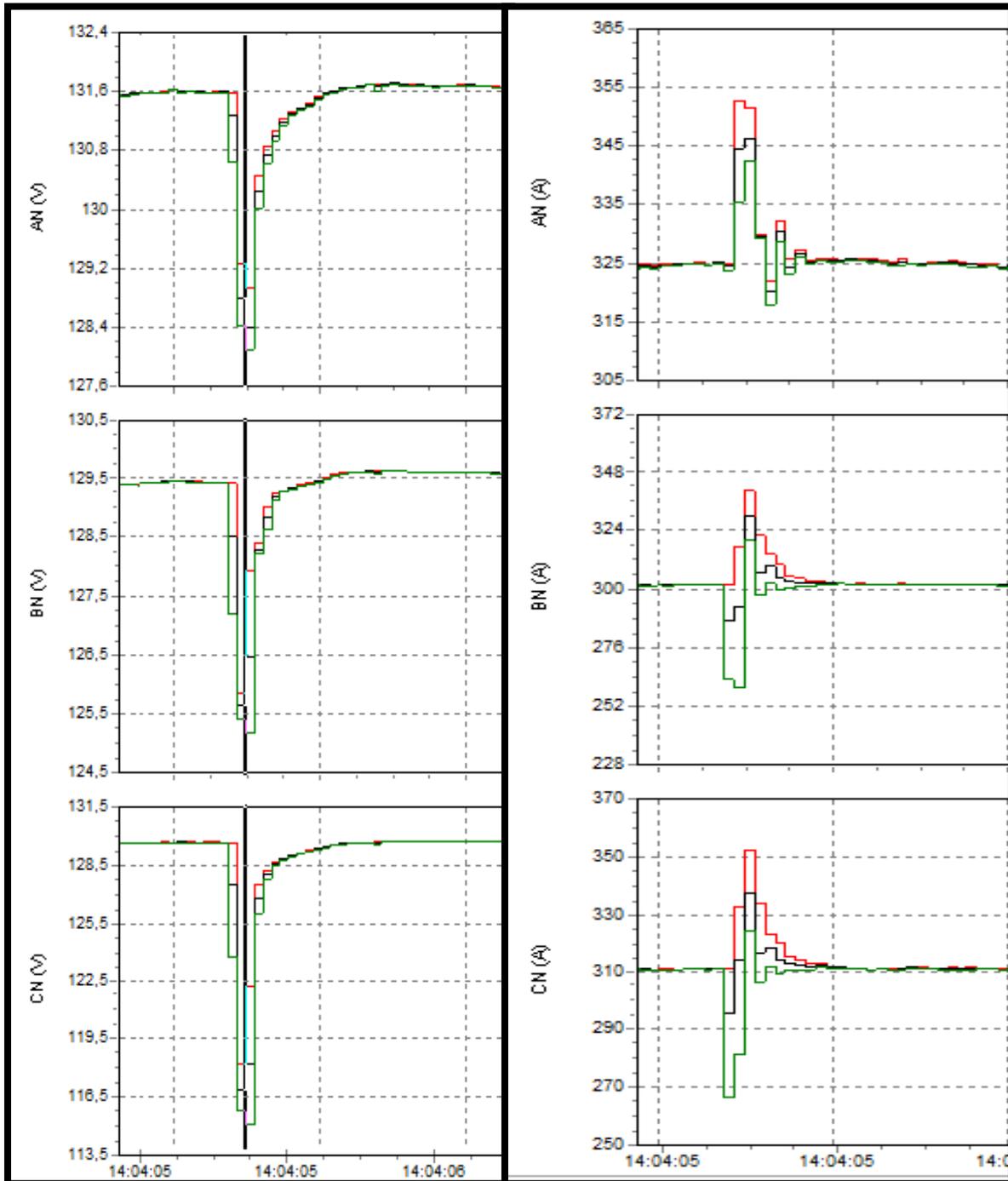


Figura 81 Comportamiento de Tensión y corriente en eventualidad

Fuente: autores

Esta perturbación, como se muestra en la figura 81, pueden haberse producido por el encendido de varios aires acondicionados al mismo instante, ya que la corriente se incrementó de golpe y luego se estabiliza.

5.5 23/07/2020 17:46:50 472ms

5.5.1 Pico (detalle superior)

Analizaremos este evento ocurrido en las fases A-B-C, que se produjeron aumentos de tensión que llego a un nivel superior del límite como se muestra en la figura 82.

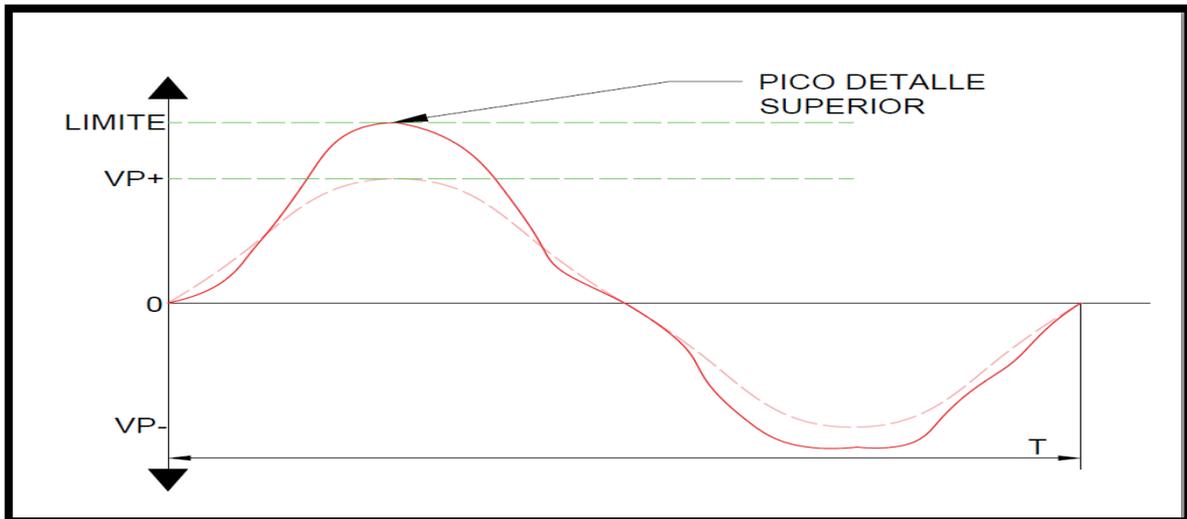


Figura 82 Descripción gráfica de pico superior

Fuente: autores

$$VP_{nominal} = 183.87v$$

$$V_{rms_{nominal}} = 130v$$

Esta fluctuación tuvo una pequeña duración de 1ms.

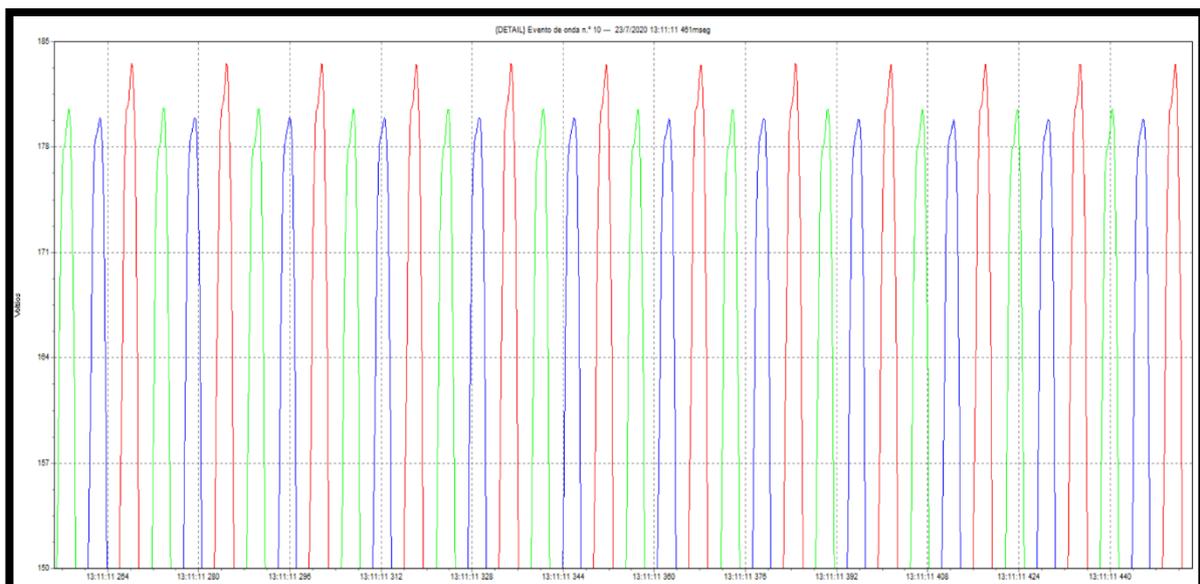


Figura 83 Eventualidad Sobretensión SWL

Fuente: autores

En la figura 83, observamos que los valores del voltaje pico de cada una de las fases son los siguientes:

$$VP_A = 189,533v$$

$$VP_B = 186,704v$$

$$VP_C = 186,321v$$

Establecimos que los valores de tensión no pueden aumentar ni disminuir 10% del valor nominal.

Realizaremos el cálculo para obtener el voltaje rms, que se presenta en el momento de la fluctuación, mediante la ecuación 3.

$$VRMS_A = 189,533 * 0,707v = 134,012v$$

$$VRMS_B = 186,704 * 0,707v = 132,008v$$

$$VRMS_C = 186,321 * 0,707v = 131,729v$$

El voltaje eficaz de las fases A-B-C son mayores al valor nominal del servicio eléctrico del colegio, pero no excede el +10 % de la tensión nominal (130V).

$$Fase A: 130v < 134,012v < 143v$$

$$Fase B: 130v < 132,008v < 143v$$

$$Fase C: 130v < 131,729v < 143v$$

Sin embargo, la fase A presentó un aumento de tensión mayor a las otras fases, pero no exceden el límite del 10%.

Estos aumentos de tensión llegan a repetirse varias veces al día y algunas otras acarream valores más altos que el mostrado, y con esta eventualidad podemos correr el riesgo de averiar algunos equipos electrónicos, saltar breques y alta temperatura en los conductores.

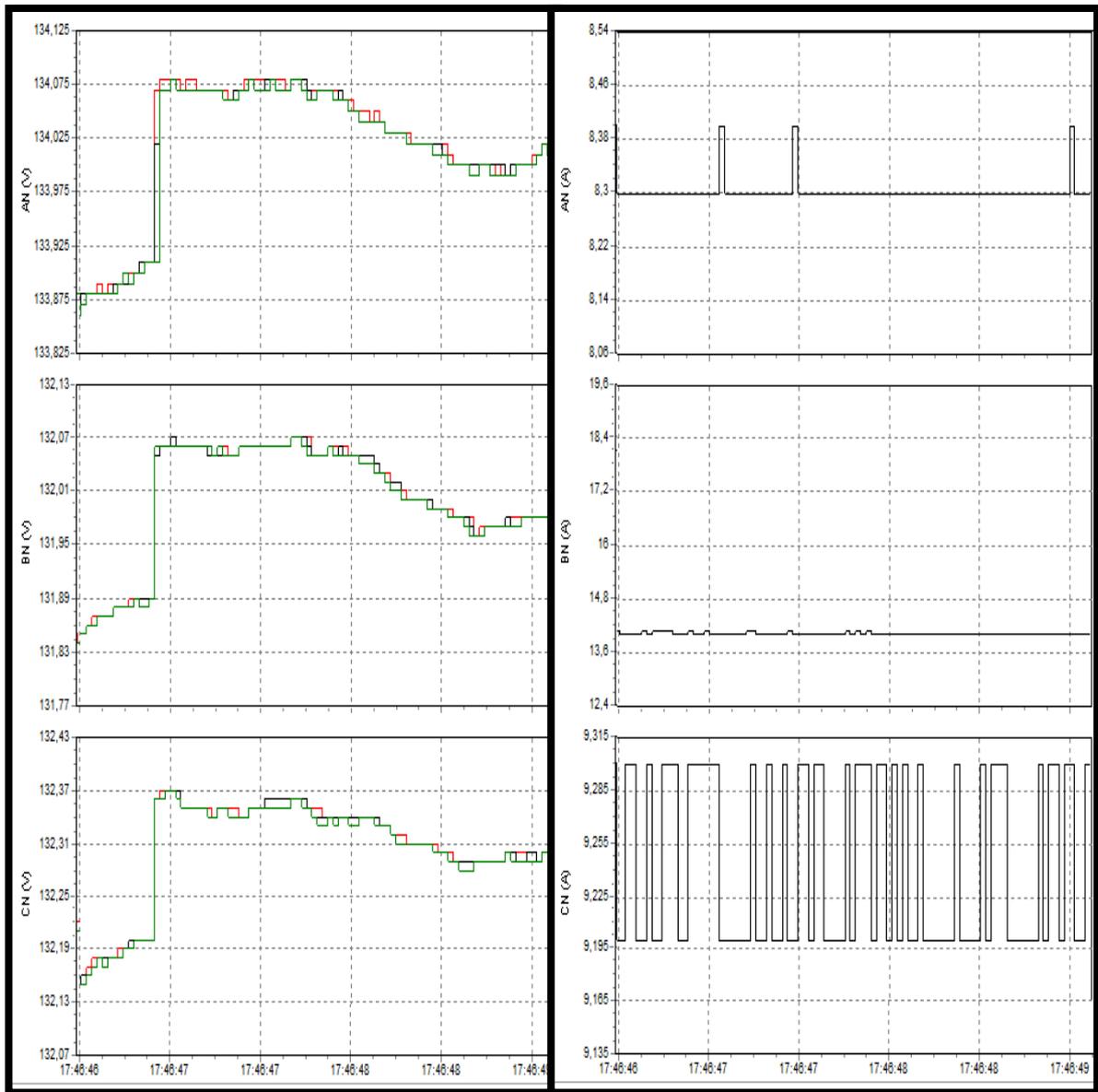


Figura 84 Comportamiento de Tensión y corriente en eventualidad

Fuente: autores

Estas perturbaciones que se muestran en la figura 84 pueden haberse producido por el banco de capacitores que inyector a la red un pequeño aumento de tensión para mejorar su FP, que se muestra en la tabla 34.

Fase A	Fase B	Fase C	Total
0,78	0,94	0,95	0,86

Tabla 36 Factor de potencia en cada fase

Fuente autores

5.6 28/7/2020 06:49:02 248ms.

