



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA
ENÉRGICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

David Marco Tulio Pacheco Menchu

Asesorado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA
ENÉRGICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DAVID MARCO TULIO PACHECO MENCHU

ASESORADO POR EL ING. NATANAEL JONATHAN REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENÉRGICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 3 de abril de 2017.

David Marco Tulio Pacheco Menchu



Guatemala, 03 de agosto de 2018.
Ref.EPS.DOC.693.08,18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

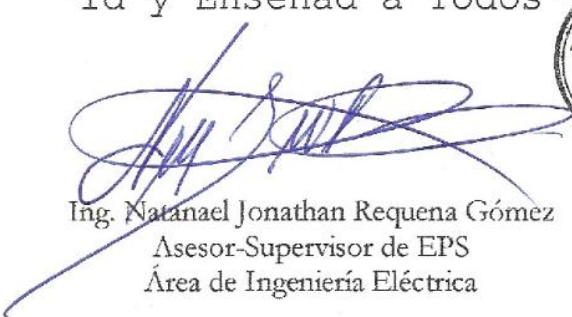
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **David Marco Tulio Pacheco Menchu** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **200714405** y CUI **1757 09955 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra



Guatemala 03 de agosto de 2018.
Ref.EPS.D.313.08.18.

Ing. Otto Fernando Andrino González
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

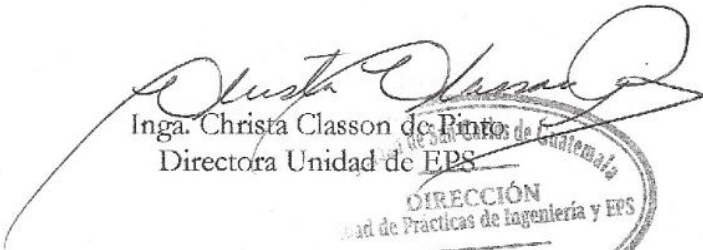
Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **David Marco Tulio Pacheco Menchu**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



REF. EIME 66. 2018.
06 DE AGOSTO 2018.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, del estudiante, **David Marco Tulio Pacheco Menchu**, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
D. I. Y ENSEÑAD A TODOS

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4648

Ing. Saul Cabezas Durán
Coordinador de potencia





REF. EIME 66.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **DAVID MARCO TULIO PACHECO MENCHU**, titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriño González



GUATEMALA, 21 DE SEPTIEMBRE 2018.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 447.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **David Marco Tulio Pacheco Menchu**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Padre celestial, de quien procede toda buena dádiva y todo don perfecto. A Él sea la gloria por los siglos de los siglos amén.
- Mi padre** Raymundo Ismael Pacheco Garcia, quien a lo largo de mi carrera me motivo a seguir adelante a pesar de las adversidades.
- Mi madre** Virginia Inés Felisa Menchu Garcia, quien en ningún momento escatimo esfuerzo alguno por ofrecerme su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.
- Todos los lectores** Que la gracia del Señor Jesucristo, el amor de Dios el Padre sean con todos vosotros.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por guiar cada paso que he dado en mi vida, ya que ha sido la certeza de que estas a mi lado llenado mi corazón con la luz de tu espíritu y es por ello que he alcanzado cada meta propuesta.
Mis padres	Raymundo Ismael Pacheco Garcia y Virginia Inés Felisa Menchu Garcia, por brindare su apoyo económico en el transcurso de toda mi carrera.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el centro de formación, para que un sueño más fuera completado en mi vida.
Facultad de Ingeniería	Lugar donde formará mi carrera y aprendiera lo necesario para servir a mi país.
Catedráticos de la Facultad	Por ser quienes compartieran su conocimiento y experiencia adquirida durante toda mi trayectoria estudiantil.
Mis compañeros	Carlos Cay, Carlos López, Eder Osorio, por todo el apoyo que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Información general de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. Reseña histórica de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	2
1.1.2. Misión de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	3
1.1.3. Visión de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	3
1.1.4. Servicio que presta la Biblioteca Central	4
1.2. Normas relacionadas con calidad de la potencia eléctrica	5
1.2.1. Norma NTSD de la CNEE.....	5
1.2.2. Voltajes y corrientes armónica.....	9
1.2.2.1. Estándar IEC 61000-2-2	10
1.2.2.2. Estándar IEEE 519	10
1.2.2.3. Estándar EN 50160	13
1.2.3. <i>Flicker</i>	14
1.2.3.1. Estándar IEC 61000-3-3.....	14
1.2.4. Calidad de la potencia eléctrica	15

	1.2.4.1.	Estándar IEC 61000-4-30.....	16
	1.2.4.2.	Estándar IEEE 1159.....	17
1.3.		Eventos relacionados con la calidad de la potencia eléctrica...	18
	1.3.1.	Variaciones de tensión de estado estable	18
	1.3.1.1.	Sobretensión	19
	1.3.1.2.	Subtensiones.....	19
	1.3.2.	Variaciones lentas de tensión.....	19
	1.3.3.	Variaciones rápidas de tensión	20
	1.3.4.	Armónicos	20
	1.3.5.	<i>Flicker</i>	21
	1.3.6.	Desbalance	21
	1.3.7.	Interrupciones.....	22
	1.3.8.	<i>Sags</i>	23
	1.3.9.	<i>Swells</i>	23
	1.3.10.	Transitorios.....	24
1.4.		Definiciones relacionadas con eficiencia energética	24
	1.4.1.	Definiciones relacionadas a instalaciones eléctricas	25
	1.4.1.1.	Tensión de servicio	25
	1.4.1.2.	Carga.....	25
	1.4.1.3.	Circuitos	25
	1.4.1.4.	Tableros eléctricos	26
	1.4.1.5.	Protecciones eléctricas.....	26
	1.4.1.6.	Sistema puesta a tierra	26
2.		FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	27
	2.1.	Diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas actuales.....	27
	2.1.1.	Caracterización de cargas.....	27

2.1.2.	Estado actual y tipos de conductores	28
2.1.3.	Circuitos ramales	28
2.1.3.1.	Conductores	28
2.1.3.2.	Tableros.....	29
2.1.3.3.	Diagrama unifilar.....	30
2.2.	Parámetros sobre calidad de energía.....	31
2.2.1.	Analizador de redes.....	31
2.2.2.	Características del analizador de redes.....	31
2.2.3.	Incerteza.....	33
2.2.4.	Método de medición e instalación del equipo	33
2.2.5.	Monitoreo de eventos	35
2.2.6.	Software para extracción de datos	35
2.3.	Parámetros sobre eficiencia energética.....	35
2.3.1.	Curva de carga diaria	35
2.3.1.1.	Curva de demanda diaria de potencia activa.....	36
2.3.1.2.	Curva de demanda diaria de potencia reactiva.....	37
2.3.2.	Curva de carga semanal.....	38
2.3.2.1.	Curva de demanda semanal de potencia activa.....	39
2.3.2.2.	Curva de demanda semanal de potencia reactiva.....	39
2.3.3.	Voltajes.....	41
2.3.4.	Corrientes	43
2.3.5.	Potencias.....	45
2.3.5.1.	Potencia activa	45
2.3.5.2.	Potencia reactiva	46
2.3.5.3.	Potencia aparente.....	46

2.3.6.	Desbalance	47
2.3.7.	Factor de potencia.....	48
2.3.8.	<i>Flicker</i>	49
2.3.8.1.	<i>Flicker</i> según el índice Pst.....	49
2.3.8.2.	<i>Flicker</i> según el índice Plt.....	50
2.3.9.	Frecuencia.....	51
2.3.10.	Distorsión armónica.....	52
2.3.10.1.	Distorsión armónica de voltaje	52
2.3.10.2.	Distorsión armónica de corriente.....	53
2.3.11.	Estructura tarifaria	53
2.3.11.1.	Análisis tarifario	54
2.3.11.2.	Historial de consumo durante un año...	55
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DETECCIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	57
3.1.	Calidad de energía eléctrica.....	57
3.1.1.	Análisis de tensión	57
3.1.2.	Análisis de corrientes	58
3.1.3.	Análisis de <i>flicker</i>	59
3.1.4.	Análisis de desbalance de tensión	59
3.1.5.	Análisis de variaciones de frecuencia	59
3.1.6.	Análisis de distorsión armónica	60
3.1.6.1.	Distorsión armónica de tensión	61
3.1.6.2.	Distorsión armónica de corriente.....	62
3.2.	Eficiencia energética	63
3.2.1.	Iluminación	63
3.2.1.1.	Medición del nivel de iluminación	64
3.2.1.2.	Diseño de iluminación	65

	3.2.1.3.	Comparación de datos teóricos y calculados versus datos reales y normalizados	69
	3.2.2.	Tipo de aire acondicionado existente en la Biblioteca Central.....	71
	3.2.3.	Eficiencia energética en aires acondicionados	72
	3.2.3.1.	Carga térmica	73
	3.2.4.	Análisis de curva de demanda diaria y semanal.....	78
3.3.		Análisis de factibilidad económica	79
	3.3.1.	Descripción de materiales y equipo	79
	3.3.2.	Datos y cálculos.....	80
	3.3.2.1.	Calculo de energía consumida	81
	3.3.3.	Criterio de evaluación de la propuesta led.....	83
	3.3.3.1.	Valor presente neto (VPN).....	84
	3.3.3.2.	Tasa interna de retorno (TIR)	85
	3.3.3.3.	Relación beneficio costo (B/C) y periodo de recuperación	86
4.		DISEÑO Y CÁLCULO DE PROPUESTA Y MEJORA	87
	4.1.	Cálculo de conductores	87
	4.2.	Demanda máxima estimada, cargas y protecciones	90
	4.3.	Medición de la resistencia de puesta a tierra.....	98
	4.3.1.	Método de caída de potencial.....	98
	4.4.	Análisis transformador-regulador.....	100
5.		INVESTIGACIÓN SOBRE EL ANALIZADOR ARBITER 933A Y 1133A.....	105
	5.1.	Características generales.....	105
	5.1.1.	Capacidad.....	106

5.1.2.	Peculiaridades.....	106
5.1.3.	Especificaciones del Arbiter 933A.....	107
5.1.3.1.	Rango del medidor.....	107
5.1.3.2.	Calidad de la energía.....	107
5.2.	Analizador digital de señal Arbiter 1133A.....	108
5.2.1.	Control y monitoreo del sistema.....	109
5.2.2.	Especificaciones del Arbiter 1133A.....	109
5.2.2.1.	Rango del medidor.....	109
5.3.	Sincrofasor.....	110
5.4.	Descripción funcional del analizador Arbiter 933A versus fluke 435.....	112
5.4.1.	Entrada de voltaje y corriente.....	112
5.4.2.	Sincronización de tiempo.....	113
5.4.3.	Potencia y energía.....	114
5.4.4.	Armónicos.....	115
5.4.5.	Flicker.....	115
5.4.6.	Registro de eventos.....	116
5.4.7.	Descarga de datos en ambos analizadores.....	116
5.5.	Descripción funcional del analizador Arbiter 1133A versus fluke 435.....	118
5.5.1.	Sincronización mediante GPS.....	118
5.5.2.	Entrada de tensión y de corriente.....	119
5.5.3.	Descarga de datos en ambos analizadores.....	120
5.6.	Comparación entre el analizador Arbiter 1133A y el fluke 435.....	122
5.7.	Comparación entre el analizador Arbiter 933A y el fluke 435.	124
5.8.	Conclusiones sobre la comparación entre el analizador Arbiter 1133A, 933A Versus el analizador fluke 435.....	125

CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	133
ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Unifilar de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	30
2.	Analizador Fluke 435 clase A.....	32
3.	Instalación del Fluke 435 clase A en la Biblioteca Central	34
4.	Curva de demanda diaria de potencia activa	36
5.	Curva de demanda diaria de potencia reactiva	38
6.	Curva de carga semanal total de potencia activa.....	39
7.	Curva de carga semanal total de potencia reactiva	40
8.	Voltaje de la línea 1	41
9.	Voltaje de la línea 2.....	42
10.	Voltaje de la línea 3.....	42
11.	Corriente de la línea 1	43
12.	Corriente de la línea 2.....	44
13.	Corriente de la línea 3.....	44
14.	Potencia activa de las tres líneas.....	45
15.	Potencia reactiva de las tres líneas.....	46
16.	Potencia aparente de las tres líneas	47
17.	Desbalance de tensión.....	48
18.	Factor de potencia de las tres líneas.....	49
19.	<i>Flicker</i> según el índice Pst	50
20.	<i>Flicker</i> según el índice Plt	51
21.	Frecuencia	51
22.	Distorsión armónica de voltaje de las tres líneas	52

23.	Distorsión armónica de corriente de las tres líneas	53
24.	Gráfica de energía	56
25.	Gráfica de potencia máxima	56
26.	Gráfica de la frecuencia mediante el periodo de medición	60
27.	Luxómetro marca Steren	64
28.	Diagrama de flujo de aire en un ambiente refrigerado	72
29.	Usando la carta psicrométrica.....	75
30.	Precio de kWh durante el 2017 y la línea de tendencia	82
31.	Diagrama de flujo.....	84
32.	Método de caída de potencial	98
33.	Placa del transformador Pad Mounted de la Biblioteca Central	101
34.	Arbiter 933A.....	105
35.	Configuración de entrada de Arbiter 933A y fluke 435.....	113
36.	Configuración de potencia y energía	114
37.	Configuración de armónicos	115
38.	Registro de eventos	116
39.	Ventana principal de ambos software	117
40.	Accesorios de GPS.....	119
41.	Diagrama de conexión	120
42.	Ventana principal de ambos softwares	121

TABLAS

I.	Límites de corrientes armónicas	11
II.	Límites de distorsión armónica de voltaje	12
III.	Límites de voltajes armónicos.....	13
IV.	Valores de Pst y Plt para diferentes niveles de tensión	15
V.	Conductores de distribución	29
VI.	Resumen de potencia activa máxima diaria	37

VII.	Resumen de potencia reactiva máxima diaria.....	37
VIII.	Resumen de potencia reactiva máxima	40
IX.	Tarifa: media tensión con demanda fuera de punta	54
X.	Tarifa: media tensión con demanda en punta	54
XI.	Historial de facturación de consumo	55
XII.	Valores de tensión generado por el analizador	57
XIII.	Valores de corriente generado por el analizador.....	58
XIV.	Tolerancia de la distorsión armónica de tensión (NTSD versus Fluke 435)	61
XV.	Tolerancia de la distorsión armónica de corriente (NTSD versus Fluke 435)	62
XVI.	Nivel de iluminación y características generales.....	65
XVII.	Cálculo de luminaria de cada ambiente y nivel	68
XVIII.	Comparación de niveles de iluminación.....	69
XIX.	Comparación de cantidad de luminarias	70
XX.	Características y precio.....	79
XXI.	Lámparas led calculadas.....	81
XXII.	Resumen de cálculo, inversión total y ahorro anual.....	83
XXIII.	Cálculo de la tasa interna de retorno.....	85
XXIV.	Cálculo de conductores.....	90
XXV.	Cálculo del quinto nivel de la Biblioteca Central.....	91
XXVI.	Cálculo del cuarto nivel de la Biblioteca Central	92
XXVII.	Cálculo del tercer nivel de la Biblioteca Central	93
XXVIII.	Cálculo del segundo nivel de la Biblioteca Central.....	94
XXIX.	Calculo del primer nivel de la Biblioteca Central	95
XXX.	Calculo de acometida y tablero principal.....	95
XXXI.	Resistencia de puesta a tierra obtenido por el medidor AEMC modelo 4630	99

XXXII.	Valores máximos y mínimos de cada línea dado por el analizador de redes, modelo Fluke 435	100
XXXIII.	Tabla comparativa del Arbiter 1133A y fluke 435.....	123
XXXIV.	Tabla comparativa del analizador 933A y fluke 435.....	124

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
CA	Corriente alterna
f	Frecuencia
Fp	Factor de potencia
Hz	Hertz
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
kV	Kilovoltio
MCM	Miles de circular mils
%	Porcentaje
V	Voltaje

GLOSARIO

Amperios	Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Un amperio equivale a una fuerza de 2×10^{-7} newton por metro de longitud.
Analizador de redes	Equipo electrónico diseñado para medir, analizar y cuantificar parámetros eléctricos como: tensión, corriente, distorsión armónica, <i>flicker</i> , factor de potencia, entre otros.
Circuito	Es la interconexión de dos o más componentes que contiene una trayectoria cerrada por el cual fluye una corriente eléctrica.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Conductor	Material que permite el flujo de electrones al aplicarse una diferencia de potencial.
Diagrama unifilar	Es la representación gráfica de una instalación eléctrica, simbolizando los diferentes circuitos y cargas existentes.
Factor K	Es un indicador que permite estimar la capacidad que tiene un transformador de soportar los efectos térmicos producidos por las corrientes armónicas.

<i>Flicker</i>	Es una variación de voltaje con amplitud perceptible apreciable en las fuentes luminosas.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Monitoreo	Actividad encaminada a realizar una actividad encomendada.
NEC	Código Eléctrico Nacional.
NTSD	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
Ramal	Es la derivación de un circuito entre el dispositivo de protección frente a sobrecorrientes y la carga final.
<i>Sag</i>	Disminución o reducción en el valor efectivo del voltaje de alimentación.
<i>Swell</i>	Aumento en el valor efectivo del voltaje.
Tensión de servicio	Es el nivel de tensión al cual una empresa distribuidora abastece a un usuario de servicio eléctrico.
Voltaje	Es la diferencia de energía que induce el flujo de electrones de un punto a otro.

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como fin implementar mejoras y recomendaciones para el óptimo funcionamiento del sistema eléctrico de la Biblioteca Central.

En el capítulo 1 se da a conocer una breve reseña histórica de la Biblioteca Central, los servicios que presta. Luego se hace énfasis sobre las normas y su importancia en la calidad de energía eléctrica, los límites permisibles que permite, voltaje, corrientes armónicas y eventos enfocados a la calidad de energía, posteriormente se describe las definiciones más relevantes para la eficiencia energética.

En el capítulo 2 se realiza un diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas actuales de la Biblioteca Central, recaudando información de caracterización de cargas, circuitos ramales, configuración del transformador y diagrama unifilar. Luego se describe generalidades sobre los parámetros más relevantes a la calidad de energía y eficiencia energética, después de ello se procede a instalar el analizador de redes para realizar el análisis de calidad de energía.

En el capítulo 3 se realiza el análisis de los resultados obtenidos por el analizador de redes, verificando si los valores que este nos generó están dentro de los límites permitidos de las normas.

En el capítulo 4 se describen las propuestas de mejora y los cálculos pertinentes a problemas que se obtuvo después de realizar el análisis de calidad de energía.

En el capítulo 5 se describen las características de dos analizadores (Arbiter 933A y el 1133A), la capacidad y la exactitud de estos en el momento de detectar problemas. Se realiza tablas comparativas de las características del Arbiter 933A y 1133A versus el Fluke 435, mencionando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

OBJETIVOS

General

Elaborar un estudio de calidad del servicio eléctrico de las condiciones actuales de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de registros periódicos y la realización de mediciones que permitan establecer un monitoreo de las cargas y así proponer un plan de mejora hacia el consumo de la energía eléctrica.

Específicos

1. Identificar las posibles causas que generan las perturbaciones eléctricas con magnitudes mayores a las permitidas en la red eléctrica.
2. Monitoreo de los puntos críticos y no críticos de las instalaciones eléctricas de la Biblioteca Central.
3. Diagnosticar el estado del sistema eléctrico de la Biblioteca Central y sugerir soluciones para la corrección del mismo y así maximizar la vida útil de los conductores y dispositivos eléctricos actuales.

INTRODUCCIÓN

El presente documento hace énfasis en la planificación y estudio de la calidad de potencia y eficiencia energética del centro de carga de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual se realizará bajo los parámetros y rangos establecidos en la Norma IEC, auxiliándonos también de las normas actuales de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala, todo esto servirá para detectar alguna irregularidad que pudiera existir en las instalaciones de la Biblioteca Central y así mismo dar una solución, por esta razón este documento se divide en tres fases; la primera es la fase de investigación, la segunda fase de servicio técnico profesional y la última fase de enseñanza – aprendizaje.

Uno de los factores primordiales a tomar en cuenta es la calidad del servicio de energía eléctrica que está recibiendo dicho edificio, ya que este debe de llenar un conjunto de características técnicas y comerciales como es la continuidad del servicio y la calidad de la onda de tensión. La continuidad del servicio es lo que se le conoce actualmente como confiabilidad y los aspectos más relevantes a tomar en cuenta son número de interrupciones por año, tiempo promedio por interrupción y cantidad de usuarios afectados por interrupción del servicio.

La calidad de la energía es un factor que no se puede dejar de lado, ya que a partir de ello se pueden determinar: parámetros básicos, forma de onda, armónicos, niveles de distorsión armónica, interrupciones, entre otros factores que son dependiente al equipo que se utiliza.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado, en el primer capítulo, se darán a conocer las investigaciones que se llevaron a cabo para la realización del tema antes mencionado.

1.1. Información general de la Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala es una institución autónoma con personalidad jurídica. En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales vigentes.

Se administra por su Ley Orgánica y por los estatutos y reglamentos que ella emita, debiendo observarse en la conformación de los órganos de dirección, el principio de representación de sus catedráticos titulares, sus graduados y sus estudiantes.

El gobierno de la Universidad de San Carlos de Guatemala corresponde al Consejo Superior Universitario, integrado por el Rector, quien lo preside: los decanos de las facultades, un representante del colegio profesional, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que corresponda a cada facultad; un catedrático titular y un estudiante por cada facultad.

Corresponde a la Universidad de San Carlos de Guatemala una asignación privativa no menor del cinco por ciento del presupuesto general de ingresos ordinarios del Estado, debiéndose procurar un incremento presupuestal adecuado al aumento de su población estudiantil o al mejoramiento del nivel académico.

1.1.1. Reseña histórica de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

En 1974 se inaugura el edificio de recursos educativos, para agrupar las colecciones existentes de Biblioteca Central, la de Estudios Generales y todas las Bibliotecas Facultativas. El diseño del edificio gana un premio de la UNESCO y es considerado uno de los proyectos más importantes de la década de los setentas, fue diseñado por los arquitectos Max Holzheu Stollreiter, Augusto de León Fajardo y el artista Luis Díaz Aldana, dicho edificio está ubicado en la plaza de la rectoría universitaria, el diseño fue innovador ya que salió de la monotonía espacial definida por la orientación norte-sur del resto de los edificios del entorno. La Biblioteca Central posee un giro de 45 grados con respecto a rectoría. Esta alineación crea una ampliación en la perspectiva de la plaza y logra un efecto espacial importante en la parte central del mencionado conjunto. Su estructura es de concreto expuesto y de sus cuatro esquinas emergen grandes columnas en dirección diagonal. Especialmente importantes son los parteluces, esto consisten en un sistema prefabricado de asbesto cemento que permite la entrada de luz por reflejo, evitando así la entrada directa de los rayos solares a los espacios interiores.

En 1993 se inició el proyecto de modernización de la biblioteca con la automatización, implementación, creación de nuevos servicios, secciones, catálogo manual y electrónico, así como préstamo y devolución del material

bibliográfico automatizado. En este mismo año se inicia el servicio de audiovisuales con dos salas, actualmente se cuenta con cuatro salas, equipadas con mobiliario y equipo audiovisual para apoyar el proceso enseñanza aprendizaje.

1.1.2. Misión de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Conservar el conocimiento y la cultura, difundirlos y ponerlos al alcance de la comunidad estudiantil, a través de los diferentes servicios que este posee asimismo proporcionar a la comunidad los recursos impresos, audiovisuales y digitales, mediante la prestación de servicios modernos y de calidad que estimulen la formación humanística y profesional del individuo, fomentando la investigación científica y contribuyendo de esta manera al desarrollo académico, social y cultural de la Universidad y de nuestro país.

1.1.3. Visión de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Administrar y suministrar en forma eficiente y eficaz los recursos que genera la biblioteca, mediante servicios y cobro de multas, para así constituirse en el mejor centro de información de la Universidad de San Carlos, con el apoyo de las tecnologías de la información, implementando políticas y planes estratégicos que coadyuven al desarrollo de las colecciones, cumpliendo con los estándares regionales e internacionales, sirviendo de vínculo entre las unidades de información a nivel mundial.

1.1.4. Servicio que presta la Biblioteca Central

La Biblioteca Central pone a disposición de los usuarios y visitantes los siguientes servicios:

- Catálogo manual: este es el catálogo general y contiene las fichas de todas las obras clasificadas y catalogadas. Se localiza en el segundo nivel y está separado en tres ficheros ordenados alfabéticamente: por autor, título y materia.
- Catálogo virtual: la automatización de procesos se inició en 1993, implementando sistemas bibliotecnológicos que incluyen la consulta al catálogo a través de computadoras. A la fecha se ha implementado el programa glifos con un catálogo en línea, para consultarse por medio del Internet desde cualquier parte del mundo.
- Préstamo de material bibliográfico: esto se puede realizar de dos formas. La primera sería un préstamo interno el cual consiste que el material solo se puede utilizar únicamente para consulta en la sala. El segundo sería un préstamo externo el cual consiste que el material se presta al usuario para consultarlo a domicilio por 8 días hábiles.
- Sección de referencia: ofrece servicios de consulta con bases de datos en línea, brinda apoyo a la investigación, orienta al usuario en la búsqueda de información y uso de catálogos, el servicio es de andén abierto el material se consulta únicamente en sala.

Todos los servicios están dotados de mobiliario y equipo para brindar comodidad a los usuarios y se rigen por el reglamento de la Biblioteca.

1.2. Normas relacionadas con calidad de la potencia eléctrica

La calidad de potencia eléctrica reside en establecer dentro de un sistema eléctrico los límites normados y permitidos de cada parámetro y propiedad eléctrica existente, para el óptimo funcionamiento del sistema.

1.2.1. Norma NTSD de la CNEE

El primordial objetivo de esta norma es establecer derechos y deberes de los acreedores y usuarios del servicio eléctrico de distribución, índices e indicadores de referencia para estimar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el sitio de entrega como en el sitio de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, Indemnizaciones, sanciones o multas, respecto de los siguientes parámetros:

- Calidad del producto suministrado por el distribuidor
 - Regulación de tensión
 - Desbalance de tensión en servicio trifásico
 - *Flicker*

- Calidad de servicio técnico
 - Interrupciones

- Calidad del servicio comercial
 - Calidad del servicio comercial del distribuidor, y
 - Calidad de la atención al usuario

Esta norma será aplicada a todos los usuarios que utilicen los sistemas de distribución de energía eléctrica.

El artículo 31 de la Norma NTSD menciona el procedimiento a seguir para realizar el cálculo del índice de calidad de la distorsión armónica de la tensión. El artículo 32 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para la distribución armónica de la tensión, si este valor excede a dicho rango de tolerancias en un lapso de tiempo mayor al 5 % correspondiente al período de medición, se concluye que la energía eléctrica es de mala calidad. El artículo 33 hace mención sobre el control a seguir para la distorsión armónica de tensión, el cual se debe realizar a través de cuatro mediciones mensuales, realizadas en los bornes de baja tensión de los transformadores media/baja tensión. Los puntos deberán ser propuestos a la comisión con un tiempo de anticipación de tres meses, la comisión tiene la potestad de modificar los puntos si lo considera pertinente. De acuerdo con la Norma IEC 61000-4-7, deberán ser tomadas mediciones de la distorsión armónica total de tensión y de la distorsión armónica individual de tensión. El artículo 34 describe el procedimiento que debe seguir el usuario para ser indemnizado por distorsión armónica de tensión al comprobar que las condiciones de distorsión armónica han excedido las tolerancias establecidas en el artículo 32, esta indemnización será hasta que se compruebe de manera definitiva, que el problema ha sido resuelto.

El artículo 36 de la Norma NTSD establece el índice de calidad de *flicker* en la tensión, dicho *flicker* debe ser medido por el índice de severidad de corto plazo (Pst), bajo la Norma IEC 61000-3-7. El artículo 37 indica que la tolerancia máxima del índice de severidad de *flicker* de corto plazo (Pst) debe ser menor o igual a uno. El artículo 38 hace mención sobre el control del *flicker* en la tensión, dicho control se realizará a través de cuatro mediciones mensuales en los bornes de baja tensión de los transformadores media/baja tensión. Los puntos

deberán ser propuestos a la comisión con un tiempo de anticipación de tres meses, la comisión tiene la potestad de modificar los puntos si lo considera pertinente. Las mediciones deberán ser recaudada de acuerdo con la Norma IEC 868. El artículo 39 describe el procedimiento que debe seguir el usuario para ser indemnizado por *flicker* en la tensión al comprobar que las condiciones de *flicker* han excedido las tolerancias establecidas en el artículo 37. La Indemnización está basada en función de las desviaciones por encima de la tolerancia establecida para el índice de severidad.

El artículo 41 de la Norma NTSD menciona el procedimiento a seguir para realizar el cálculo del índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga. El artículo 42 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para la distribución armónica de la corriente de carga, la cual afirma que la distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica obedecerá a la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica, de igual manera como se mencionó en el artículo 32 referente a la distorsión armónica de tensión, sí el valor obtenido excede al rango de tolerancia en un lapso de tiempo mayor al 5 % correspondiente al período de medición, se concluye que la energía eléctrica es de mala calidad.

El artículo 43 hace mención sobre el control a seguir para la distorsión armónica de la corriente de carga, la generación de armónicas por los consumidores será responsabilidad de los distribuidores, así como también el proceso de las operaciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios. Las mediciones deberán ser realizadas bajo la Norma IEC 61000-4-7 registrando la distorsión armónica total de corriente de carga conjuntamente con la distorsión armónica individual de corriente de carga. En aquellos casos donde se decida realizar

mediciones sin carga o carga mínima, para referencia, se deberá de tomar por cinco horas. La medición de la distorsión armónica comenzará a partir de la apertura de la etapa de transición. De los resultados adquiridos durante los dos primeros años de medición, a partir de ello se determinará si es necesaria alguna modificación para medir la distorsión armónica en la corriente. Podrán utilizarse los mismos puntos donde se midió la distorsión armónica de tensión. El artículo 44 estipula el procedimiento a seguir para indemnización por distorsión armónica de la corriente de carga en casos en que los distribuidores verifiquen que alguno de sus usuarios ha excedido permisiblemente las tolerancias establecidas que describe el artículo 42, el usuario deberá pagar al distribuidor una indemnización determinada en función a la distorsión.

El artículo 45 de la Norma NTSD establece el índice de calidad de *flicker* generado por el usuario, este se determina por el índice de severidad de *flicker* de corto plazo (Pst), medido sobre la impedancia de referencia fijada por la Norma IEC 61000-3-3. El artículo 46 proporciona los parámetros permisibles de las tolerancias para el *flicker* generado por el usuario, sí el valor obtenido excede al rango de tolerancia en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento correspondiente al período de medición, se concluye que la energía eléctrica es de mala calidad. El artículo 47 hace mención sobre el control del *flicker* generado por los usuarios, el *flicker* generado por los consumidores será responsabilidad de los distribuidores, así como también el proceso de las operaciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios. La medición debe ser realizada bajo una impedancia de referencia que estipula la Norma IEC 61000-3-3.

El artículo 48 estipula el procedimiento a seguir para indemnización por *flicker* generado por el usuario en casos en que los distribuidores verifiquen que

alguno de sus consumidores ha excedido permisiblemente las tolerancias establecidas que describe el artículo 46, el usuario deberá pagar al distribuidor una indemnización determinada en función a la distorsión penalizable individual de *flicker*.

- Los artículos del 31 al 35 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de la distorsión armónica de la tensión generada por el distribuidor.
- Los artículos del 36 al 40 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de *flicker* en la tensión.
- Los artículos del 41 al 44 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de la distorsión armónica de la corriente generada por el usuario.
- Los artículos del 45 al 48 de la Norma NTSD de la CNEE describe los parámetros de *flicker* generado por el usuario.

1.2.2. Voltajes y corrientes armónicas

Los armónicos pueden ser de tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar, las formas de ondas distorsionadas en una suma de la señal de la frecuencia fundamental y las armónicas, la distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia.

1.2.2.1. Estándar IEC 61000-2-2

Este estándar establece los niveles de compatibilidad para perturbaciones existentes de baja frecuencia y señalización en redes de suministro eléctrico de baja tensión como sistemas monofásicos y trifásicos a 50 Hz o 60 Hz con voltajes nominales de hasta 240 V y 415 V, respectivamente. Los niveles de compatibilidad permanecen definidos empíricamente con el fin de disminuir la cifra de demanda de una mala operación, a un nivel óptimo y aceptable.

1.2.2.2. Estándar IEEE 519

Este estándar fragmenta la responsabilidad de limitar las armónicas entre los usuarios finales y las empresas de distribución, los usuarios finales serán responsables de limitar las inyecciones de corrientes armónicas, mientras que los proveedores serán principalmente responsables de limitar la distorsión del voltaje en la red de distribución.

Los límites de distorsión que los armónicos logran producir deben ser medidos en la frontera entre la empresa suministradora de energía y el usuario o es decir en un punto de acoplamiento común (PCC). La distorsión que el usuario origina a la empresa de energía depende de las corrientes armónicas que le inyecte y de la pronta respuesta de impedancia del sistema a estas frecuencias, a partir de esto se establece que los límites de distorsión armónica permitida por los usuarios se deben de medir en corrientes, no obstante, la distorsión que la empresa de energía le produce al usuario se mide en la forma de onda de la tensión en el punto de acoplamiento común.

Los límites de corriente y voltaje armónicos que estipula este estándar son analizados en un punto de acoplamiento común. La norma fija límites de la

inyección de corriente tomando como base el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia, el mismo que está determinado por la capacidad de cortocircuito. La relación de cortocircuito está determinada como el equilibrio de corriente de cortocircuito máximo en el punto de acoplamiento común para la máxima demanda de corriente de carga (componente de frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.

El fundamento para limitar las inyecciones armónicas de los usuarios individuales radica en impedir niveles inadmisibles de distorsiones de voltaje, es por ello que los límites de corriente son establecidos de tal manera que las inyecciones armónicas totales para cada usuario individual no deben de exceder la distorsión total de voltaje máximo estipulado en dicho estándar.

Tabla I. Límites de corrientes armónicas

Relación de cortocircuito en el PCC	Voltaje máximo individual de frecuencia armónica (%)	Casos supuesto
10	2,5 - 3,0	Sistema dedicado
20	2,0 - 2,5	1 - 2 Clientes grandes
50	1,0 - 1,5	Clientes relativamente grandes
100	0,5 - 1,0	5 - 20 Clientes medianos
1000	0,05 - 0,10	Muchos clientes pequeños

Fuente: estándar IEEE 519-1992, tabla 10-1.

Los valores tabulados en la tabla I, nos desglosan los límites de corrientes armónicas para varios tipos de sistemas. Se observa que entre más pequeño sea el valor de la carga se permite un porcentaje mayor de corrientes armónicas que en las cargas más grandes con valores menores de relación de

cortocircuito. Las cargas más grandes deberán obedecer a límites más fieles de distorsión ya que ocupan un segmento más grande de la capacidad de carga del sistema.

Los límites de corrientes armónicas en el punto de acoplamiento común son instituidos para limitar voltajes individuales de distorsión armónica como también para las distorsiones totales de voltaje THDv como se muestra en la tabla II. Si partimos de la premisa que la distorsión de voltaje depende de la impedancia del sistema entonces al lograr controlar la distorsión de voltaje se controla directamente la impedancia del sistema. Las dos causas más comunes que da como consecuencia una impedancia alta es cuando el sistema es demasiado débil para alimentar la carga y cuando el sistema se encuentra en resonancia, este último es el más común, por ende, si mantenemos el voltaje de distorsión en valores mínimos lograremos que nuestro sistema se mantenga libre de resonancia.

Tabla II. Límites de distorsión armónica de voltaje

Voltaje nominal en el PCC, Vn (KV)	Voltaje de distorsión armónica individual (%)	Voltaje de distorsión armónica total THDVn (%)
Vn ≤ 69	3,0	5,0
69 ≤ Vn ≤ 161	1,5	2,5
Vn > 69	1,0	1,5

Fuente: estándar 519-1992, tabla 11-1.

1.2.2.3. Estándar EN 50160

Esta norma hace énfasis sobre los niveles específicos requeridos de voltaje característico que deben ser entregados por los distribuidores de energía eléctrica y también menciona métodos rigurosos para la evaluación de la conformidad del suministro.