5.6.1 Hueco

Analizaremos este evento ocurrido en las fases A-B-C, que se produjeron caídas de tensión que llegaron a un nivel inferior del límite y el A.R. la interpretó como un vacío como se muestra en la figura 85.

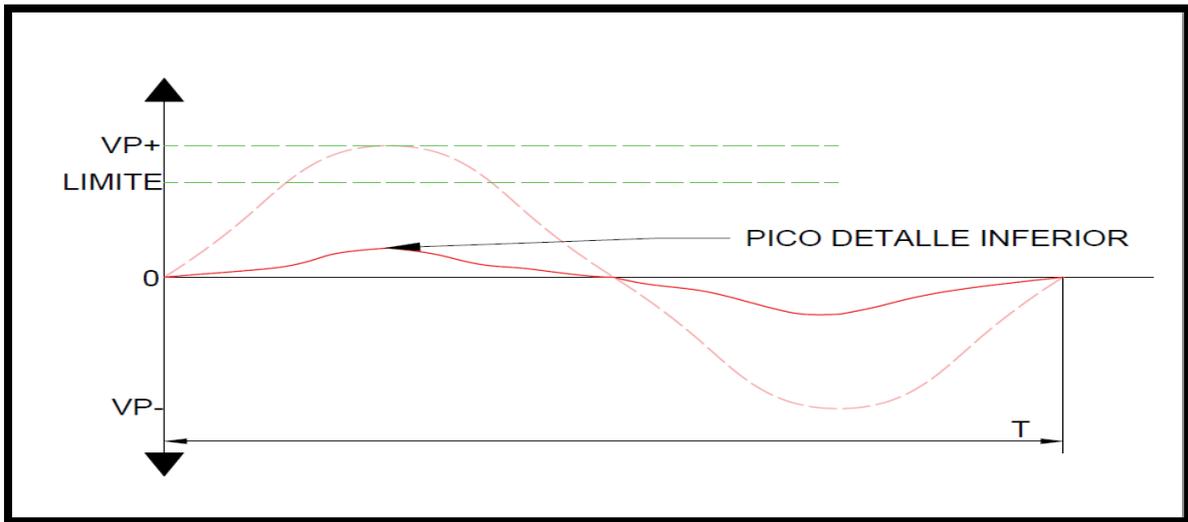


Figura 85 Descripción gráfica de hueco

Fuente: autores

$$VP_{nominal} = 183.87v$$

$$V_{rms_{nominal}} = 130v$$

Esta fluctuación tuvo una pequeña duración de 1ms.

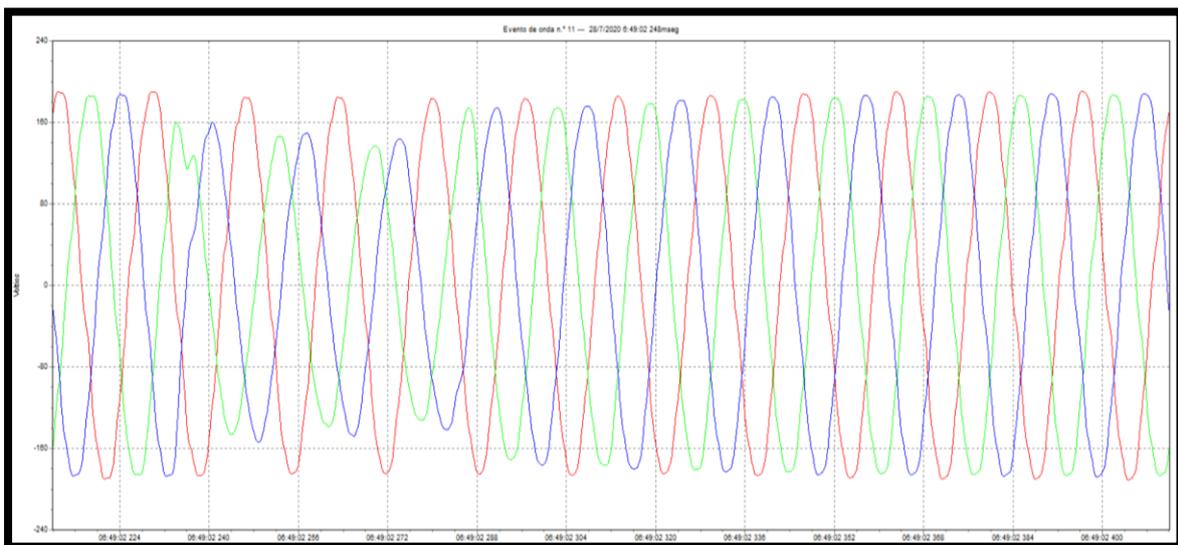


Figura 86 Eventualidad caída de tensión DIP

Fuente: autores

En la figura 86, observamos que los valores de la tensión pico de cada una de las fases son los siguientes:

$$VP_A = 182,992v$$

$$VP_B = 143,415v$$

$$VP_C = 136,661v$$

Establecimos que los valores de tensión no pueden aumentar ni disminuir 10% del valor nominal.

Realizaremos el cálculo para obtener el voltaje rms, que se presenta en el momento de la fluctuación, mediante la ecuación 3.

$$VRMS_A = 182,992 * 0,707v = 129,375v$$

$$VRMS_B = 143,415 * 0,707v = 101,203v$$

$$VRMS_C = 136,661 * 0,707v = 96,619v$$

El voltaje eficaz de la fase A es menor al valor nominal del servicio eléctrico del colegio, pero no excede el -10 % de la tensión nominal (130V).

$$Fase A: 117v < 129,375v < 130v$$

$$Fase B: 101,203v < 117v$$

$$Fase C: 96,619 < 117v$$

Sin embargo, las fases B-C presentaron una caída de tensión menor a los límites establecidos.

Estas caídas de tensión suceden varias veces al día y algunas otras acarrear valores inferiores o similares a los mostrados, y con esta eventualidad podemos correr el riesgo de averiar algunos equipos electrónicos, el apagado de algunos equipos de cómputo, aires acondicionados o motores.

En la figura 87 observamos que el rango de nivel de tensión alcanzado y el tiempo de duración

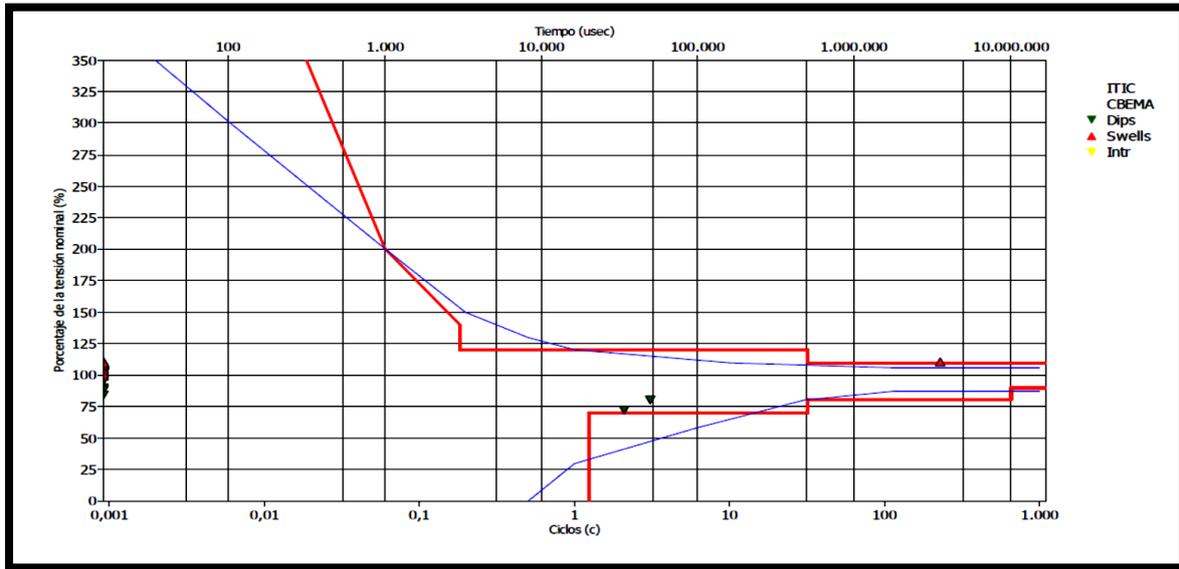


Figura 87 Huecos registrados

Fuente: autores

Tensión residual u	Duración t [ms]						
	T<10	10≤t<200	200≤t<500	500≤t<1000	1000≤t<5000	5000≤t<60000	60000≤t
u≥120	-	-	-	-	-	-	-
120>u≥110	23	-	-	-	-	-	6
90>u≥80	3	1	-	-	-	-	-
80>u≥70	-	1	-	-	-	-	-
70>u≥40	-	-	-	-	-	-	-
40>u≥5	-	-	-	-	-	-	-
5>u	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 37 Registro de caídas de tensión (Huecos)

Fuente: autores

En la tabla 35, se estableció que se presentaron 23 caídas de tensión o Huecos entre el rango de 120>u>110 y tuvieron duración menor a 10ms y la caída de tensión más baja oscila 80>u>70 durando de 10<t<200 ms.

5.7 ARMÓNICOS DE TENSIÓN

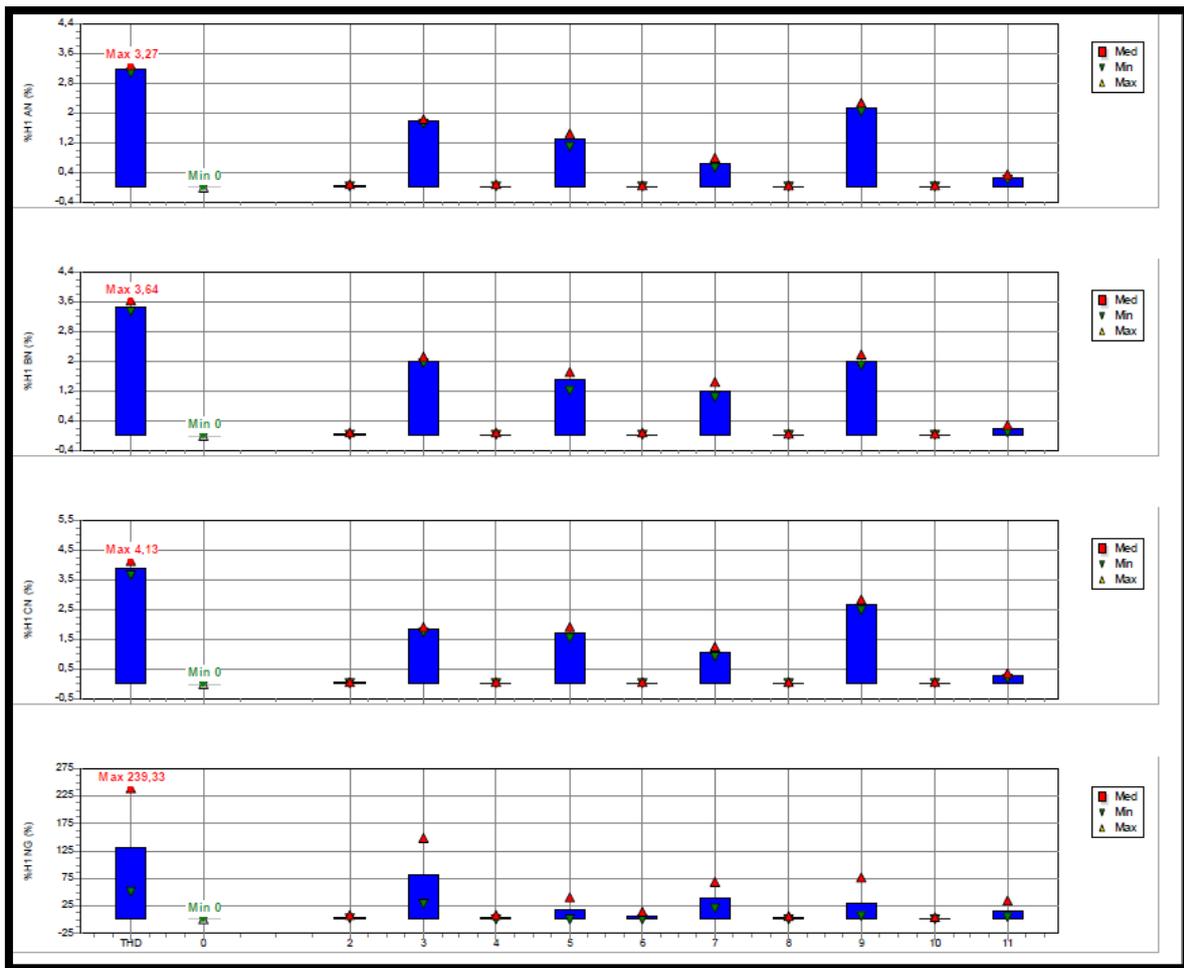


Figura 88 Valores de THD voltaje en el colegio

Fuente: autores

En la Figura 88 se apreciamos el nivel máximo de THD de tensión que genera el equipo conectado en toda la escuela, en el análisis se observa que el trifásico cumple con la norma EN50160, que estipula que la distorsión armónica máxima es del 8%. Puede ver los resultados de la medición en la Tabla 36. Sin embargo, en el conductor neutro, una de las mayores distorsiones registradas es del 239,33%, y los armónicos impares 3-5-7-9-11 aumentan como se muestra en la Figura 88. Esto se debe al encendido de una gran cantidad de computadoras, accionamientos de ascensores y otros aparatos eléctricos incluidos en el mecanismo.