Los límites de voltaje armónicos que proporciona esta norma están dados en porcentaje del voltaje fundamental y es aplicado a sistemas de BT o MT, o es decir para voltajes de hasta 35 kV. Los límites de voltaje armónicos se muestran en la tabla III. La distorsión armónica total del voltaje de alimentación incluye todos los armónicos hasta el 40, estos no deben sobre pasar el límite de 8 %. Los valores de distorsión de orden superior no son tomados en cuenta ya que sus valores son mínimos y se puede despreciar.

Tabla III. Límites de voltajes armónicos

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplo de 3		Múltiplo de 3			
Orden <i>h</i>	Voltaje armónico (%)	Orden <i>h</i>	Voltaje armónico (%)	Orden <i>h</i>	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6-24	0,5
13	3	21	0,2		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Límites de voltajes armónico (En porcentaje de la fundamental o p.u.)

Fuente: estándar EN 50160.

1.2.3. Flicker

El origen del *flicker* se localiza en las fluctuaciones bruscas de la tensión de la red, este provoca ciertas molestias al ser humano que se ostenta principalmente en las lámparas que operan con baja tensión, no obstante, las llamadas fuentes perturbadoras, son las causantes del fenómeno de parpadeo, se pueden encontrar conectadas en cualquier nivel de tensión, es por ello que a continuación se menciona dos normas relevantes al *flicker*.

1.2.3.1. Estándar IEC 61000-3-3

Este estándar proporciona los límites e indica los procedimientos de la evaluación para el equipo de baja tensión con corriente nominales menores a 16 A.

El período de medición para los métodos de análisis de *flicker* son caracterizados por dos parámetros.

- Pst: es un valor medido sobre 10 minutos que caracteriza la probabilidad de que las fluctuaciones de tensión induzcan parpadeos perceptibles de la luz.
- Plt: es un valor de 2 horas de valores Pst (doce valores combinados en relación cubica).

Tabla IV. Valores de Pst y Plt para diferentes niveles de tensión

Nivel	Pst (p.u.)	Plt (p.u.)
Baja tensión ($I \leq 16$ A)	1	0,8
Media tensión	1	0,8
Alta tensión	0,8	0,65

Fuente: estándar IEC 61000-3-3.

1.2.4. Calidad de la potencia eléctrica

La calidad de tensión o potencia eléctrica es un término usado para detallar la relativa cantidad de disturbios o variaciones de tensión, particularmente en lo que se refiere a: armónicos, fluctuaciones de tensión, transitorios y factor de potencia. La potencia que se suministra a una instalación o carga está caracterizada por cinco parámetros básicos: frecuencia, magnitud, forma de onda, desbalance y continuidad.

La calidad del suministro puede definirse en términos de las desviaciones de estos parámetros de sus valores ideales y de la definición de los valores máximos de desviación en términos del valor que puedan alcanzar sin que se afecte el funcionamiento de los componentes eléctricos.

Posteriormente las empresas de electricidad solo han considerado la regulación de potencia o tensión como único parámetro para medir la calidad, sin embargo, esta es una condición de estado estacionario que por sí sola no refleja la gran cantidad de disturbios que pueden afectar los equipos del consumidor.

1.2.4.1. Estándar IEC 61000-4-30

Este estándar describe los procedimientos de medición de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se establece la calidad del suministro eléctrico para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables. Asimismo, define la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos. La finalidad es eliminar las conjeturas a la hora de seleccionar con precisión un instrumento para el análisis de la calidad eléctrica.

Este estándar hace énfasis en varios parámetros importante para la calidad de la potencia eléctrica, entre los cuales están:

- Frecuencia de la tensión de alimentación.
- Magnitud de la tensión de alimentación.
- *Flicker* (parpadeo de tensión).
- Armónicos e interarmónicos.
- Fluctuaciones de la tensión de alimentación.
- Interrupciones en la tensión de alimentación.
- Desequilibrios en la tensión de alimentación.
- Cambios rápidos en la tensión de alimentación.

Este estándar se categoriza como instrumento de clase A, cuando cumple con la totalidad de los parámetros y especificaciones que estipula, cuando el instrumento no cumple a su totalidad con las especificaciones o lo cumple bajo otros criterios, entonces se categoriza como clase B.

Si se requiere obtener medidas precisas para efectos de aplicaciones contractuales, verificación del cumplimiento de los valores de referencia estipulados en este estándar o resolver reclamaciones o disputas entre la empresa distribuidora y un usuario se deberá utilizar un instrumento de clase A.

El instrumento de clase A, mide el voltaje y la corriente a una exactitud del 0,1 %. Esto afirma que la forma de onda de 60 Hz debe ser medida en 308 muestreos por ciclo.

1.2.4.2. Estándar IEEE 1159

Este estándar fue desarrollado y diseñado para establecer una serie de pasos congruentes para la medición de la calidad de energía eléctrica, con el fin de normalizar los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de equipos de medición, objetivo que no fue alcanzado ya que los fabricantes diseñan sus productos bajo políticas y criterios propios. No obstante, este estándar logró establecer técnicas de uso de los instrumentos, así como también interpretación de los resultados obtenidos por medio de la medición de la calidad de energía eléctrica con estos mismos.

Para lograr una interpretación correcta de los datos, es necesario contar con un procedimiento a seguir tanto antes como durante las mediciones y monitoreos. A continuación se describen los pasos que recomienda este estándar:

- Determinar objetivos de la medición.
- Localización de los puntos a monitorear.
- Reconocimiento del sistema eléctrico a medir (diagramas unifilares y parámetros eléctricos del sistema).

- Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
- Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
- Determinar límites y umbrales de medición.
- Tiempo de la medición.
- Interpretación de datos.

Al momento en que el instrumento de medición esté conectado en el circuito, este debe estar programado con ciertos umbrales o límites de medición dependiendo de lo que se necesita analizar.

1.3. Eventos relacionados con la calidad de la potencia eléctrica

La calidad de la potencia eléctrica es un indicador del nivel de adecuación de la instalación para tolerar y garantizar un funcionamiento fiable de sus cargas. La calidad no es un aspecto exclusivo, está profundamente ligado con el tipo de equipos del usuario y de la forma como éste los opera, es por ello que a continuación se describirá de manera concisa en que consiste cada evento y la importancia de ello en el análisis de calidad de potencia.

1.3.1. Variaciones de tensión de estado estable

Son desviaciones del valor eficaz de la tensión en un intervalo de tiempo superior a 1 minuto. El periodo de medición debe de ser una semana, todos los valores registrados en ese periodo de tiempo deben de estar dentro del rango del valor de referencia. Estas variaciones suelen darse por diversas causas, las más comunes son:

- Caídas de tensión en transformadores y alimentadores.
- Cambios de generación y carga.
- Operación de protecciones eléctricas.
- Maniobra de conexión y desconexión.

1.3.1.1. Sobretensión

Es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110 % del valor nominal con una duración mayor de un minuto, esta sobretensión es la consecuencia de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores, considerando débil para mantener la regulación y control de tensión al sistema en el que demuestra esta condición.

1.3.1.2. Subtensiones

Es la disminución de la tensión a un nivel inferior del 90 % del valor eficaz de la tensión por una duración mayor de un minuto. Al igual que en las sobretensiones las variaciones de baja tensión pueden ser causadas por conexiones de nuevas cargas o sobrecargas.

1.3.2. Variaciones lentas de tensión

Se considera una variación lenta de tensión, aquella que se despliega con una duración de 10 segundos o más. Este suceso regularmente es causado debido a la variación de las cargas en redes eléctricas con una elevada impedancia de cortocircuito. Si sobrepasan los límites estáticos permitidos por los equipos, pueden ocasionar fallos en su operación.

1.3.3. Variaciones rápidas de tensión

Se considera una variación rápida de tensión, aquella que se despliega con duración menor a los 10 segundos. Este suceso regularmente es causado debido a la conexión, desconexión de cargas grandes y maniobras en las líneas de la red eléctrica. Las consecuencias que puede causar esto en los equipos depende de su amplitud y su duración, dado que un equipo puede soportar una mayor amplitud en un menor tiempo y viceversa.

1.3.4. Armónicos

Los armónicos son señales eléctricas con frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental del sistema, la cual es de 60 Hz para el país, estos provocan distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión o corriente de los sistemas eléctricos ocasionados por el uso de cargas no lineales a lo largo de la red.

La presencia de armónicos en la red trae como consecuencias problemas en el sistema eléctrico, a continuación se mencionan los más comunes:

- Interferencia en el rango de audiofrecuencias con señales de control y líneas de energía. Los armónicos de tensión pueden ocasionar disturbios en los sistemas electrónicos.
- Existencia de corrientes armónicas en motores de inducción, transformadores, los cuales causan pérdidas adicionales de energía y calentamiento. Estos efectos son, en su mayor parte, atribuibles a armónicas de orden menor y altas magnitudes de amplitud.

- Inestabilidad dieléctrica de cables aislados como resultado de sobretensiones del sistema.
- Errores en los equipos de medición, ya que regularmente los diseños consideran señales sinusoidales puras e ideales.

La distorsión armónica se produce fundamentalmente por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia. El nivel de distorsión armónica se representa por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

1.3.5. *Flicker*

Los *flickers* son expeditamente visibles por las personas en los sistemas de iluminación como una emisión cambiante de la luz, es decir, parpadeos de baja frecuencia en las luminarias. Este tipo de perturbaciones son variaciones bruscas y rápidas de tensión que también son regularmente llamadas fluctuaciones de tensión, caracterizados por cambios rápidos en el valor eficaz de tensión. La raíz principal del *flicker* se debe a cargas grandes que manejan corrientes variables, esta condición hace que se presente modulación del voltaje en la barra de carga y en barras auxiliares.

1.3.6. *Desbalance*

Se define como desbalance de tensión a la desviación en la simetría de las magnitudes y ángulos de fase de cada componente de tensión en un

sistema trifásico, esto es causado principalmente por asimetría de las impedancias de las líneas de transmisión y desbalances de carga.

Balancear las fases de toda la instalación es la forma más práctica de garantizar la corrección de los desbalances de tensión presentes en el sistema, para que esto sea ideal los desbalances deben ser menores al 2 %. Es importante monitorear el sistema para vigilar el correcto funcionamiento de los bancos de condensadores. De lo contrario los desbalances de tensión pueden ocasionar altas corrientes en motores, transformadores, barrajes y acometidas; las pérdidas eléctricas y fallas en la coordinación de protecciones también pueden ser afectadas de manera indirecta

1.3.7. Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u., por un período de tiempo menor o igual a uno.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados, realización de trabajos de mantenimiento, ampliación o modificación de las instalaciones, entre otros. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10 % de su valor nominal.

El recierre instantáneo regularmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular.

1.3.8. Sags

Los *sags* son regularmente el resultado de fallas en el sistema de alimentación y de conmutación. Se caracterizan por las variaciones del margen de tensión fuera del rango normal de funcionamiento de las tensiones.

Un hueco de tensión tiene una corta duración (regularmente oscila de 0,5 a 30 ciclos o 1 minuto) la reducción en el voltaje rms causada generalmente por una falla lejana en alguna parte del sistema de potencia.

Las reducciones en los *sags* oscilan entre el 90 % y el 10 % del valor eficaz de la tensión.

1.3.9. Swells

Cuando el valor nominal eficaz de tensión se eleva por encima del 110 % de la tensión declarada con una duración entre 0,5 ciclos (8,33 milisegundos) y 30 ciclos (1 minuto), a esta perturbación se le denomina como *Swells* (elevación de tensión). Estas elevaciones se generan regularmente por fallas en el sistema eléctrico, donde las fallas monofásicas son las más frecuentes provocando una elevada tensión temporal en las fases no involucradas en la falla. Otras causas son desconexión o cambios de grandes cargas, conexión de grandes bancos de condensadores, resonancias y ocurrencia de fenómenos de descargas atmosféricas naturales.

El valor de la elevación de tensión es directamente proporcional a la distancia donde ocurre la falla, del valor de impedancia y la capacidad de la puesta a tierra del sistema de alimentación. El efecto más relevante de las elevaciones de tensión es la disminución de vida útil de los equipos conectados

al sistema, así como deterioro del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas y estáticas. Además, se presentan operaciones indeseadas en relés de protección e incremento en la potencia de salida en banco de condensadores.

1.3.10. Transitorios

Estas perturbaciones son originadas por impulsos de voltaje de alta velocidad superpuestos sobre la onda sinusoidal de energía eléctrica, los tiempos de duración son muy rápidos regularmente en el orden de microsegundos y los cambios en la tensión y corriente son muy altos, lo que puede ocasionar daños en equipos sensibles y electrónicos. Estos cambios grotescos del sistema son ocasionados comúnmente por descargas atmosféricas y sistemas de refrigeración.

1.4. Definiciones relacionadas con eficiencia energética

Se comprende como eficiencia energética eléctrica a la minimización de las potencias y energías demandadas al sistema eléctrico, sin que esto provoque anomalías en las actividades normales realizadas en los edificios o industrias, esta y algunas otras acciones son las que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto se puede lograr con la ejecución de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y hábitos culturales.

La correcta gestión de la energía produce dividendos significativos en el recuento final. Las decisiones, en cuanto a criterios de inversión y retorno, pueden ser comparadas con la visión de sostenibilidad estratégica de una institución o industria.

1.4.1. Definiciones relacionadas a instalaciones eléctricas

La electricidad suministrada por las empresas distribuidoras de energía eléctrica no siempre cumple con las exigencias de los usuarios y clientes.

A continuación se hace mención de algunos elementos esenciales presentes en cualquier instalación eléctrica.

1.4.1.1. Tensión de servicio

Es el valor de la tensión que existe en un punto cualquiera de una instalación en un momento determinado.

1.4.1.2. Carga

Cantidad de potencia que debe ser entregada en un punto dado de un sistema eléctrico.

1.4.1.3. Circuitos

El circuito eléctrico es el recorrido preestablecido por el que se desplazan las cargas eléctricas, dichas cargas establecen una corriente eléctrica que se trasladan de un punto de mayor potencial hacia un punto de menor potencial eléctrico. Para conservar permanentemente esa diferencia de potencial más conocida como tensión, en los extremos de un conductor, es necesario una fuente que tome las cargas que lleguen desde un extremo y lo traslade hasta el otro.

1.4.1.4. Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos y están predestinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones: medición, control, maniobra, protección, señalización y distribución.

El tablero es uno de los componentes más importantes de una instalación eléctrica, independientemente de su nivel de tensión, su tipo o tamaño. Los tableros adquieren las más variadas formas y dimensiones de acuerdo con la función definida que les toque desempeñar, como pueden ser aquellos que se emplean en los distintos tipos de inmuebles, edificios e industrias.

1.4.1.5. Protecciones eléctricas

Es el conjunto de *breaker*, relevadores y aparatos asociados que disparan los interruptores necesarios para separar equipo fallado, o que hacen operar otros dispositivos como válvulas, extintores y alarmas, para evitar que el daño aumente de proporciones o que se propague.

1.4.1.6. Sistema puesta a tierra

Un sistema puesta a tierra es un módulo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que el usuario entre en contacto con la electricidad. Esto quiere decir que todas las instalaciones están unidas en un nodo común, a través de un conductor, a la tierra para que, en caso de una derivación imprevista de la corriente o de una falla de los aislamientos, las personas no se electrocuten al entrar en contacto con los dispositivos conectados a dicha instalación.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

En esta fase se pone en práctica los conceptos y normas citadas anteriormente y así empezar a analizar todo lo concerniente a la calidad y eficiencia energética de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.1. Diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas actuales

En esta sección se describirá de manera concisa y breve las condiciones en que se encuentra actualmente las instalaciones eléctricas de la Biblioteca Central, como también se recomendará algunas acciones a seguir para evitar el deterioro de las misma.

2.1.1. Caracterización de cargas

El edificio consta de cinco niveles en cada uno de los niveles existen cargas monofásicas en su mayor parte, ya que lo que predomina es iluminación y fuerza, aunque cabe mencionar que existe un elevador, bombas de agua potable, aire acondicionado y algunas máquinas herramientas de uso industrial las cuales son cargas trifásicas.

El tipo de carga que predomina en el edificio es carga no lineal compuestas por semiconductores y en un mínimo porcentaje de carga lineal de carácter resistivo, ya que muchos estudiantes y personas que llegan a consultar algún libro en la biblioteca o bibliografía llevan su laptop o dispositivo electrónico los cuales son fuentes de cargas no lineales.

2.1.2. Estado actual y tipos de conductores

El estado actual de los conductores instalados en la Biblioteca Central se considera satisfactorio en su mayoría, aunque existen condiciones no óptimas como acumulación de polvo en los aislantes y otras deficiencias que obedecen a la falta o carencia de un mantenimiento minucioso y detallado en la instalación.

El cuarto eléctrico está situado en el primer nivel en la parte posterior a la entrada principal del edificio, dentro del mismo se encuentra un transformador del tipo Pad Mounted de 500 kVA con una conexión delta- estrella 13,2 kV el cual reduce dicha tensión primaria a una secundaria con voltaje nominal de 120/208 V, con conductores tipo AWG 500 MCM de 3 conductores por fase.

2.1.3. Circuitos ramales

En el panel general se derivan circuitos ramales que suministran energía eléctrica a tableros secundarios y auxiliares, estos a su vez alimentan circuitos de fuerza, iluminación, aire acondicionado, extractores de aire, motores, bombas de agua, distribuido en cada nivel del edificio.

2.1.3.1. Conductores

En las instalaciones eléctricas de cada nivel del edificio se observó, conductores calibre número 14 AWG hasta 2/0 AWG (de 1 a 3 conductores por fase), los conductores son tipo THW AWG con una temperatura nominal de conducción de 75 °C.

Tabla V. Conductores de distribución

Circuito	Conductor (THW)	Capacidad de conducción (Amperios)
Quinto nivel		
Iluminación	12	25
Fuerza	12	25
Extractor	10	35
Cuarto nivel		
Iluminación	12	25
Fuerza	12	25
Aire acondicionado	12	25
Laboratorio	12	25
Tercer nivel		
Iluminación	12	25
Fuerza	12	25
Segundo nivel		
Iluminación	12	25
Fuerza	12	25
Oficinas	12	25
Primer nivel		
Iluminación	12	25
Fuerza	12	25

Fuente: elaboración propia.

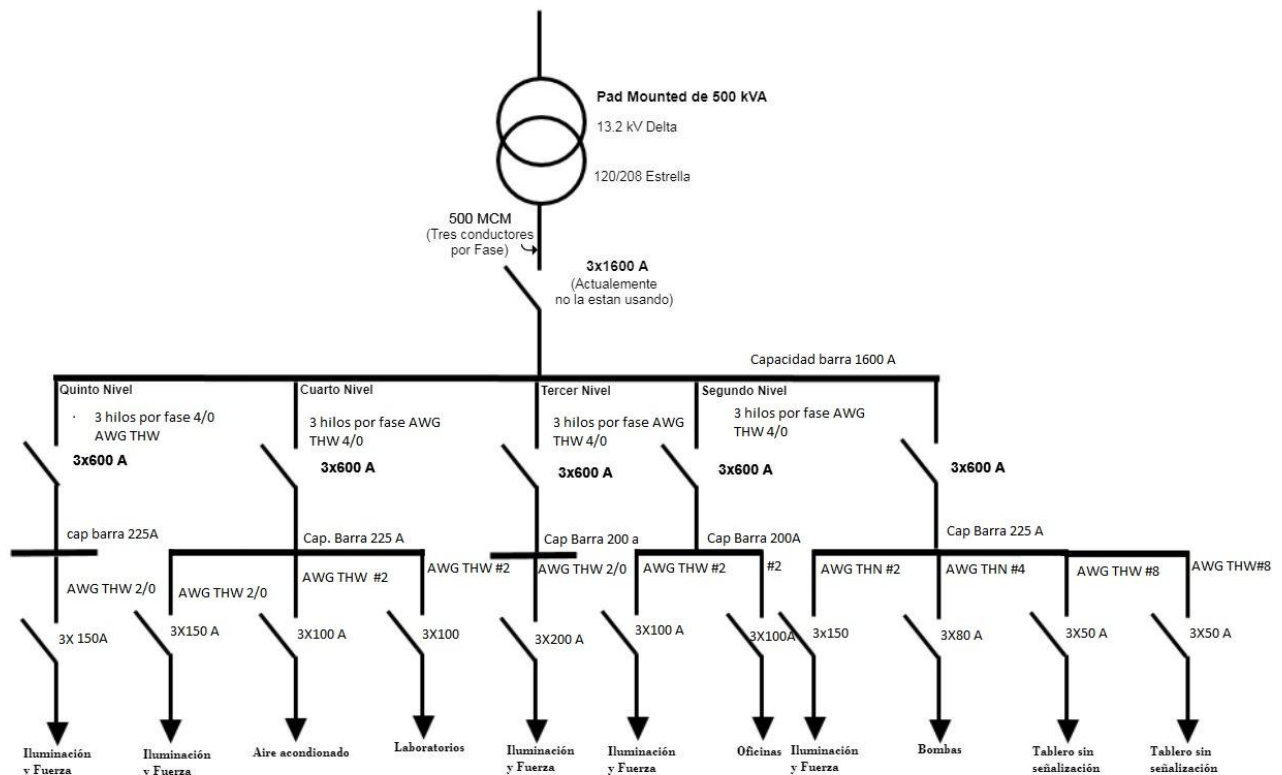
2.1.3.2. Tableros

Se observó que en el cuarto donde se encuentra el tablero principal existe del lado derecho del transformador tipo Pad Mouted un *switchgear* (aparallaje eléctrico), pero este está fuera de servicio.

El tablero principal carece de tapadera en la parte de atrás, eso ha originado que los cables se encuentren bastante empolvados e incluso existe residuos de plástico en su interior, existe un interruptor general en el mismo, pero este no está siendo utilizado actualmente y se desconoce la razón. Cada nivel posee un tablero secundario de distribución los cuales alimentan las cargas conectadas requeridas.

2.1.3.3. Diagrama unifilar

Figura 1. Unifilar de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala



Fuente: elaboración propia.

2.2. Parámetros sobre calidad de energía

La calidad de la energía eléctrica en términos generales se evalúa cuando esta es suministrada a través de su instalación principal y los distintos ramales a los equipos y dispositivos con las características y condiciones recomendadas y que les permitan mantener la continuidad del servicio sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a ninguno de sus componentes.

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

2.2.1. Analizador de redes

Un analizador de redes es un equipo utilizado para la toma de datos en un sistema eléctrico, que tiene la capacidad de almacenar forma de ondas de señales eléctricas, voltajes, corrientes, potencias y armónicos principalmente.

Toda esta información está representada por medio de histogramas, gráficas fasoriales, espectros de armónicos, entre otros. Estos parámetros permiten realizar un diagnóstico más amplio de la calidad de energía en la instalación y tomar medidas pertinentes en caso que los resultados obtenidos no sean satisfactorios de acuerdo a los límites y recomendaciones encontradas en la Norma IEC 61000-4-30.

2.2.2. Características del analizador de redes

Para realizar el análisis de calidad de energía eléctrica se optó por utilizar el analizador Fluke 435 clase A, el cual fue instalado por una semana en el lado

de baja tensión del transformador Pad Mounted, de esta manera diagnosticar de manera global la calidad de energía eléctrica del edificio, cabe mencionar que este analizador se rige bajo los límites de la Norma EN 50160, aunque tiene la flexibilidad que el usuario pueda ingresar valores requeridos para un análisis más puntual.

Figura 2. **Analizador Fluke 435 clase A**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Incerteza

Los instrumentos con certificación clase A, permiten medir el voltaje y la corriente a una exactitud del 0,1 %, por tanto, la frecuencia debe ser medida a treinta y ocho muestras por ciclo. La exactitud es directamente proporcional al método de medición empleado, esto debe realizarse a través de 10 periodos de ciclo continuos en frecuencia de 60 Hz.

2.2.4. Método de medición e instalación del equipo

Antes de proceder a la instalación del equipo, hay que percatarse de la accesibilidad que existe para colocar las sondas amperimétricas, los lagartos de tensión a cada fase.

Para realizar la instalación del analizador en el circuito general de la Biblioteca Central se optó en colocarlo en el lado de baja del transformador Pad Mounted porque era más accesible y práctico.

En primer lugar se procede a colocar los lagartos de voltaje en cada fase. Si no se tiene la certeza de la secuencia de fase, no hay problema el monitor del analizador de redes nos indica por fasores la secuencia correcta.

En segundo lugar se procede a colocar las sondas amperimétricas alrededor de cada grupo de conductores por fase. Cada sonda tiene en el extremo una flecha que señala la dirección de la carga.

En tercer lugar se observó en la pantalla del analizador que los fasores estén correctamente, para evitar obtener datos erróneos, luego se procede a introducir datos generales como; tipo de conexión, voltaje nominal, fecha,

asignación de nombre y entre otros. Después de ello se puede elegir en el menú la Norma EN 50160 y automáticamente el equipo optara en seleccionar todos los parámetros a medir que estable la norma.

Después de que se haya programado todos los parámetros que se desea obtener durante el periodo del análisis que según norma debe ser de 7 días, se procede a dar run, todos los valores programados serán almacenados en la memoria interna del analizador de redes para luego ser descargado.

Figura 3. **Instalación del Fluke 435 clase A en la Biblioteca Central**



Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Monitoreo de eventos

La pantalla del Fluke 435 permite visualizar valores en tiempo real tales como: voltaje y corriente de cada línea, voltajes pico y rms, factor de potencia, desequilibrio, potencia activa, reactiva y aparente, *flicker*, y entre muchas más. Toda esta información puede ser de utilidad al momento que se desea monitorear lo que sucede en un preciso momento y tomar decisiones.

2.2.6. Software para extracción de datos

El software *Power Log Classic* es la herramienta que permite descargar todos los datos que el analizador almacenó en su memoria interna durante los días en que el equipo estuvo conectado al sistema. Esta descarga se hace a través de un cable de comunicación del analizador con entrada en uno de los extremos tipo USB para lograr comunicación con cualquier computadora.

2.3. Parámetros sobre eficiencia energética

La eficiencia energética se traduce en dinero, esto se debe a que entre más eficiente y óptimo es un sistema menor será el consumo de energía a pagar, esta cifra puede ser significativa o insignificante dependiendo del tamaño de la empresa o institución, que se toma el tiempo en mejorar su eficiencia energética.

2.3.1. Curva de carga diaria

La curva de demanda diaria permite observar el comportamiento de la carga en función del tiempo durante un periodo de 24 horas.

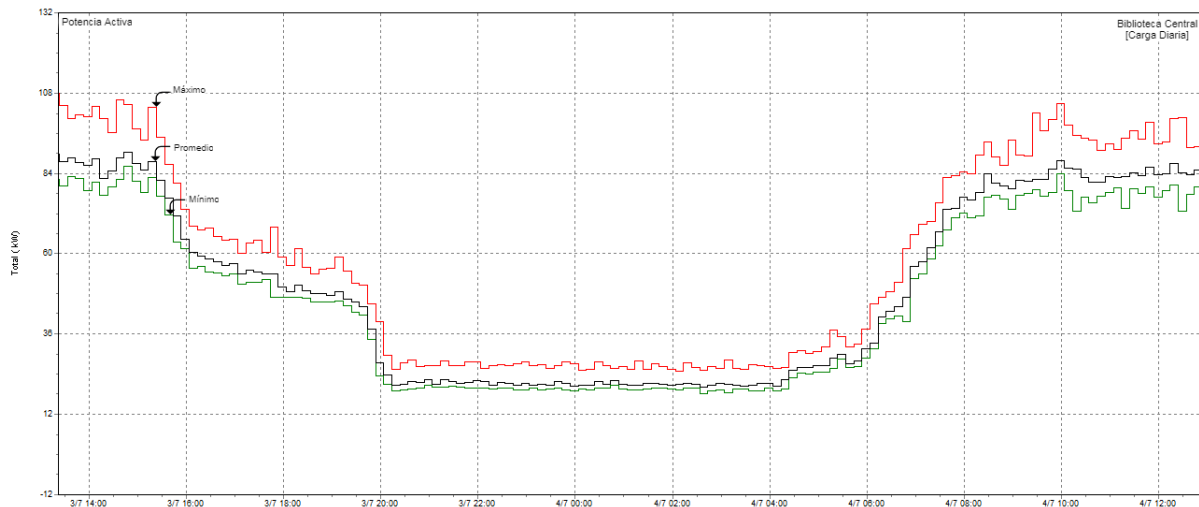
2.3.1.1. Curva de demanda diaria de potencia activa

La curva de demanda diaria en potencia activa es un indicador del requerimiento de energía en watt-hora de la instalación completa, es decir, la curva potencia activa versus tiempo en el lapso de un día.

Esta curva proporciona información sobre la cantidad de demanda durante todas las horas del día, pudiendo servir como base para la extrapolación a futuro en el que se desee conocer su comportamiento ante una nueva instalación o ampliación de la misma, también, ante cambios en la contratación de potencia activa con la empresa comercializadora o distribuidora.

En la figura 4 se observa que el valor máximo del día lunes 3 fue de 108 kW a las 01:23:42 p.m.

Figura 4. Curva de demanda diaria de potencia activa



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

Tabla VI. Resumen de potencia activa máxima diaria

Periodo de medición 03/07/17 al 11/07/17			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Lunes 3	01:23:42	44,2 kW
Línea 2	Lunes 3	02:43:42	42,6 kW
Línea 3	Lunes 3	02:43:42	35,1 kW
Total	Lunes 3	01:23:42	108 kW

Fuente: elaboración propia.

2.3.1.2. Curva de demanda diaria de potencia reactiva

Representa la energía requerida desde la instalación hacia el alimentador para la generación del campo magnético necesario en el movimiento de máquinas rotativas en su mayoría, tales como bombas de agua, aires acondicionados, ventiladores y otros motores existentes en la instalación.

Esta curva nos proporciona información sobre la cantidad de kilovoltio amperios reactivos (kVar) que necesita la instalación para su funcionamiento, de acuerdo a las características existentes en la instalación actual.

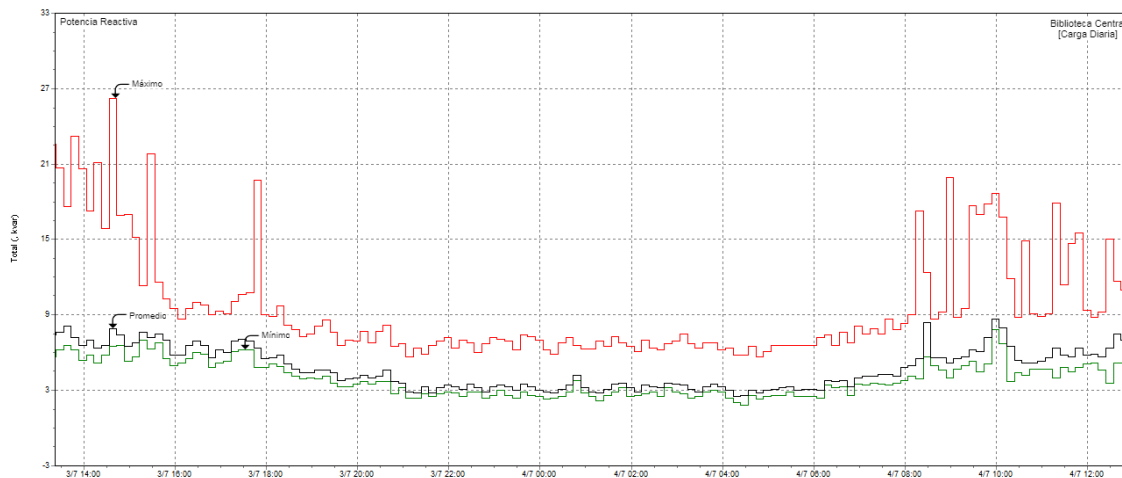
Tabla VII. Resumen de potencia reactiva máxima diaria

Periodo de medición 03/07/17 al 11/07/17			
Línea	Día	Horario	Potencia máxima
Línea 1	Lunes 3	01:23:42	7,1 kVar
Línea 2	Lunes 3	09:03:42	15,2 kVar
Línea 3	Lunes 3	02:43:42	17,2 kVar
Total	Lunes 3	02:43:42	26,2 kVar

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se observa que el valor máximo del día lunes 3 fue de 26 kVar a las 02:43:42 p.m.

Figura 5. **Curva de demanda diaria de potencia reactiva**



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.2. **Curva de carga semanal**

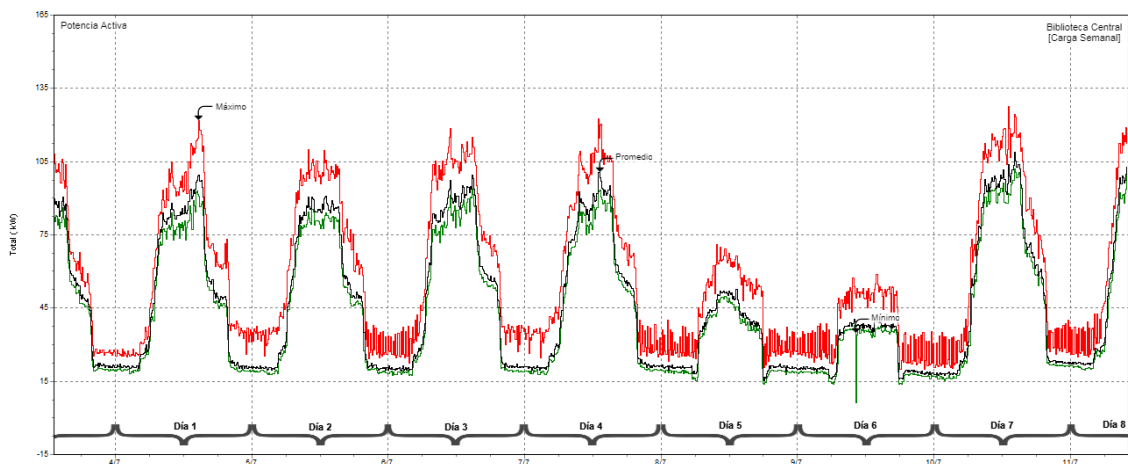
Esta curva proporciona información recopilada en un periodo mayor de tiempo (más de 190 horas en este caso), con el fin de conocer el comportamiento más estable y predecible de la carga en estado permanente, utilizándose para la planificación de nuevas instalaciones, acuerdos con la comercializadora/distribuidora y decisiones sobre el mantenimiento y sus modificaciones en el futuro.

2.3.2.1. Curva de demanda semanal de potencia activa

La curva de demanda de potencia activa/semana es la extrapolación medida a través de 8 días continuos, incluyendo los fines de semana mostrando el comportamiento en un ciclo cerrado, mostrando cuál sería la gráfica esperada en un período mayor de tiempo.

En la figura 6 se observa la semana del lunes 3 de julio al martes 11 del mismo mes, el valor máximo de potencia activa es de 127,4 kW.

Figura 6. Curva de carga semanal total de potencia activa



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

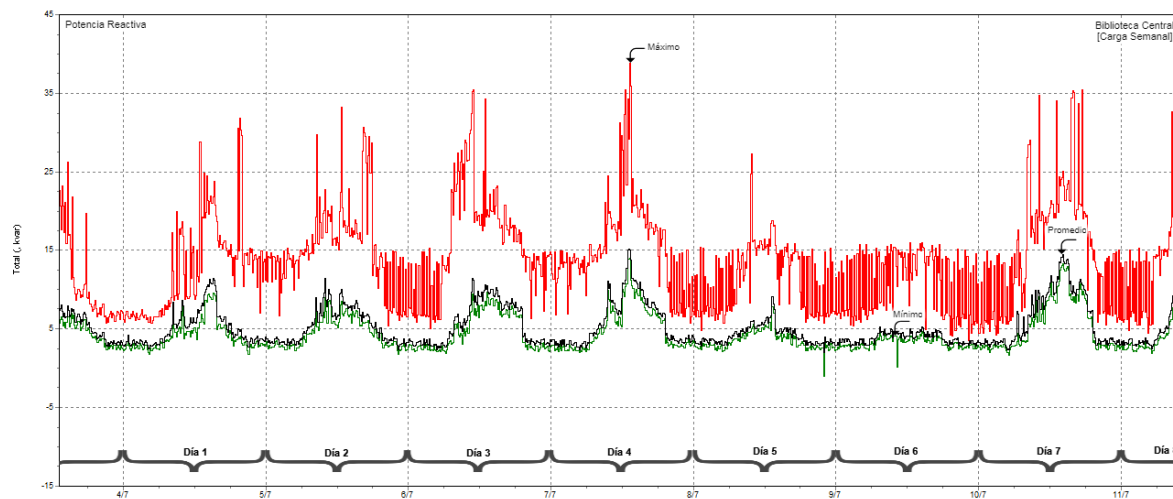
2.3.2.2. Curva de demanda semanal de potencia reactiva

La curva semanal de potencia reactiva muestra la cantidad diaria y semanal de kVar que el sistema necesita para funcionar correctamente, al

factor de potencia observado durante las mediciones. Esta gráfica es muy útil si se desea la instalación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia y para conocer la cantidad de potencia reactiva que se está requiriendo de la red de distribución existente actualmente.

En la figura 7 se observa la semana del lunes 3 de julio al martes 11 del mismo mes, el valor máximo de potencia activa es de 38,8 kVar.

Figura 7. Curva de carga semanal total de potencia reactiva



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

Tabla VIII. Resumen de potencia reactiva máxima

Periodo de medición 03/07/17 al 11/07/17		
Línea	Horario	Potencia máxima
Línea 1	11:03:42	21,4 kVar
Línea 2	12:43:42	24,2 kVar
Línea 3	04:33:42	22,3 kVar
Total	01:23:42	38,8 kVar

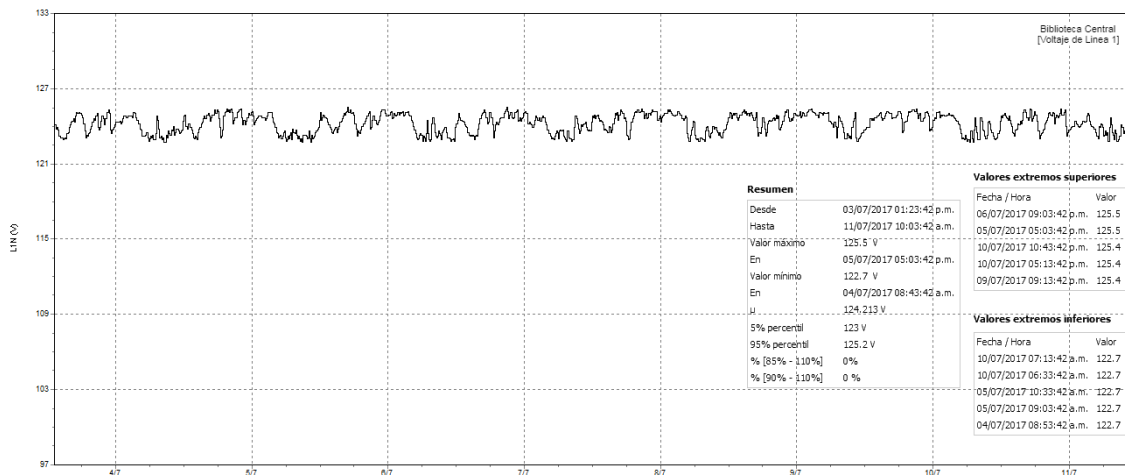
Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Voltajes

Se muestran los resultados obtenidos en las ondas de tensión en las tres fases del sistema encontrado en baja tensión, estas gráficas permiten una evaluación sobre los comportamientos de dichas ondas en el tiempo y con respecto a la carga en ese momento.

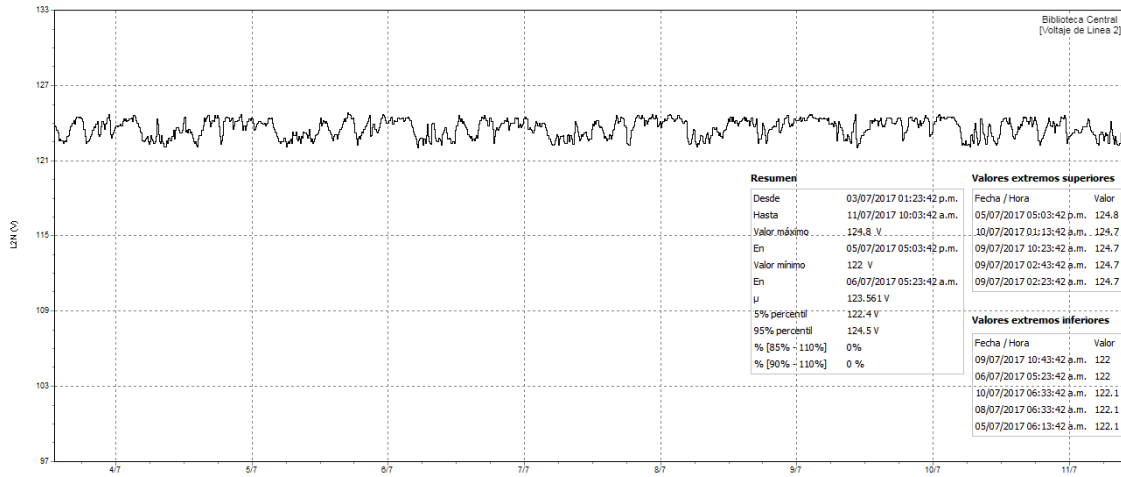
No se observan diferencias marcadas en las distintas ondas de tensión, por lo que se concluye que el sistema está operando de forma satisfactoria, sin embargo, es necesario prestar atención a los niveles de tensión máximos y mínimos encontrados durante la operación normal del sistema para atender a que tanto el voltaje mínimo como el máximo están por encima del nominal, que se esperaría que fuese 120 V.

Figura 8. Voltaje de la línea 1



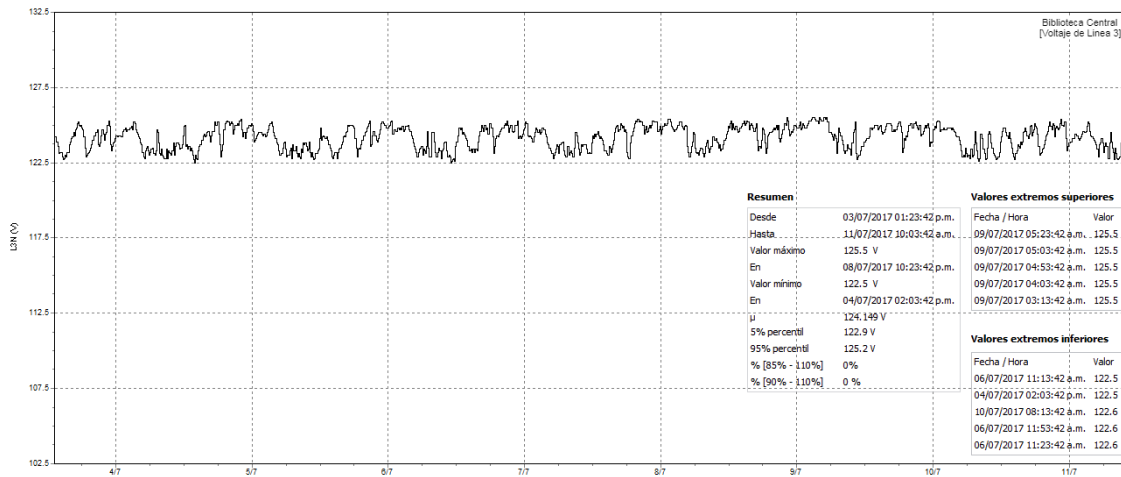
Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

Figura 9. Voltaje de la línea 2



Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

Figura 10. Voltaje de la línea 3



Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

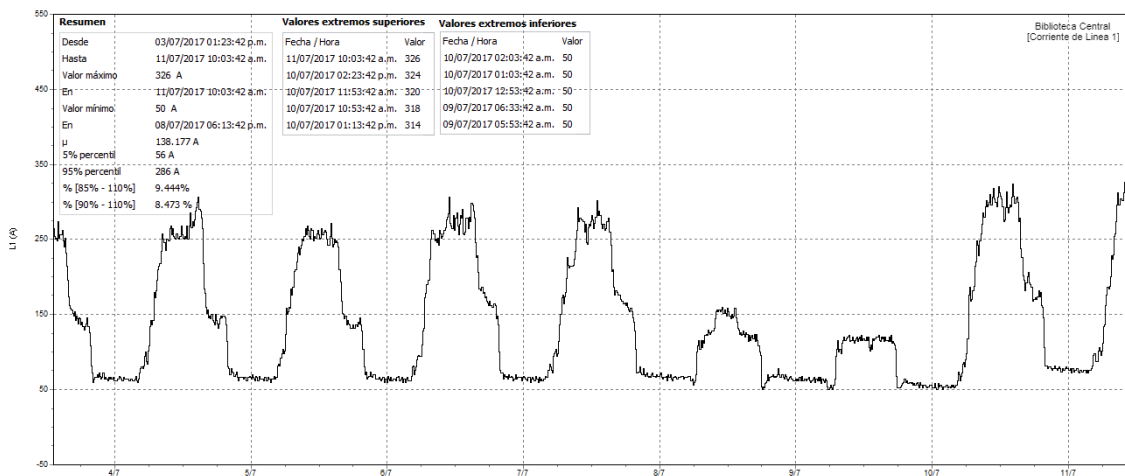
2.3.4. Corrientes

Se muestran los resultados obtenidos en las ondas de corriente en las tres fases del sistema, estas gráficas permiten una evaluación sobre los comportamientos de dichas ondas en el tiempo y con respecto a la carga en ese momento.

Se puede observar en la gráfica de cada línea que el comportamiento característico de cada uno de ellas es semejante entre sí. La demanda de corriente disminuye los fines de semana porque los usuarios y personal de la Biblioteca Central descansan esos días.

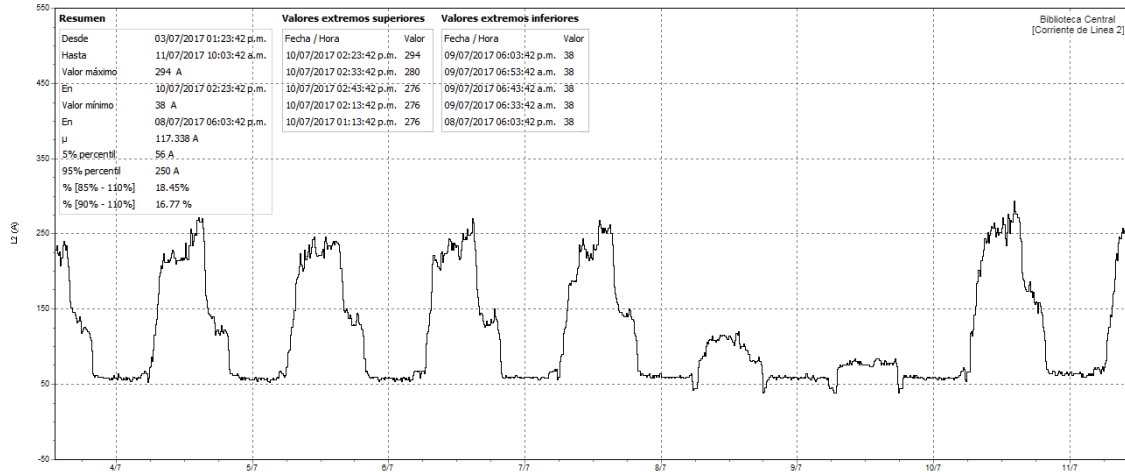
La similitud entre las gráficas indica que las cargas conectadas en cada línea están compartidas correctamente, esto se debe a una buena distribución de cargas en el sistema.

Figura 11. Corriente de la línea 1



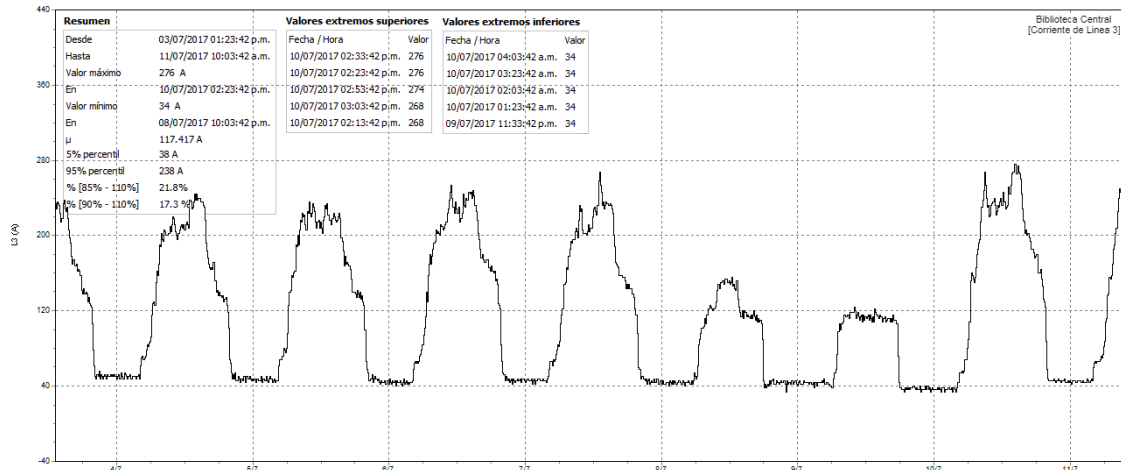
Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

Figura 12. Corriente de la línea 2



Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

Figura 13. Corriente de la línea 3



Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

2.3.5. Potencias

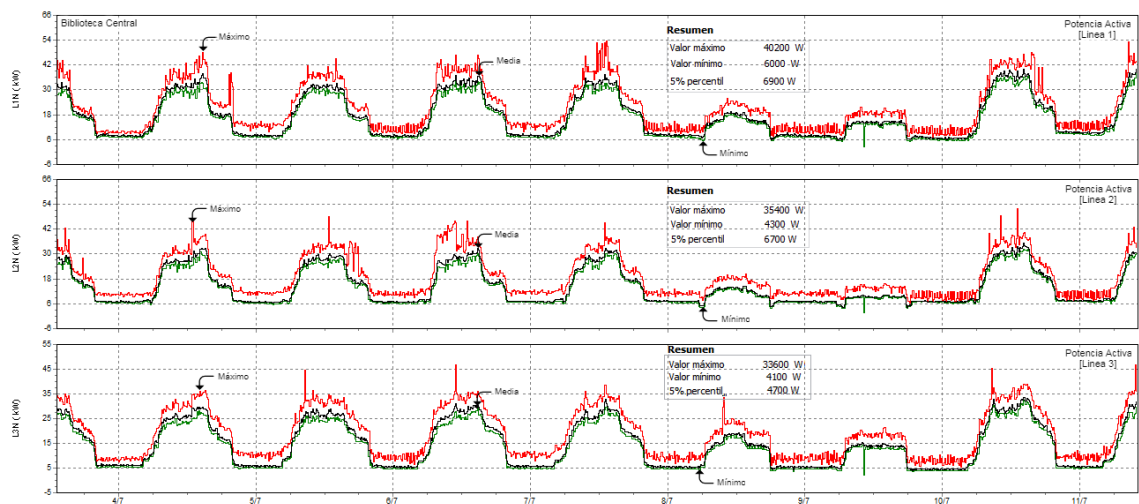
En el sistema eléctrico de la Biblioteca Central se encuentran cargas resistivas, inductivas y totales, estas hacen referencias a la potencia activa, reactiva y aparente, respectivamente.

2.3.5.1. Potencia activa

El comportamiento de la potencia activa en cada línea asciende y desciende durante el mismo periodo de tiempo, las pequeñas diferencias que se observa de una línea a otra, es porque en el sistema existe diversas cargas conectadas en cada línea.

La línea uno es la más cargada de las tres su valor máximo es de 40,2 kW, los otros dos restantes permanecen en un régimen semejante entre ambas con un valor máximo de 35,4 kW para la dos y 33,6 kW para la línea tres.

Figura 14. Potencia activa de las tres líneas



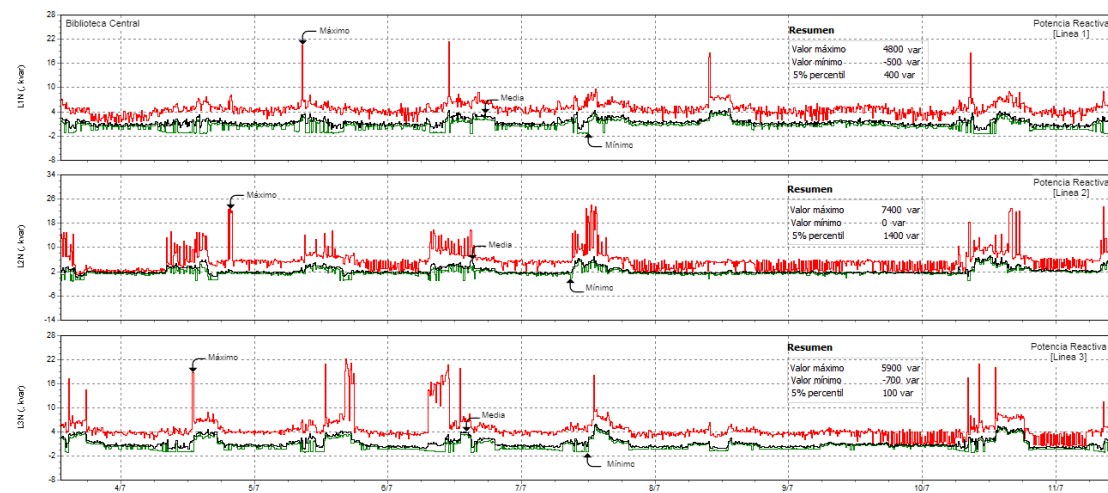
Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

2.3.5.2. Potencia reactiva

La conducta de la potencia reactiva en cada línea es diferente entre ellas, esto exterioriza que la carga conectada a cada una de las líneas tiene características inherentes en relación del consumo de potencia reactiva.

El mayor consumo de potencia reactiva durante el periodo de medición fue en la línea dos con 7,4 kVar, posteriormente le sigue la línea tres con 5,9 kVar y de último la línea uno con 4,8 kVar.

Figura 15. Potencia reactiva de las tres líneas



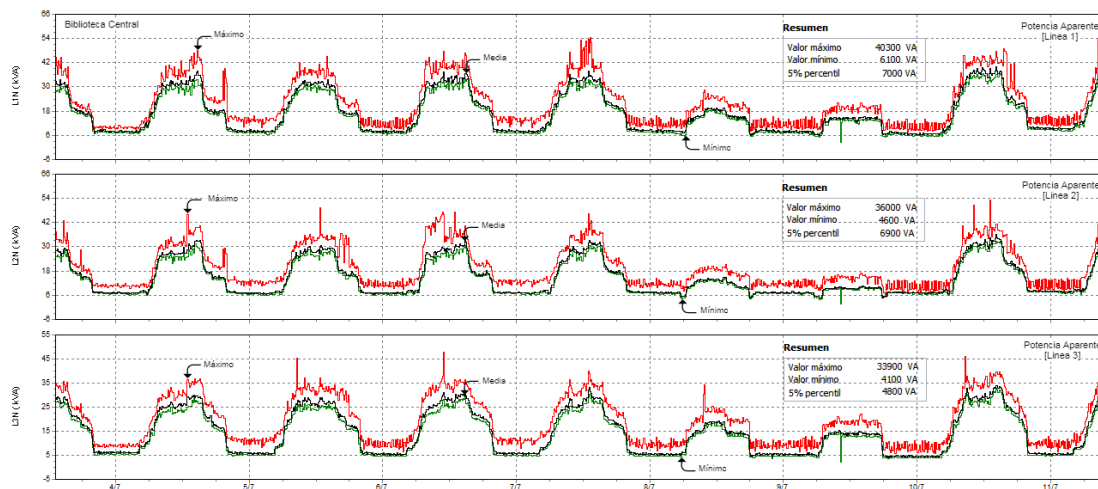
Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.5.3. Potencia aparente

Generalmente esta potencia es útil para determinar la corriente nominal y de cortocircuito que fluye en los conductores en las diferentes fases.

Se observa un comportamiento homogéneo en la gráfica de cada una de las líneas, el valor máximo que está presente en la línea uno es de 40,3 kVa seguido de la línea dos con 36 kVa y la tercera línea con 33,9 kVa.

Figura 16. Potencia aparente de las tres líneas



Fuente: Biblioteca Central. Power Log Classic.

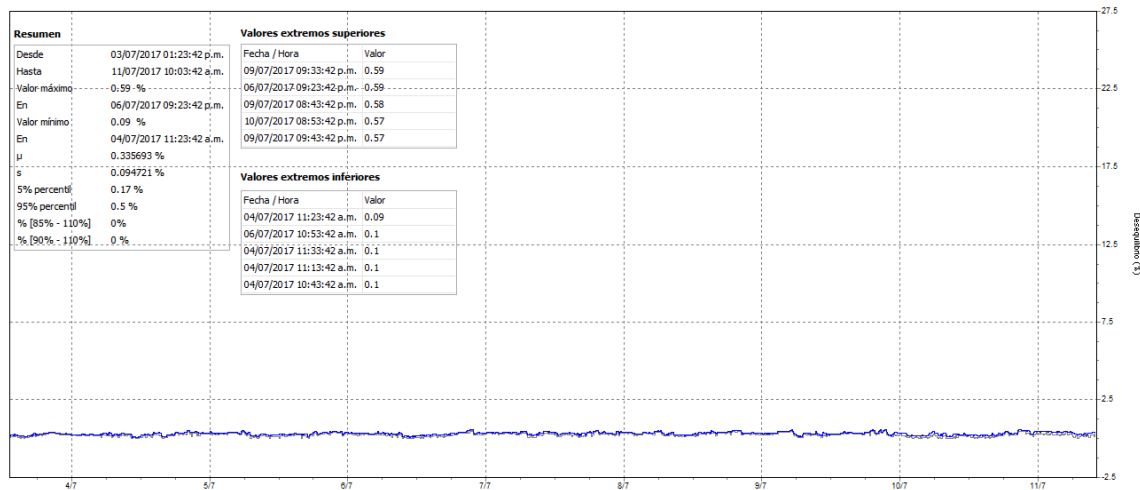
2.3.6. Desbalance

El desbalance es un problema de calidad de energía que afecta gravemente a los sistemas de distribución de baja tensión. Sin embargo, es posible cuantificarlo de manera practica con la generación de parámetros que puedan compararse con valores normalizados.

Uno de los eventos de vital importancia en el análisis del sistema de potencia y energía eléctrica es el desbalance, ya que permite identificar una errónea distribución de cargas en cada una de las fases.

La Norma Técnica de Servicio de Distribución (NTSD) establece un índice de calidad de desbalance de tensión, a través de esta forma se evalúa el desbalance de tensión en los sistemas trifásicos, la tolerancia permisible recomendada por esta entidad es aplicable al distribuidor sobre el desbalance de tensión en los puntos de entrega de energía, es del 3 %.

Figura 17. **Desbalance de tensión**

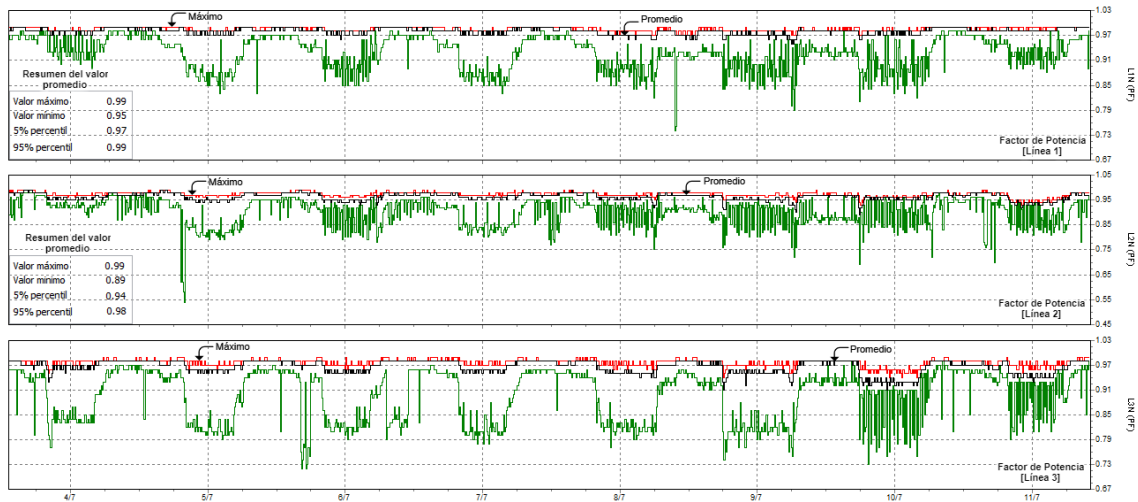


Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.7. Factor de potencia

El factor de potencia de la línea uno y línea dos está en el rango de 0,89 a 0,99 durante todo el periodo de medición, la línea tres no difiere en gran manera con respecto a las dos anteriores su valor máximo es de 0,98 y su valor mínimo es de 0,91. Durante los periodos de bajo consumo de energía se produce un desbalance de cargas en las líneas lo que causa que el factor de potencia individual de las líneas este por debajo del límite permitido.

Figura 18. Factor de potencia de las tres líneas



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.8. Flicker

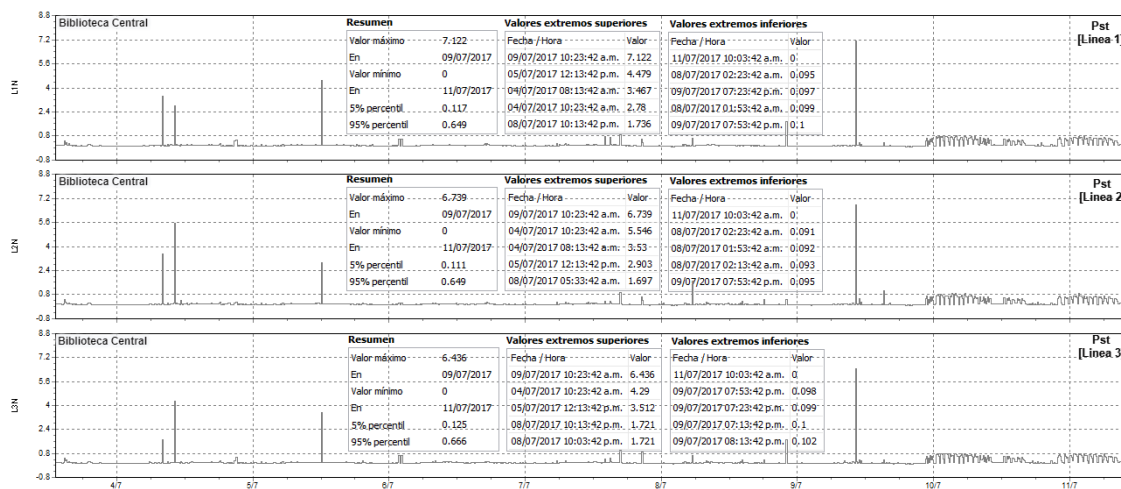
El cambio rápido de voltaje está relacionado directamente con el parpadeo (*flicker*) que es una impresión de inestabilidad visual inducida por una distribución espectral oscilante con el tiempo.

2.3.8.1. Flicker según el índice Pst

La Norma Técnica de Servicio de Distribución (NTSD) estipula que el índice de severidad de *flicker* para intervalos cortos debe ser menor o igual a 1. La IEC 61000-4-30 indica para la clase A que la medición de *flicker* debe realizarse bajo las condiciones de la 61000-4-15, que es la norma en vigencia para la medición de este parámetro. Estas describen el procesamiento de información, el diseño de filtros y la metodología para la medición estadística del fenómeno.

El índice Pst evalúa la severidad de *flicker* en periodos cortos de tiempo en intervalos de diez minutos. Como se puede observar en la figura 19 en las tres líneas existieron parpadeos que superaron el valor de 1 en el periodo de medición.

Figura 19. **Flicker según el índice Pst**



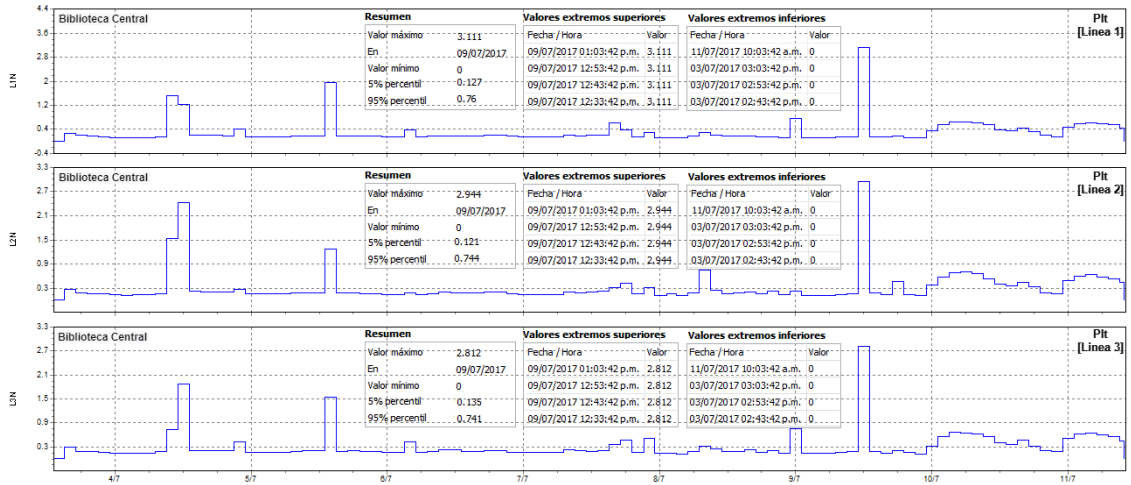
Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.8.2. **Flicker según el índice Plt**

El índice Plt evalúa la severidad de *flicker* a largo plazo, los intervalos de medición son de dos horas, así lo estipula la Norma IEC 61000-4-30.

En la figura 20 se puede observar los valores obtenidos durante el periodo de medición en cada línea.

Figura 20. **Flicker** según el índice **Plt**

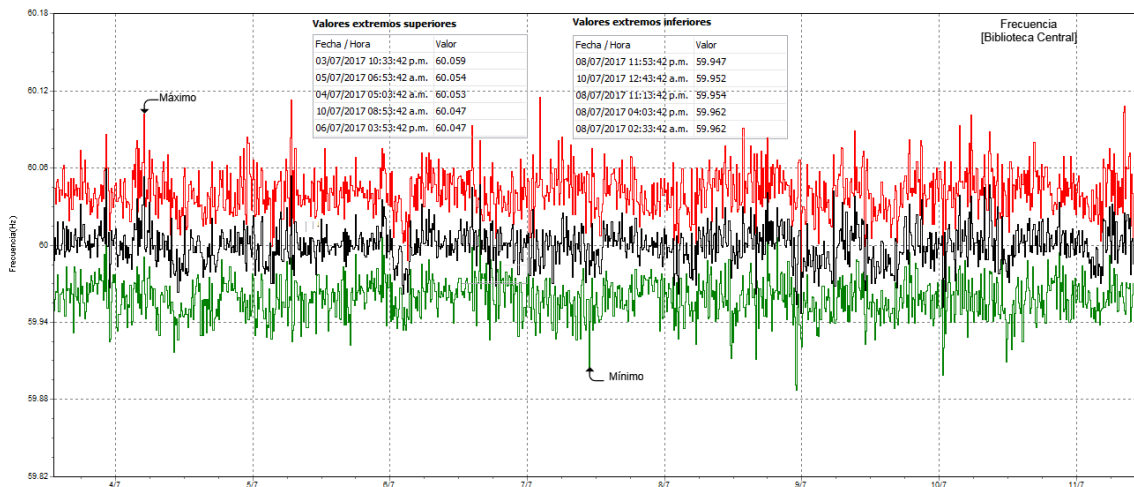


Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.9. Frecuencia

En la figura 21 se observa que la frecuencia en la red eléctrica está en el rango de 59,94 Hz al 60,06 Hz durante el periodo de medición.

Figura 21. **Frecuencia**



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

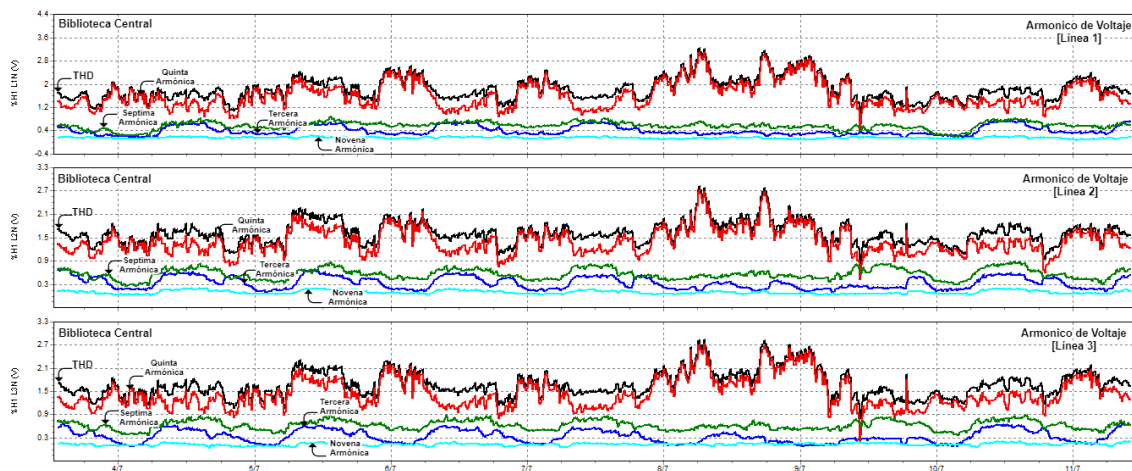
2.3.10. Distorsión armónica

Los problemas más comunes que afectan a la calidad de la energía en sistemas eléctricos de baja tensión es la deformación de la onda, producida en gran medida por la distorsión armónica, problema que afecta tanto a las redes eléctricas de distribución como a los consumidores finales.

2.3.10.1. Distorsión armónica de voltaje

La Norma Técnica de Servicio de Distribución, estipula que el porcentaje de la distorsión armónica en el voltaje no debe exceder al 8 %, en la figura 22 la distorsión armónica total de voltaje se aproxima a 4 % por tanto está dentro de los límites permisible.

Figura 22. Distorsión armónica de voltaje de las tres líneas

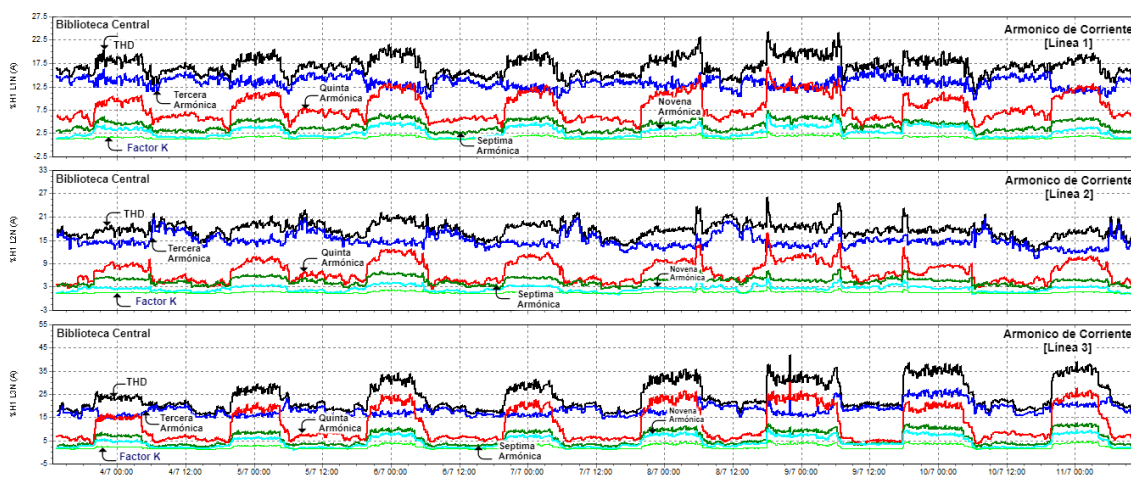


Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.10.2. Distorsión armónica de corriente

La Norma Técnica de Servicio de Distribución, estipula que el porcentaje de la distorsión armónica en la corriente no debe exceder al 20 %, en la figura 23 la distorsión armónica total de corriente se aproxima a 42 % por tanto supera el límite permisible.