En los Resultados obtenidos en la tabla 36 observamos que los valores de armónicos de las fases si cumplen con la norma, sin embargo, los niveles de armónicos en la fase neutro no cumplen con la norma:

FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
22/07 – 23/07	A	3,45%	4,073%	5,12%
	B	3,04%	3,417%	4,96%
	C	2,84%	3,227%	3,86%
	N	23,23%	104,84%	212,75%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
23/07 – 24/07	A	3,38%	4,095%	5,02%
	B	2,92%	3,435%	4,23%
	C	2,86%	3,264%	3,91%
	N	70,35%	135,89%	288,92%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
24/07 – 25/07	A	3,18%	4,033%	4,73%
	B	2,93%	3,35%	3,84%
	C	2,74%	3,255%	3,69%
	N	69,17%	147,429%	265,92%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
27/07 – 28/07	A	3,18%	4,208%	5,12%
	B	2,88%	3,526%	4,16%
	C	2,72%	3,325%	3,91%
	N	70,28%	197,769%	327,67%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
28/07 – 29/07	A	3,39%	3,954%	4,99%
	B	2,8%	3,402%	4,09%
	C	2,77%	3,213%	3,87%
	N	62,95%	164,259%	327,67%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
29/07 – 30/07	A	3,42%	4,12%	5,03%
	B	3,9%	3,417%	4,38%
	C	3,9%	3,339%	4,11%
	N	43,7%	134,569%	327,67%
FECHA	FASE	THD V		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
30/07 – 31/07	A	3,55%	4,345%	5,22%
	B	3,08%	3,623%	4,28%
	C	2,91%	3,429%	4,04%
	N	69,38%	105,6%	327,67%

Tabla 38 Valores de THD V por días

Fuente: autores

5.7.1 ARMÓNICOS DE CORRIENTE

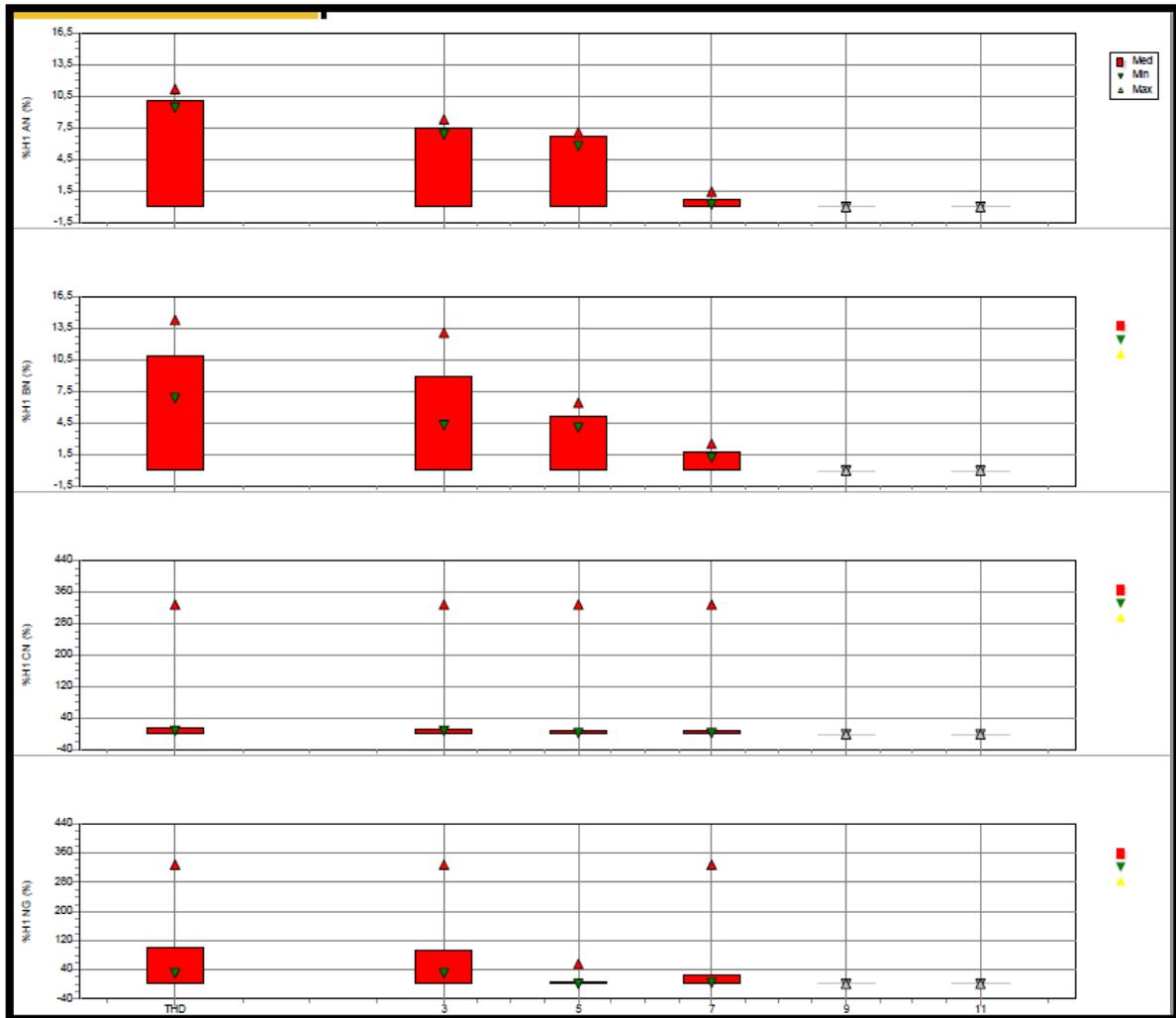


Figura 89 Valores de THD corriente en el colegio

Fuente: autores

En la Figura 89 se observa el nivel máximo actual de THD generado por los equipos conectados en toda la escuela, en el análisis se observa que el trifásico no cumple con la norma EN50160, que estipula que la distorsión armónica máxima es del 8% y Los resultados de la medición se pueden ver en la Tabla 37. Cabe señalar que el conductor neutro muestra 327.67% de la distorsión máxima registrada, donde aumentan 3-5-7-9 armónicos impares, como se muestra en la Figura 3. Figura 89. Esto se logra encendiendo una gran cantidad de computadoras, accionamientos de ascensores y otros aparatos eléctricos contenidos en el mecanismo.

En los Resultados obtenidos en la tabla 37 observamos que los valores de armónicos de las fases no cumplen con la norma:

FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
22/07 – 23/07	A	3,73%	25,57%	63,55%
	B	3,25%	20,26%	44,49%
	C	3,12%	10,17%	32,86%
	N	8,38%	57,84%	292,6%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
23/07 – 24/07	A	3,38%	18,25%	33,96%
	B	4,92%	22,45%	43,58%
	C	4,86%	11,64%	34,16%
	N	8,5%	87,89%	327,67%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
24/07 – 25/07	A	7,27%	11,83%	37,53%
	B	6,29%	17,71%	28,97%
	C	4,62%	9,96%	16,1%
	N	12,09%	62,57%	327,92%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
27/07 – 28/07	A	3,92%	6,59%	23,03%
	B	3,07%	8,55%	37,97%
	C	3,10%	6,53%	15,62%
	N	18,06%	60,26%	327,67%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
28/07 – 29/07	A	7,69%	12,59%	32,79%
	B	5,61%	10,15%	45,40%
	C	4,45%	8,15%	21,87%
	N	11,05%	92,14%	327,67%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
29/07 – 30/07	A	4,56%	12,52%	32,73%
	B	3,86%	13,72%	28,23%
	C	2,12%	7,97%	12,94%
	N	12,77%	84,69%	327,67%
FECHA	FASE	THD A		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
30/07 – 31/07	A	3,75%	12,35%	29,36%
	B	5,91%	15,61%	44,48%
	C	4,63%	8,55%	13,54%
	N	13,38%	105,6%	327,67%

Tabla 39 Valores de THD Amp por día

Fuente: autores

En los días que realizamos el análisis podemos observar en la tabla 36, el nivel de THD V en cada una de las fases A-B-C no excede el 8% que dictamina la norma, pero observamos que en el comportamiento en la fase neutro toma valores mayores al 8%.

En los días que realizamos el análisis podemos observar en la tabla 37, el nivel de THD A en cada una de las fases A-B-C excede el 8% que dictamina la norma.

Esta eventualidad produce que el conductor neutro exceda la corriente y temperatura límite como se muestra en la figura 90, el conductor tiende a desgastar su vida útil y disminuye su nivel de aislamiento.



Figura 90 Neutro sobrecargado
Fuente: autores

El conductor utilizado para los circuitos de tomacorrientes en cada uno de los niveles es el AWG#12 que soporta un nivel de corriente de 20Amp a 75°C, las mediciones en los tableros reflejan que el nivel máximo de corriente llego a establecerse hasta los 35.3Amp como muestra la figura 91.

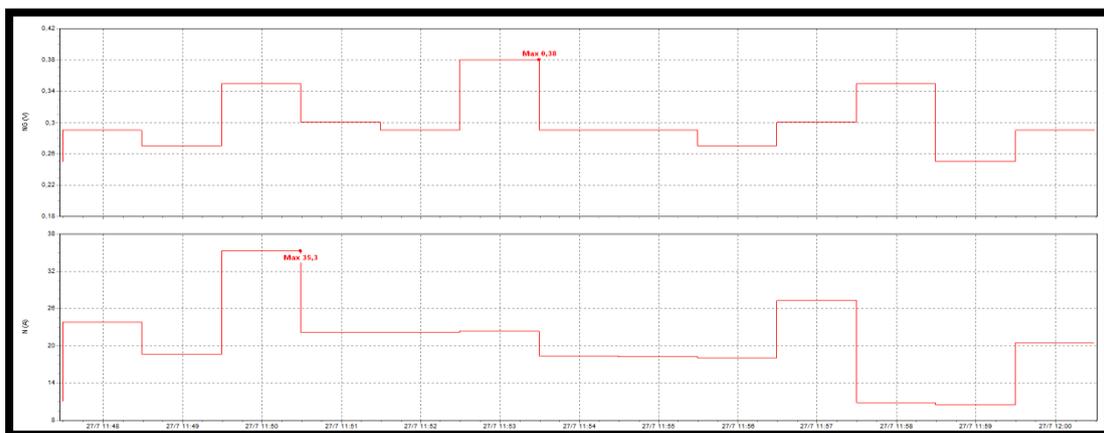


Figura 91 Comportamiento fase neutro
Fuente: autores

5.8 FLIKERS

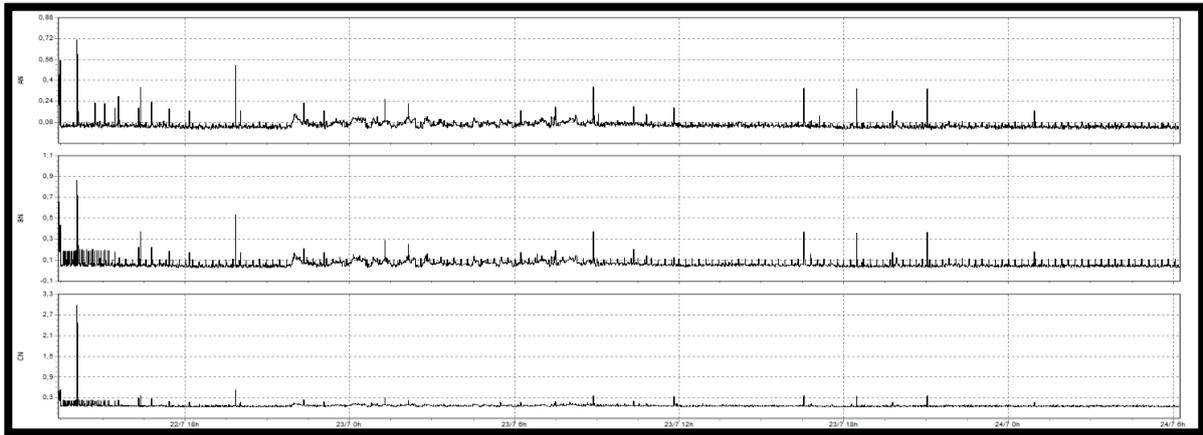


Figura 92 Registro de flikers

Fuente: autores

En la figura 92 podemos observar el comportamiento de flikers presentes en el colegio, los límites establecidos de los Pst tienen que ser igual a 1 como se redacta en el capítulo 2.3.4, en la tabla 38 reflejamos los valores censados y la fecha que se produjeron. Algunos valores sobrepasan el límite estandarizado y se remarcan con el color rojo, el efecto principal radica en la variación del brillo de las lámparas instaladas en el colegio, esto causa molestia visual e incluso fatigan a los estudiantes o docentes de la institución.

FECHA	FASE	PST	
		MINIMO	MAXIMO
22/07 – 23/07	A	0,027	0,714
	B	0,028	0,863
	C	0,029	2,976
23/07 – 24/07	A	0,024	1,012
	B	0,026	0,789
	C	0,024	0,506
24/07 – 25/07	A	0,027	0,976
	B	0,027	1,143
	C	0,028	0,521
27/07 – 28/07	A	0,031	1,41
	B	0,031	8,45
	C	0,034	7,543
28/07 – 29/07	A	0,028	2,379
	B	0,029	2,884
	C	0,031	8,588
29/07 – 30/07	A	0,029	1,025
	B	0,03	1,114
	C	0,03	2,431
30/07 – 31/07	A	0,028	1,667
	B	0,028	1,825
	C	0,031	1,102

Tabla 40 Valores registrados de PST durante 7 días

Fuente: autores

5.9 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Cuando realizamos la extracción de datos del analizador a nuestra computadora podemos observar todas las gráficas y todos los datos censados por medio de la aplicación Power Log 430II, tenemos la posibilidad de extraer imágenes de las pantallas y poder revisar qué día y qué fecha exactamente se registraron los datos y crear un informe completo del análisis.

Otra opción que nos permite realizar es la exportación de los datos a Excel y aquí podremos modificar la presentación, tomar los valores para realizar nuevos cálculos entre otras cosas.

Pero una de las falencias de la aplicación es no poder visualizar con mayor profundidad y modificar las escalas de las pantallas donde se muestran las gráficas, otra falencia es el no poder cambiar la apariencia de las formas de ondas dentro de la pantalla gráfica.

Es por esta razón que se vio la necesidad de poder crear con la ayuda del programa LabVIEW una aplicación que nos permita importar los datos registrados en Excel y presentarlos en una nueva pantalla con mejor apariencia y que nos brinde la capacidad de modificar las gráficas y nos facilite su estudio.

En esta aplicación podremos aumentar el número de ventanas permitiendo analizar y visualizar sus comportamientos de varias formas de onda al mismo tiempo, facilitando al personal encargado de estudiar los datos generados.

5.9.1 CÓDIGO DE LABVIEW

En la figura 93 observamos en la pantalla principal una barra importadora que se encarga de seleccionar el archivo Excel desde la carpeta en la cual lo tengamos guardado, al correr el programa podemos visualizar en la tabla todos los valores del archivo importado y finalmente se creará la gráfica en la pantalla con rejillas verde, es aquí donde podremos modificar la forma de la onda y donde podemos realizar cualquier otro beneficio que en el Power log no nos permite.

En la ventana gráfica de la figura 94 podemos modificar los colores de la pantalla para apreciar mejor la forma de onda de cualquier valor que asignemos a bosquejar.

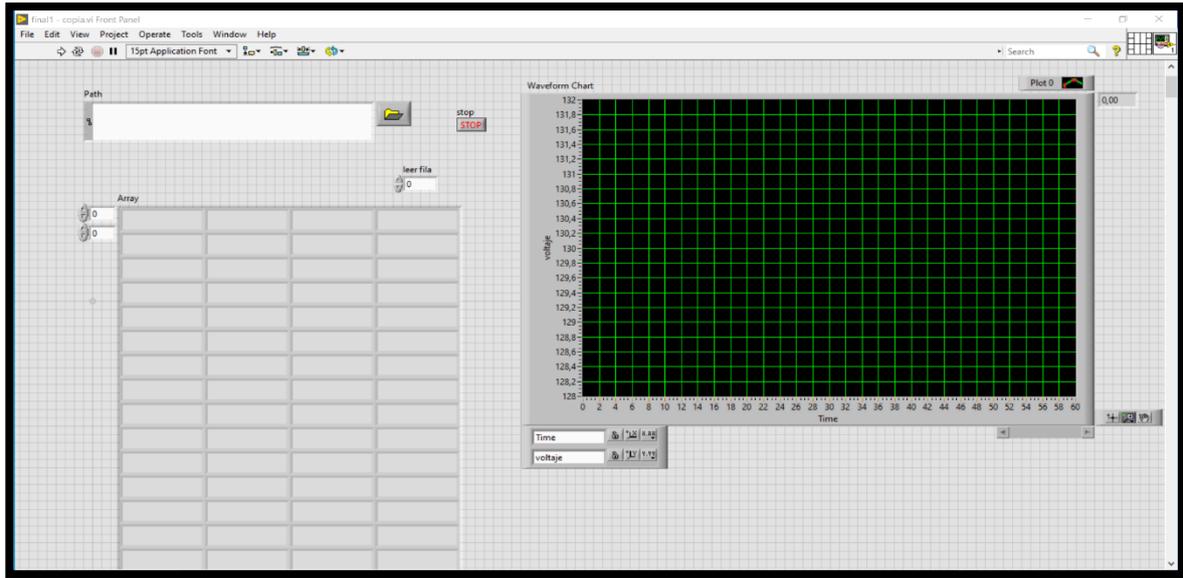


Figura 93 Programa de LabVIEW

Fuente: autores

El código de programación en LabVIEW está elaborado para poder generar la gráfica de los datos cada medio segundo y nosotros podemos asignar en hasta que dato se desea graficar.

En la figura 94 se muestra el código y es completamente modificable para que futuros estudiantes puedan agregar más pantallas de graficas o realizar mejoras al programa

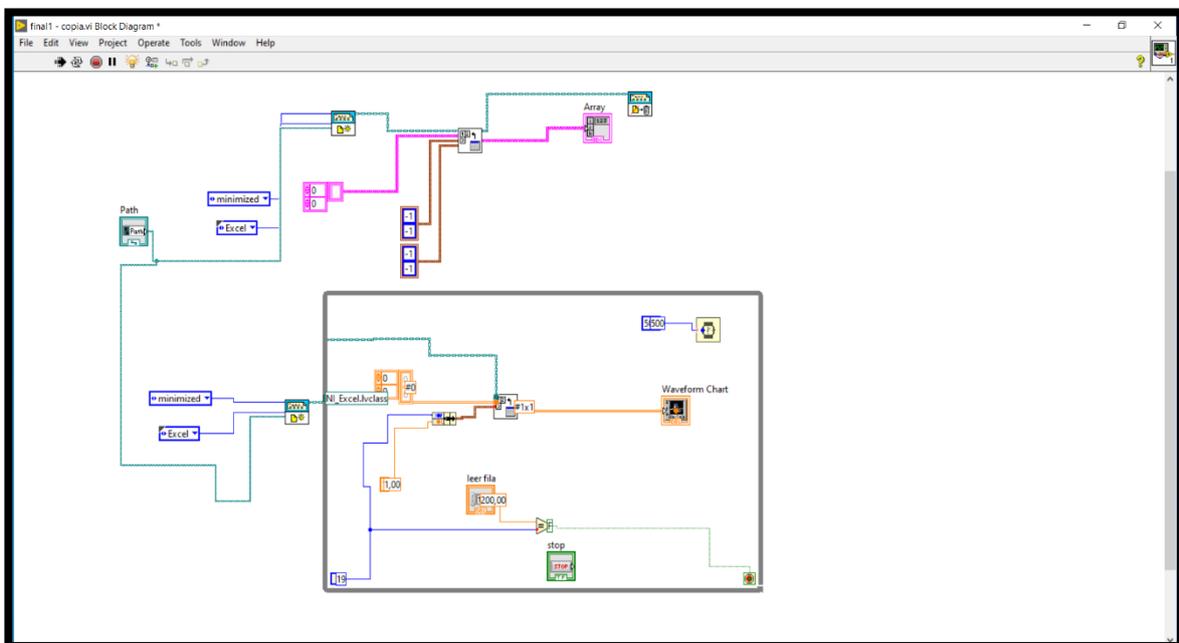


Figura 94 Código del Programa

Fuente: Autores

5.9.2 EJECUCIÓN DE APLICACIÓN

Para realizar el uso de esta aplicación debemos realizar los siguientes pasos:

Exportar los datos desde el programa Power Log 5.4 como se muestra en la figura 95.

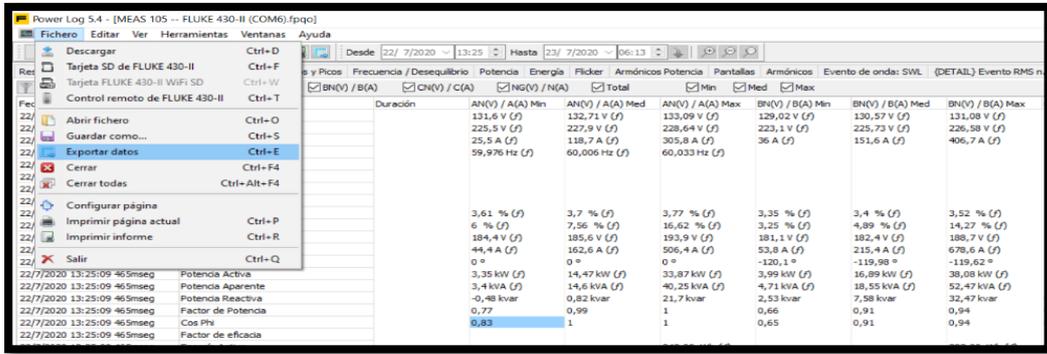


Figura 95 Exportar datos desde el programa Power Log.

Fuente: autores

Luego seleccionamos los datos que deseamos graficar con más detalles y lo guardamos en la dirección que queremos con el nombre que le asignemos, como se muestra en la figura 96.

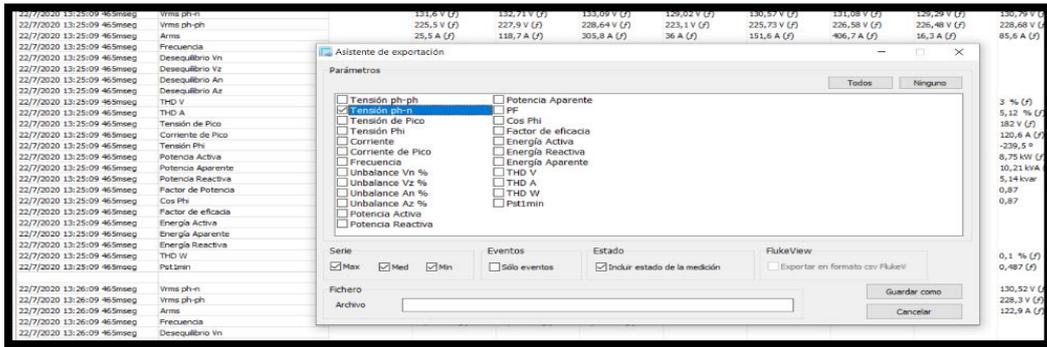


Figura 96 Selección de datos para exportar

Fuente: autores

Una vez creado el archivo de Excel podemos ingresar a la hoja de cálculo y modificarlo a nuestra conveniencia como se muestra en la figura 97.

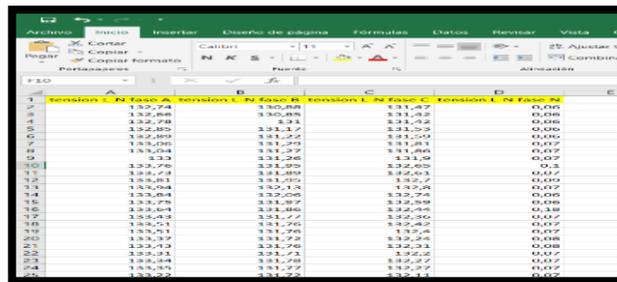


Figura 97 Edición de la hoja de cálculo

Fuente: autores

Abrimos la aplicación en LabVIEW y colocamos la dirección en donde tenemos guardado el archivo exportado en Excel del programa Power Log como se muestra en la figura 98. Finalmente corremos el programa

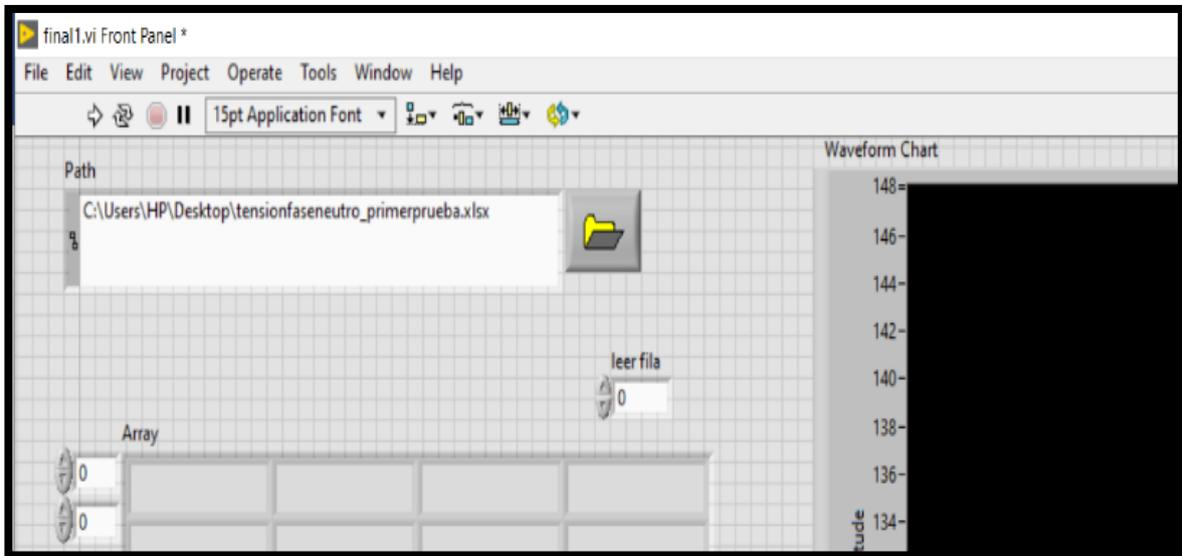


Figura 98 Ejecución del programa
Fuente: autores

En la ejecución del programa decidimos bosquejar hasta el dato 400 y creamos la gráfica de la tensión L-N fase B como se muestra en la figura 99. Observamos los datos del archivo Excel en la tabla de la pantalla.

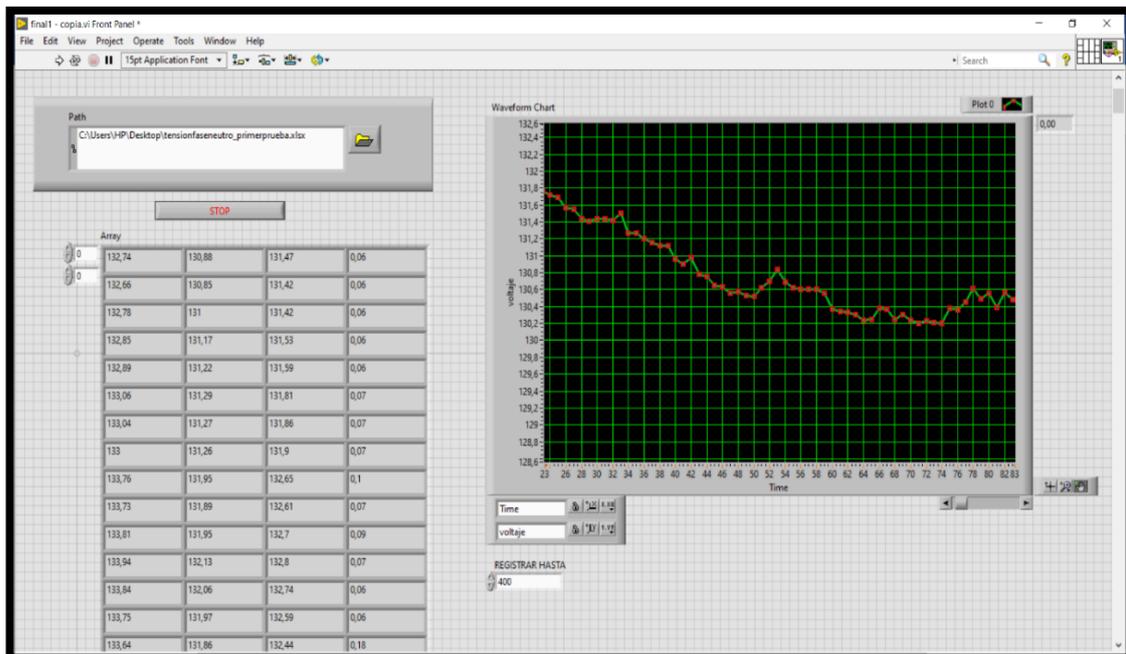


Figura 99 Visualización de la forma de onda de los datos exportados en Excel
Fuente: autores