Figura 23. Distorsión armónica de corriente de las tres líneas



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

2.3.11. Estructura tarifaria

Actualmente el servicio con el que cuenta el edificio de la Biblioteca Central es el de tarifa media tensión con demanda en punta (MTDp), la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) cataloga a usuarios con servicio en baja tensión, media y alta tensión, cuya demanda de potencia sea mayor a 100 kilovatios (kW). Este tipo de usuarios, denominados como Grandes Usuarios no están sujetos a regulación de precio de acuerdo a lo establecido en la ley General de Electricidad y su reglamento.

2.3.11.1. Análisis tarifario

Los valores utilizados para el cálculo fueron tomados de las facturas de energía de los meses de mayor consumo, utilizando el pliego tarifario del 2017.

Tabla IX. Tarifa: media tensión con demanda fuera de punta

Tarifa de Media Tensión con Demanda fuera de punta (MTDfp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,692	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	42 000	kWh	0,65949	Q/kWh	=	Q 27 698,75
Potencia máxima	145,6	kW-mes	26,228	Q/kW-mes	=	Q 3 827,54
Potencia contratada	198,8	kW-mes	12,068	Q/kW-mes	=	Q 2 399,24
						Q 34 747,22
						12 % IVA
						Q 4 169,67
Tasa de ref: 1 USD = Q 7,54						Q 38 916,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Tarifa: media tensión con demanda en punta

Tarifa de Media Tensión con Demanda en punta (MTDp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,692	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	42 000	kWh	0,65748	Q/kWh	=	Q 27 614,45
Potencia máxima	145,6	kW-mes	24,469	Q/kW-mes	=	Q 3 562,76
Potencia contratada	198,8	kW-mes	12,368	Q/kW-mes	=	Q 2 458,91
						Q 34 457,82
						12 % IVA
						Q 4 134,94
Tasa de ref: 1 USD = Q 7,54						Q 38 592,76

Fuente: elaboración propia.

Se puede verificar que en media tensión la mejor opción de tarifa es: media tensión con demanda en punta (MTDp), exactamente la tarifa vigente en la actualidad.

2.3.11.2. Historial de consumo durante un año

A continuación se tabula el historial de consumo de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante un año.

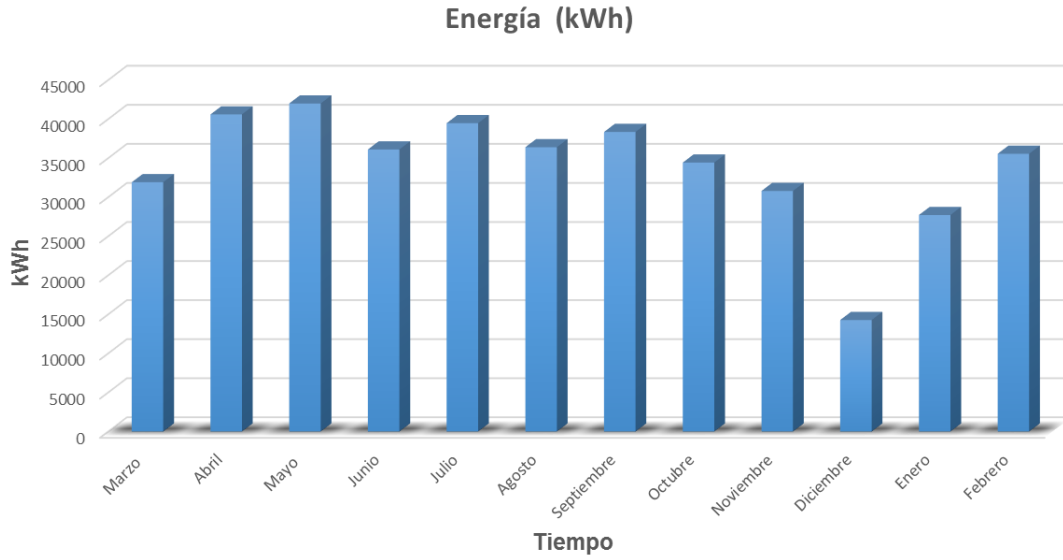
Tabla XI. Historial de facturación de consumo

Mes	Energía (kWh)	Potencia máxima (kW)
Marzo	31 920	134,4
Abril	40 600	142,8
Mayo	42 000	145,6
Junio	36 120	12,6
Julio	39 480	128,8
Agosto	36 400	128,8
Septiembre	38 360	134,4
Octubre	34 440	123,2
Noviembre	30 800	103,6
Diciembre	14 280	81,2
Enero	27 720	98,0
Febrero	35 560	112,0

Fuente: elaboración propia.

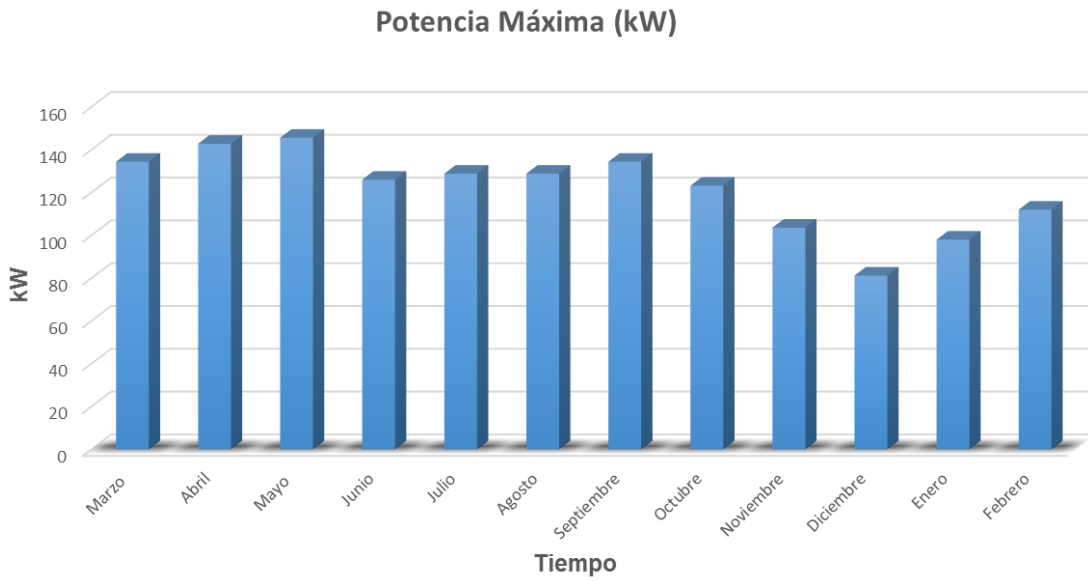
La Biblioteca Central cuenta con una potencia contratada de 198,8 kW la potencia máxima en el periodo de 12 meses fue en el mes de mayo con un valor de 145,6 kW, esto nos indica que el consumo es del 74 % de la potencia contratada.

Figura 24. **Gráfica de energía**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfica de potencia máxima**



Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DETECCIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA

3.1. Calidad de energía eléctrica

El analizador Fluke 435 proporciona los parámetros sobre calidad de energía eléctrica mediante la Norma EN 50160 el cual estipula que en condiciones regulares de funcionamiento la variación de la tensión no debe exceder el $\pm 10\%$. También indica que en un periodo de una semana el 95 % del valor medido cada 10 minutos la tensión de alimentación, deberá estar dentro del intervalo estipulado.

3.1.1. Análisis de tensión

La Norma EN 50160 estipula que en condiciones regulares de funcionamiento la variación de la tensión no debe exceder el $\pm 10\%$. También indica que en un periodo de una semana el 95 % del valor medido cada 10 minutos (este tiempo esta normado y es programado en el analizador de redes) la tensión de alimentación, deberá estar dentro del intervalo estipulado.

Tabla XII. Valores de tensión generado por el analizador

Tensión	L1	L2	L3
95 % Percentil	125,2 V	124,5 V	125,2 V

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XII los valores de las tres fases cumplen con el rango y condiciones que la norma establece.

La Norma NTSD indica que los valores de tensión no deben exceder el ± 5 % de la tensión nominal y vemos que también cumple.

3.1.2. Análisis de corrientes

Como se observa en la figura 11, 12, y 13, el comportamiento de la corriente de cada línea de la Biblioteca Central, no difiere en gran amplitud entre ellas, esto indica que las cargas del sistema esta balanceada ya que no hay una distorsión marcada entre las líneas.

Tabla XIII. Valores de corriente generado por el analizador

Periodo de medición 03/07/17 al 11/07/17		
Línea	Amperios	% Uso
Línea 1	326 A	9,44 %
Línea 2	294 A	18,45 %
Línea 3	276 A	21,80 %

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de uso de los conductores (% uso) depende de los parámetros que se menciona a continuación:

Bueno menor a 60 %

Aceptable entre 60 % y 80 %

Crítico superior a 80 %.

3.1.3. Análisis de flicker

Como se observa en la figura 20 en el periodo de medición existieron parpadeos en cada una de las líneas que superaron a 1, no obstante, la Norma EN 50160 nos indica que en condiciones normales y en un periodo de una semana, la severidad de parpadeo a largo plazo debe ser $Plt \leq 1$ durante 95 % del tiempo. Entonces como el 95 % percentil de la línea 1, 2 y 3 son 0,76, 0,744, y 0,741 respectivamente, se concluye que está dentro de los parámetros permisible y cumple los requerimientos que estipula esta norma.

3.1.4. Análisis de desbalance de tensión

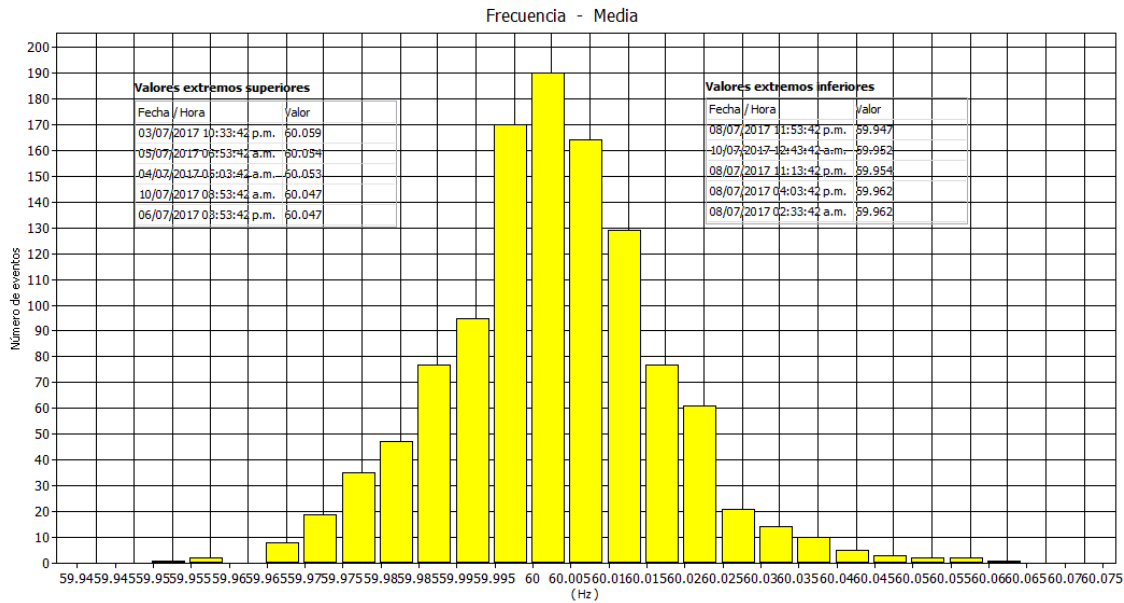
Se conoce como un sistema de energía trifásico balanceado si las tensiones y corrientes trifásicas tienen la misma amplitud y presentan un desplazamiento de fase de 120° entre ellas, de lo contrario el sistema es desbalanceado.

La Norma NTSD nos indica el índice de calidad de desbalance de tensión, la tolerancia permisible es del 3 %. En la figura 17 se observa un valor máximo de 0,59 % el cual está dentro de la tolerancia que estipula la norma.

3.1.5. Análisis de variaciones de frecuencia

La frecuencia nominal en Guatemala es de 60 Hz. La Norma EN 50160 nos indica que, en condiciones normales, el valor de la frecuencia fundamental medida durante 10 segundos deberá estar dentro del intervalo de $60 \text{ Hz} \pm 1 \%$ (59,4 Hz al 60,6 Hz) durante el 99,5 % de un año.

Figura 26. Gráfica de la frecuencia mediante el periodo de medición



Fuente: Biblioteca Central. *Power Log Classic*.

Los datos obtenidos están en los límites que estipula la norma, aunque el periodo de medición fue de 1 semana, y no de 1 año como lo indica la norma, el comportamiento debería ser semejante durante el año.

3.1.6. Análisis de distorsión armónica

La Norma NTSD en el artículo 31 al 35 hace mención sobre el índice de calidad de la distorsión armónica de tensión y las tolerancias permitidas de la distorsión armónica individual de tensión.

La Norma NTSD en el artículo 41 al 44 hace mención sobre el índice de calidad de la distorsión armónica de corriente y las tolerancias permitidas de la distorsión armónica individual de corriente.

3.1.6.1. Distorsión armónica de tensión

Durante el periodo de medición el analizador Fluke 435 registró 1 134 valores de distorsión armónica individual de tensión en cada línea. La NTSD brinda las tolerancias individuales de los armónicos pares e impares. El analizador nos registra hasta la armónica 50, pero a partir de la armónica 21 los valores se aproximan a cero.

Tabla XIV. Tolerancia de la distorsión armónica de tensión (NTSD versus Fluke 435)

Orden de armónica (n)	Tolerancias dadas por NTSD	Valores dados por el Fluke 435 durante el periodo de medición		
	Distorsión armónica individual de tensión (%)	Distorsión armónica individual de tensión L1 (%)	Distorsión armónica individual de tensión L2 (%)	Distorsión armónica individual de tensión L3 (%)
2	2,0	0,11	0,12	0,12
3	5,0	0,77	0,70	0,67
4	1,0	0,11	0,08	0,11
5	6,0	3,10	2,73	2,72
6	0,5	0,08	0,05	0,05
7	5,0	0,87	0,88	0,90
8	0,4	0,04	0,04	0,05
9	1,5	0,23	0,20	0,21
10	0,4	0,03	0,03	0,03
11	3,5	0,46	0,47	0,41
12	0,2	0,02	0,01	0,02
13	3,0	0,17	0,20	0,24
14	0,2	0,02	0,03	0,02
15	0,3	0,10	0,10	0,11
16	0,2	0,03	0,02	0,02
17	2,0	0,16	0,19	0,17
18	0,2	0,02	0,02	0,02
19	1,5	0,12	0,11	0,14
20	0,2	0,03	0,03	0,02
21	0,2	0,00	0,00	0,00
.
50	0,2	0,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XIV, la distorsión armónica máxima individual de tensión se encuentra dentro de los parámetros permisible por la NTSD.

3.1.6.2. Distorsión armónica de corriente

Durante el periodo de medición el analizador Fluke 435 registro 1 134 valores de distorsión armónica individual de corriente en cada línea. La NTSD brinda las tolerancias individuales de los armónicos pares e impares.

Tabla XV. Tolerancia de la distorsión armónica de corriente (NTSD versus Fluke 435)

Orden de armónica (n)	Tolerancias dadas por NTSD	Valores dados por el Fluke 435 durante el periodo de medición		
	Distorsión armónica individual de corriente (%)	Distorsión armónica individual de corriente L1 (%)	Distorsión armónica individual de corriente L2 (%)	Distorsión armónica individual de corriente L3 (%)
2	10,0	1,97	1,93	2,26
3	16,0	16,96	20,76	20,57
4	2,5	0,69	0,52	1,05
5	12,0	16,59	16,88	16,69
6	1,0	0,51	0,44	0,80
7	8,5	7,34	7,49	7,74
8	0,8	0,33	0,30	0,59
9	2,2	1,91	1,06	2,18
10	0,8	0,33	0,25	0,48
11	4,3	3,48	4,21	4,28
12	0,4	0,31	0,17	0,36
13	3,0	2,31	2,38	2,97
14	0,3	0,24	0,19	0,27
15	0,6	0,51	0,48	0,58
16	0,3	0,27	0,15	0,29
17	2,7	1,37	1,66	1,47
18	0,3	0,18	0,10	0,30
19	1,9	1,08	1,36	1,84
20	0,3	0,19	0,12	0,22
21	0,4	0,00	0,00	0,00
.
50	0,3	0,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XV, la tercera y la quinta armónica supera el límite de distorsión armónica estipulada en la NTSD en las tres líneas. Hay que recordar que los valores tabulados son los máximos, es decir los más críticos que midió el Fluke 435, durante el periodo de medición, la elevación de estas armónicas es producido por la carga de equipo electrónico y lámparas fluorescentes de descarga.

3.2. Eficiencia energética

El propósito de la eficiencia energética es la relación que existe entre los productos y servicios obtenidos y la cantidad de energía consumida.

3.2.1. Iluminación

La característica primordial que debe poseer todo sistema de iluminación artificial es la de ser capaz de producir luz de un modo eficaz, es decir, produciendo una cantidad de flujo luminoso (lúmenes) por cada vatio consumido.

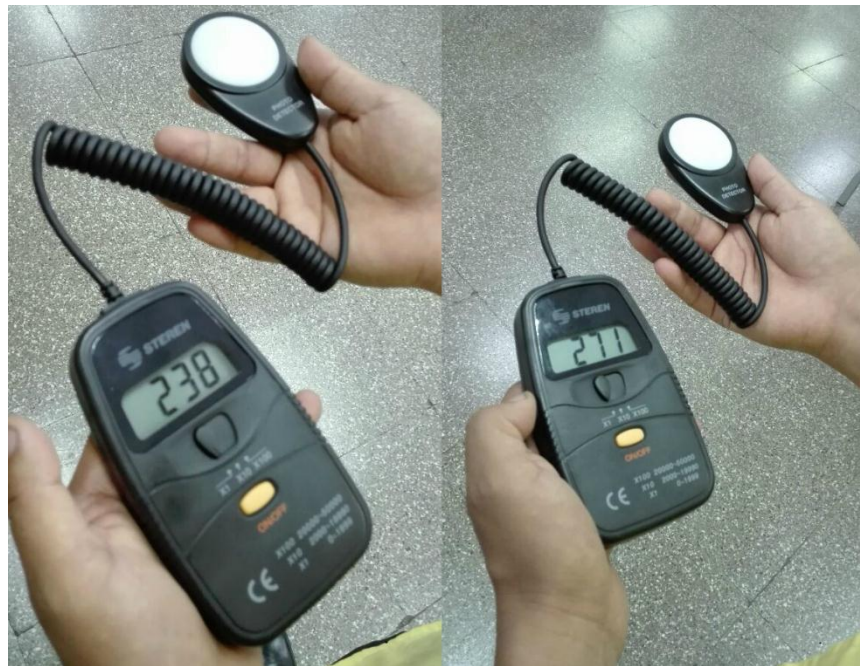
Un recorrido por la instalación de la Biblioteca Central, permitió observar que las luminarias en cada nivel están en un estado bueno, físicamente. La distribución del número de luminarias por ambiente de cada nivel está en función de las dimensiones del mismo, las luminarias en su mayoría están sobre puesta y algunas otras empotradas en losa.

La iluminación de cada nivel de la Biblioteca Central es algo deficiente, en algunos ambientes se observó algunos difusores en mal estado, sin embargo, algunos ambientes están implementando iluminación led el cual permite una mejora en la iluminación.

3.2.1.1. Medición del nivel de iluminación

Para determinar la condición actual del nivel de iluminación de cada nivel y ambiente de la Biblioteca Central, se utilizó un luxómetro digital, marca Steren, con el cual se realizó el muestreo del nivel de iluminación (luxes) en cada área respectiva.

Figura 27. Luxómetro marca Steren



Fuente: elaboración propia.

El luxómetro es un dispositivo para medir la luminosidad. Mide específicamente la intensidad con que la luminosidad aparece al ojo humano. Esto es diferente de las medidas de la luz de energía real producida o reflectada de un objeto o una fuente de luz. Un lux es una unidad de medida para esta iluminación, o para ser más exactos, la luminancia.

En la tabla XVI se detalla las características de los ambientes y el nivel de iluminación actual de la Biblioteca Central.

Tabla XVI. Nivel de iluminación y características generales

Ambiente	Iluminación (Lux)	Colores			Dimensiones		
		Techo	Pared	Piso	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)
Quinto nivel							
Área de lectura	340	Blanco	Gris	Gris	19,5	24,3	3,5
Tesario	275	Blanco	Gris	Gris	11,5	12,5	3,5
Hemeroteca	238	Blanco	Gris	Gris	20,3	21,5	3,5
Gradas	120	Blanco	Celeste	Gris	-	-	-
Cuarto nivel							
Sala de computo	220	Blanco	Celeste	Gris	9,0	13,0	3,5
Mapoteca	271	Blanco	Celeste	Gris	9,5	23,5	3,5
Área de lectura	360	Blanco	Celeste	Gris	16,0	36,3	3,5
Gradas	125	Blanco	Celeste	Gris	-	-	-
Tercer nivel							
Área general	320	Blanco	Celeste	Gris	36,5	37,5	3,5
Gradas	130	Blanco	Celeste	Gris	-	-	-
Segundo nivel							
Jefatura	320	Blanco	Celeste	Gris	9,5	12,3	3,5
Ingreso	380	Blanco	Celeste	Gris	11,5	18,5	3,5

Fuente: elaboración propia.

3.2.1.2. Diseño de iluminación

Para el diseño del sistema de iluminación de los diferentes ambientes y en cada nivel de la Biblioteca Central, se empleará un nivel de iluminación general.

A continuación se calculará las luminarias de cada ambiente de la Biblioteca Central, para ello se debe de tomar algunos criterios que se mencionará en cada procedimiento.

Datos generales:

- Se va asumir que existe un mantenimiento periódico, por ende, el factor de mantenimiento a usar será de 0,65 (F.M = 0,65)
- Las lámparas fluorescentes constan de 2 tubos de 40 watts, el número de lúmenes según tabla del anexo 17, es de 3 100 lúmenes por tubo.

El cálculo de luminarias para cada ambiente del edificio es muy similar, uno respecto a otro, es por ello que se desglosará el procedimiento únicamente para un ambiente, los restantes cálculos de los ambientes de cada nivel de la Biblioteca Central, se realizará en Microsoft Excel.

Para el área de lectura del quinto nivel de la Biblioteca Central según la tabla XVI el color del techo es blanco claro, el color de la pared es gris claro y el color del piso es gris semiclaro. El coeficiente de reflexión para las tonalidades mencionadas se encuentra en la tabla del anexo 19.

Para calcular la cantidad de luminarias con relación al ambiente (RR) en análisis, es necesario conocer con certeza, ancho, largo y altura del ambiente.

$$RR = \frac{W * L}{h(W + L)}$$

Entonces:

$$RR = \frac{W * L}{h(W + L)}$$
$$RR = \frac{19,5 * 24,3}{3,5(19,5 + 24,3)}$$
$$RR = 3,09$$

Los valores de ancho, largo y altura son los medidos en el área de cada ambiente, tal como se observa en la tabla XVI, en las tres últimas columnas del mismo.

Con la relación del ambiente y la información de los colores del mismo, se procede a buscar en la tabla de factores de utilización (el cual se encuentra en el anexo 18). En la fila D (alumbrado directo) se busca el RR que se calculó, como se observa, solo aparece RR = 3 pero no 3,09, en este caso particular se puede aproximar el 3,09 a 3, pero cuando el RR difiere ampliamente, entonces, es necesario interpolar para obtener la K final.

Con los datos que se conocen y la ecuación para calcular el número de luminarias, tenemos:

$$\text{Número de luminarias} = \frac{L * W * Luxes}{(\text{Lúmenes por tubo})(K)(\text{Factor de mantenimiento})}$$

Donde:

Factor de mantenimiento = 0,65

Lúmenes por tubo = 3 100 por cada tubo de 40 W (Son 2 tubos) = 6 200

Luxes = según tabla de la Norma EN 12464.1, área de lectura 500 luxes

K = 0,8

Entonces:

$$\text{Número de luminarias} = \frac{L*W*Luxes}{(\text{Lúmenes por tubo})(K)(\text{Factor de mantenimiento})}$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{24,3 * 19,5 * 500}{(6\ 200)(0,8)(0,65)}$$

$$\text{Número de luminarias} = 73,48$$

El número de luminaria sería de 73 lámparas, de doble tubo de 40 watts.

Tabla XVII. Cálculo de luminaria de cada ambiente y nivel

Ambiente	Número de luminaria calculada
Quinto nivel	
Área de lectura	73
Tesario	24
Hemeroteca	62
Gradas	5
Cuarto nivel	
Sala de computo	18
Mapoteca	32
Área de lectura	72
Gradas	5
Tercer nivel	
Área general	202
Gradas	5
Segundo nivel	
Jefatura	9
Ingreso	22

Fuente: elaboración propia.

3.2.1.3. Comparación de datos teóricos y calculados versus datos reales y normalizados

La tabla XVIII desglosa las mediciones realizadas con el luxómetro en cada ambiente y nivel de la Biblioteca Central, estas mediciones fueron tomadas a una altura de 1,5 m, que es la altura promedio de las mesas que se encuentra en dicho edificio. Los valores de luxes obtenidos por el luxómetro son comparada con los luxes que establece la Norma EN 12464.1 (ver tabla del anexo 20) en cada ambiente.

Tabla XVIII. Comparación de niveles de iluminación

Ambiente	Nivel de Iluminación medido (luxes)	Nivel de Iluminación recomendado por norma (luxes)
Quinto nivel		
Área de lectura	340	500
Tesario	275	300
Hemeroteca	238	300
Gradas	120	150
Cuarto nivel		
Sala de Cómputo	220	300
Mapoteca	271	300
Área de lectura	360	500
Gradas	125	150
Tercer nivel		
Área general	320	500
Gradas	130	150
Segundo nivel		
Jefatura	320	300
Ingreso	380	500

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVIII se observa en todos los ambientes una deficiencia de nivel de iluminación. Los sistemas de iluminación de los diferentes ambientes se diseñaron de acuerdo a los niveles de iluminación normados. Una iluminación adecuada es muy importante para lograr un ambiente confortable, evitando la fatiga visual.

Tabla XIX. Comparación de cantidad de luminarias

Ambiente	Nivel de luminaria calculada	Cantidad de luminaria real
Quinto nivel		
Área de lectura	73	64
Tesario	24	19
Hemeroteca	62	61
Gradas	5	2
Cuarto nivel		
Sala de Cómputo	18	13
Mapoteca	32	27
Área de lectura	72	70
Gradas	5	3
Tercer nivel		
Área general	202	210
Gradas	5	2
Segundo nivel		
Jefatura	9	5
Ingreso	22	150

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIX se tabula el número de luminaria calculada en cada ambiente de la Biblioteca Central y la cantidad de luminarias reales, las cuales fueron la que se encuentran físicamente en cada ambiente del edificio.

3.2.2. Tipo de aire acondicionado existente en la Biblioteca Central

Existe en la actualidad dos tipos de aire acondicionado en la Biblioteca Central, el cual se encargan en climatizar cada ambiente de cada nivel.

- Sistema de aire acondicionado central: este sistema está presente en el tercero, cuarto y quinto nivel de la Biblioteca Central, se compone de un equipo de descarga indirecta, mediante una red de conductos y emisión de aire a través de rejillas en pared o difusores fijados en los conductos, este equipo necesita una toma de aire exterior, el cual está ubicado en la parte externas de las ventanas del edificio.
- Split (consola de pared): este tipo de aire está presente en el segundo nivel y en algunas otras partes de los otros niveles, el cual trabaja como un complemento con el sistema de aire acondicionado central.

Para comprender de manera generalizada cómo se comporta el aire en cada ambiente y/o nivel, se realiza un diagrama de flujo a continuación.

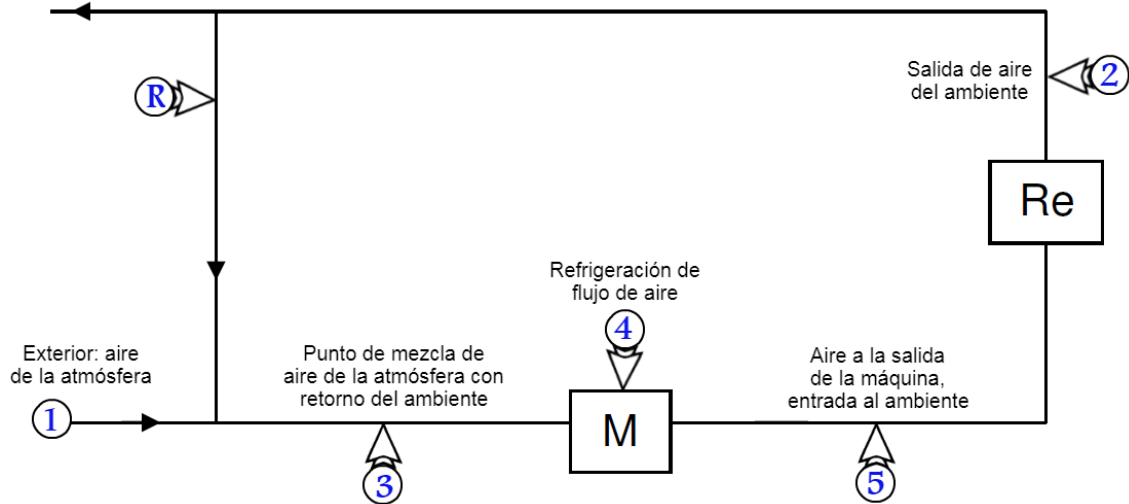
Dónde:

M = sistema o equipo de aire acondicionado

Re = ambiente a refrigerar

R = aire de retorno

Figura 28. Diagrama de flujo de aire en un ambiente refrigerado



Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de flujo de la figura 28 se observa el ciclo de aire en un ambiente refrigerado, el cual ingresa del exterior y se mezcla con el aire de retorno del ambiente, fluye a través de la máquina (aire acondicionado) donde es expulsado calor para luego ingresar al ambiente donde se absorbe calor (carga térmica) y al final el flujo retorna a la máquina para iniciar nuevamente el ciclo.

3.2.3. Eficiencia energética en aires acondicionados

La eficiencia de los aires acondicionados se mide comúnmente por el factor de energía ambiental (SEER: *Seasonal Energy Efficiency Ratio*) y se calcula así:

$$SEER = \frac{Q_{Total}}{Potencia\ real}$$

Donde Q_{Total} (calor total) es la suma del calor sensible (Q_s) y calor latente (Q_l) y la potencia real es producto de multiplicar el amperaje y el voltaje que consumen los equipos.

El SEER está relacionado con el Coeficiente de Desempeño (COP: *Coefficient of Performance*) utilizado comúnmente en termodinámica y también está relacionado con el Factor de Eficiencia de Energía (EER: *Energy Efficiency Ratio*).

3.2.3.1. Carga térmica

Es el fenómeno que tiende a modificar tanto la temperatura como la humedad absoluta, dentro de un ambiente, es decir, la cantidad de calor que debe ser retirada del sitio, para obtener la temperatura deseada.

Para los cálculos de carga térmica disipada por los equipos de aire acondicionado se encuentran la humedad absoluta de salida y de entrada, los cuales serán calculados mediante psicrometría.

Para calcular la humedad absoluta de salida del aire acondicionado se tomarán los siguientes criterios:

- En promedio los aires acondicionados de cada nivel climatizan el ambiente a 15 grados Celsius, es por ello que se tomará ese valor como temperatura base de salida.
- La presión atmosférica promedio o normal es de $101,325 \text{ kPa} = 1\ 013,25 \text{ hPa}$.

Se tiene:

$$W = 621,98 * \frac{P_{vs}}{(P - P_{vs})}$$

Donde:

W = humedad absoluta en $g/kg_{aire\ seco}$

P_{vs} = presión de saturación en Pa

P = presión atmosférica en Pa

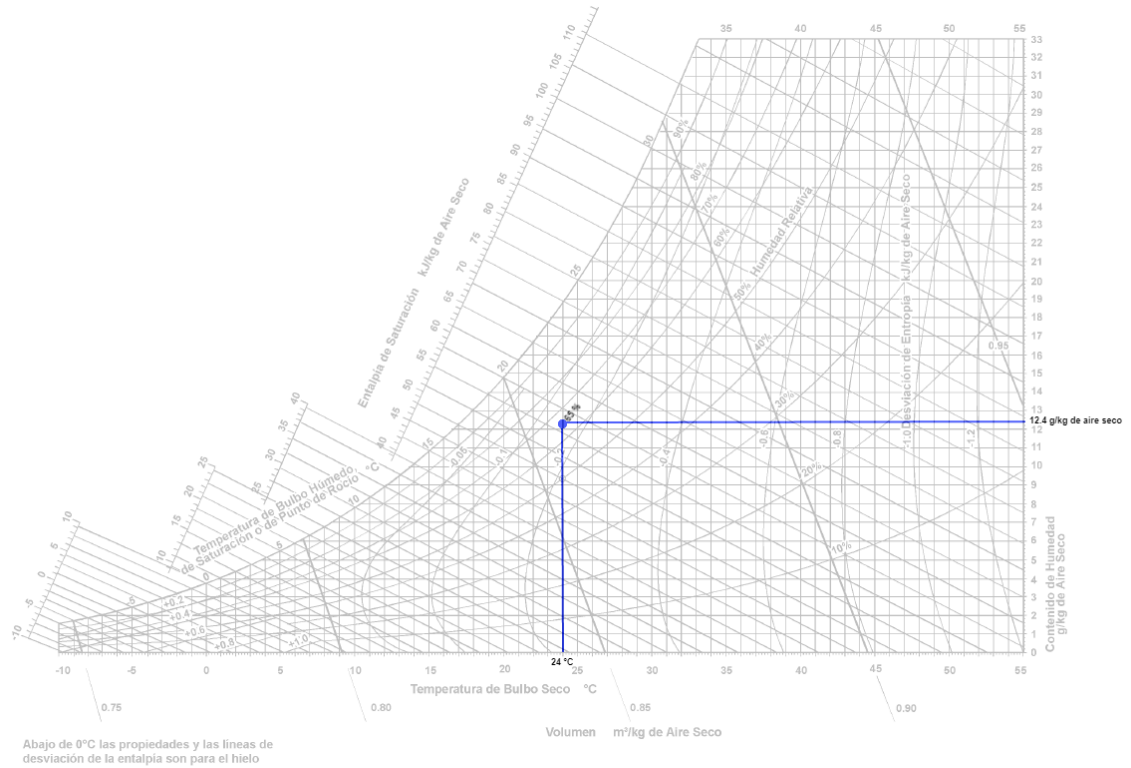
Para calcular la humedad absoluta en la salida del aire acondicionado, se utilizará los criterios mencionados: temperatura = 15 °C, presión atmosférica = 1 013,25 hPa, presión de saturación a una temperatura de 15 °C = 17,05 hPa (este valor se debe buscar en la tabla que se encuentra en el anexo 21).

$$W_s = 0,62198 * \frac{P_{vs}}{(P - P_{vs})} * 1\ 000$$
$$W_s = 0,62198 * \frac{17,05\ hPa}{(1\ 013,25 - 17,05)\ hPa} * 1\ 000$$
$$W_s = 10,64521 \frac{g}{Kg_{as}} \rightarrow 10,64521 \frac{g}{Kg_{as}} * 7 \frac{g_r/lb_{as}}{g/Kg_{as}}$$
$$W_s = 74,5164\ g_r/lb_{as}$$

Para calcular la humedad absoluta de entrada del aire acondicionado se utilizará la carta psicométrica (ver la figura del anexo 14), y una temperatura promedio de 24 °C y una humedad relativa (HR) de 65 %.

En la figura 29 se observa cómo se utiliza la carta psicométrica, para encontrar el valor de la humedad absoluta.

Figura 29. Usando la carta psicrométrica



Fuente: trazo sobre la carta psicrométrica.

$$W_e = 12,4 \frac{g}{Kg_{as}} \rightarrow 12,4 \frac{g}{Kg_{as}} * 7 \frac{g_r/lb_{as}}{g/Kg_{as}}$$

$$W_e = 86,8 \frac{g_r}{lb_{as}}$$

Después de conocer los valores de humedad absoluta de entrada y de salida, se procede a calcular la energía térmica consumida por el equipo en cada ambiente.