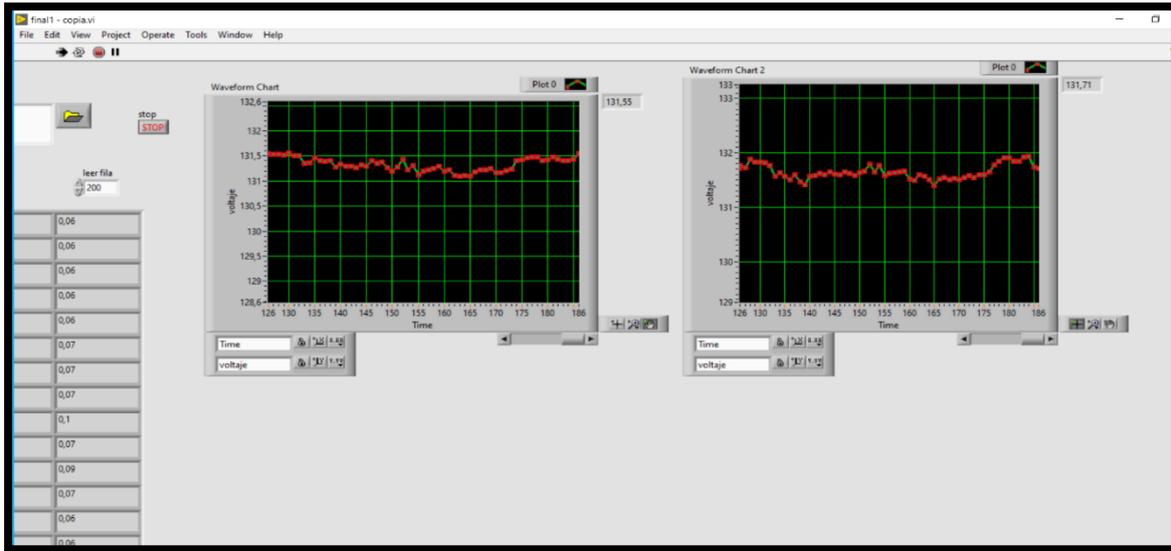


Figura 100 Agregar 1 pantalla gráfica
Fuente: autores

Como se muestra la figura 100 agregamos más pantallas graficas para poder bosquejar las fases o datos que queramos por separados, pero también tenemos la posibilidad de agregarlas a la mis grafica

5.9.3 COMPARACIÓN

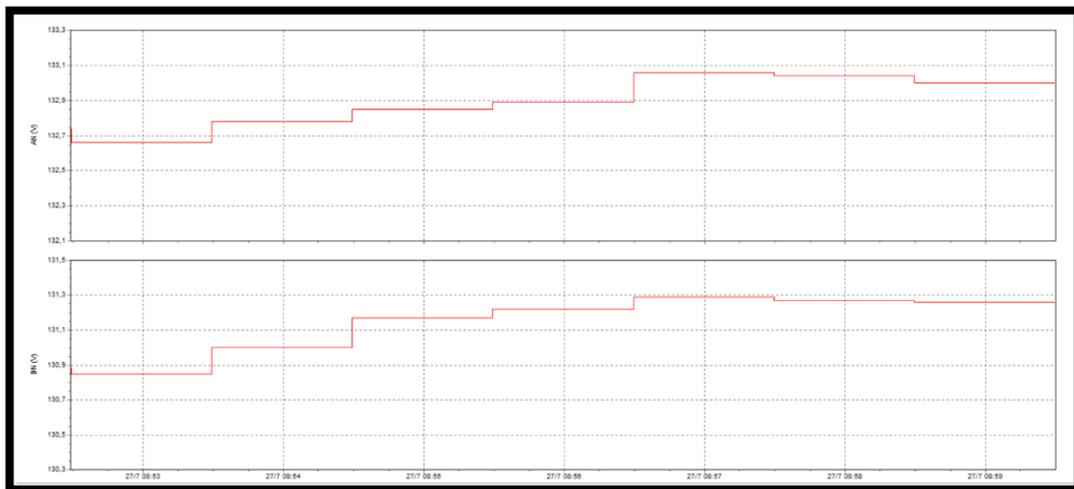


Figura 101 Grafica en Power Log
Fuente: autores

En la figura 101 muestra las gráficas de las tensiones L-N de las fases A-B en el programa Power Log y se nos realiza un poco tedioso tener que movernos por medio de la barra de desplazamiento en toda la gráfica, si queremos realizar un análisis de un momento en específico no podemos desplazarnos con el mouse de una forma más sencilla. Recalamos que no permite modificar los colores de las gráficas para una mejor interpretación.

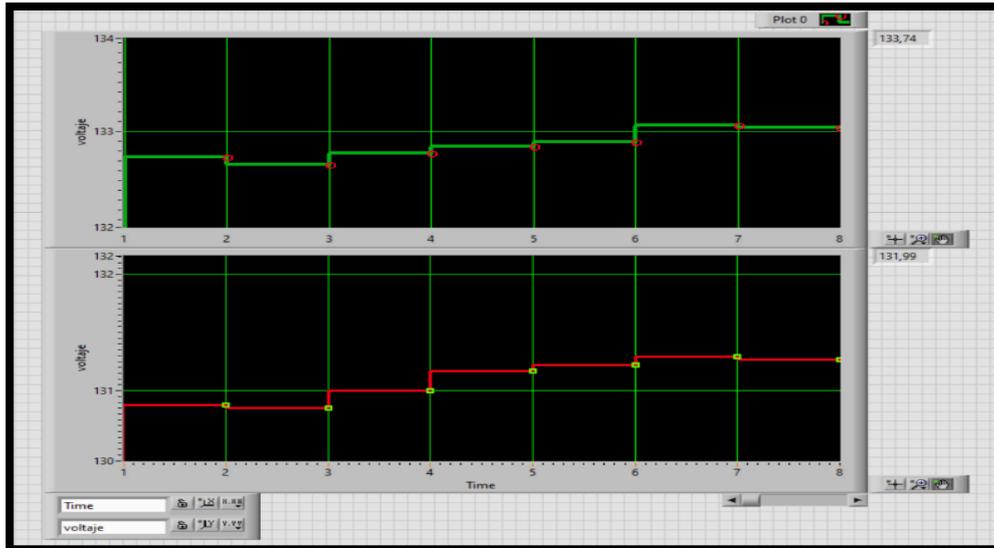


Figura 102 Graficas en LabVIEW

Fuente: autores

En la figura 102 muestra la gráfica de las tensiones L-N de las fases A-B en el programa de LabVIEW con la diferencia de que observamos una amplia mejora visual, es posible modificar los colores y la forma de la onda a nuestro gusto, estas ventajas son las que no nos permite realizar la aplicación Power Log teniendo pequeños inconvenientes al momento de estudiar las formas de onda de cada fase.

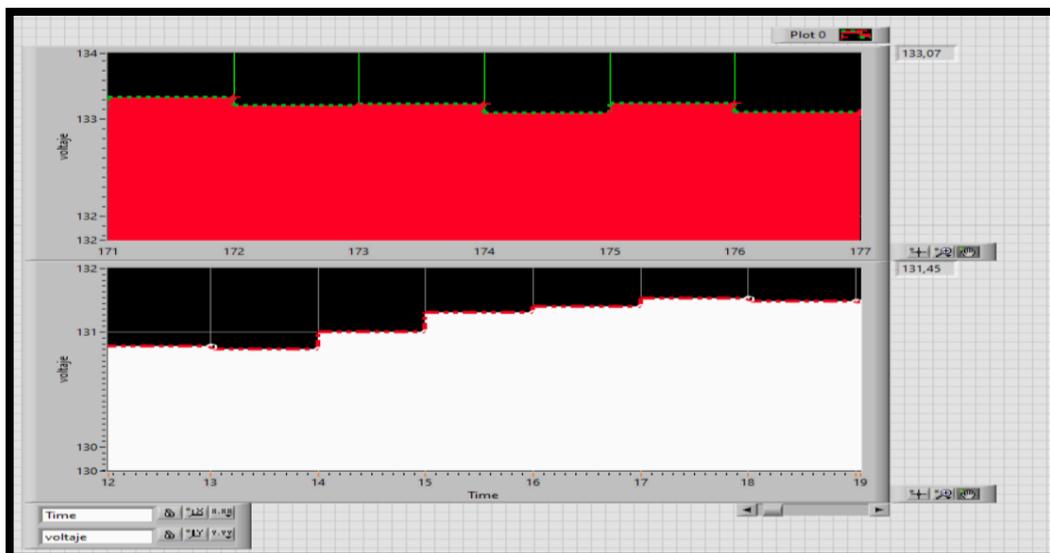


Figura 103 Graficas en LabVIEW modificada

Fuente: autores

Es posible mejorar nuestra pantalla grafica de diferentes formas como se observa en la figura 103, para hacer más sencillo el análisis o cualquier otra operación que deseamos realizar si tenemos una tabla de datos en Excel.

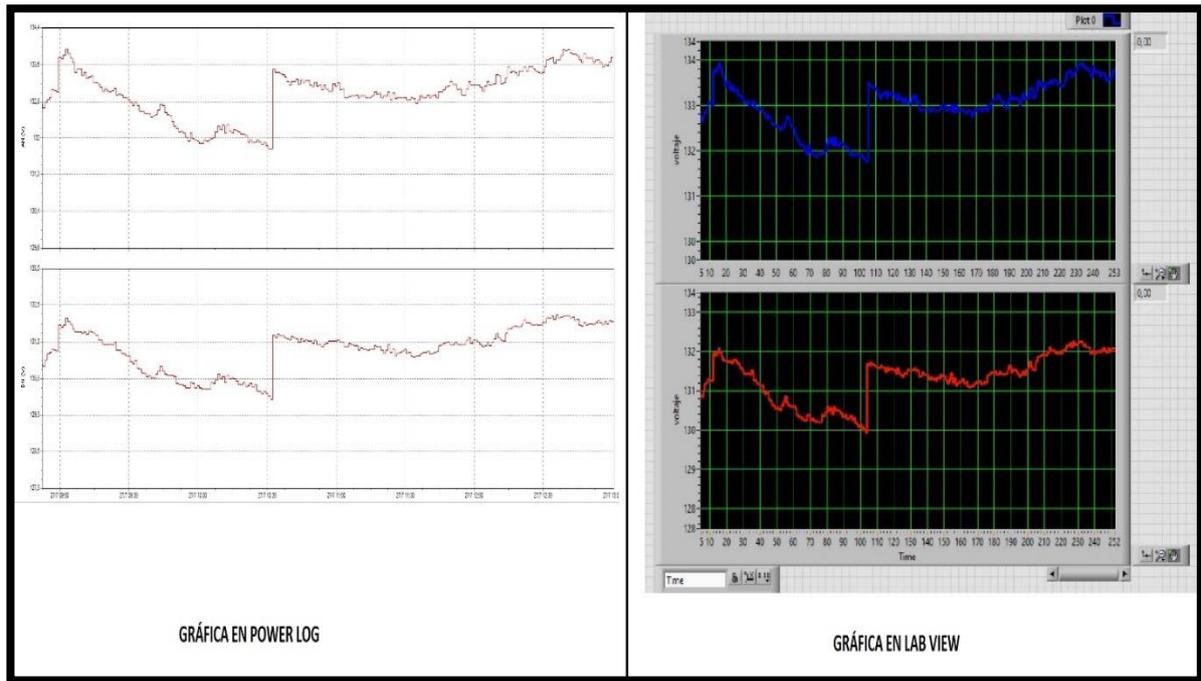


Figura 104 Comparación de las gráficas en los 2 programas

Fuente: autores

Se realizó la comparación de las gráficas en los 2 programas como podemos observar en la figura 104. El programa Power Log realiza el bosquejo de las gráficas con un margen de error de 0.4% y al momento de aumentar el espacio de trabajo en la ventana gráfica tenemos como límite máximo de acercamiento 180%. A diferencia del programa realizado en LabVIEW se puede realizar un acercamiento en la ventana gráfica hasta un 200% y el margen de error al momento de realizar las gráficas es de un 0.42% en un tiempo de 500ms.

La aplicación del programa en LabVIEW ofrece las siguientes ventajas:

- Se realizó mejoras en el aspecto visual.
- Se puede realizar movimientos con mayor facilidad dentro de la ventana gráfica.
- Obtenemos la misma gráfica de la aplicación Power Log.
- Se puede superponer varias gráficas en una sola pantalla.
- Se puede cambiar el color de las formas de onda o cualquier gráfica bosquejada.

- Se puede graficar voltajes vs frecuencia o con cualquier otro parámetro y visualizarlo en las ventanas superpuestas o por separados como se muestra en la figura 102.
- Se puede realizar la simulación de los valores registrados nuevamente.

Desventajas:

- Los valores que debemos graficar deben ser extraídos en el formato Excel y si necesitamos un estudio rápido, demoraremos al momento de crear estos reportes para ser importados por el programa LabVIEW.
- No todos los ingenieros o estudiantes cuentan con la aplicación LabVIEW en sus ordenadores.
- Para realizar una gráfica de cualquier parámetro ya sea voltaje, corriente, frecuencia entre otros, se demorará el mismo tiempo de la cantidad de valores a bosquejar.

El código será entregado a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, esperamos que puedan usarlo donde sea conveniente, esperamos que puedan modificar y mejorar el código hasta que se forme con éxito una aplicación universal y buena.

CAPITULO 6

PROPUESTAS DE MEJORAS

En el colegio Cristóbal Colón durante los días de análisis se realizó una inspección de todo el servicio eléctrico, identificando la ubicación de tableros de distribución, reconociendo que existen algunas posibles fallas, que se pueden presentar en los próximos años. Algunos equipos ya comienzan a mostrar un deterioro y no funcionan con tanta eficiencia.

En nuestro camino de Ingeniero Eléctrico nos vamos a encontrar con todas estas eventualidades y es utópico pensar que existe un sistema eléctrico perfecto, pero es oportuno comenzar a saber el motivo por el cual se presenta y brindar soluciones rápidas aunque para algunos casos no será económico, la misión principal es reducir el número de eventualidades en cualquier sistema eléctrico, otra razón de ser ingeniero es poder observar las posibles fallas y se muestran soluciones basadas en mantenimientos. Para las autoridades encargadas del colegio se presentan unas posibles fallas que deben darle atención.

6.1 TABLERO DE LUCES DEL COLISEO

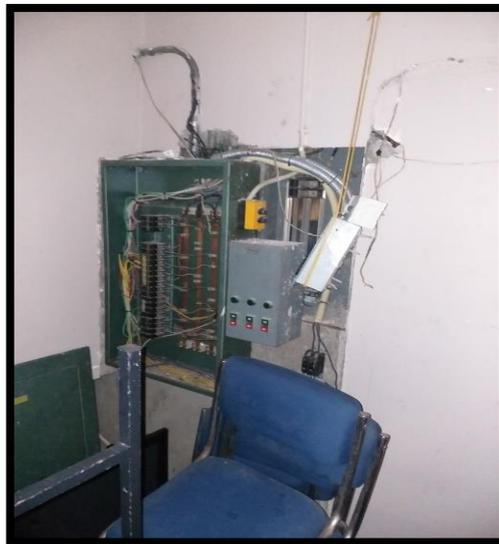


Figura 105 Tablero de luces
Fuente: autores

En la figura 105 muestra que el tablero de luces del coliseo no cuenta con una correcta instalación existe alto riesgo de que personal no autorizado pueda contraer alguna lesión grave al tocar las expuestas barras de cobre, incluso al estar exhibidas de esta forma crea la posibilidad de que algún animal u objeto pueda crear una falla simétrica.