A continuación se indica la ecuación para calcular el calor sensible (Q_s) y calor latente (Q_l), y posteriormente conocer el Q_{Total} (calor total).

$$Q_s = 1,1 \text{ CFM} (T_{entrada} - T_{salida})$$
$$Q_l = 0,68 \text{ CFM} (W_{entrada} - W_{salida})$$

Donde:

$T_{entrada} / T_{salida}$ = la temperatura de entrada y salida (°F)

$W_{entrada} / W_{salida}$ = humedad absoluta de entrada y salida (gr/lb_{as})

Q_s y Q_l = (BTU/h)

1 gr = tamaño de una gotita de agua

CFM = pies cúbicos por minuto (pies³/min)

Como se observa en las ecuaciones anteriores, la variable que no se conoce es CFM, que en términos generales es la medida de la cantidad que el aire acondicionado produce por minuto y para calcularlo se debe de seguir el siguiente procedimiento.

- Medir el ancho y largo del ambiente, luego hay que multiplicar los dos números para obtener los metros cuadrados del ambiente. Multiplicar los metros cuadrados del ambiente por 25 para obtener los requisitos básicos de BTU.
- Sumar 1 000 BTU por cada ventana existente en el ambiente y 400 BTU por usuario promedio que permanece en el ambiente, para obtener los requisitos básicos de BTU.
- Dividir las necesidades totales de BTU del ambiente por 30 para obtener los requisitos necesarios de CFM.

Para continuar con el análisis se tomarán las medidas del ambiente; área de lectura del quinto nivel de la Biblioteca Central, el cual es de 19,5m x 24,3m, como se observa en la tabla XVI.

El promedio de personas en el ambiente es de 95, el ancho y largo del ambiente debe de estar dado en pies, por tanto, hay que convertir los metros a pies.

$$CFM = \frac{25(\text{Ancho} * \text{Largo}) + 1\,000(\# \text{Ventanas}_{\text{ambiente}}) + 400(\# \text{Personas}_{\text{ambiente}})}{30}$$

$$CFM = \frac{25(63,98 * 79,72) + 1\,000(4) + 400(95)}{30}$$

$$CFM = 5\,650,40$$

Entonces:

$$Q_s = 1,1 \text{ CFM } (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

$$Q_s = 1,1 (5\,650,40) (75,2 - 59)$$

$$Q_s = 100\,690,13 \text{ BTU/h}$$

$$Q_l = 0,68 \text{ CFM } (W_{\text{entrada}} - W_{\text{salida}})$$

$$Q_l = 0,68 (5\,650,40) (86,8 - 74,5164)$$

$$Q_l = 47\,196,93 \text{ BTU/h}$$

$$Q_t = Q_s + Q_l$$

$$Q_t = 100\,690,13 \text{ BTU/h} + 47\,196,93 \text{ BTU/h}$$

$$Q_t = 147\,887,06 \text{ BTU/h}$$

Después de calcular la energía térmica consumida en el ambiente se resta determinar el factor de energía ambiental (SEER).

$$SEER = \frac{Q_{Total}}{Potencia\ real}$$
$$SEER = \frac{Q_{Total}}{S * Cos\theta}$$
$$SEER = \frac{147\ 887,06\ BTU/h}{(94\ 960)(0,91)}$$
$$SEER = 1,71134\ BTU/Wh$$

Si el SEER es menor a 10 indica que la tecnología está obsoleta, cuanto más alto sea el SEER más eficiente será el sistema.

3.2.4. Análisis de curva de demanda diaria y semanal

La figura 4 muestra la curva de potencia activa de demanda diaria. Se observa que en el intervalo de 20:00 a 6:00 horas muestra la menor demanda, esto se debe a que a esa hora no hay personal administrativo, ni estudiantes consultando contenido en la Biblioteca Central.

La Figura 5 muestra la curva de potencia reactiva de demanda diaria. Se observa un comportamiento similar al de la potencia activa con la diferencia que es la energía requerida desde la instalación hacia el alimentador.

La Figura 6 muestra la curva de potencia activa de demanda semanal. Se observa el comportamiento de la potencia activa durante todo el periodo de medición manteniendo una similitud de lunes a viernes, los fines de semana esta potencia disminuye considerablemente por ausencia de visitas y trabajadores en la Biblioteca Central.

3.3. Análisis de factibilidad económica

Después de realizar la medición del nivel de iluminación en la Biblioteca Central se observó que existe una deficiencia en el mismo, es por ello, que a continuación se plantea una propuesta para cumplir los niveles de iluminación que establece la Norma EN 12464,1 en cada ambiente de la Biblioteca Central. Para este fin es necesario realizar un análisis económico, describiendo el cambio a tecnología led.

3.3.1. Descripción de materiales y equipo

Se realiza la cotización de lámparas y tubos led en Antillon, las características técnicas se describen a continuación.

Tabla XX. Características y precio

Marca	Descripción	Precio por Unidad
Luxlite	Lámpara con difusor parabólico de 2 tubos (T-8) sin balastro electrónico	Q290,35
Luxlite	Tubo LED T-8	Q65,00

Fuente: elaboración propia.

Cada tubo led marca Luxlite es de 2 000 lúmenes y 18 watts. Los precios que se mencionó anteriormente están sujetos a variación, la consulta fue realizada el día 31 de julio de 2018.

3.3.2. Datos y cálculos

Para conocer la cantidad de lámparas led es necesario calcular el número de luminaria, tomando en cuenta la cantidad de luxes recomendado por la Norma EN 12464.1 y las características del tubo led que se mencionó anteriormente.

$$\text{Número de luminaria} = \frac{L * W * Luxes}{(\text{lumenes por lámpara})(k)(\text{factor de mtto.})}$$

Para no extenderse tanto en el cálculo, se realizará el procedimiento para un ambiente de la Biblioteca Central, el resto se tabulará posteriormente.

En el quinto nivel de la Biblioteca Central se encuentra el área de lectura, con una longitud de 24,3 m y un ancho de 19,5 m. La cantidad de luxes recomendado por norma es de 500 lux, para ambiente de lectura. Cada tubo led es de 2 000 lux, así que por lámpara sería 4 000 lux y 18 watts que es una propuesta led.

$$\text{Número de luminaria} = \frac{L * W * Luxes}{(\text{lumenes por lámpara})(k)(\text{factor de mtto.})}$$

$$\text{Número de luminaria} = \frac{24,3 * 19,5 * 500}{(4\ 000)(0,8)(0,65)}$$

$$\text{Número de luminaria} = 113,906 \approx 114 \text{ Lámparas}$$

$$I_{\text{tubo Led}} = \frac{P}{V} = \frac{18}{120} = 0,15 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{Lámpara Led}} = 2 (I_{\text{tubo Led}}) = 0,30 \text{ Amp}$$

$$P = V * I = (120)(0,30) = 36 \text{ Watt/Lamp}$$

Tabla XXI. Lámparas led calculadas

Ambiente	Cantidad de lámparas actuales	Cantidad de lámparas led (teórico)
Quinto nivel		
Área de lectura	64	114
Tesario y hemeroteca	80	121
Cuarto nivel		
Área de lectura	91	140
Sala de cómputo	13	17
Salones de conferencias	32	32
Tercer nivel		
Área general	210	329
Segundo nivel		
Entrada de Biblioteca	36	31
Total de lámparas	526	746

Fuente: elaboración propia.

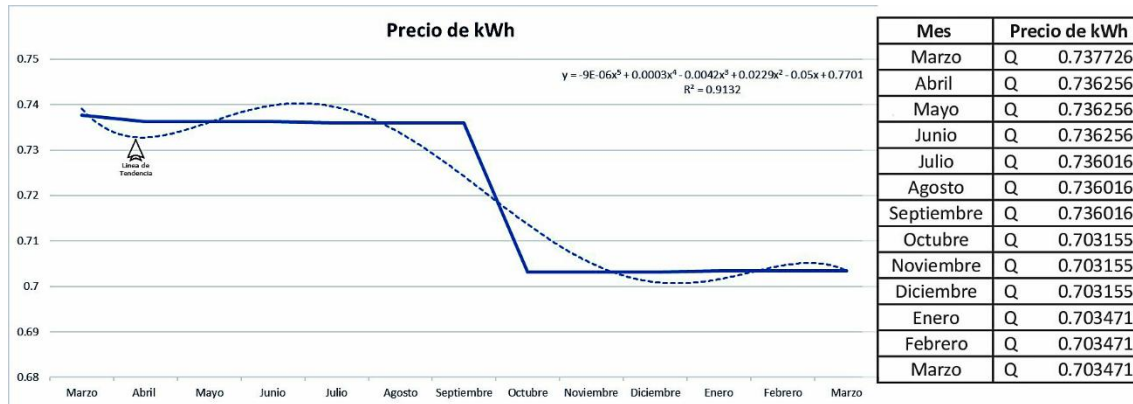
3.3.2.1. Cálculo de energía consumida

La energía consumida mensualmente por la Biblioteca Central no es solo por iluminación, pero para este análisis en particular se enfocará únicamente en iluminación.

La Biblioteca Central está abierta al público 13 horas al día de lunes a viernes y los fines de semana 10 horas al día, partiendo de esto es necesario calcular los kWh consumida actualmente por cada ambiente.

$$kWh = \text{Número de lámparas} * \frac{\text{Watts} * \text{Hora}}{1\ 000}$$

Figura 30. Precio de kWh durante el 2017 y la línea de tendencia



Fuente: elaboración propia.

En la figura 30 se graficó el precio por kWh del 2017 de la Biblioteca Central, en dicha gráfica se observa la línea de tendencia de proyección a futuro.

La cantidad de kWh consumida por día en cada ambiente de la Biblioteca Central depende de: el número de lámparas, potencia de la lámpara y las horas por día. A continuación, se realizará el cálculo de la energía consumida en la actualidad por día y por mes, posteriormente se tabulará para la propuesta a lámparas led.

$$kWh = (526) \frac{80 * 13}{1000}$$

$$kWh = 547,04 \text{ por día}$$

$$kWh = 30 * 547,04 \text{ por día}$$

$$kWh = 16\,411,20 \text{ por mes}$$

Tabla XXII. Resumen de cálculo, inversión total y ahorro anual

	DIMENSIONES DEL LOCAL				NÚMERO DE LUXES ACTUAL	NÚMERO DE LUXES RECOMENDADO	COEFICIENTE UTILIZACIÓN (FACTOR K)	FACTOR DE MITO.	LÚMENES TUBOS ACTUALES	LÚMENES POR TUBO (ACTUAL)	LÚMENES LÁMPARAS LED	LÚMENES POR TUBO LED	NÚMERO DE LÁMPARAS ACTUAL	NÚMERO DE LÁMPARAS LED
	ÁREA	LARGO	ANCHO	ALTURA										
Nivel 5	Lectura	19,5	24,3	3,5	340	500	0,8	0,65	4 841	2 421	4 000	2 000	64	114
	Tesario	11,5	12,5	3,5	275	300	0,8	0,65	4 001	2 001	4 000	2 000	19	21
	Hemeroteca	20,3	21,5	3,5	238	300	0,8	0,65	3 275	1 637	4 000	2 000	61	63
Nivel 4	Cómputo	9,0	13,0	3,5	340	300	0,8	0,65	5 885	2 942	4 000	2 000	13	17
	Mapoteca	9,5	23,5	3,5	275	300	0,8	0,65	3 690	1 845	4 000	2 000	32	32
Nivel 3	Lectura	16,0	36,3	3,5	238	500	0,8	0,65	2 941	1 461	4 000	2 000	91	140
	General	36,5	37,5	3,5	340	500	0,8	0,65	4 262	2 131	4 000	2 000	210	329
Nivel 2	Entrada	11,5	18,5	3,5	340	300	0,8	0,65	3 864	1 932	4 000	2 000	36	31
Totales												526	746	

Precio unitario: lámpara y accesorio	Q290,35	Potencia individual/lámpara (actual)	80 W	Energía en kWh 30 días (actual)	16 411,20 kWh	Precio total: lámparas y accesorios	Q216 598,31
Precio unitario: tubo led	Q65,00	Potencia individual/lámpara (propuesta)	36 W	Energía en kWh 30 días (propuesta)	10 473,71 kWh	Precio total: tubos led	Q96 978,75
Precio unitario: instalación	Q75,00	Uso promedio en horas/días por lámpara	13 h	Precio del kWh	Q1,148	Precio total: instalación	Q55 949,28
Precio de energía (actual)	Q18 852,07	Ahorro mensual	Q6 820,59	Ahorro anual	Q81 847,08	Suma total de la inversión	Q369 526,34
Precio de energía (propuesta)	Q12 031,48						

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII se desglosa la memoria de cálculo necesaria para conocer el ahorro estimado anual y el total de la inversión, para poder cumplir con los niveles de iluminación que recomienda la norma EN 12464.1.

3.3.3. Criterio de evaluación de la propuesta led

Para realizar esta estimación se opta por un periodo de siete años, porque es el periodo mínimo de vida útil de los tubos led es de 30 000 horas (según especificaciones). La Biblioteca Central está abierta al público de lunes a domingo alrededor de 3 984 horas al año, que es equivalente a 28 000 horas para el periodo de siete años.

La particularidad de esta propuesta es que durante el periodo de siete años únicamente existirá ahorro por gasto energético de Q 6 820,59 mensual equivalente a Q 81 847,08 anuales.

3.3.3.1. Valor presente neto (VPN)

Este criterio permite conocer si la propuesta que se está planteando es rentable o no. Para calcular el valor presente neto (VPN), es necesario conocer, la tasa de rendimiento mínimo aceptable (TREMA) que se utilizará.

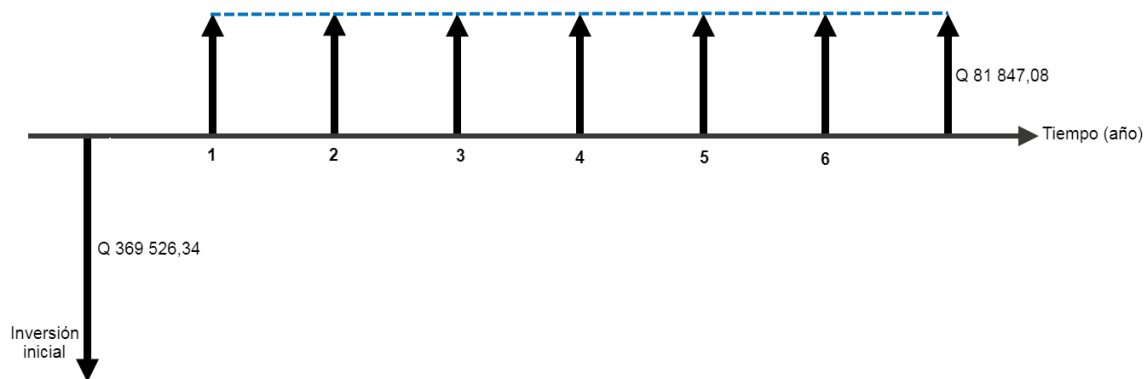
La tasa de rendimiento mínimo aceptable se estima como la suma del porcentaje de inflación (según el ministerio de economía sería de 4 %), más un 5 % de factor de riesgo, para efecto práctico se redondea al 10 %.

$$VPN = -Inversión_{inicial} + Anualidad \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$VPN = -369\,526,34 + 81\,847,08 \left[\frac{(1+0,1)^7 - 1}{0,1(1+0,1)^7} \right]$$

$$VPN = 28\,939,52$$

Figura 31. Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia.

El valor presente neto (VPN), calculado es mayor a cero, eso nos indica que la propuesta planteada es rentable.

3.3.3.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que equipara el valor presente de los flujos efectivos descontados con la inversión inicial, es decir, es la tasa que hace que el VPN sea igual a cero.

Tabla XXIII. Cálculo de la tasa interna de retorno

Año	Flujo efectivo
0	-369 526,34
1	81 847,08
2	81 847,08
3	81 847,08
4	81 847,08
5	81 847,08
6	81 847,08
7	81 847,08
TIR	12 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIII se determinó con ayuda de Microsoft Excel la tasa interna de retorno (TIR) igual al 12 %, este valor de tasa es superior a la tasa de rendimiento mínimo aceptable del 10 %, por tanto, se concluye que el proyecto es rentable para el periodo de tiempo trazado.

3.3.3.3. Relación beneficio costo (B/C) y periodo de recuperación

La relación de beneficio costo evalúa la eficiencia con que se utiliza los recursos del proyecto. Si los ingresos supera a los costos el proyecto es aceptable.

$$VPN_{Beneficio} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$VPN_{Beneficio} = 81\,847,08 \left[\frac{(1 + 0,1)^7 - 1}{0,1(1 + 0,1)^7} \right]$$

$$VPN_{Beneficio} = 398\,465,86$$

$$VPN_{Costo} = Inversión\ inicial$$

$$VPN_{Costo} = 369\,526,34$$

$$B/C = \frac{VPN_{Beneficio}}{VPN_{Costo}} = 1,078$$

La relación de beneficio costo es superior a cero, por tanto, la propuesta es rentable porque los ingresos son mayores a los egresos.

El periodo de recuperación es el tiempo necesario para recuperar la inversión. La limitante de este criterio es que no considera el valor del dinero en el tiempo, ni toma en cuenta los flujos que se obtiene luego de recuperar la inversión. Si cada año se ahorra Q 81 847,08 en gasto energético, en 4 años y 7 meses se recuperará la inversión inicial en su totalidad.

Los 3 criterios de evaluación utilizados para determinar si la inversión a iluminación led y la corrección de los niveles de iluminación recomendado por norma EN 12464.1, es rentable, resultado afirmativo en todos los criterios.

4. DISEÑO Y CÁLCULO DE PROPUESTA Y MEJORA

4.1. Cálculo de conductores

Los conductores eléctricos constituyen un elemento esencial en la instalación, es por ello que el correcto dimensionamiento del mismo es de suma importancia. Para el cálculo de conductores eléctricos se utilizará el método por caída de tensión.

La caída de tensión es la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro nodo del sistema. En la selección de conductores por caída de tensión es necesario tener presente los valores de regulación. La caída de tensión máxima permisible es del 2 % de la tensión nominal para la acometida y del 3 % para los ramales y auxiliares. Para obtener un máximo de regulación desde la acometida hasta la carga de 5 % que es lo que estipula la norma.

Para el cálculo teórico de la sección transversal de los conductores se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$V = I * R$$

$$P = V * I * \text{Cos } \theta$$

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \theta$$

$$R = \frac{d}{A * k}$$

Donde:

V = voltaje nominal

I = corriente nominal

P = potencia

Cos θ = factor de potencia

R = resistencia del conductor

d = longitud del conductor

k = conductividad del conductor

A = sección transversal del conductor

Partiendo de las ecuaciones anteriores se llega la siguiente igualdad:

$$A = \frac{I * L}{e * k}$$

Donde:

e = Porcentaje de caída de tensión

L = $\sqrt{3} * d$ para circuito trifásico y $2 * d$ para circuitos monofásicos

El planteamiento del cálculo teórico de conductores se desarrollará de la siguiente forma:

- Con los datos conocidos de cada nivel de la Biblioteca Central se calculará el calibre de conductor, para que sea más simple este proceso, solo se explicará el procedimiento de uno y los demás datos serán calculados y tabulados.

Datos del quinto nivel del edificio: 5 lámparas por luminaria, cada lámpara es de 80 watts, con un factor de potencia a 1, distancia igual a 74 m, voltaje 120v, conductividad del conductor de cobre es $57 \frac{mm^2}{ohm*m}$

Donde:

$$V = 120 \text{ v}$$

$$P = 80 \text{ Watts}$$

$$d = 74 \text{ m}$$

$$\text{Cos } \theta = 1$$

5 lámparas por luminaria

$$k = 57 \frac{mm^2}{ohm*m}$$

Procedimiento:

$$L = 2 * d \qquad S = (\text{Número de lamp})(\text{potencia por lamp})(\text{Cos } \theta)$$

$$L = 2(74) \qquad S = (5)(80)(1)$$

$$L = 148 \text{ m} \qquad S = 400 \text{ VA}$$

$$I = \frac{S}{V} \qquad e = 0,03 * V \qquad a = \frac{I*L}{e*k}$$

$$I = \frac{400}{120} \qquad e = 0,03 * 120 \qquad a = \frac{(3,33)(148)}{(3,6)(57)}$$

$$I = 3,33 \text{ A} \qquad e = 3,6 \text{ V} \qquad a = 2,40 \text{ mm}^2$$

El área calculada fue de 2,40 milímetros al cuadrado, la elección del conductor deberá ser un conductor que posea un área transversal igual o mayor a este, de las tablas se obtiene que el conductor que cumple con esta sección transversal es el AWG THW calibre número 12.

En la tabla XXIV se tabula los datos de los calibres de conductor teóricos para los niveles restantes del edificio.

Tabla XXIV. Cálculo de conductores

Tablero	Área transversal (mm ²)	Calibre de conductor (AWG THW)	Carga instalada (VA)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Corriente calculada (Amperios)	Capacidad de conducción (Amperios)	Porcentaje de uso	Porcentaje para cargas futuras	Observaciones
Quinto Nivel										
Iluminación	2,4	12	2 000	120	1 820	15,17	25	60,68 %	39,32 %	Calibre aceptable
Fuerza	2,9	12	1 620	120	1 474,2	12,29	25	49,16 %	50,84 %	Calibre aceptable
Cuarto nivel										
Iluminación	1,8	14	1 920	120	1 747,2	14,56	20	72,8 %	27,20%	Calibre aceptable
Fuerza	3,1	12	1 620	120	1 474,2	12,29	25	49,16 %	50,84 %	Calibre aceptable
Sala de cómputo	5,1	10	6 480	208	5 896,8	28,35	35	81,00 %	19,00 %	Calibre aceptable
Tercer nivel										
Iluminación	2,6	12	2 000	120	1 820	15,17	25	60,68 %	39,32 %	Calibre aceptable
Fuerza	2,5	12	1 620	120	1 474,2	12,29	25	49,16 %	50,84 %	Calibre aceptable
Segundo nivel										
Iluminación	3,1	12	2 000	120	1 820	15,17	25	60,68 %	39,32 %	Calibre aceptable
Fuerza	3,2	12	1 620	120	1 474,2	12,29	25	49,16 %	50,84 %	Calibre aceptable
Primer nivel										
Iluminación	1,7	14	2 000	120	1 820	15,17	20	60,68 %	39,32 %	Calibre aceptable
Fuerza	2,8	12	1 620	120	1 474,2	12,29	25	49,16 %	50,84 %	Calibre aceptable
Bombas	7,1	8	11 481	208	10 447,71	50,23	50	100,46 %	- 0,46 %	Cambiar a calibre 6

Fuente: elaboración propia.

4.2. Demanda máxima estimada, cargas y protecciones

Se calculó la demanda máxima estimada de cada nivel de la Biblioteca Central con las cargas actuales existentes, como también el porcentaje de uso del interruptor principal de cada tablero de distribución, el porcentaje de uso del alimentador y el porcentaje de uso del transformador.

A continuación de tabulan los cálculos realizados en cada nivel del edificio, como también de la acometida principal, posteriormente se describe las formas utilizadas en los calculo realizados.

Tabla XXV. Cálculo del quinto nivel de la Biblioteca Central

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Unidad	Carga Instalada	td	Voltaje (V)	Corriente de filipon (A)	D.M.E	Capacidad de filipon	Fase A	Fase B	Fase C	
1	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A	1 620			
2	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A		1 620		
3	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620	
4	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A	1 620			
5	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A		1 620		
6	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620	
7	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A	1 620			
8	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620	
9	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
10	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
11	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
12	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
13	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
14	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
15	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
16	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
17	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
18	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
19	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
20	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
21	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
22	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
23	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
24	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
25	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
26	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
27	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
28	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
29	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
30	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
31	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
32	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
33	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
34	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
35	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
36	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
37	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
38	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
39	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
40	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
41	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
42	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
43	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
44	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
45	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
46	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
47	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000	
48	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000			
49	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000		
Potencia Total				94 960	DME Total				84 168	32 860	31 240	30 860	

Información de tablero y protecciones	
Calibre de conductor	4/0
Conductores por fase	3
Capacidad nominal x conductor	260
Capacidad nominal x fase	780
Protección	3X600
% Uso de barra	60,70 %
Corriente de barra	971,17
Corriente de diseño	485,58
Promedio de corriente de fase	152,18
% Uso de alimentador	20,25 %
% Uso de conductor Fase A	20,25 %
% Uso de conductor Fase B	19,26 %
% Uso de conductor Fase C	19,02 %
% De uso del interruptor	25,36 %
% Uso interruptor Fase A	26,33 %
% Uso interruptor Fase B	25,03 %
% Uso interruptor Fase C	24,73 %
Corriente Fase A	157,98
Corriente Fase B	150,19
Corriente Fase C	148,37
Promedio de DME	31 653,33
Desbalance Fase A	-3,8 %
Desbalance Fase B	1,3 %
Desbalance Fase C	2,5 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXV se calcula la demanda máxima estimada del quinto nivel, la corriente de diseño, la corriente de barra, desbalances de cada fase; el cual debe estar dentro de rango permitido que es $\pm 10\%$ y las corrientes de fase.

Tabla XXVI. Cálculo del cuarto nivel de la Biblioteca Central

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Unidad	Carga Instalada	fp	Voltaje (V)	Corriente de filipon (A)	D.M.E	Capacidad de filipon	Fase A	Fase B	Fase C
1	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A	1 620		
2	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A		1 620	
3	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A			1 620
4	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A	1 620		
5	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A		1 620	
6	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A			1 620
7	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A	1 620		
8	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A		1 620	
9	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.50	1 296	1x20 A			1 620
10	Aire	3 240	4	12 960	1.0	120	62.31	12 960	3x70 A	4 320	4 320	4 320
11	Lab aire	3 240	2	6 480	1.0	120	31.15	6 480	3x40 A	2 160	2 160	2 160
12	Lab aire	3 240	2	6 480	1.0	120	31.15	6 480	3x40 A	2 160	2 160	2 160
13	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
14	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
15	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
16	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
17	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
18	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
19	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
20	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
21	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
22	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
23	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
24	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
25	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
26	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
27	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
28	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
29	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
30	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
31	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
32	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
33	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
34	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
35	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
36	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
37	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
38	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
39	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
40	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
41	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
42	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
43	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
44	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
45	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
46	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
47	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A		1 920	
48	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A			1 920
49	Iluminación	320	6	1 920	0.9	120	16.00	1 728	1x20 A	1 920		
Potencia Total			111 540	DME Total			101 520	38 460 36 540 36 540				

Información de tablero y protecciones	
Calibre de conductor	4/0
Conductores por fase	3
Capacidad nominal x conductor	260
Capacidad nominal x fase	780
Protección	3X600
% Uso de barra 73,21 %	
Corriente de barra 1 171,38	
Corriente de diseño 585,69	
Promedio de corriente de fase 178,75	
% Uso de alimentador 23,71 %	
% Uso de conductor Fase A	23,71 %
% Uso de conductor Fase B	22,72 %
% Uso de conductor Fase C	22,72 %
% De uso del interruptor 29,79 %	
% Uso interruptor Fase A	30,82 %
% Uso interruptor Fase B	29,28 %
% Uso interruptor Fase C	29,28 %
Corriente Fase A 184,90	
Corriente Fase B 175,67	
Corriente Fase C 175,67	
Promedio de DME 37 180	
Desbalance Fase A -3,4 %	
Desbalance Fase B 1,7 %	
Desbalance Fase C 1,7 %	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVI se calcula la demanda máxima estimada del cuarto nivel, la corriente de diseño, la corriente de barra, desbalances de cada fase; el cual debe estar dentro de rango permitido que es $\pm 10\%$ y las corrientes de fase.

Tabla XXVII. Cálculo del tercer nivel de la Biblioteca Central

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Unidad	Carga Instalada	fp	Voltaje (V)	Corriente de flipon (A)	D.M.E	Capacidad de flipon	Fase A	Fase B	Fase C	
1	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A	1 620			
2	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A		1 620		
3	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A			1 620	
4	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A	1 620			
5	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A		1 620		
6	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
7	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
8	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
9	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
10	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
11	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
12	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
13	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
14	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
15	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
16	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
17	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
18	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
19	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
20	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
21	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
22	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
23	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
24	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
25	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
26	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
27	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
28	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
29	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
30	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
31	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
32	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
33	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
34	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
35	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
36	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
37	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
38	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
39	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
40	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
41	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
42	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
43	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		
44	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	
45	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			
Potencia Total				88 100	DME Total				78 480	29 440 29 240 27 620			

Información de tablero y protecciones	
Calibre de conductor	4/0
Conductores por fase	3
Capacidad nominal x conductor	260
Capacidad nominal x fase	780
Protección	3X600

% Uso de barra 56.60 %

Corriente de barra 905.54

Corriente de diseño 452.77

Promedio de corriente de fase 138.30

% Uso de alimentador 18.15 %

% Uso de conductor Fase A 18.15 %

% Uso de conductor Fase B 18.02 %

% Uso de conductor Fase C 17.02 %

% De uso del interruptor 23.05 %

% Uso interruptor Fase A 23.59 %

% Uso interruptor Fase B 24.43 %

% Uso interruptor Fase C 22.13 %

Corriente Fase A 141.54

Corriente Fase B 140.58

Corriente Fase C 132.79

Promedio de DME 28 766.67

Desbalance Fase A -2.3 %

Desbalance Fase B -1.6 %

Desbalance Fase C 4.0 %

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla XXVIII se calcula la demanda máxima estimada del tercer nivel, la corriente de diseño, la corriente de barra, desbalances de cada fase; el cual debe estar dentro de rango permitido que es $\pm 10\%$ y las corrientes de fase.

En este nivel existe dos tableros de distribución uno exclusivo para los laboratorios audiovisuales y otro que alimenta el resto del nivel (iluminación, fuerza y aire acondicionado).

Tabla XXVIII. Cálculo del segundo nivel de la Biblioteca Central

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Unidad	Carga Instalada	fp	Voltaje (V)	Corriente de flipon (A)	D.M.E	Capacidad de flipon	Fase A	Fase B	Fase C
1	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A	1 620		
2	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A		1 620	
3	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620
4	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A	1 620		
5	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A		1 620	
6	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620
7	Fuerza	180	9	1 620	0,8	120	13,5	1 296	1x20 A			1 620
8	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
9	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
10	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
11	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
12	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
13	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
14	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
15	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
16	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
17	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
18	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
19	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
20	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
21	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
22	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
23	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
24	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
25	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
26	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
27	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
28	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
29	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
30	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
31	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
32	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
33	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
34	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
35	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
36	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
37	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A			2 000
38	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A	2 000		
39	Iluminación	400	5	2 000	0,9	120	16,7	1 800	1x20 A		2 000	
Potencia Total				75 340	DME Total				66 672	25 240	25 240	24 860

Información de tablero y protecciones	
Calibre de conductor	4/0
Conductores por fase	3
Capacidad nominal x conductor	260
Capacidad nominal x fase	780
Protección	3X600
% Uso de barra	48,08 %
Corriente de barra	769,29
Corriente de diseño	384,65
Promedio de corriente de fase	120,74
% Uso de alimentador	15,56 %
% Uso de conductor Fase A	15,56 %
% Uso de conductor Fase B	15,56 %
% Uso de conductor Fase C	15,32 %
% De uso del interruptor	20,12 %
% Uso interruptor Fase A	20,22 %
% Uso interruptor Fase B	20,22 %
% Uso interruptor Fase C	19,92 %
Corriente Fase A	121,35
Corriente Fase B	121,35
Corriente Fase C	119,52
Promedio de DME	25 113,33
Desbalance Fase A	-0,5 %
Desbalance Fase B	-0,5 %
Desbalance Fase C	1,0 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVIII se calcula la demanda máxima estimada del segundo nivel, la corriente de diseño, la corriente de barra, desbalances de cada fase; el cual debe estar dentro de rango permitido que es $\pm 10\%$ y las corrientes de fase.

En este nivel existe dos tableros de distribución, el tablero de 18 polos actualmente no lo están usando y se desconoce la razón.

Tabla XXIX. Cálculo del primer nivel de la Biblioteca Central

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Unidad	Carga Instalada	fp	Voltaje (V)	Corriente de flipon (A)	D.M.E	Capacidad de flipon	Fase A	Fase B	Fase C	Información de tablero y protecciones	
1	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A	1 620			Calibre de conductor 4/0	
2	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A		1 620		Conductores por fase 3	
3	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A			1 620	Capacidad nominal x conductor 260	
4	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A		1 620		Capacidad nominal x fase 780	
5	Fuerza	180	9	1 620	0.8	120	13.5	1 296	1x20 A	1 620			Protección 3X600	
6	Bomba	3 827	3	11 481	0.5	208	55.2	5 740.5	3X70 A	3 827	3 827	3 827	% Uso de Barra 21,79 %	
6	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	Corriente de Barra 348,70	
7	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		Corriente de Diseño 174,35	
8	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	Promedio de Corriente de Fase 63,43	
9	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			% Uso de Alimentador 8,29 %	
10	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		% Uso de conductor Fase A 8,05 %	
11	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	% Uso de conductor Fase B 8,05 %	
12	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			% Uso de conductor Fase C 8,29 %	
13	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A		2 000		% De uso del Interruptor 10,57 %	
14	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A			2 000	% Uso Interruptor Fase A 10,47 %	
15	Iluminación	400	5	2 000	0.9	120	16.7	1 800	1x20 A	2 000			% Uso Interruptor Fase B 10,47 %	
													% Uso Interruptor Fase C 10,77 %	
													Promedio de DME 13 193,67	
Potencia Total				39 581	DME Total				30 221		13 067	13 067	13 447	

NOTA: Existe 1 Tablero de 42 Polos, con 35 polos ocupados y un tablero de 18 polos con 16 polos ocupados, ambos tableros no tiene señalización alguna, por tanto no se tomo en cuenta en el cálculo.

Corriente Fase A	62,82	Desbalance Fase A	1,0 %
Corriente Fase B	62,82	Desbalance Fase B	1,0 %
Corriente Fase C	64,65	Desbalance Fase C	-1,9 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIX se calcula la demanda máxima estimada del primer nivel, la corriente de diseño, la corriente de barra, desbalances de cada fase; el cual debe estar dentro de rango permitido que es $\pm 10\%$ y las corrientes de fase.

Tabla XXX. Cálculo de acometida y tablero principal

Transformador Pad Mounted			Cargas de la Biblioteca				Tablero Principal y Protecciones	
Potencia (kVA)	Voltaje (rms)	Capacidad nominal (A)	Corriente	Fase A (Amp)	Fase B (Amp)	Fase C (Amp)	Calibre de conductor	500 MCM
500	208	1 388	Total x fase	668,6	650,6	641	Conductores por fase	3
			% Uso interruptor Fase A	41,79 %			Capacidad nominal x conductor	430 A
			% Uso interruptor Fase B	40,66 %			Capacidad nominal x fase	1 290 A
			% Uso interruptor Fase C	40,06 %			Protección	3x1 600 A
			% Uso del transformador Fase A	48,17 %			Promedio de corriente de fase	653,40 A
			% Uso del transformador Fase B	46,87 %			Porcentaje de uso del conductor Fase A	51,83 %
			% Uso del transformador Fase C	46,18 %			Porcentaje de uso del conductor Fase B	50,43 %
							Porcentaje de uso del conductor Fase C	49,69 %
							Porcentaje de uso del interruptor principal	40,84 %
							Porcentaje de uso del transformador	47,07 %
Pot Total (kVA)	Voltaje (rms)	Capacidad Nominal (A)	DME total del edificio	361 061 VA			Porcentaje de uso del alimentador	51,83 %
409,521	208	1 137	Potencia total del edificio	409 521 VA			Ampacidad por fase	1 290 A

Fuente: elaboración propia.

A continuación se desglosa las fórmulas que se utilizaron para hacer los cálculos y datos referente a ello.

Demanda Máxima Estimada (DME): este valor es el producto del voltaje nominal por corriente nominal, ambos por el factor de demanda (este valor es una constante proporcionada por tabla o por el fabricante)

$$DME = (\text{factor de demanda})(\text{voltaje nominal})(\text{corriente nominal})$$

Desbalance de fase: este desbalance entre fases debe de estar dentro del rango de $\pm 10\%$ entre las fases

$$\text{Desbalance} = \frac{DME_{\text{Promedio}} - DME_{\text{Fase}}}{DME_{\text{Promedio}}} * 100$$

Corriente de diseño:

$$I_{\text{Diseño}} = \frac{1,2 \sum DME}{V_{\text{max}}}$$

Corriente de barra:

$$I_{\text{Barra}} = 2 * I_{\text{Diseño}}$$

Porcentaje de uso de interruptor:

$$\% \text{ De uso del interruptor} = \frac{\text{Carga de la fase}}{\text{Capacidad nominal del interruptor}} * 100$$

Porcentaje de uso del interruptor principal:

$$\% \text{ De uso del interruptor}_{Principal} = \frac{\% \text{ de uso del interruptor fase } (A + B + C)}{3}$$

Porcentaje de uso del conductor:

$$\% \text{ De uso del conductor} = \frac{\text{Corriente de la fase}}{\text{Capacidad nominal por fase}}$$

Porcentaje de uso del transformador por fase:

$$\% \text{ De uso del transformador por fase} = \frac{\text{Corriente nominal fase}}{\text{Corriente nominal del sistema}} * 100$$

Porcentaje de uso del transformador:

$$\% \text{ Uso del Trafo} = \frac{\% \text{ Uso del Transformador } (fase A + fase B + fase C)}{3}$$

Porcentaje de uso del alimentador: este valor es el máximo de porcentaje de uso del conductor por las fases.

Capacidad nominal del sistema:

$$I_{Nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

4.3. Medición de la resistencia de puesta a tierra

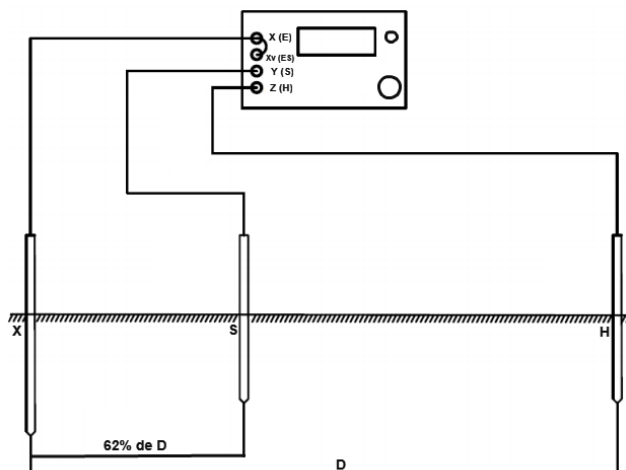
Actualmente el edificio de la Biblioteca Central cuenta con tierra física y también barras químicas a tierra, esto fue observado después de dar un recorrido en el perímetro del mismo.

Para poder conocer la resistencia de puesta a tierra actual del edificio, se utilizó un medidor de resistencia a tierra marca AEMC modelo 4 630, con un rango de medición de 0 a 200 ohm y una exactitud del 2 % para 0 a 200 ohm y el ± 5 % para lecturas de 200 a 2 000 ohm.

4.3.1. Método de caída de potencial

Es también conocido como el método del 62 %, el cual nos permite conocer la resistencia actual de la puesta a tierra. En la figura 32 se ilustra el procedimiento del método.

Figura 32. Método de caída de potencial



Fuente: elaboración propia.

El propósito es medir la resistencia de tierra X, para ello hay que hacer circular corriente a través de ella. Para lograr esto es necesario enterrar la pica auxiliar H y medir la caída de potencial mediante otra pica auxiliar S, y luego proceder a realizar la conexión con el medidor tal como se ve en la figura 32.

Las picas deben de estar alineadas y la distancia entre X y S debe ser el 62 % de la distancia entre X y H. Con el fin de que la resistencia obtenida sea la real se procedió hacer 3 mediciones cuyos datos se tabulan en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. Resistencia de puesta a tierra obtenido por el medidor AEMC modelo 4630

Distancia [de X a S] (m)	Distancia [de X a H] (m)	Resistencia de puesta a tierra (ohm)
7,44	12	2,55
7,94	12	2,58
6,94	12	2,54
	Promedio	2,56

Fuente: elaboración propia.

Nuestra primera pica se colocó a 12 m (esto sería la distancia D) y a la segunda pica a 7,44 m (este es el 62 % de 12), para tomar las otras 2 mediciones a la distancia de X a S se le efectuó $\pm 0,5$ m. Después de sacar el promedio de las tres mediciones se obtuvo que la resistencia de puesta a tierra es de 2,56 ohm. Por tanto, el valor real de la resistencia puesta a tierra de la Biblioteca Central está en el rango de 2,55 ohm a 2,56 ohm.

La NEC estipula que para edificios el valor de la resistencia de puesta a tierra no debe acceder al 5 ohm, el valor de resistencia obtenida es inferior a ese límite, por lo tanto, se cumple con la norma.

4.4. Análisis transformador-regulador

Luego de realizar el análisis de calidad de la energía se observan tabulados en la tabla XXXII los valores máximos y mínimos de tensión en las 3 fases que conforman el sistema.

Tabla XXXII. Valores máximos y mínimos de cada línea dado por el analizador de redes, modelo Fluke 435

Valor máximo (V)	Valor mínimo (V)
Línea 1	
125,5	122,7
Línea 2	
124,8	122,0
Línea 3	
125,5	124,15

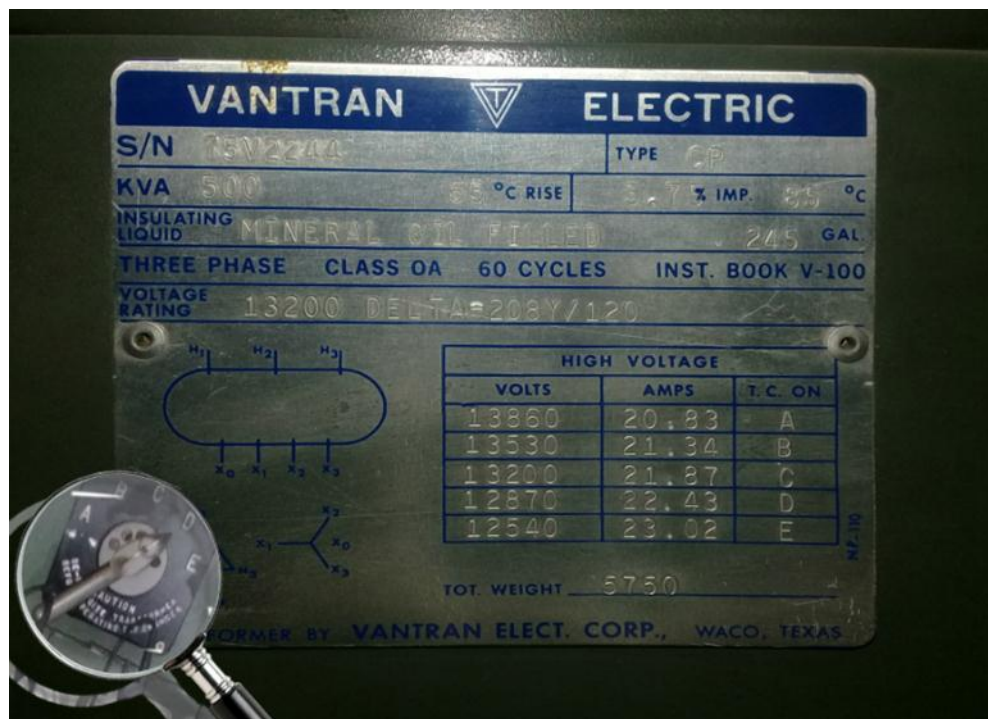
Fuente: elaboración propia.

La NTSD establece que los valores no deben exceder ± 5 % del voltaje nominal, como se observa los valores de cada línea está dentro de los límites permisible de la norma.

Como se ve en la figura 33 el cambiador de tomas del transformador está situado actualmente en el Tap D, el cual presenta un voltaje de operación de 12,87 kV, al observar los máximos y mínimos de voltaje que el analizador

proporción durante el período de medición, se observa que el voltaje máximo es de 125,5 voltios y el voltaje mínimo es de 122 voltios.

Figura 33. **Placa del transformador Pad Mounted de la Biblioteca Central**



Fuente: elaboración propia.

Al realizar una regla de tres simples con los cambiadores de tomas operativos del transformador y los resultados obtenidos del analizador de redes se tienen los siguientes cálculos de tensiones máximas y mínimas, que se obtendrían en los tap C y E del transformador.

Con el tap C:

Si 12 870 V es 125,5 V
y si 13 200 V es voltaje Max

Entonces:

$$\text{Voltaje Max} = \frac{13\,200(125,5)}{12\,870}$$
$$\text{Voltaje Max} = 128,7179\text{ V}$$

Si 12 870 V es a 122 V
y si 13 200 V es a voltaje Min

Entonces:

$$\text{Voltaje Min} = \frac{13\,200(122)}{12\,870}$$
$$\text{Voltaje Min} = 125,1282\text{ V}$$

Con el tap E:

Si 12 870 V es a 125,5 V
y si 12 540 V es a voltaje Max

Entonces:

$$\text{Voltaje Max} = \frac{12\,540(125,5)}{12\,870}$$
$$\text{Voltaje Max} = 122,282\text{ V}$$

Si 12 870 V es a 122 V
y si 12 540 V es a voltaje Min

Entonces:

$$\text{Voltaje Min} = \frac{12\,540(122)}{12\,870}$$
$$\text{Voltaje Min} = 119,3589\text{ V}$$

Aquí se toman como referencia los valores máximos, es decir, las tensiones que más se alejen de la tensión nominal de 120 voltios, para obtener los casos más extremos a los que se sometería la regulación del transformador, y según lo observado durante las mediciones realizadas durante ocho días continuos.

Por lo anterior se observa una mejor regulación teórica en la toma E del transformador que en la posición D, que es la actual, obteniéndose tensiones alrededor de la tensión nominal y esperada de 120 voltios por fase; esto, con respecto a los 125,5 voltios obtenidos actualmente, según las mediciones realizadas.

Con base en los cálculos anteriores, cabe el recomendar un cambio de posición en el cambiador de tomas (sin carga) del transformador, con el objetivo de mejorar la regulación del sistema eléctrico en general de la instalación, ya que, aunque la regulación actual obtenida en el sistema eléctrico está de acuerdo a lo recomendado por la Norma NTSD, esta tiene porcentajes cercanos al límite máximo superior, por lo que, se obtendría una mejor regulación y alrededor de la tensión nominal si se cambia la posición de la toma actual (D) hacia la toma E en el transformador que sirve de suministro en baja tensión para la instalación de la Biblioteca Central.

5. INVESTIGACIÓN SOBRE EL ANALIZADOR ARBITER 933A Y 1133A

5.1. Características generales

Este medidor está diseñado para proporcionar mediciones precisas de la calidad de energía eléctrica y eficiencia energética, permite la medición independiente de corrientes trifásicos, voltajes (Incluyendo el neutro), valores y parámetros asociados.

Figura 34. **Arbiter 933A**



Fuente: www.arbiter.com. Consulta: 25 de marzo de 2018.

5.1.1. Capacidad

Este medidor posee la capacidad de medir y registrar armónicos, *flicker*, interrupciones, factor K, y diversos parámetros de vital importancia en la calidad energética. Además de ello, puede medir el tiempo del sistema, fase, frecuencias y fasores, todo esto lo logra al momento de sincronizarse ya sea por la entrada de GPS o entrada demodular formato IRIG-B según la IEEE-1344.

El Arbiter 933A cumple con la Norma IEEE-1344 (define parámetros de sistema de potencia análisis de sincrofasores), este modelo cuenta con un software que permite al usuario a manejar la información almacenada de forma sencilla y práctica.

5.1.2. Peculiaridades

Posee una pantalla gráfica de 300x240 LCD con retroiluminación, teclado multifuncional, cable de tierra de seguridad y su respectivo cable de alimentación. La comunicación entre el medidor es realizada vía puerto RS-232 (interfaz de comunicaciones de datos digitales) y USB 1.1 que soporta DNP 3.0, Modbus, PQ-DIF y el protocolo DNP3.

Posee dos procesadores (propietario y DSP), ambos tienen una memoria Flash de 128MB. La memoria del procesador propietario almacena todos los tipos de datos disponibles incluyendo los datos de falla (1/seg y 20/seg) y datos de registro. La memoria DSP es primordialmente para almacenar formas de onda con datos para todos los canales almacenados perennemente a 170 muestras por ciclo.

5.1.3. Especificaciones del Arbiter 933A

A continuación se explicará brevemente los parámetros que mide, almacenamiento, ventajas, restricciones, normas que cumple y control de monitoreo del analizador.

5.1.3.1. Rango del medidor

Posee una serie de rangos como entrada a continuación se mencionará los más relevantes:

Voltaje: desde 0 a 600 Vrms

Corriente: desde 0 a 20 Arms

Frecuencia: desde 45 Hz a 65 Hz, para exactitud específica de 3 kHz

5.1.3.2. Calidad de la energía

El Arbiter 933A, nos proporciona datos sobre THD, factor-K, *sags*, *swells*, interrupciones, armónicas rms en corriente y voltaje con compensación de factor-K (cada magnitud de armónica es multiplicada por el cuadrado del número de armónica antes de la suma), magnitud individual y de fase.

En el ámbito de *flicker* este medidor cumple a su totalidad los límites de la Norma IEC 61000-4-15, PST e instantáneos.

Las especificaciones de exactitud involucran todas las fuentes de incertidumbre, voltaje de línea, rango de entrada incluyendo un rango especificado, factor de potencia, frecuencia de entrada, e intervalos de calibración desfasados arriba de un año. Las especificaciones asumen la

sincronización por GPS y operación en modo tres elementos o en un sistema bien balanceado donde el desbalanceo no degrada la exactitud.

5.2. Analizador digital de señal Arbiter 1133A

Con el elevado costo de la energía eléctrica cada vez más empresas se preocupan por tener una medición precisa de energía. Este modelo lleva un desempeño de laboratorio a las subestaciones, entregando una precisión de facturación sin precedentes de 0,025 % bajo una diversidad de condiciones. Si comparas esto con los medidores de energía tradicionales que están limitados a una precisión que no supera el 0,1 % bajo parámetros de laboratorio, y que aumenta los errores considerablemente una vez que las condiciones ambientales dejan de ser ideales.

El Arbiter 1133A hace mediciones de facturación con mayor precisión que cualquier otro medidor comercial o de la competencia. Es importante recalcar que la diferencia entre 0,025 % y 0,1 % es bastante considerable, ya que, con tantas líneas de transmisión, transportando miles de mega watts de potencia la diferencia en la precisión de 0,075 % esto se traduce a una cantidad de ahorro económico considerado y no solo eso, sino que también a disminución de los niveles de potencia.

Este modelo permite medir armónicos y factor K, *flicker*, interrupciones, almacenar datos por intervalo de tiempo, grabar eventos que rebasan de los límites de operación y saber en qué instante ocurrió dicho evento, existe la posibilidad de fijar uno mismo los límites de operación para cualquier parámetro.

5.2.1. Control y monitoreo del sistema

Mide ángulos de fases (absolutos), variaciones de frecuencia y el tiempo del sistema. La medición de los datos de fase cumple con el estándar IEEE C37.118, a frecuencia de 60 Hz ciclos/segundos.

Posee un receptor de satélite integrado dentro de una unidad, sincroniza su Modelo 1133A dentro de un microsegundo del tiempo universal coordinación (UTC).

5.2.2. Especificaciones del Arbiter 1133A

A continuación se explicará brevemente los parámetros que mide, almacenamiento, ventajas, restricciones, normas que cumple y control de monitoreo del analizador.

5.2.2.1. Rango del medidor

Posee una serie de rangos como entrada a continuación se mencionará los más relevantes:

- Voltaje: desde 0 a 69, 120, 240 o 480 V
- Corriente: desde 2.5, 5, 19, o 20 Arms
- Frecuencia: desde 45 a 65 Hz

En ambos analizadores nos percatamos que se rigen por la Norma IEEE-1344 o su equivalente y ambos hacen análisis de sincrofasores.

5.3. Sincrofasor

Los fasores sincronizados (sincrofasores) proporcionan mediciones en tiempo real de las cantidades eléctricas de todo un sistema de potencia.

Un sincrofasor es la unidad básica de un sistema de medidas sincrofasoriales. Un sistema de medidas sincrofasoriales permite la observación del comportamiento estático y dinámico de un sistema eléctrico de potencia, a través de variables de corriente y tensión obtenidas desde los transformadores de corriente y potencial de las instalaciones eléctricas. Estos datos son recibidos con alta precisión y tasa de muestreo y sincronizados en el tiempo, vale decir, cada dato recibido está asociado a un tiempo en el que dicho dato se obtuvo.

Las unidades de medición fasoriales (*Phasor Measurement Units* - PMUs) presentan un importante número de aplicaciones que permiten aumentar la eficacia de la red, por lo que cada vez más compañías eléctricas optan por emplearlas.

Una Unidad de Medición Fasorial (PMU) es un equipo de medida, protección y control, por lo que es necesario, por parte del usuario, definir unas especificaciones técnicas de acuerdo con las aplicaciones para las que se empleará dicho equipo. Algunos de los aspectos a definir pueden ser: sincrofasores, precisión en la medición de sincrofasores para diferentes condiciones, máximo tiempo de respuesta del proceso de filtrado, tasas de reporte necesarias, contenido de la trama enviada (número de señales digitales y analógicas, formato de los fasores y de la frecuencia, entre otros), características de registro, integración de la función de PMU en relés de protección o registradores oscilográficos, entre otros.

La unidad de medición fasorial tiene la capacidad de medir fasores (magnitud y ángulo de fase) de corriente y voltaje en una red eléctrica, ya que los fasores son la base fundamental del análisis de los sistemas de corriente alterna de tipo sinusoidal en estado estable, se alcanza una mejor observabilidad de los sistemas eléctricos con este tipo de mediciones en comparación con aquellas que sólo tienen la capacidad de medir la magnitud de las variables

La Norma IEEE C37.118, es de gran ayuda a la hora de definir tanto la especificación técnica como el plan de pruebas, no obstante, hay que tener en cuenta que existen aplicaciones cuyos requerimientos están fuera de los especificados en dicha norma. El conocimiento de los algoritmos de las PMUs que existen hoy en día en el mercado facilita mucho la definición de los documentos antes citados.

Los fasores sincronizados también llamados comúnmente como sincrofasores, proporcionan mediciones en tiempo real de las cantidades eléctricas de todo un sistema de potencia. Las aplicaciones incluyen control de área amplia, validación del modelo del sistema, determinación de márgenes de estabilidad, maximizar la carga para mantener estable el sistema, detección de operación en isla, registro de disturbios de área amplia y visualización de la respuesta dinámica del sistema. Los bloques de construcción del sistema básico son relojes GPS sincronizados vía satélite, unidades de medición de fasores (PMU), un concentrador de datos de fasores (PDC), dispositivos de comunicación y software de visualización.

5.4. Descripción funcional del analizador Arbiter 933A versus fluke 435

Estos analizadores de redes eléctricas son aparatos multifunción que miden con gran precisión la corriente continua, la corriente alterna, la intensidad de corriente DC, la intensidad de corriente AC y la potencia.

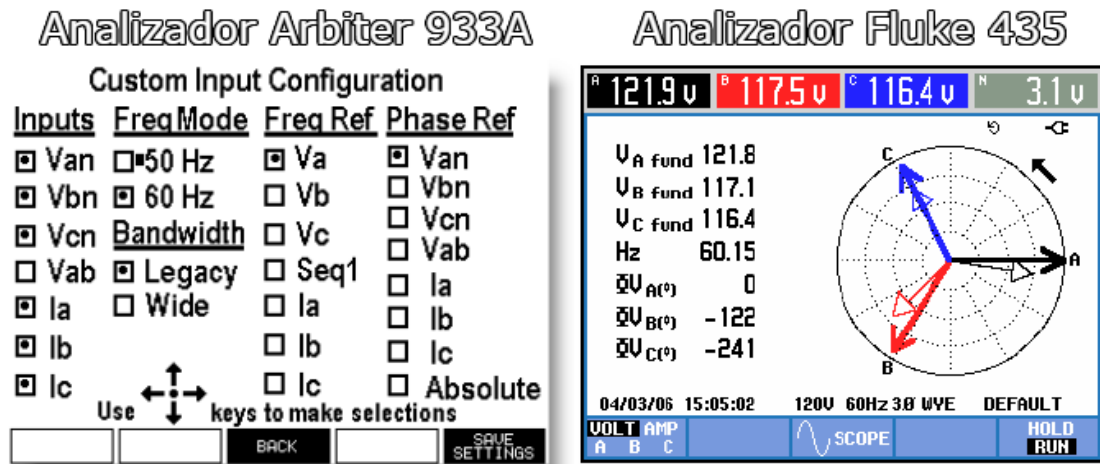
Ambos analizadores de redes cuentan también con muchas propiedades (entrada de corriente aislada, medición de armónicos, intensidad de conexión, medición de potencia, medición de *flicker*, entre otros). Ambos son portátiles y de clasificación A.

5.4.1. Entrada de voltaje y corriente

Ambos analizadores constan de cuatro entradas de voltaje y cuatro de corriente (tres fases y neutro), ambos analizadores soportan una tensión máxima de 600 Vrms y una corriente máxima de 20 Arms y presentan una interface similar para configurar las entradas y señales de referencia.

Estos analizadores poseen cuatro donas amperimétricas los cuales están aislados y cuatro lagartos de corriente. Estos son colocados en el panel principal o donde se desea realizar el análisis de calidad para corregir algún problema o detectar irregularidades.

Figura 35. Configuración de entrada de Arbiter 933A y fluke 435



Fuente: analizador Arbiter 933A y fluke 435.

5.4.2. Sincronización de tiempo

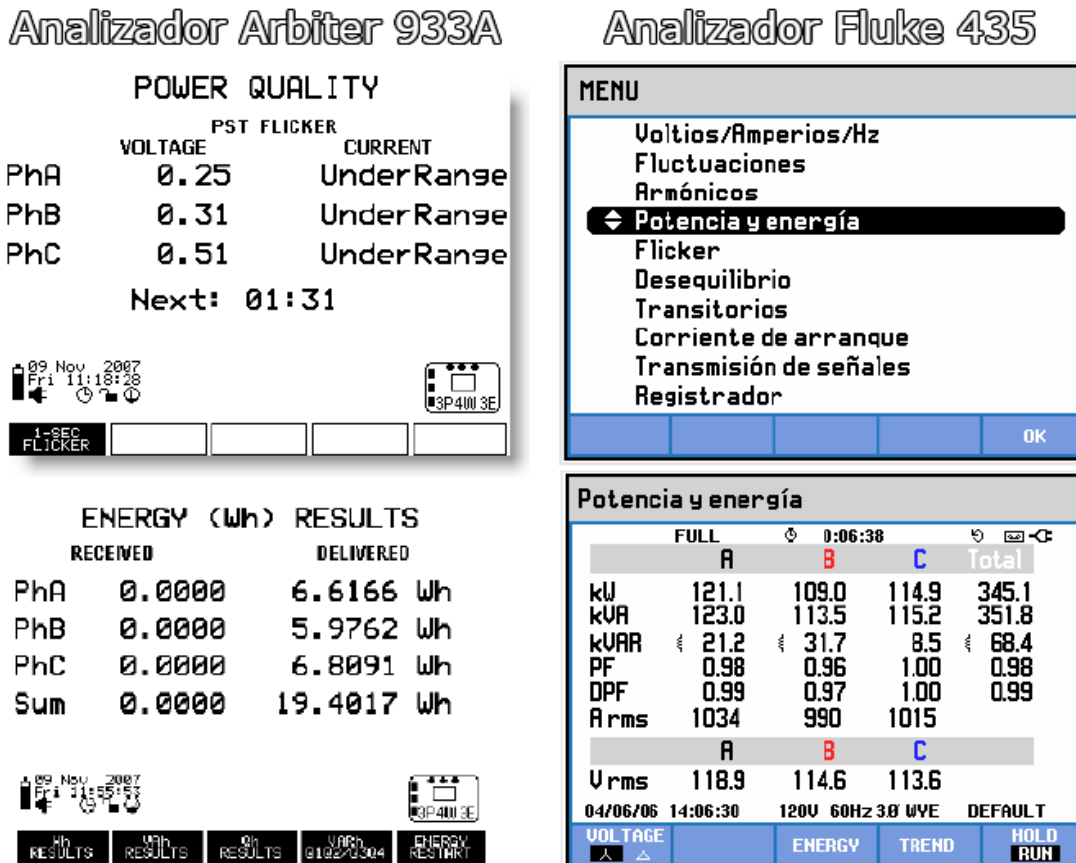
Esta sincronización lo hace el analizador Arbiter 933A por medio de GPS, proporcionando de esta forma una medición precisa de calidad de energía.

EL fluke 435 no posee GPS pero es un accesorio que se puede implementar cuyas características consta de un módulo de tiempo GPS430 el cual nos proporciona una incertidumbre de tiempo ≤ 20 ms o $\leq 16,7$ ms para el etiquetado temporal de eventos y medidas con tiempo añadido. Si la sincronización no está disponible, la tolerancia de tiempo es ≤ 1 segundo / 24 horas.

5.4.3. Potencia y energía

Ambos analizadores realizan las verificaciones de medidores de energía con una salida de pulsos. Para realizar cálculos de la potencia, puede seleccionar fundamental o total. Para los cálculos fundamentales, se considera la tensión y la corriente sólo en la frecuencia fundamental (60 o 50 Hz). Los cálculos totales utilizan todo el espectro de frecuencias (tensión y corriente eficaz). La diferencia primordial entre uno u otro es la interfaz de programación, así como se observa en la figura posterior.

Figura 36. Configuración de potencia y energía

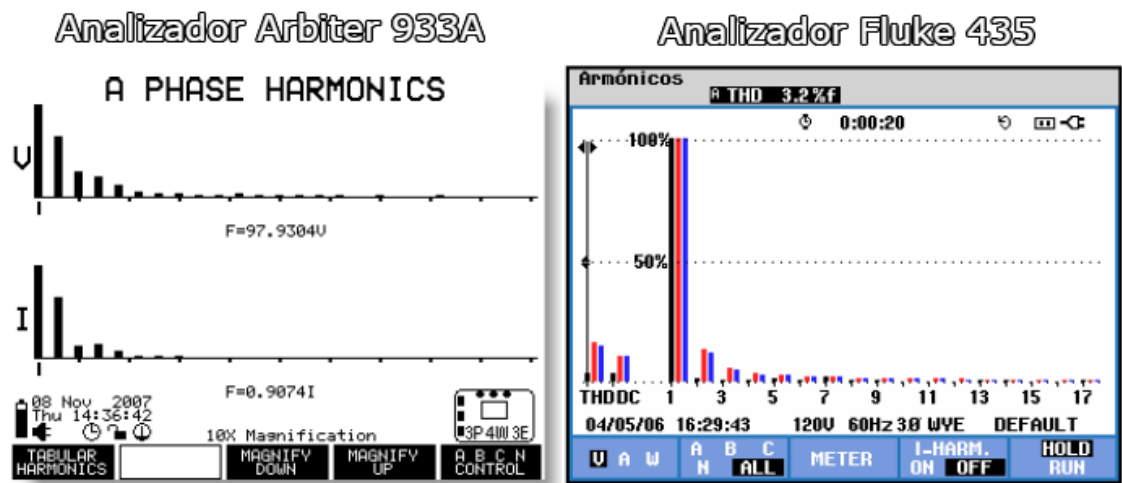


Fuente: analizador Arbitrator 933A y fluke 435.

5.4.4. Armónicos

Ambos analizadores permiten medir y grabar los armónicos e interarmónicos hasta el número 50. También mide los datos relacionados, como los componentes CC, la THD (distorsión armónica total) y el factor K, y ambos cumplen la Norma IEC 61000-2-2, el cual establece los niveles para perturbaciones existentes de baja frecuencia.

Figura 37. Configuración de armónicos



Fuente: analizador Arbitr 933A y fluke 435.

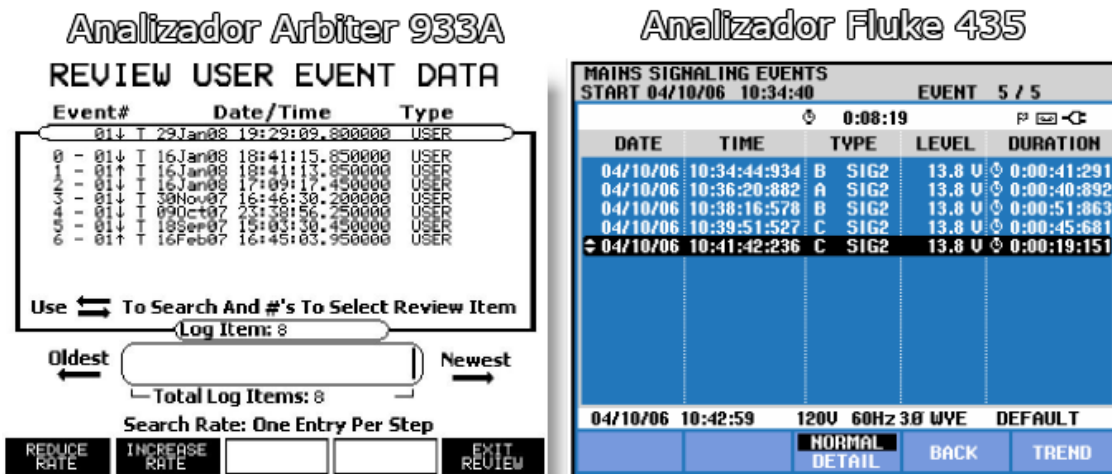
5.4.5. Flicker

El algoritmo de la medida en ambos analizadores cumple con la Norma IEC 61000-4-15, el analizador convierte la duración y magnitud de las variaciones de tensión en parpadeos. Este proceso se realiza utilizando una frecuencia de muestreo de 640 muestras por segundo.

5.4.6. Registro de eventos

Los eventos se producen intermitentemente, lo cual hace necesario supervisar el sistema durante un periodo de tiempo para localizarlos, búsqueda de los transitorios de tensión cuando los suministros electrónicos de alimentación fallen repetidamente o los ordenadores se reinicien de forma espontánea. Ambos analizadores generan una tabulación de esos eventos en la memoria interna durante el periodo de medición.

Figura 38. Registro de eventos



Fuente: analizador Arbitrator 933A y fluke 435.

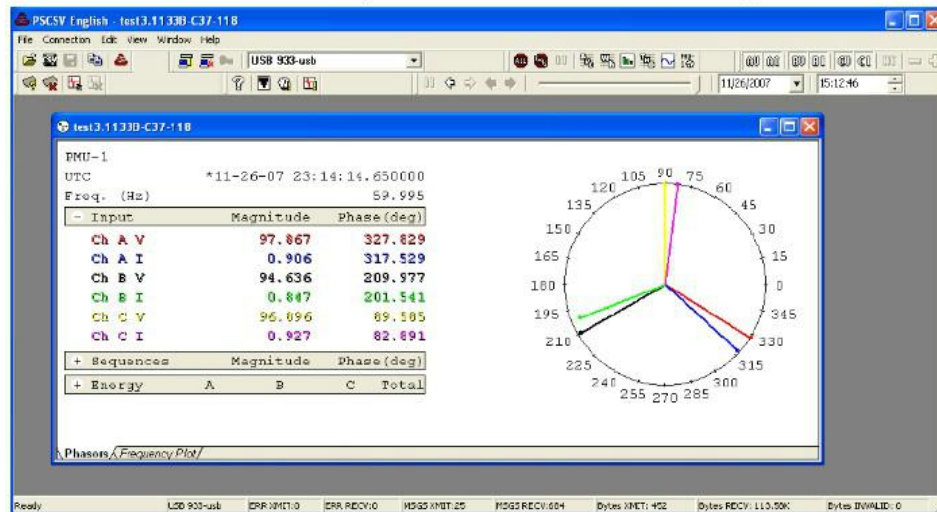
5.4.7. Descarga de datos en ambos analizadores

La descarga de datos en el fluke 435 se hace a través del software Power Log Classic, se puede extraer el fichero completo de todos los parámetros medido durante el periodo de medición o seleccionar que parámetros se desea exportar.

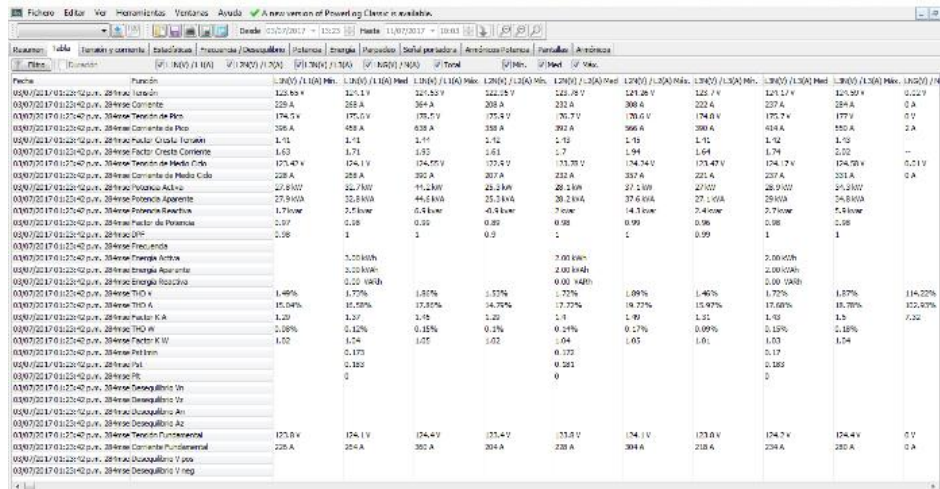
La descargar de datos en el Arbiter 933A se hace a través de software *Power Sentinel CSV 933* (se puede descargar desde la página oficial de Arbiter). Proporciona acceso a sus características y menús, a todos los datos recopilados durante el periodo de medición, también nos ofrece exportar todos los datos en una hoja de cálculo sobre todos los valores medidos.

Figura 39. Ventana principal de ambos softwares

Arbiter 933A (Power Sentinel CSV 933)



Fluke 435 (Power Log Classic)



Fuente: software *Sentinel CSV 933* y *Log Classic*.

5.5. Descripción funcional del analizador Arbiter 1133A versus fluke 435

El analizador Arbiter 1133A posee una precisión mayor al fluke 435, en laboratorio la precisión de fluke es de 0,1 % y el del arbiter es de 0,025 %, por esta alta precisión este equipo es utilizado en paneles de subestaciones y para monitoreo del sistema de calidad de potencia en tiempo real, ya que posee internamente GPS incorporado y es un equipo de gabinete y no portátil como el fluke 435.

5.5.1. Sincronización mediante GPS

El arbiter 1133A ya trae incorporada internamente GPS y el hardware requerido para recibir dicha señal. Para recibir correctamente las señales del GPS, la antena GPS debe estar montada de manera correcta a quince grados de la superficie horizontal, la longitud del cable de comunicación es importante para el mismo.

El analizador fluke 435 como se dijo anteriormente no posee GPS pero se puede acoplar un módulo de sincronización horaria mediante GPS que habilita la inclusión de datos de horarios de precisión. Al registrar datos con varios instrumentos al mismo tiempo, el accesorio GPS430 sincroniza los relojes internos para comparar y correlacionar los datos fácilmente.

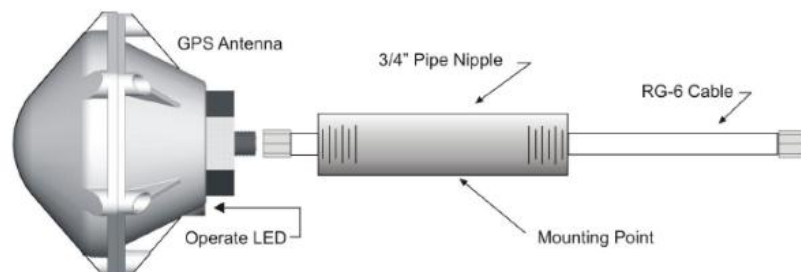
A continuación se observa el GPS430 que se acopla al fluke 435 que si bien es cierto, no posee la misma capacidad del GPS incorporado por el Arbiter cumple el principio básico. También se observa la antena que se debe colocar al 1133A.