6.2 CUARTO DE TRANSFORMADORES



Figura 106 Cuarto de banco de transformadores
Fuentes: autores

En la figura 106 observamos que el cuarto de transformadores se encuentra muy sucio lleno de polvo e incluso basura, es necesario realizar una limpieza al mismo y a los terminales primarios-secundarios de los transformadores para evitar que estas puntas puedan perder su nivel de conductividad.

6.3 CONEXIÓN A TIERRA DEL BANCO DE TRANSFORMADOR 100KVA



Figura 107 Desconexión de cable a tierra en los terminales primarios
Fuente: autores

En la figura 107 podemos observar en uno de los transformadores se presentó la novedad que el cable de conexión a tierra de la acometida principal se encuentra desconectado de los otros transformadores.

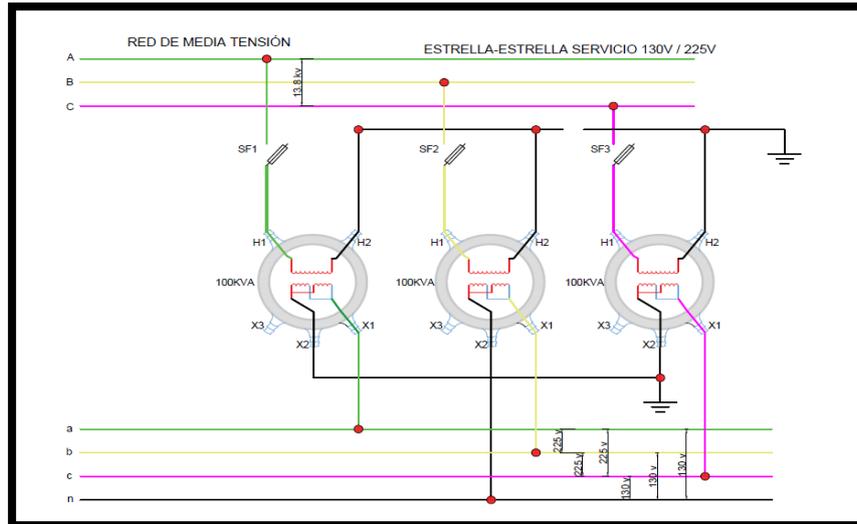


Figura 108 Diagrama de conexión con falla localizada
Fuente: autores

En la figura 108 podremos observar mediante un diagrama unifilar la falla presentada en el banco de transformadores. Esta eventualidad disminuye el nivel de seguridad que tienen los transformadores en caso de presentarse alguna descarga atmosférica en la acometida primaria.

6.4 TABLERO DE LUCES AUDITORIO



Figura 109 Animal muerto en tablero
Fuente: autores

En la figura 109 observamos que en el tablero de luces del auditorio nos encontramos con la extraña noticia de que un roedor se deslizó por la tubería de 2" que por el momento se encuentra expuesta y es por ahí donde ingresa la acometida del tablero, el roedor hizo contacto con el juego de barras y ocasionó alguna falla previa a nuestro análisis, deben realizar el sellado de la tubería y retirar los restos del occiso animal.

6.5 CONEXIÓN DE NEUTRO A TIERRA



Figura 110 Medición de tensión en sistema desenergizado

Fuente: autores

En la figura 110 observamos la medición de voltaje en los tomacorrientes de todo el colegio previo a esto realizamos un corte de energía en los tableros de distribución de cada piso del colegio y encontrando niveles de tensión superiores a los voltajes nominales como se muestra en la figura 110. Esto se puede producir por la energía almacenada en los capacitores y que retornan por la fase de neutro. Es necesario realizar la conexión de neutro con la barra de tierra en los tableros de distribución de cada piso.

6.6 COLOCAR PROTECCIÓN A INGRESO DE ACOMETIDAS



Figura 111 Tablero principal sur ingreso de acometida

Fuente: autores

En la figura 111 podemos observar que en la salida del tablero donde se distribuyen las acometidas secundarias que energizan cada piso no cuenta con una espuma que obstaculice el ingreso de algún animal u objeto que pueda comprometer el servicio eléctrico dentro del tablero como paso en el tablero de luces del auditorio y se puede observar en la figura 109.

6.6 PROPUESTA

Una vez finalizado todo el análisis de la calidad energética que mantiene el colegio Cristóbal Colón, se debe plantear una solución que refleje el conocimiento de los Ingenieros encargados del proyecto, tomamos en cuenta todas las nuevas extensiones y posibles expansiones de su infraestructura en los próximos años.

Teniendo en cuenta que el transformador instalado desde el año 2014 se encuentra sobrecargado y es motivo por el cual se registró varias anomalías con respecto al servicio eléctrico, debemos de tomar en cuenta que un mal servicio puede afectar la integridad física de los jóvenes estudiantes o personal del colegio y con tantas falencias comprometemos la vida de útil de algunos equipos eléctricos.

Se presenta como solución 1 desconectar gran parte de los circuitos eléctricos del tablero principal Norte que a su vez se conecta al banco de transformadores trifásicos de 100Kva posteriormente reconectarlos al tablero de distribución principal Sur, con esta opción reduciremos el nivel de sobrecarga que existe en el banco de transformadores.

Para la solución 1 se plantea cambiar la acometida principal desde el banco transformador trifásico de 100kva hasta el tablero principal de distribución norte que cuenta con un recorrido de 200mts, se realizará una prueba de aislamiento al conductor para verificar en qué nivel de utilidad se encuentra, se implementará una electro bandeja galvanizada tipo escalera con tapa (30 x 10 x 2,44 cm) desde el tablero principal norte hasta el tablero principal sur, posteriormente se efectuará la conexión en las barras de distribución. Con esta opción se disminuirá el nivel de carga que posee el banco de transformadores trifásico liberando alrededor de 200kva.

La solución 2 se plantea pensando en las futuras expansiones del colegio y se planifica colocar un moderno transformador trifásico de 500kva o mayor capacidad, acondicionando un cuarto de transformadores con mayores dimensiones, el cual debe incluir un sistema de desconexión por medio de una celda de media tensión o fusibles, con esta opción ofrecemos un sistema más seguro para realizar cualquier manteniendo al transformador y protegerlo de descarga atmosféricas que se pueden presentar en el lado primario.

A continuación, presentamos una lista de rubros que son necesarios para poder ejecutarse en estas obras.

DIRIGIDO A:		FECHA:	A1		
CARGO :	RECTOR		OBRA: REPOTENCIAR SISTEMA ELÉCTRICO		
CIUDAD :	GUAYAQUIL				
item	Descripción	Unidad	cantidad total	V. unidad	Valor total
CAMBIO DE TRANSFORMADOR					
1	Desconexión de banco trifásico de transformadores de 100kva	U	1,00		
2	Desmontaje de conductor THHN 6L*(#4/0) + N#2 + T#8	Mt	10,00		
3	Retirar Transformadores auto protegidos de 100kva	U	3,00		
MATERIALES DE MEDIA TENSION					
4	Celda de media tensión	U	1,00		
5	Transformador trifásico de 500kva o mayor capacidad	U	1,00		
REMODELACION DE CUARTO					
6	Elaboración de puntas internas de 15kv	U	9,00		
7	Conexionado de Transformador de 500kva	U	1,00		
CAMBIO DE ACOMETIDA					
8	Desmontaje de conductor THHN 6L*(#4/0) + N#2 + T#8	mts	200,00		
9	Montaje de conductor THHN 6L*(#4/0) + N#2 + T#8	mts	250,00		
10	Electro bandeja galvanizada tipo escalera con tapa (30 x 10 x 2,44) cm	mts	150,00		
11	Megado de conductores	U	1,00		
			SUB TOTAL 1+2		
			DIREC. TECNICA		
			COSTOS INDIRECTOS		
			SUB TOTAL PROYECTO		

Tabla 41 Lista de rubros para ejecución de obras

CÁPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En nuestro análisis evidenciamos que el nivel de armónicos 3-5-7-9-11 registrados desde el día 22 de julio del 2020 hasta el 31 de julio del 2020 interfieren en la calidad del servicio eléctrico, observando que el nivel THD corriente supera los valores del 8% que establece la norma EN50160, ocasionando sobrecalentamiento en los conductores, el más afectado es en el conductor neutro donde alcanza máximos valores de 327.67%, el conductor neutro instalado para los circuitos de cada piso está diseñado para soportar 20amp pero se registraron aumentos de corriente hasta 40amp, por lo tanto desgasta la resistencia del cable instalado, comprometiendo la confiabilidad de la instalación eléctrica de todo el colegio. En las fechas mencionadas se presentaron un total de 108 eventualidades como sobretensiones y caídas de tensiones que se producen por la sobrecarga del banco de transformadores trifásicos de 100kva el cual esta dimensionado para soportar una potencia de 240kva y la carga real máxima registrada es de 260Kva con el colegio a plena carga, en nuestro informe entregado a las autoridades de la institución redactamos que el problema de la sobrecarga debe ser solucionado antes de realizar nuevos proyectos dentro de la instalación, para evitar futuros problemas con el servicio eléctrico evitando daños en los equipos instalados incluso que personal del colegio se vea comprometido por algún accidente eléctrico y eludir alguna sanción económica por parte de la empresa distribuidora.
- Con la ayuda del programa Power Log accedimos a las gráficas que el analizador de red registró durante los días que permaneció conectado en la institución educativa, nos encontramos con algunas falencias en la aplicación que logramos mejorar por medio del programa LabVIEW, se logró reflejar el comportamiento de las tensiones, corrientes en un nuevo entorno gráfico y se realizó una comparación con el programa Power Log llegando a la conclusión de que en el programa copilado en LabVIEW ofrece mayor facilidad al momento de interpretar las formas de onda o cualquier bosquejo de los valores registrados por el analizador de red. En la aplicación del programa LabVIEW

se realizó la simulación con los valores registrados de armónicos presentados en la institución con los cual se cumplió con el modelado de los armónicos de la unidad educativa.

- Después de realizar la administración de los datos por medio del analizador de red y realizar un arduo estudio con respecto a la eficiencia actual del colegio se proponen 2 potenciales soluciones a las autoridades del colegio que deben considerar antes de añadir algún otro equipo o realizar una extensión de su infraestructura. Con lo cual se cumple el objetivo de elaborar un informe de mantenimiento.
- Durante los días que se realizó el análisis energético del colegio, se llevó a cabo la medición de todas las áreas en la institución y posteriormente se realizó la actualización de los planos eléctricos efectuándose la digitalización de la infraestructura actual del colegio, esta información es de suma importancia para la institución y finalmente se hizo la entrega a las autoridades del colegio que servirá de ayuda a los futuros profesionales que se encarguen de ejecutar la rectificación del servicio eléctrico o expansión del colegio. Con lo cual se cumple el objetivo de la digitalización y actualización de planos y planillas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las autoridades de la institución realizar una implementación de un transformador trifásico de mayor capacidad dependiendo de los proyectos que tengan pensado implementar al colegio en los futuros años.
- Se recomienda realizar en las instalaciones del colegio una prueba de aislamiento en los conductores principales del sistema eléctrico del colegio.
- Se recomienda realizar fotografías térmicas en los principales tableros y conductores del servicio eléctrico del colegio.
- Se recomienda implementar una celda de media tensión para la protección y facilidad de mantenimiento al banco de transformador trifásico de 100kva o el nuevo transformador de llegarse a colocar.

- Se recomienda realizar un estudio energético del colegio después de la pandemia acontecida ya que los niveles simulados no son tan efectivos como los datos tomados con el colegio trabajando a plena carga.
- Se recomienda realizar mejoras al código de LabVIEW para que los estudiantes o personal de ingeniería pueda usarlo de forma sencilla.
- Se recomienda realizar un estudio de costos con respecto al cambio de luminarias led por las lámparas fluorescentes que están instaladas en toda la institución.