Figura 40. **Accesorios de GPS**

Modulo de sincronización para Fluke 435



Partes de la antena de GPS del Arbiter 1133A

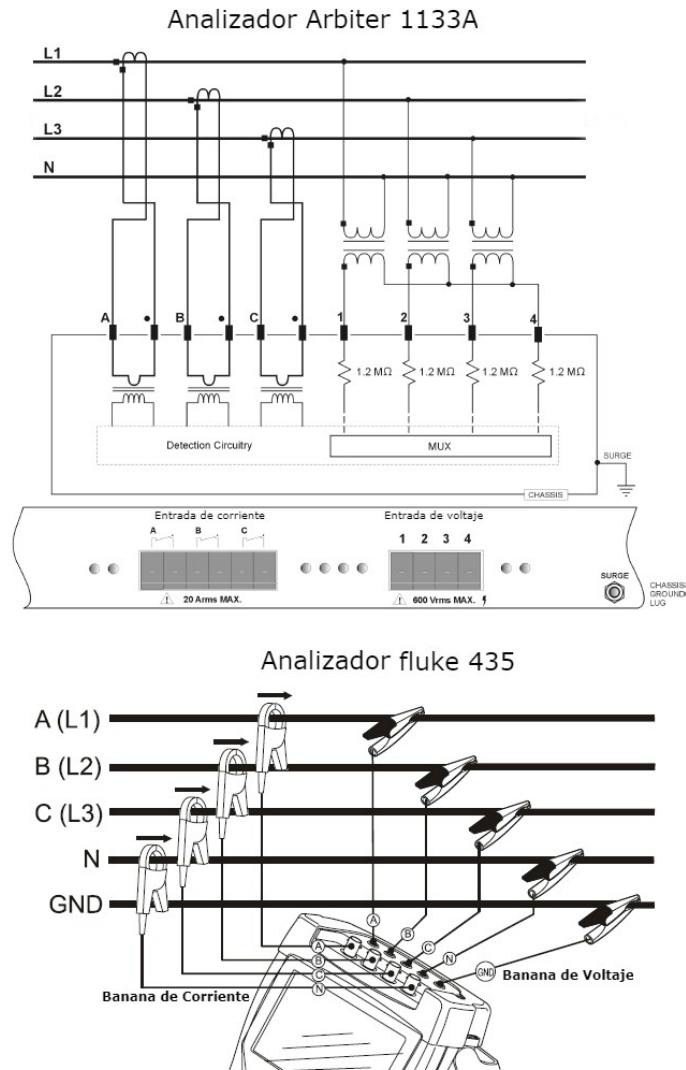


Fuente: https://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a_manual.pdf. Consulta 2 de octubre de 2018.

5.5.2. **Entrada de tensión y de corriente**

De igual manera que el Arbiter 933A, ambos analizadores soportan una tensión máxima de 600 Vrms y una corriente máxima de 20 Arms. El diagrama de conexión de cada equipo es muy semejante en ambos tal como se muestra en la figura 41.

Figura 41. Diagrama de conexión



Fuente: https://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a_manual.pdf. Consulta 2 de octubre de 2018.

5.5.3. Descarga de datos en ambos analizadores

La descarga de datos en el fluke 435 se hace a través del software *Power Log Classic*, se puede extraer el fichero completo de todos los parámetros

Como se observó, el analizador Arbiter 1133A supera considerablemente al fluke 435, ya que fue diseñado para monitoreo constante sobre los parámetros de la calidad y no solamente para realizar un estudio de calidad como el fluke durante un periodo de tiempo.

5.6. Comparación entre el analizador Arbiter 1133A y el fluke 435

Si bien es cierto ambos analizadores son de clase A, existe una diferencia en capacidad y exactitud entre ambos.

La importancia de la medición precisa de la energía cada vez es más relevante para las empresas, para llevar a cabo este cometido se debe de conocer el estado actual del sistema de potencia a través de un estudio de calidad de energía eléctrica del sistema, realizado por un equipo eficiente y con un margen de error mínimo.

Una diferencia bastante marcada entre ambos el arbiter 1133A y el fluke 435 es que, el primero tiene la capacidad de medir sincrofasores. Un sincrofasor utiliza una referencia de tiempo común para sincronizar medidas múltiples de puntos remotos en la red eléctrica, el sincrofasor está considerado como uno de los más importantes dispositivos en el futuro de sistemas de energía eléctrica, en cambio el fluke 435 se limita a realizar el análisis de calidad de energía basado en el estándar EN 50160.

A continuación se resumen los parámetros más relevantes entre ambos analizadores.

Tabla XXXIII. Tabla comparativa del Arbiter 1133A y fluke 435

Descripción	Arbiter 1133A	Fluke 435
Entrada de corriente	Entrada trifásica de corriente la cual está diseñada para tener una precisión de unos pocos pulsos por segundo (ppm) bajo cualquier tiempo y temperatura.	Entrada trifásica de corriente.
Entrada de voltaje	Esta entrada puede ser configurada trifásica, tres elementos, con cuatro conexiones (A, B, C, y optativo N).	Entrada trifásica de voltaje.
Autocalibración	Estas entradas están diseñadas para proveer estabilidad sobre tiempo y temperatura a través del uso componentes de alto desempeño.	Lo hace de manera automática.
Potencia y energía	Son determinadas haciendo veinte mediciones separadas por segundo del producto cruz de voltaje y corriente para cada fase.	Lo determina según lo estipulado por la Norma EN 50160.
Fase y frecuencia	Realiza una transformada rápida de Fourier (FFT) de las muestras de las ventanas de voltaje y corriente. De acuerdo con la Norma IEC 61000-4-7	Lo determina conforme lo estipulado en el estándar EN 50160.
Armónicas	Son medidas utilizando una ventana de traslape de FFT de 1024 muestras y una ventana de 100 ms de largo.	Utilice la tendencia para el registro de armónico a lo largo del tiempo.
<i>Flicker</i>	Es medido de acuerdo con estándar IEC 61000-4-15, la norma sucesora del estándar IEC 868.	Es medido conforme lo que establece el estandar IEC 61000-4-15.
Interrupciones	Son monitoreadas en las entradas de voltaje comparando las 20 mediciones de voltaje por segundo con un umbral prefijado por el usuario.	La duración puede variar de medio ciclo a unos segundos conforme se define en IEC 61000-4-30.
Medición de fasores	La data de fasores es formateada y extraída de acuerdo al estándar de la IEEE 1344-1995.	No registra
Balance de fase	Calcula la secuencias simétricas de las componentes (secuencias positivas, negativas y ceros) para las entradas trifásicas de voltaje.	Lo determina conforme lo estipulado en el estándar En 50160.
Balance de carga	Es calculado similarmente al balance de fase, excepto por la corriente de carga.	Se calcula de manera teorica.
Memoria flash y registro de eventos	Incluye 16 megabytes estándares de memoria flash para registro de eventos.	Tabula los eventos existentes.
Interfase Ethernet MMS	Tiene una interfase Ethernet que soporta el naciente estándar para automatización de subestaciones MMS.	No aplica
Sinconización GPS	incluye un receptor GPS de ocho canales el cual provee tiempo a una precisión de una fracción de un microsegundo en cualquier parte del mundo.	No aplica
Proceso de calibración	Calibración de CT's; CT calibrado de referencia, fuentes de excitación de corriente, tecnica de operación de CT.	El analizador lo hace detecta automaticamente.

Fuente: elaboración propia.

5.7. Comparación entre el analizador Arbiter 933A y el fluke 435

Al igual que el analizador Arbiter 1133A la similitud y el comportamiento con el Arbiter 933A es bastante semejante al compáralo con el fluke 435.

Tabla XXXIV. Tabla comparativa del analizador 933A y fluke 435

Descripción	Arbiter 933A	Fluke 435
Portabilidad	Peso total 5,8 kg	Peso total 3,4 kg
Entrada de corriente	Entrada trifásica de corriente la cual está diseñada para tener una precisión de unos pocos pulsos por segundo (ppm).	Entrada trifásica de corriente.
Entrada de voltaje	Esta entrada puede ser configurada trifásica, tres elementos, con cuatro conexiones (A, B, C, y optativo N).	Entrada trifásica 4 (3 fases + neutro) acoplado en CC o CA.
Autocalibración	Estas entradas están diseñadas para proveer estabilidad sobre tiempo y temperatura a través del uso componentes de alto desempeño.	Lo hace de manera automática.
Potencia y energía	Son determinadas haciendo veinte mediciones separadas por segundo del producto cruz de voltaje y corriente para cada fase.	Lo determina según lo estipulado por la Norma EN 50160.
Fase y frecuencia	Realiza una transformada rápida de Fourier (FFT) de las muestras de las ventanas de voltaje y corriente. De acuerdo con la Norma IEC 61000-4-7.	Lo determina conforme lo estipulado en el estándar EN 50160.
Armónicas	2ª a 50ª (50 o 60 Hz) límites estipulados por estándar IEC 61000-4-7, 100ms ventana de datos de superposición. .	Registro de armónico a lo largo del tiempo según estándar EN 50160.
<i>Flicker</i>	Es medido de acuerdo con estándar IEC 61000-4-15, Pst instantaneos.	Es medido conforme el estándar IEC 61000-4-15.
Interrupciones	Aquisición de datos seleccionables, puede ser regulamente adquirido o registrado.	La duración puede variar de medio ciclo a unos segundos según la IEC 61000-4-30.
Medición de fasores	La data de fasores es formateada y extraída de acuerdo al estándar de la IEEE 1344-1995.	No aplica
Balace de fase	Calcula la secuencias simétricas de las componentes (positivas, negativa y ceros) para las entradas de voltaje.	Lo determina conforme lo estipulado en el estándar EN 50160 e IEC 61000-4-30.
Balace de carga	Es calculado similarmente al balace de fase, excepto por la corriente de carga del cliente.	Se calcula de manera teorica.
Memoria flash y registro de eventos	Incluye 16 megabytes estándares de memoria flash para registro de eventos.	Tabula los eventos existentes.
Desviación del sistema de tiempo	Error acumulado de un reloj usando el sistema de frecuencia como referencia.	No lo registra
Sincozación GPS	Incluye un receptor GPS de ocho canales el cual provee tiempo a una precisión de una fracción de un microsegundo.	No aplica

Fuente: elaboración propia.

5.8. Conclusiones sobre la comparación entre el analizador Arbiter 1133A, 933A Versus el analizador fluke 435

Después de observar las especificaciones resumidas en las tablas XXIII y XXIV se concluye que ambos analizadores de la marca Arbiter son semejantes ya que se rigen por las Normas IEEE C37.188 y IEEE 1344 que se complementan entre si y definen los parámetros de sistemas de potencia y análisis de sincrofasores. Ambos analizadores permiten realizar un estudio con una alta precisión a pesar de que los tres analizadores son de clase A los de marca Arbiter nos ofrece una precisión mejor que el 0,1 % de que ofrece el fluke.

El analizador Arbiter 1133A es utilizado regularmente para monitorear o detectar algún posible problema en un sistema de potencia, por su capacidad y cualidades se deja instalado dentro del panel de control, pudiendo observar en cualquier momento los parámetros vía GPS (ya que este analizador tiene incorporado internamente un sistema de GPS).

El analizador Arbiter 933A tiene la cualidad de ser portátil como lo es el fluke 435 y posee GPS no incorporada internamente, pero si como un accesorio externo, el cual permite monitorear e inclusive parametrizar algún dato que se requiera de manera satelital.

Definitivamente lo que diferencia a estos dos analizadores (Arbiter 1133A y Arbiter 933A) del analizador utilizado en el estudio de calidad de energía y eficiencia energética de la Biblioteca Central, que fue el fluke 435 clase A, es las unidades de medición fasorial (PMU), el cual es un recurso tecnológico que acredita con gran precisión el estado dinámico del sistema eléctrico de potencia.

Los avances tecnológicos y las investigaciones en este campo, permiten mediante las PMU (Phasor Measurement Units), la obtención de fasores de tensiones y corrientes de forma sincronizada.

Para poder comprender mejor es importante recordar el concepto de fasor, el cual indica que un fasor es un número complejo asociado con una onda sinusoidal, y la magnitud de este directamente proporcional a la magnitud de la onda sinusoidal. Este concepto decimos que el sincrofasor; no es más que un fasor sincronizado y se define como un fasor calculado a partir de muestras de datos mediante una señal de tiempo como referencia para la medición.

Al mencionar unidad de medición fasorial (PMU) se refiere al elemento en el cual está basado el sistema de medición fasorial. La PMU obtiene los datos de los bobinados secundarios de los transformadores de potencia y de corriente, los procesa y obtiene los fasores de tensión y de corriente.

Los analizadores de marca Arbiter pueden lograr una mejora en la calidad de energía eléctrica, control y supervisión del sistema, como también tiene la capacidad de registrar los eventos sincronizados vía GPS.

A pesar de las limitantes que el fluke 435 clase A, posee a comparación de las especificaciones de los analizadores marca Arbiter como se observó en las tablas comparativas, es aceptable para realizar un estudio de calidad de energía, para conocer en términos generales como está el sistema eléctrico y así programar mantenimiento predictivo y/o preventivo e inclusive corregir algún inconveniente puntual, ahora si se necesita corregir algún error, crítico, en tiempo real o vía control retomo, se recomienda optar por la utilización del analizador Arbiter 933A por su capacidad y precisión, aunque también el fluke 435 clase A, se le puede comprar el accesorio de GPS.

Una de las informaciones más relevantes es la distribución de los fasores de tensión y de corriente. Conocer en tiempo real y no simplemente estimado el valor de los fasores en cualquier punto del sistema, esto permitiría mejorar la capacidad de respuesta de los operadores y permitiría el desarrollo de sistemas de prevención, de inestabilidad y de respuesta automática más rápido y eficaz, es por ello que si se cuenta con el equipo ya sea Arbiter 933A o 1133A se debería de utilizar.

CONCLUSIONES

1. Por medio del análisis de la calidad de energía realizado durante el periodo de medición, se determina que la calidad de la energía suministrada por la empresa distribuidora al edificio, cumple en un porcentaje aceptable con los límites permisibles por norma.
2. Se comprobó que el pliego tarifario de cobro actual cumple con los requisitos establecidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, el cual establece ofrecer el pliego tarifario de menor costo para el usuario.
3. Se midió el valor de la resistencia de puesta a tierra actual y se concluyó que dicho valor está en el rango permisible para edificios estipulado por norma.
4. De las visitas al panel principal de la Biblioteca Central se observó la carencia de un programa de mantenimiento, esto es un problema ya que los conductores y los dispositivos de protección están expuestos a polvo, el cual a largo plazo reduce la vida útil de estos.
5. La medición que se realizó con el luxómetro en cada ambiente y nivel de la Biblioteca Central, indicó un nivel de intensidad de iluminación deficiente, con lo estipulado en la Norma EN 12464.1

RECOMENDACIONES

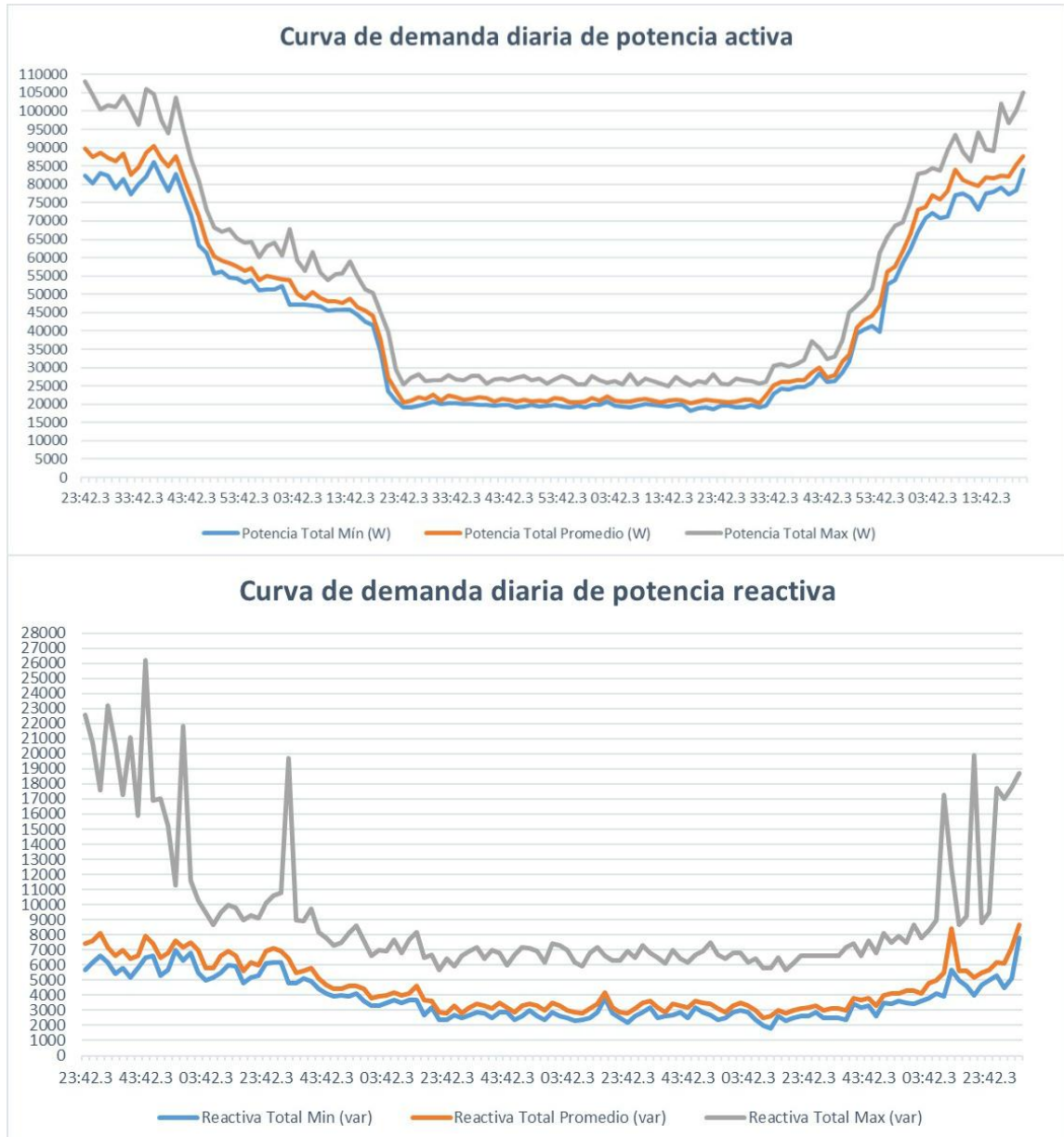
1. Implementar un programa de mantenimiento predictivo y preventivo al sistema eléctrico y también programar las pruebas de rutina al transformador tipo pad mounted, para evitar en el futuro realizar acciones correctivas que conlleva a gastos económicos más elevados.
2. Implementar un programa de identificación de circuitos en cada tablero existente, con el propósito de solucionar de manera rápida cualquier percance que surja.
3. Se recomienda un cambio de posición en el cambiador de tomas más conocidos como Tap (sin carga) del transformador, con el propósito de mejorar la regulación del sistema eléctrico en general de la instalación. El análisis de esto se describió en capítulo cuatro de este documento.
4. Se debe planificar una remodelación al sistema de iluminación ya que la Biblioteca Central es un área de lectura, por lo que se debe de tener una intensidad de luxes adecuada, y esto solo se logra realizando un cambio de luminarias, tubos y balastos, o también implementando iluminación led, si se opta por esta última opción es necesario realizar un análisis de distorsión armónica.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene. *Manual del Ingeniero Eléctrico*. 9a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1997. 578 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica del Servicio de Distribución, NTSD*. Guatemala: CNEE, 2003. 114 p.
3. MARROQUIN JUÁREZ, *Josué René*. *Procedimiento para el estudio de la calidad de la potencia eléctrica en el sector textil de Guatemala para reducción de costos de operación y mantenimiento en esta industria*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 143 p.
4. Norma Internacional IEC-2015 61000-4-30. 73 p.
5. SOTO SALGUERO, Francisco Javier. *Análisis de los aspectos e índices de la distorsión armónica considerados en las normas técnicas del servicio de distribución de energía eléctrica de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, octubre 2014. 206 p.
6. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Dirección de Asuntos Jurídicos, Leyes y Reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, 2009. 32 p.

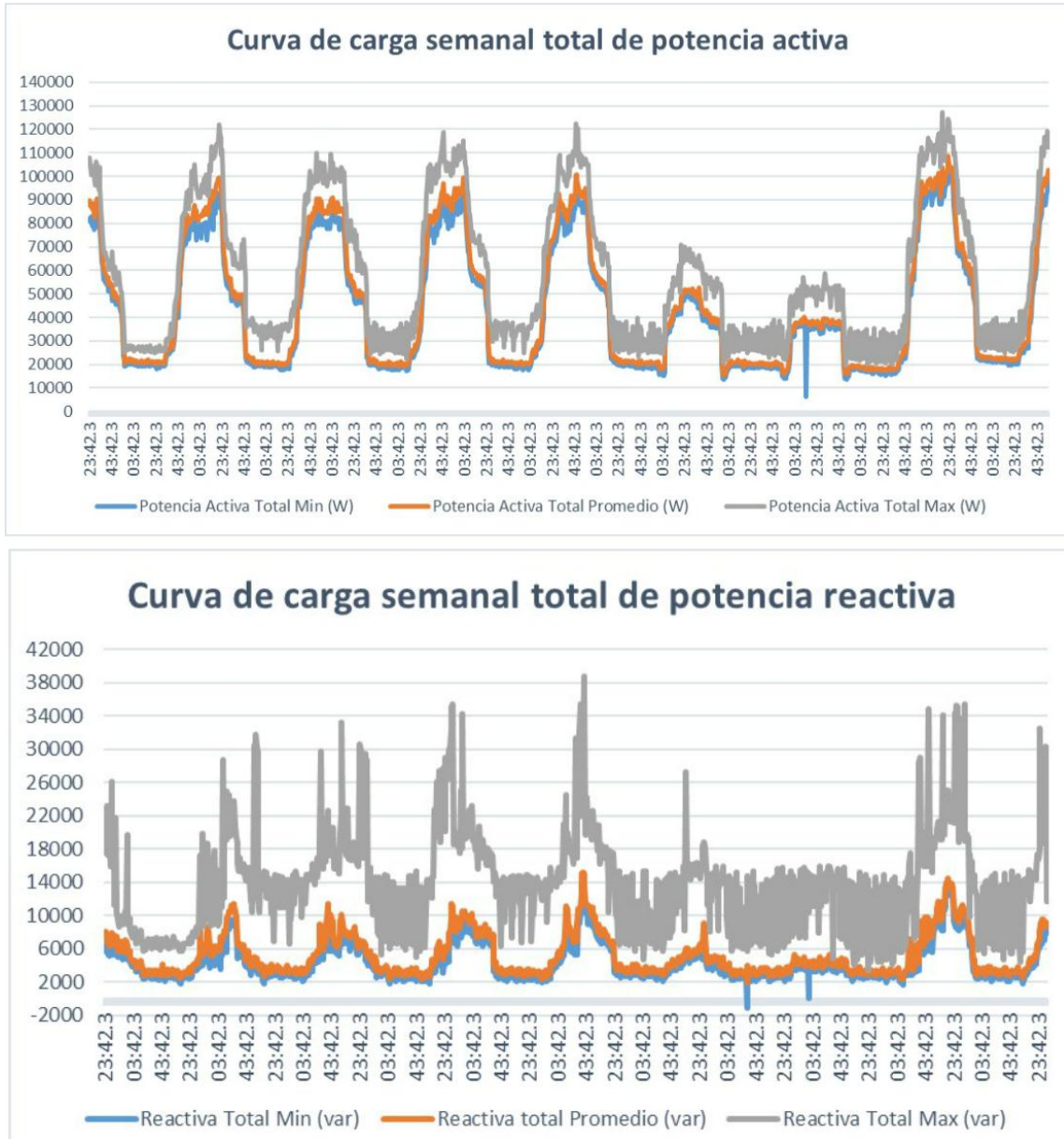
ANEXOS

Anexo 1. Curva de demanda diaria de potencia activa y reactiva



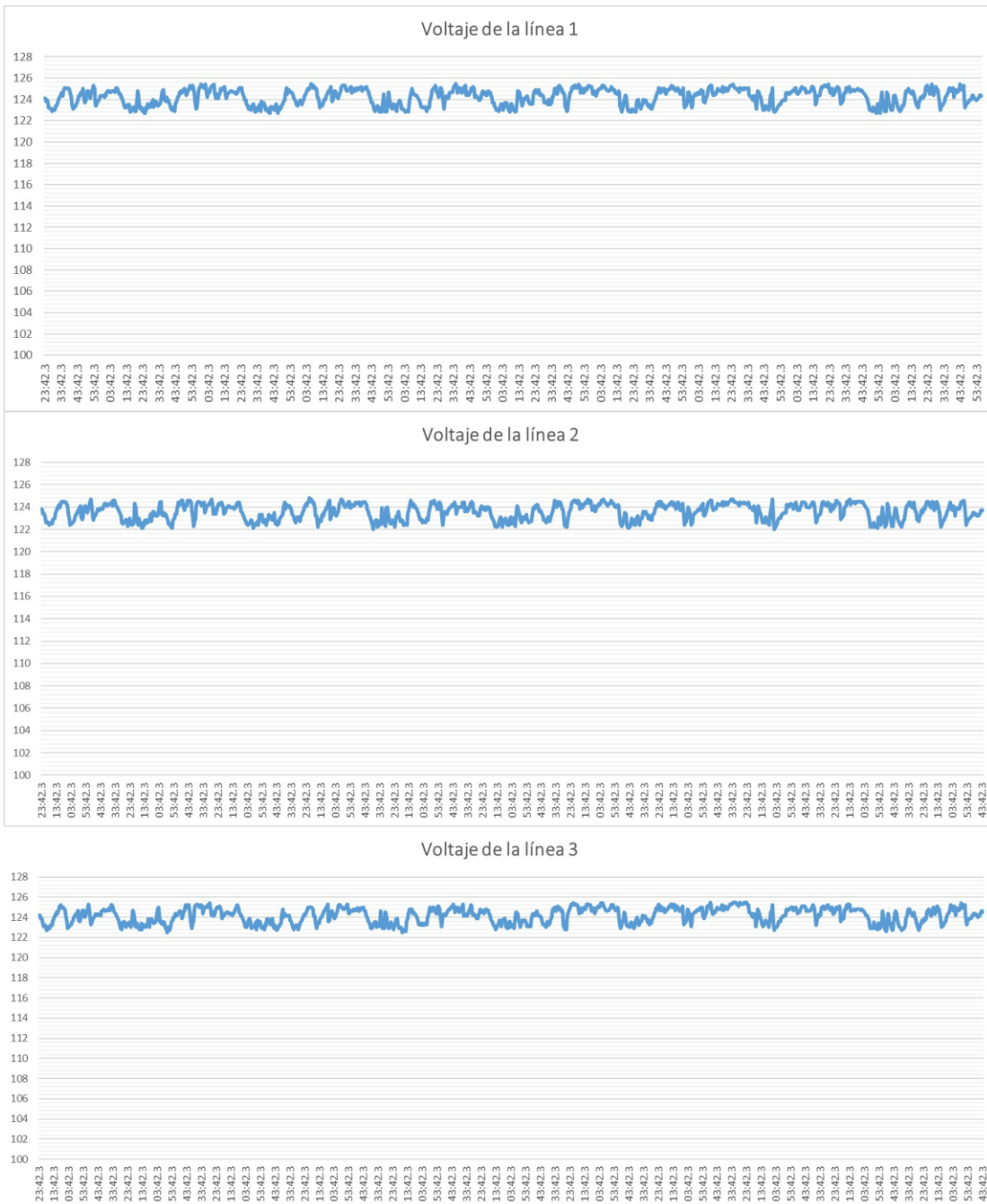
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 2. Curva de demanda semanal de potencia activa y reactiva



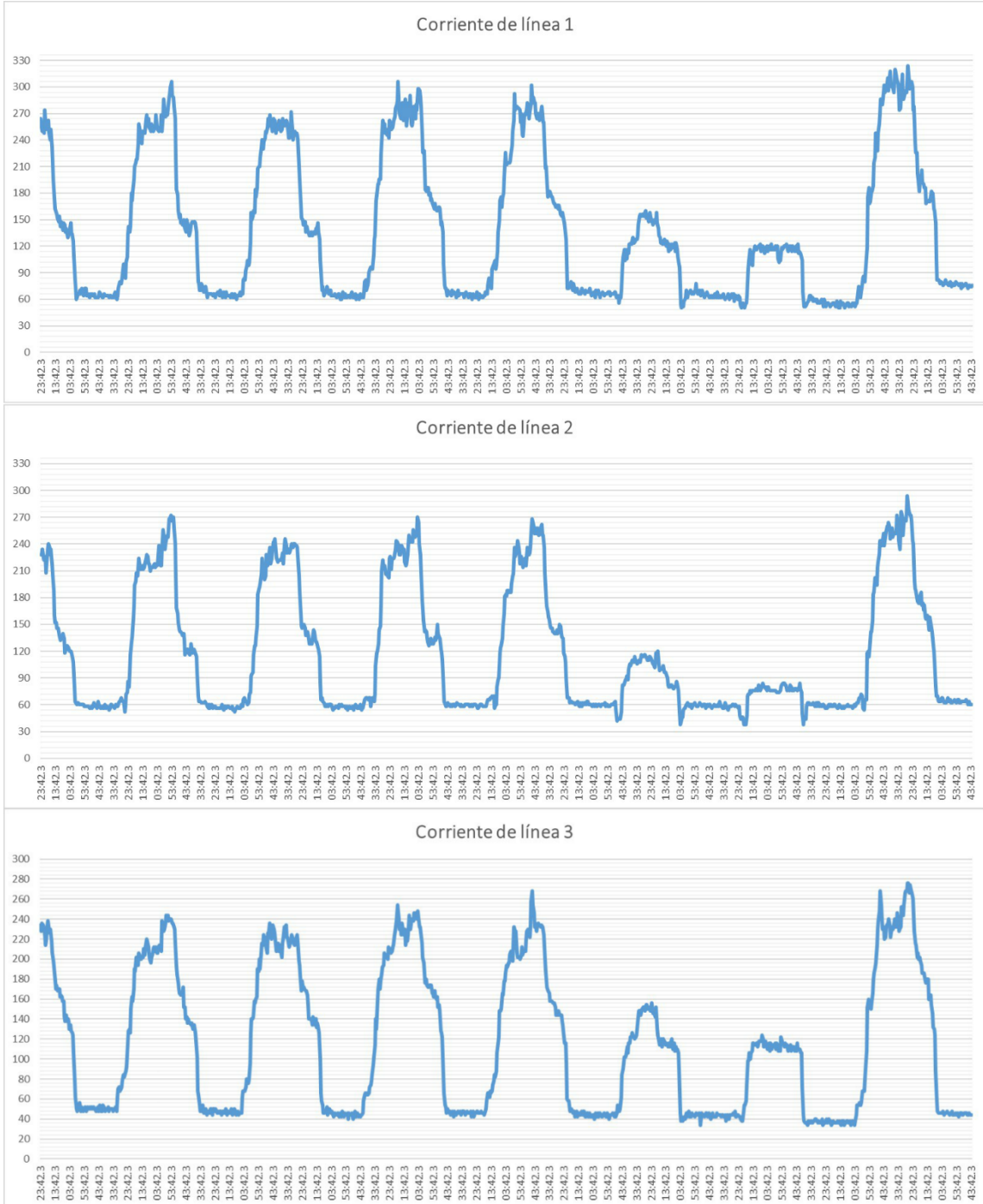
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 3. Voltajes de cada línea



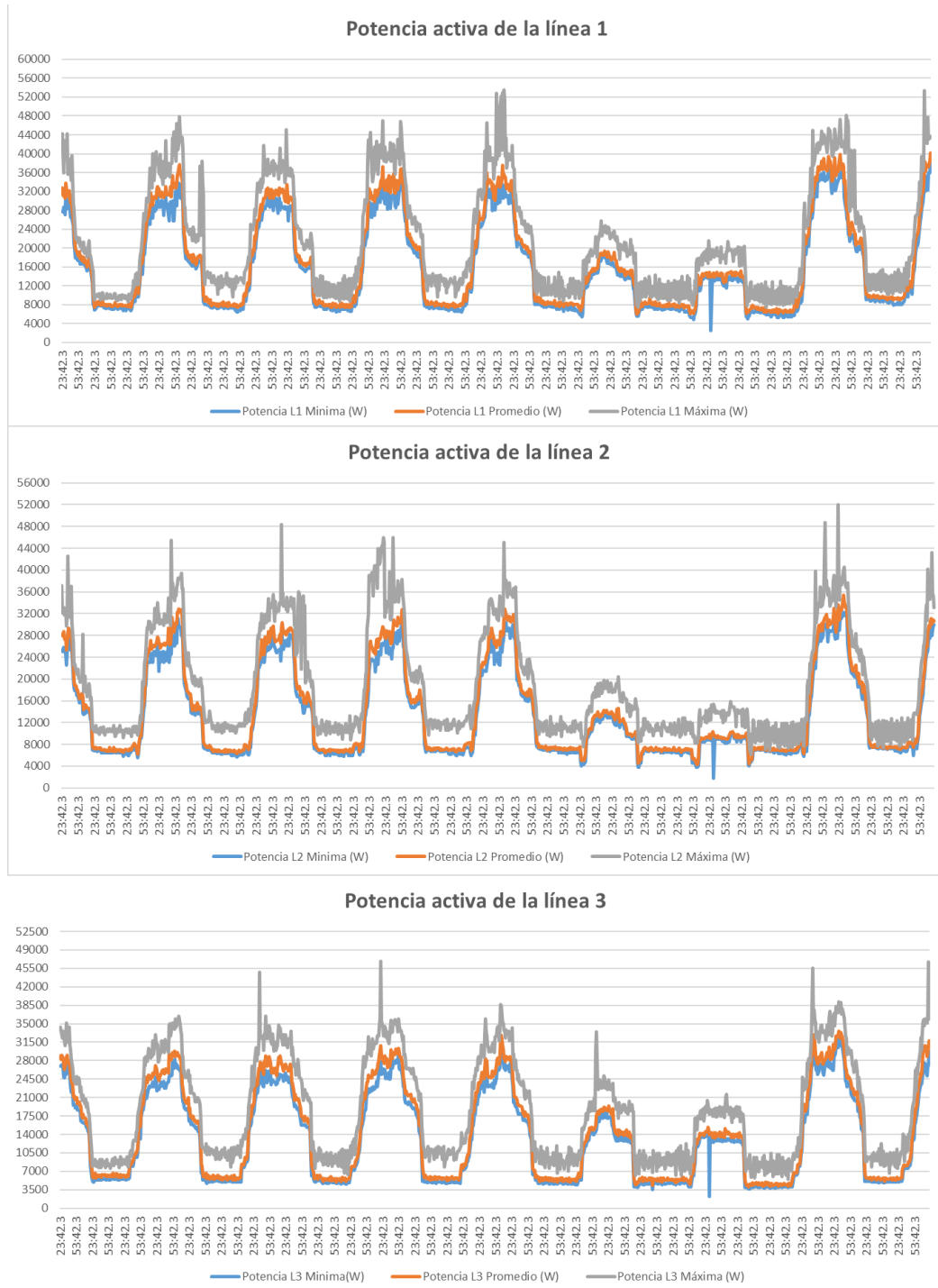
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 4. Corrientes de cada línea