CÁPITULO 8 *BIBLIOGRAFÍA*

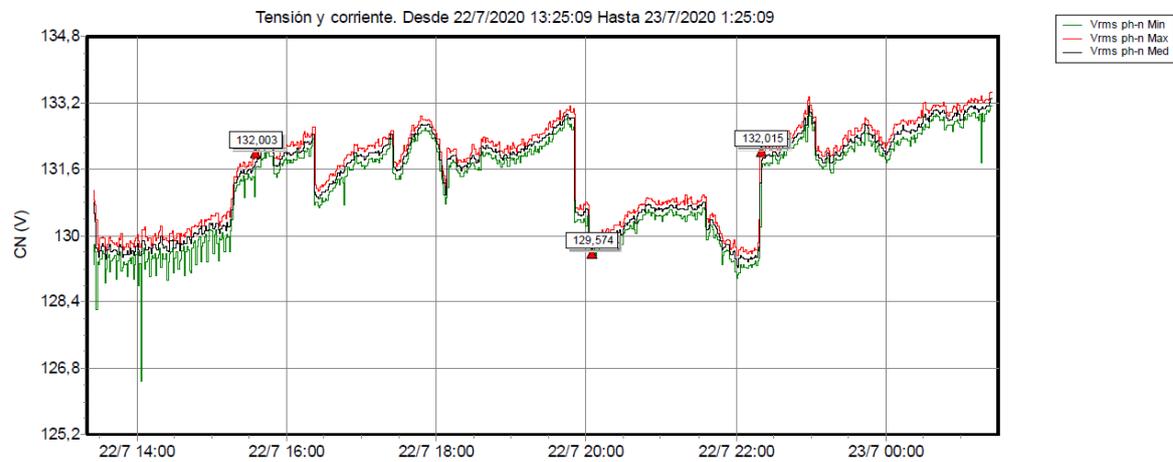
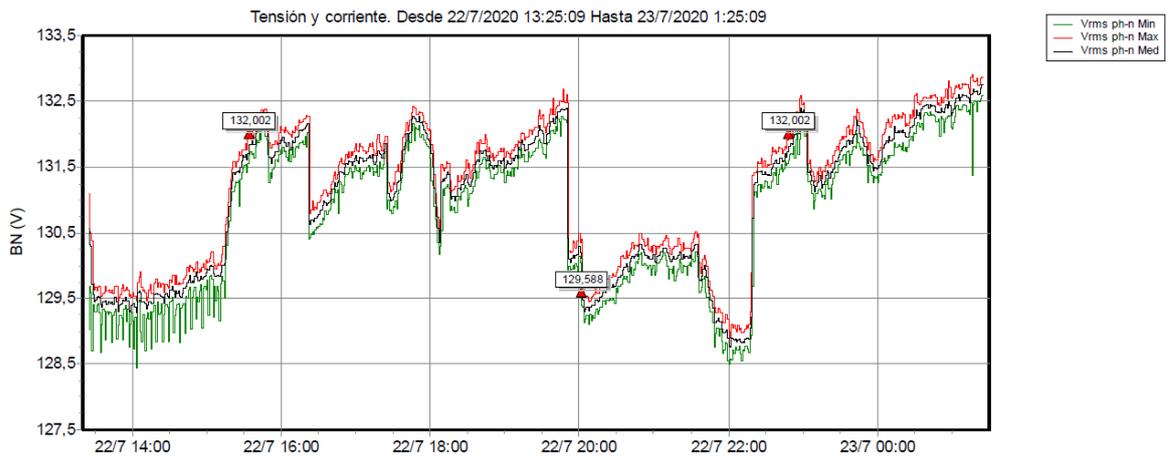
- [1] E. González, M. Salvador, M. Guerrero, J. Alejandro, C. Ramos, and L. Antonio, “Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus Soluciones,” *Concienc. Tecnológica*, no. 32, p. 0, 2006.
- [2] M. A. S. Cortés, “Calidad de la Energía Eléctrica,” p. 492, 2009.
- [3] M. Holguin and D. Gomezcoello, “Análisis de la calidad de energía eléctrica en el ‘Nuevo Campus’ de la iniversida politécnica salesiana,” pp. 1–234, 2010, doi: 10.20868/UPM.thesis.39079.
- [4] “Corriente alterna,” [Online]. Available: <http://www.huergo.edu.ar/tcweb/pdf/APCap2.pdf>.
- [5] J. D. Arcila, “Armónicos En Sistemas Eléctricos,” *Armónicos En Sist. Eléctricos*, pp. 1–26, 2016.
- [6] S. Dursun, “No Title Investigar la relación causal entre las tasas de interés y las tasas de inflación: utilizando datos de panel,” *Revista trimestral de investigación económica*, vol. 3, no. September, pp. 1–8, 2007.
- [7] Fluke Corporation, “Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II,” p. 182, 2012, [Online]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/coes/support/manuals/default.htm>.
- [8] S. Chiriboga, J. Damián, and Z. Orellana, *Estudio y análisis de calidad de energía del cuarto eléctrico servicios generales Holcim Planta Guayaquil*. 2013.
- [9] AESoluciones, “Los Efectos De Los Armónicos Y Sus Soluciones,” p. 10, 2014, [Online]. Available: aesoluciones@aes.com.
- [10] Universidad Politecnica Salesiana, “Armonicos en las Redes Eléctricas,” pp. 4–7, 2013.
- [11] A. ABUNDIS, “Causas y efectos de armónicos en sistemas eléctricos de potencia,” p. 95, 2016, [Online]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11159/tesis.pdf?sequence=1>.
- [12] J. Seymour and T. Horsley, “Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico,” *APC Schneider Electr.*, vol. 1, pp. 1–22, 2010.
- [13] P. D. E. Titulación, K. Luis, H. German, D. Bladimir, and L. Ortiz, “Universidad politécnica salesiana,” 2018.
- [14] E. Invasora, “Abril 2006,” 2006.
- [15] F. De, C. Tecnicas, J. Froilan, C. Carrera, and A. Lectivo, “UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL Guayaquil-Ecuador,” 2013.

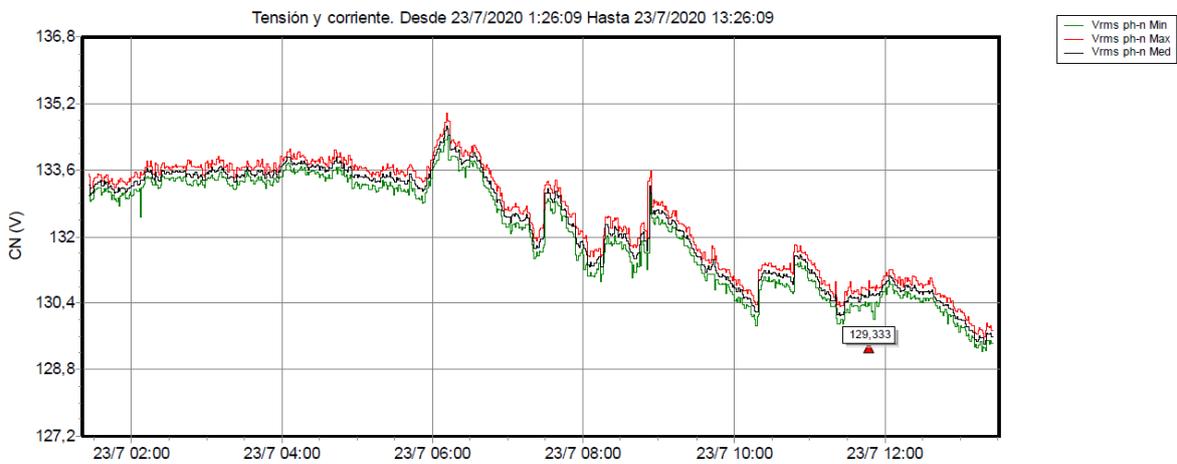
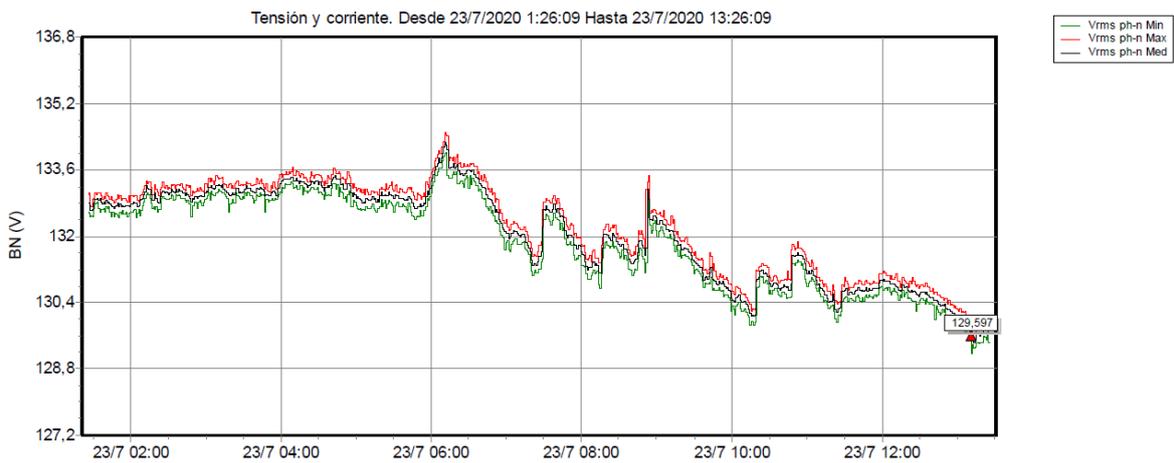
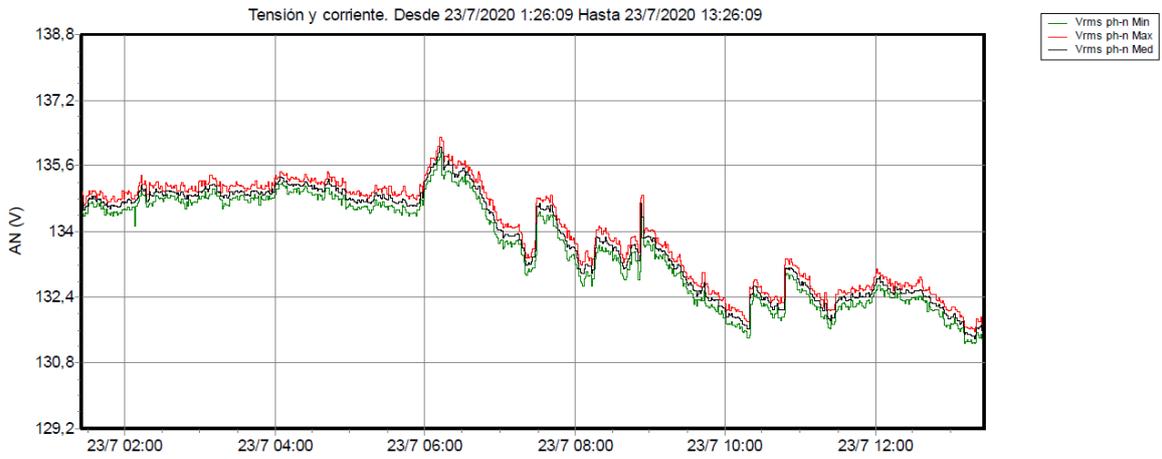
- [16] “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA - PDF Free Download.” <https://docplayer.es/17930484-Universidad-politecnica-salesiana-sede-quito-facultad-de-ingenierias-carrera-de-ingenieria-electrica.html> (accessed Sep. 08, 2020).
- [17] “¿Qué es una Norma Según ISO 9000?ISO 9001 calidad. Sistemas de Gestión de Calidad según ISO 9000.” <http://iso9001calidad.com/quee-es-una-norma-7.html> (accessed Sep. 21, 2020).
- [18] A. López and H. Ortiz, “Análisis de Calidad de Energía en la Interconexión Eléctrica con Colombia,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 8, no. 1, pp. 116–127, 2012, doi: 10.37116/revistaenergia.v8.n1.2012.196.
- [19] National Instruments, “Instrumentación Virtual con LabVIEW,” *Instrumentación Virtual*, p. 89, 2013, [Online]. Available: <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/labviewcursodeinstrumentacion.pdf>.
- [20] G. De Trabajo and A. Jiménez, “ELABORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE PLANOS INSTALACIONES ELECTRICAS DOMICILIARIAS Especialidad: INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS Derechos reservados a favor del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA,” [Online]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2079/1/modulo16_unidad_42_elaboracion_interpretacion_planos.pdf.
- [21] “GUID-56FFCC9B-7946-46CC-9086-2C9D26830C3D-htm @ knowledge.autodesk.com.” [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-architecture/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/AutoCAD-Architecture/files/GUID-56FFCC9B-7946-46CC-9086-2C9D26830C3D-htm.html>.
- [22] “b4b1a814818e7be4da6f7cd5b3c88a6611aa0b4e @ www.matyse.es.” [Online]. Available: <https://www.matyse.es/que-es-el-mantenimiento-correctivo-y-diferencia-del-preventivo/>.
- [23] “website_62_mantenimiento_correctivo_de_los_transformadores @ ikastaroak.ulhi.net.” [Online]. Available: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IDI/IDI03/es_IEA_IDI03_Contenidos/website_62_mantenimiento_correctivo_de_los_transformadores.html.
- [24] Sima, “Mantenimiento Preventivoestablecimiento De Un Efectivo Programa De Mantenimiento Preventivo. 1.,” pp. 1–13, 1986, [Online]. Available: [http://www.mantenimientoplanificado.com/j_guadalupe_articulos/MANTENIMIENTO PREVENTIVO parte 1.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/j_guadalupe_articulos/MANTENIMIENTO_PREVENTIVO_parte_1.pdf):
- [25] “Importancia del Mantenimiento Preventivo de tus Equipos.” <https://www.metalboss.com.mx/blog/mantenimiento-preventivo> (accessed Sep. 26, 2020).

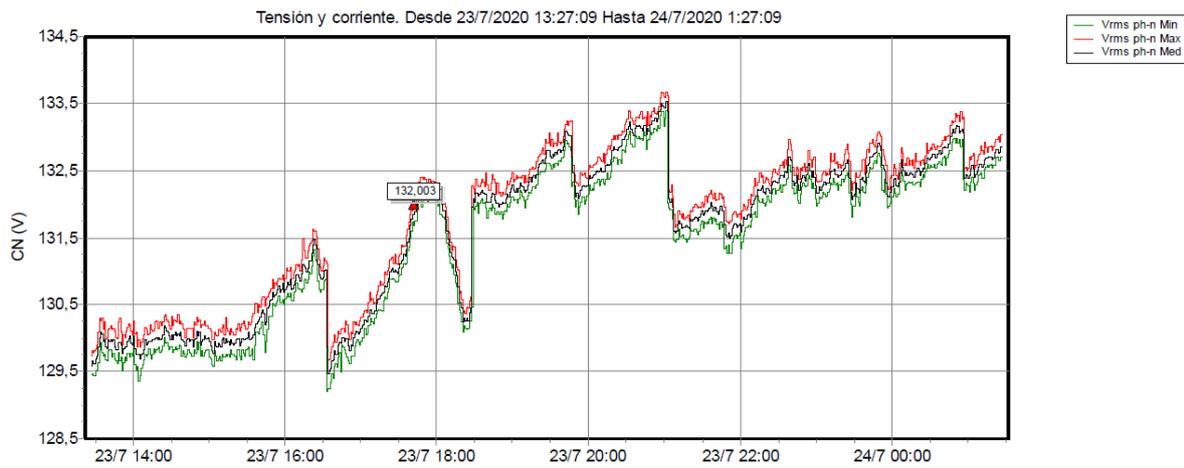
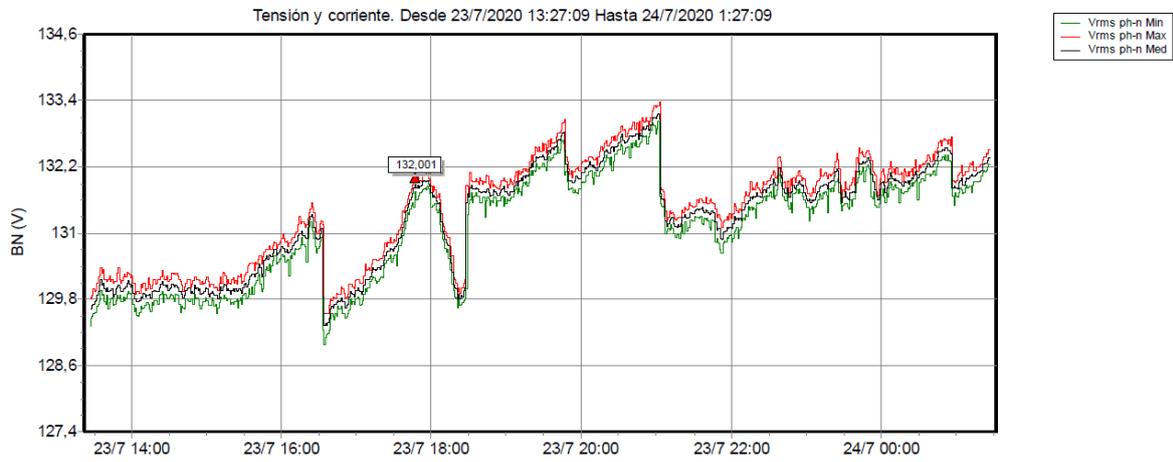
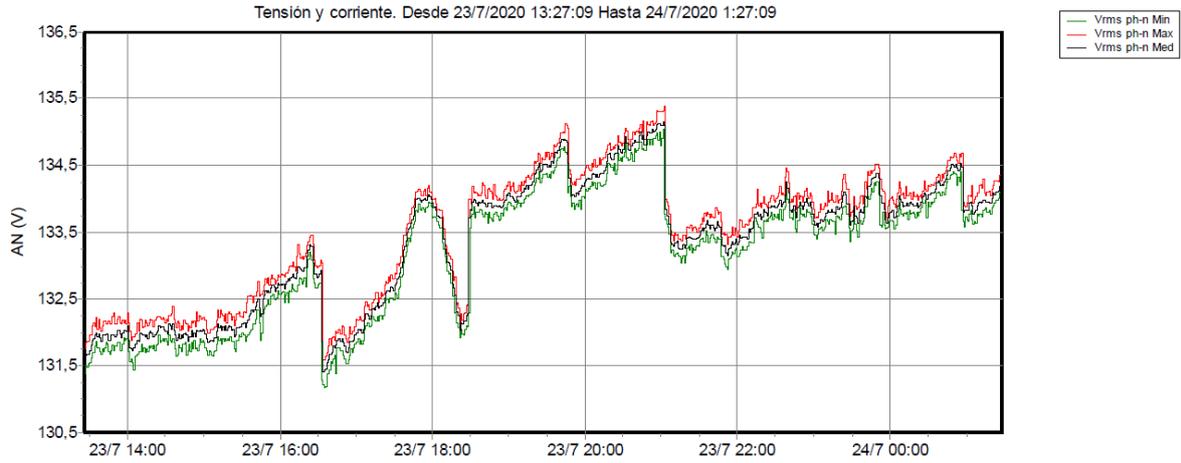
8.1 ABREVIATURA

Cambio rápido de tensión	CHG
Fluctuación de tensión	DIP
Interrupción de tensión	INT
Subida de tensión	SWL
Transitorios	TRA
Valor de amperios	AMP
Raíz de la Media de los Cuadrados (Root Mean Square)	RMS
Analizador de red	AR
Distorsión total armónica (Total Harmonic Distortion)	THD
Valor pico	VP
Valor pío pico	VPP
Frecuencia	f
Factor de tensión armónica	HVF
Descarga electrostática (electrostatic discharge)	ESD
Mili segundo	MS
Índice de severidad de flicker de corta duración	PST
Índice de severidad de flicker de larga duración	PLT
Factor de potencia	FP
Potencia activa (Wattios)	W
Potencia reactiva(voltios-amperios-reactivos)	VAR
Potencia aparente(voltios-amperios)	VA

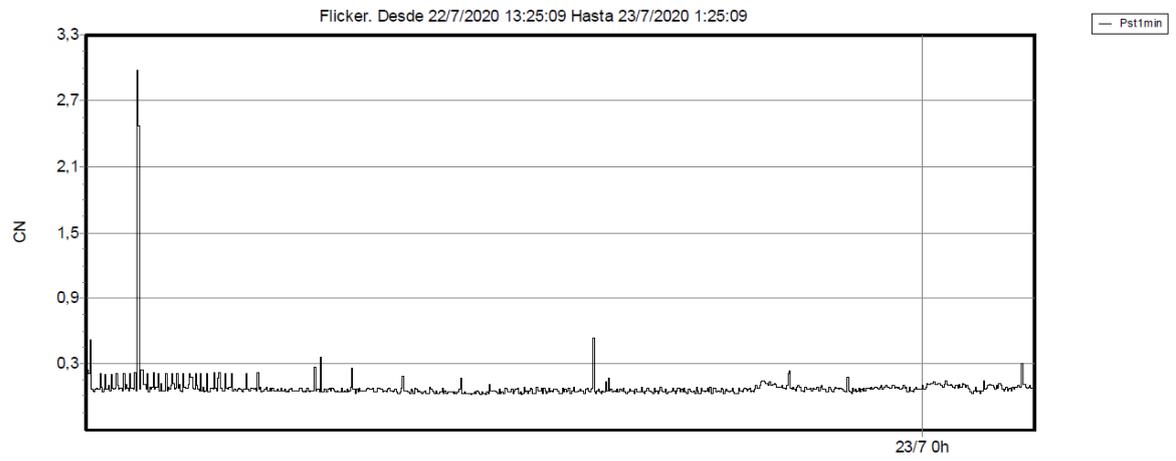
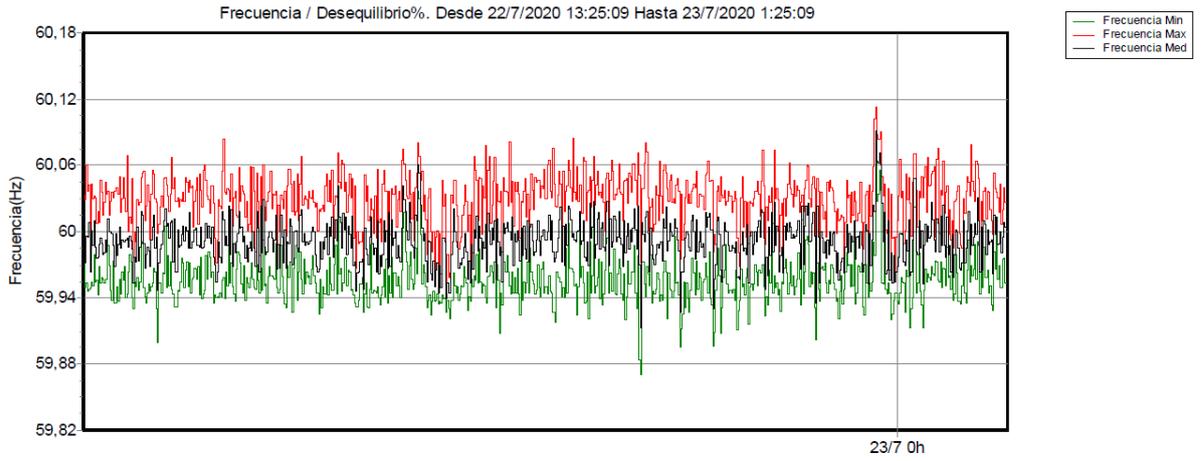
CAPITULO 9 ANEXOS

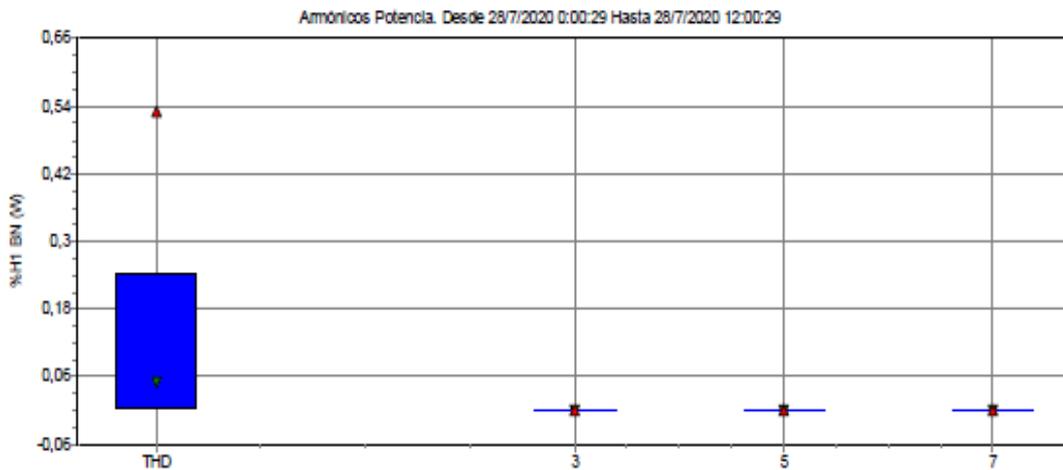
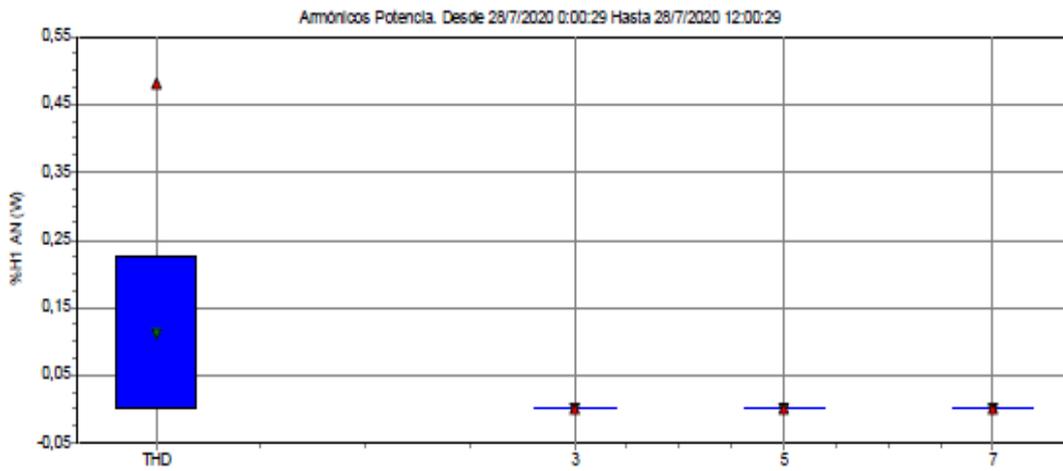
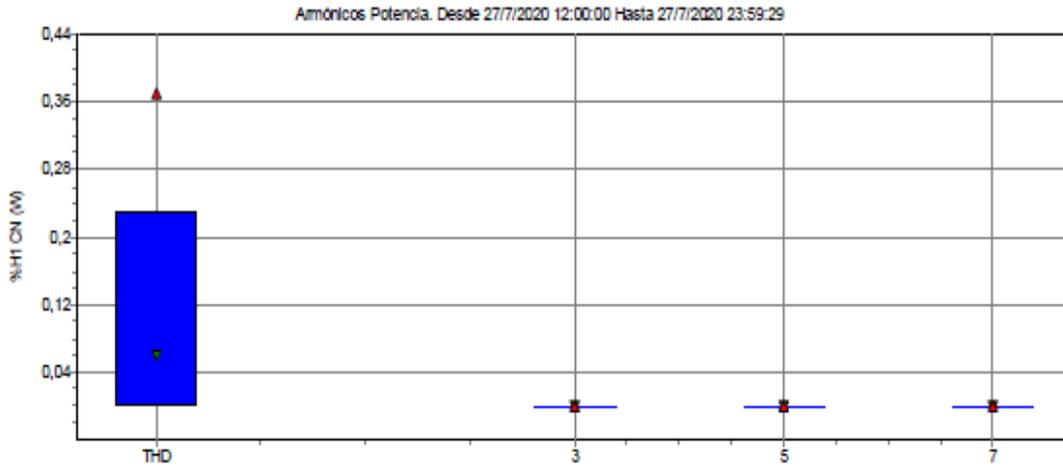




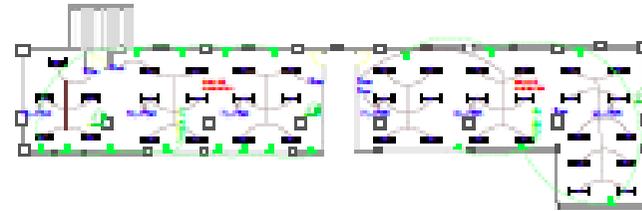
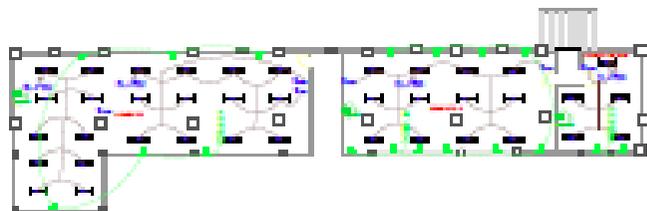
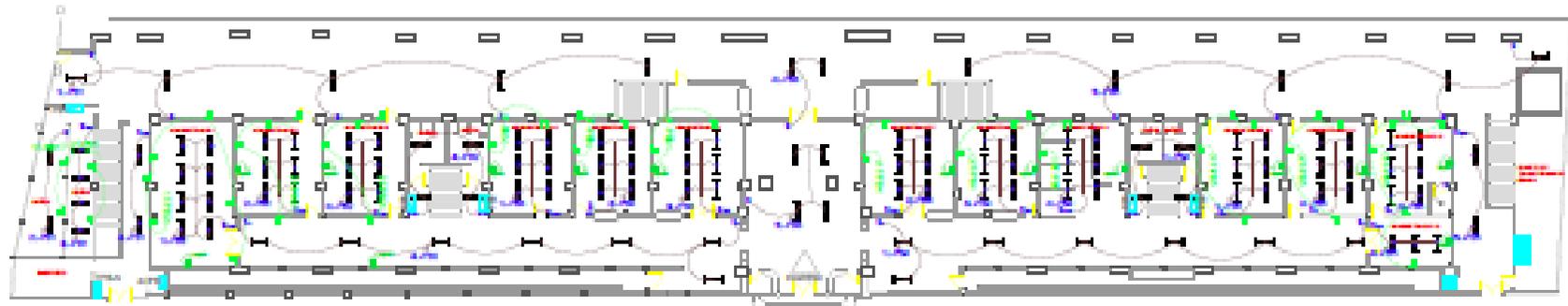








PLANTA BAJA



MEZANINE

	<ul style="list-style-type: none"> — Columna perimetral (módulo) — Columna interior (módulo) — Puerta (sin marco) — Puerta (con marco) — Ventana (sin marco) — Ventana (con marco)
<p>Escala:</p> <p>1:500 (planta baja)</p>	<p>Escala:</p> <p>1:100 (mezzanine)</p>