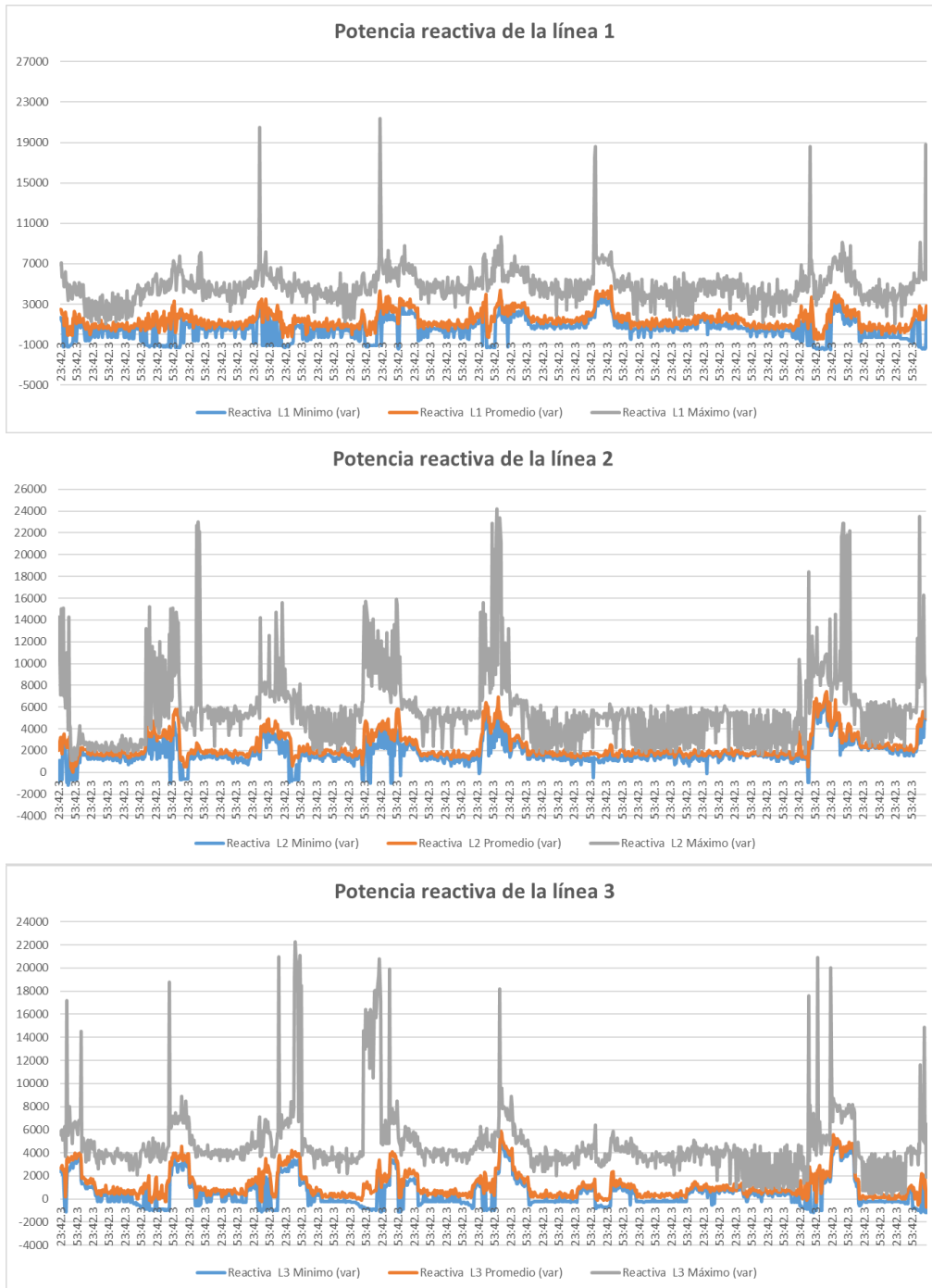
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 5. Potencia activa de cada línea



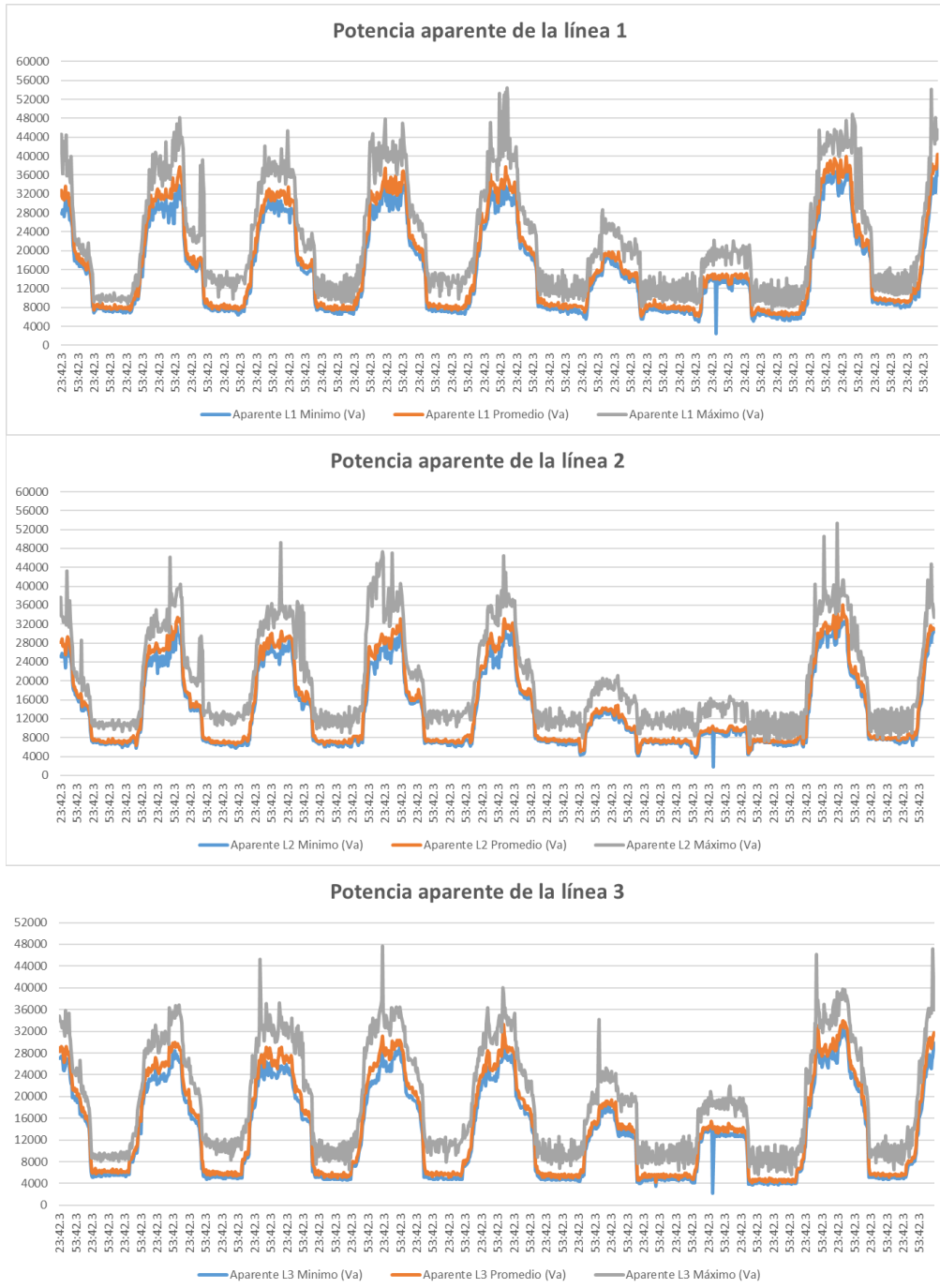
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 6. Potencia reactiva de cada línea



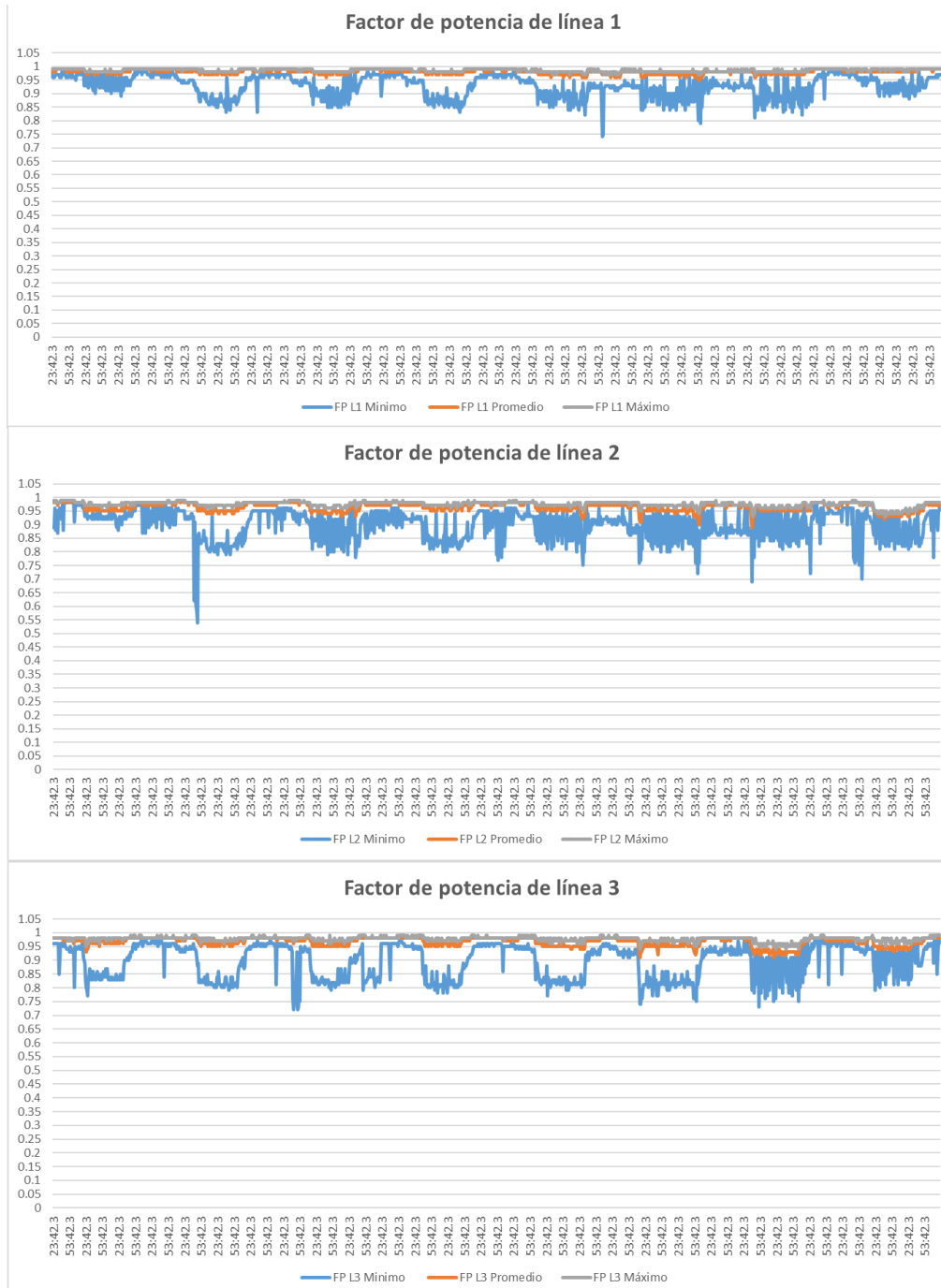
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 7. Potencia aparente de cada línea



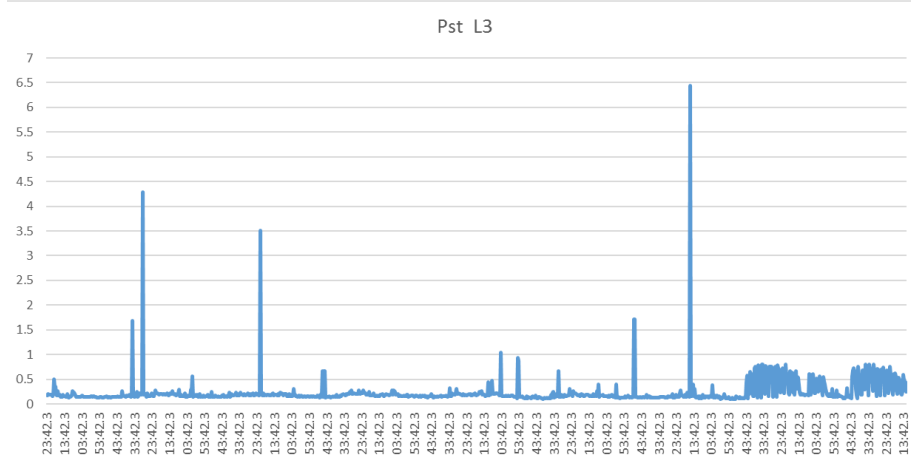
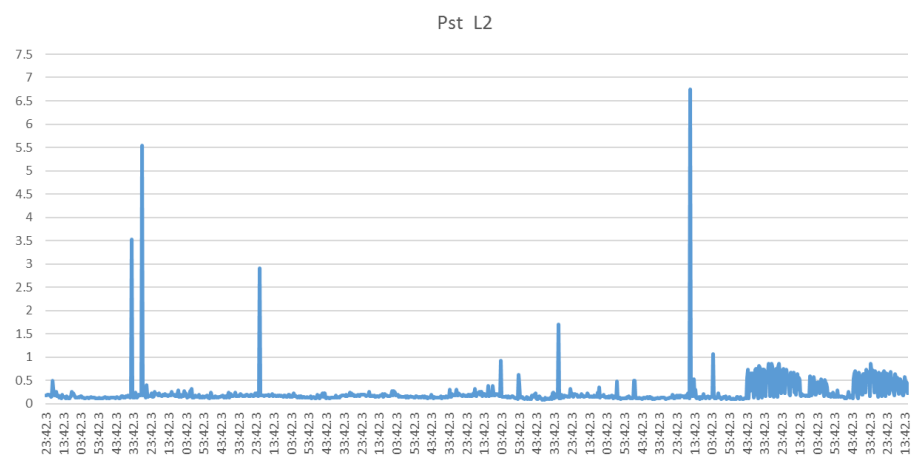
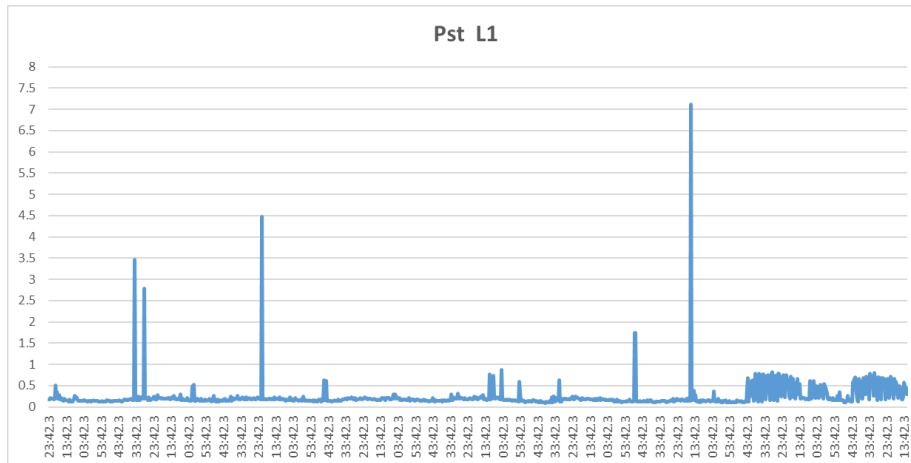
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 8. Factor de potencia de cada línea



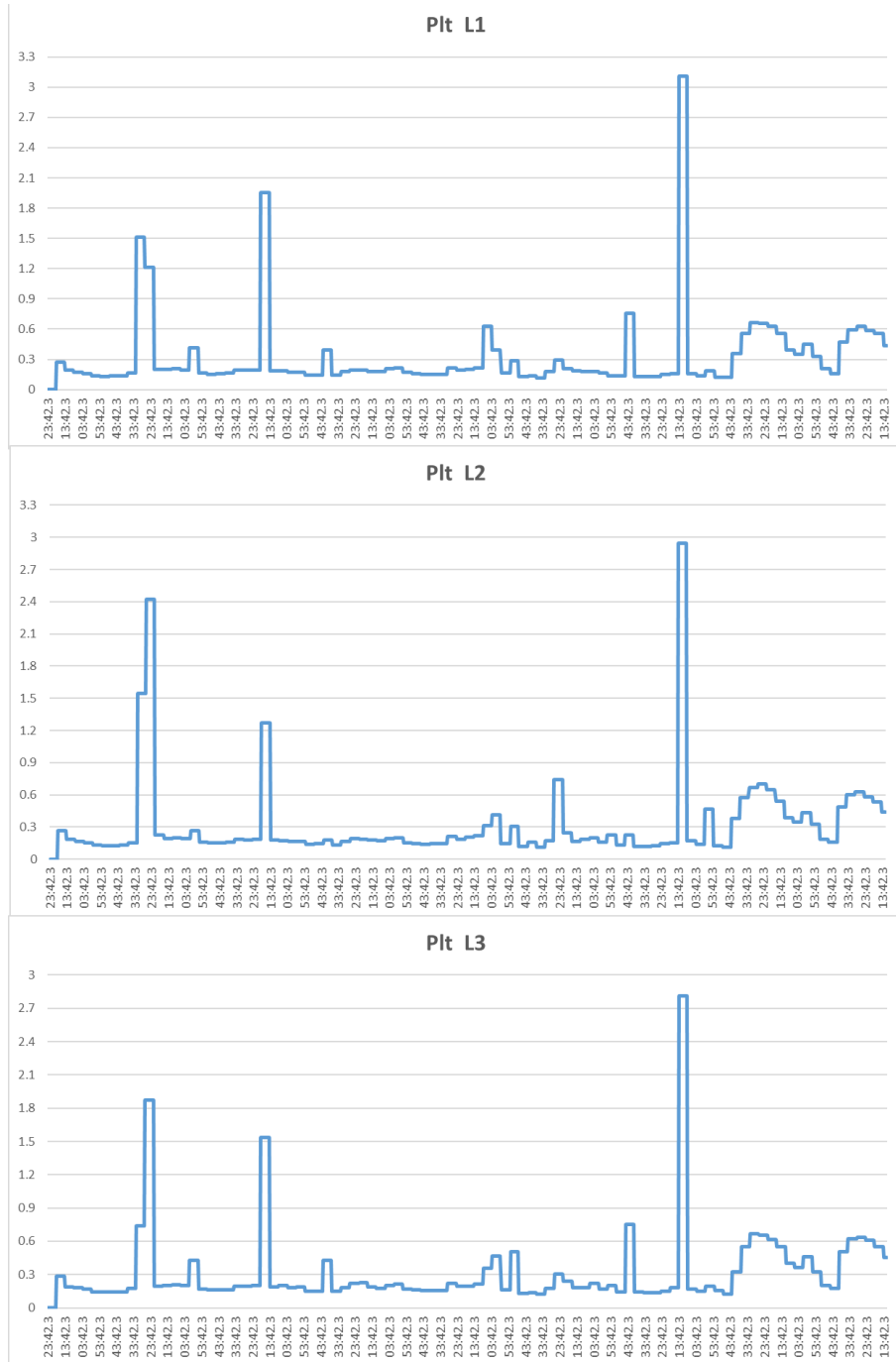
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 9. *Flicker* según el índice Pst



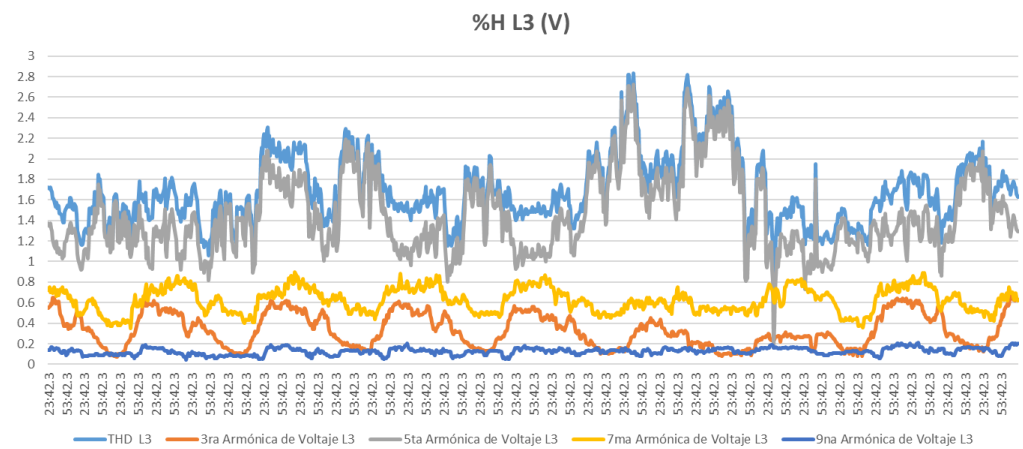
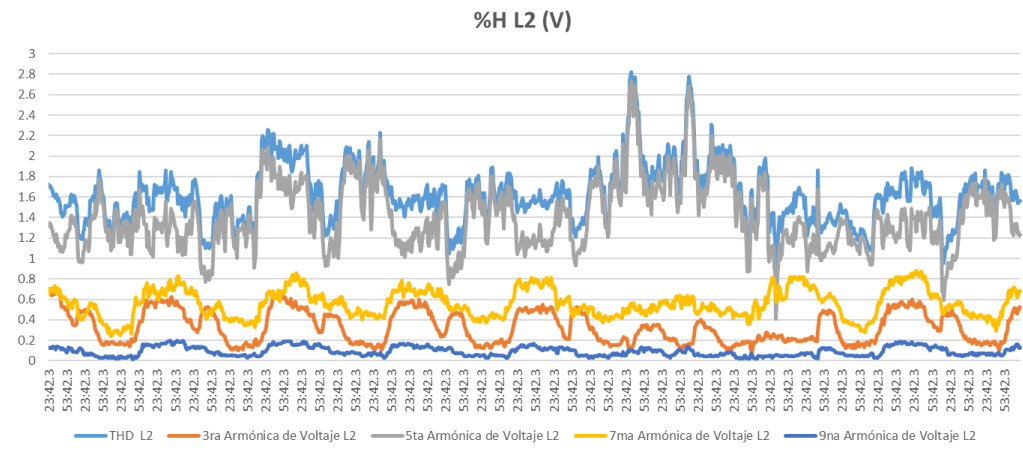
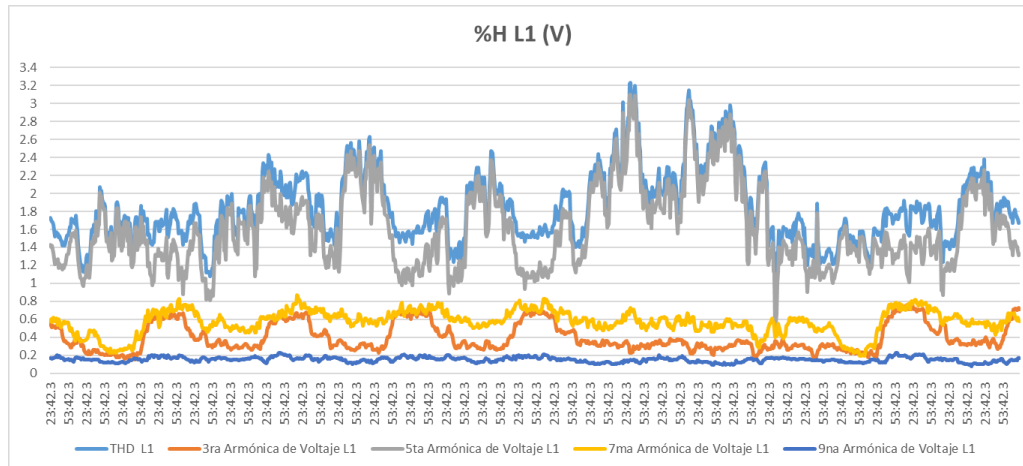
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 10. *Flicker* según el índice Plt



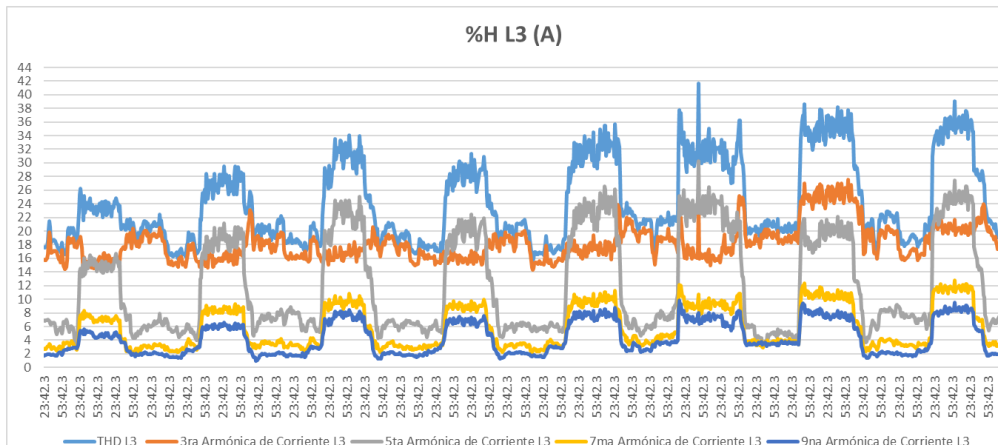
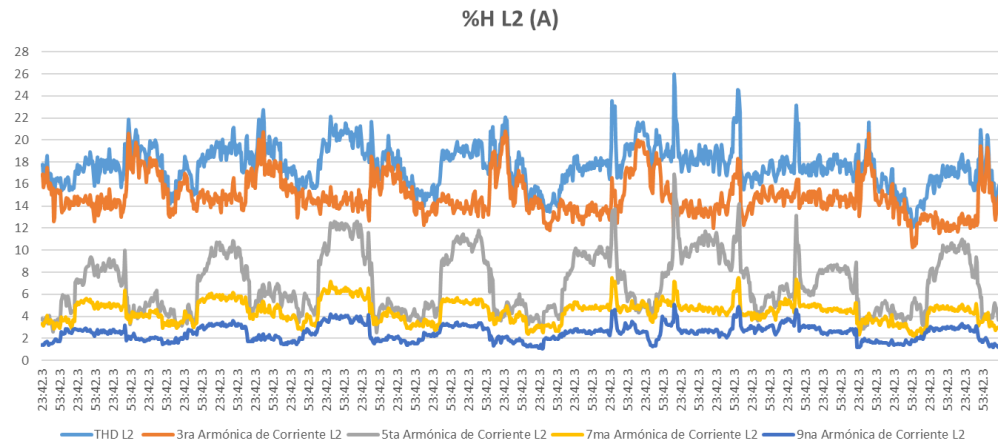
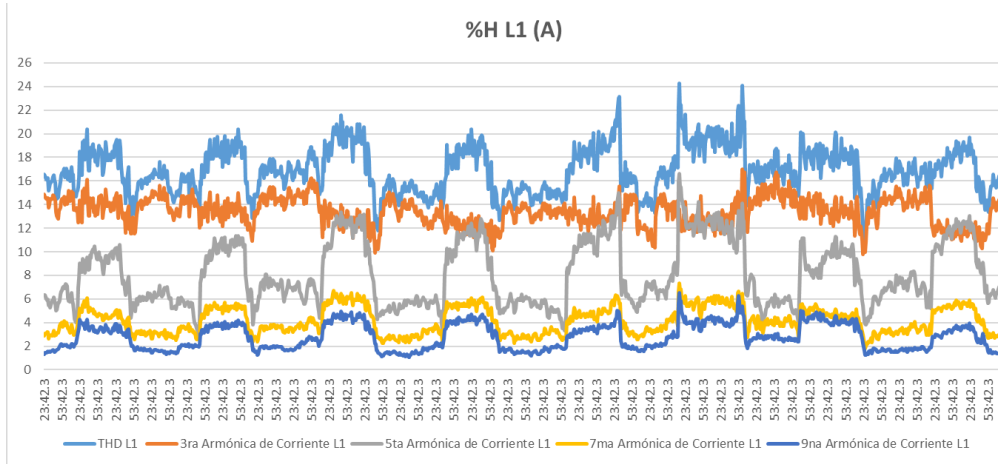
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 11. Distorsión armónica de voltaje de cada línea



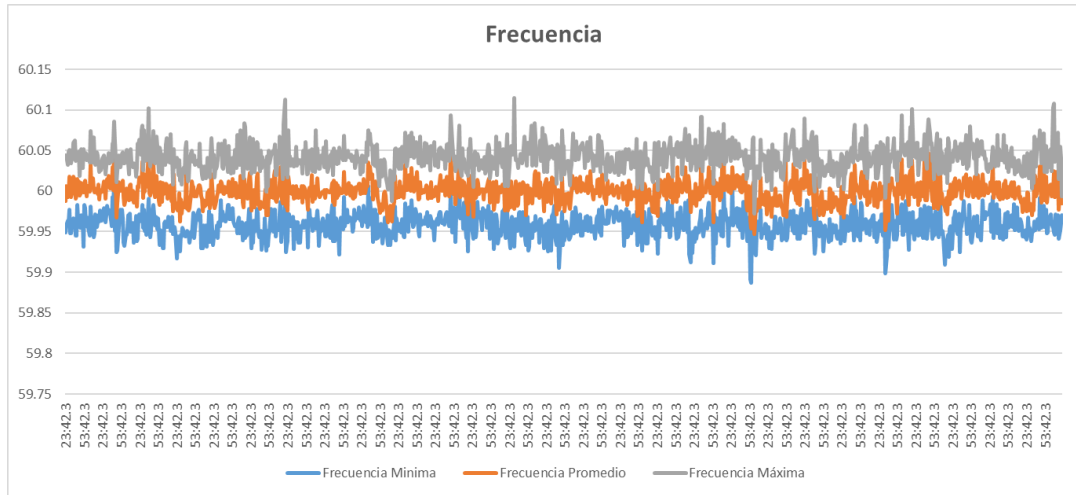
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 12. Distorsión armónica de corriente de cada línea



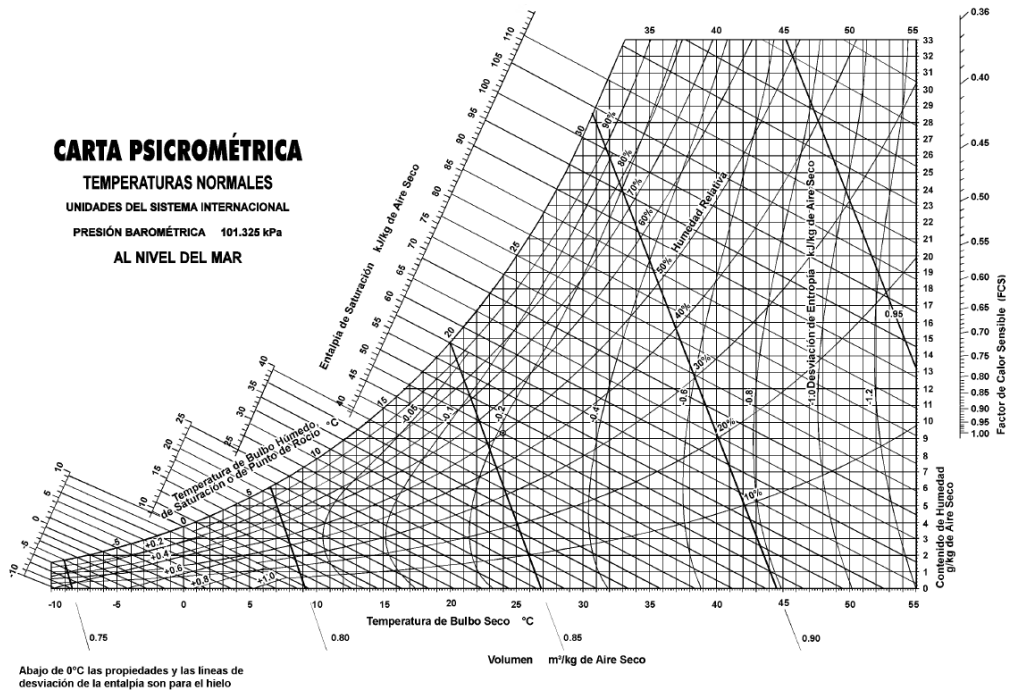
Fuente: software de fluke 435.

Anexo 13. Frecuencias



Fuente: software de fluke 435.

Anexo 14. Carta psicrométrica



Fuente: <http://psicroup.blogspot.com/2015/02/carta-psicrometrica.html>. Consulta: 20 de mayo.

Anexo 15. Certificado de calibración del analizador Fluke 435

PSL
Power Standards Lab
1201 Marina Village Parkway #101
Alameda, CA 94501 USA
TEL ++1-510-522-4400
FAX ++1-510-522-4455
www.PowerStandards.com

Certificate of Conformity

IEC 61000-4-30 Class A


Fluke 435
equipped with Fluke GPS430 GPS Sync Module

IEC 61000-4-30 Ed. 1 with Corrigendum 1
230V, 50/60 Hz, L-N Udin

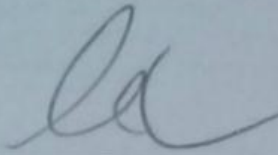
61000-4-30 Section	Power Quality Parameter	Class A Compliance	Class B Compliance	Remarks
5.1	Power frequency	Yes	Yes	
5.2	Magnitude of the supply voltage	Yes	Yes	
5.3	Flicker	Yes	(N/A)	
5.4	Supply voltage dips and swells	Yes	Yes	
5.5	Voltage interruptions	Yes	Yes	
5.7	Supply voltage unbalance	Yes	Yes	
5.8	Voltage harmonics	Yes	Yes	
5.9	Voltage interharmonics	Yes	Yes	
5.10	Mains signaling voltage	Yes	(N/A)	
5.12	Underdeviation and overdeviation	-	(N/A)	Test not requested by customer.
4.4	Measurement aggregation intervals	Yes	Yes	
4.6	Time-clock uncertainty	Yes	Yes	
4.7	Flagging	Yes	(N/A)	
6.1	Transient influence quantities	Yes	(N/A)	

(N/A) – Not Applicable. There is no requirement in the Standard.

This Statement summarizes the results of the PSL IEC 61000-4-30 Power Quality Measurement Methods Compliance Report, document # PSL FLUKE-003-30b, dated 05/17/07. PSL tested one sample, S/N DM9271009. Manufacturer states that this sample is representative of the 435 series.



Fluke 435



Alex McEachern 03 July 2007
Alex@PowerStandards.com

Statement of IEC 61000-4-30 Compliance rev 01 027/03/2007

Fuente: certificado de fluke 435.

Anexo 16. Tolerancias para la distorsión armónica de tensión

Orden de la armónica (n)	Distorsión armónica individual de tensión, DAIT (%)	
	Baja y media tensión V<=60KV	Alta tensión 60KV<V<=230KV
Impares no múltiplos de 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
>25	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2
Pares		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
>12	0.2	0.2
DATT (%)	8.0	3.0

Fuente: Norma Técnica del Servicio de Distribución (NTSD). Página 21, 22.

Anexo 17. **Tabla de lámparas fluorescentes**

TABLA DE LÁMPARAS FLUORESCENTES				
Producto	Largo		Watts	Lúmenes
F20T12/CW	24"	609.6 mm	20	1240
F20T112/WW	24"	609.6 mm	20	1260
F20T12/D	24"	609.6 mm	20	1075
F30T12/D	24"	609.6 mm	20	1900
F40CW	48"	1219.2 mm	40	3100
F40D	48"	1219.2 mm	40	2700
F40CW/RS/SS	48"	1219.2 mm	34	2775
F40WW/RS/SS	48"	1219.2 mm	34	2825
F40D/RS/DD	48"	1219.2 mm	34	2350
F48T12/CW	48"	1219.2 mm	39	2940
F48T12/D	48"	1219.2 mm	39	2500
F48T12/CW/SS	48"	1219.2 mm	32	2550
F72T12/CW	72"	1828.8 mm	55	4500
F72T12/D	72"	1828.8 mm	55	3900
F96T12/CW	96"	2438.4 mm	75	6300
F96T12/WW	96"	2438.4 mm	75	6400
F96T12/D	96"	2438.4 mm	75	5400
F96T12/CW/SS	96"	2438.4 mm	60	5400
F96T12/WW/SS	96"	2438.4 mm	60	5500
F96T12/D/SS	96"	2438.4 mm	60	4700

Fuente: Carlos Arriaga, Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas.

Anexo 18. **Tabla de coeficiente de utilización K**

DISTR. TÍPICA	TECHO	CLARO		SEMICLARO		CLARO	
	Pared	Claro	Semi claro	Claro	Oscuro	Claro	Oscuro
	Piso	Oscuro		Claro		Semiclaro	
	RR						
Luz indirecta I	0.6	0.27	0.21	0.17	0.11	0.28	0.22
	1.0	0.39	0.33	0.26	0.28	0.42	0.35
	2.0	0.55	0.49	0.36	0.29	0.60	0.52
	3.0	0.61	0.56	0.40	0.34	0.69	0.62
	5.0	0.68	0.64	0.44	0.39	0.78	0.72
Luz Semi- indirecta SI	0.6	0.24	0.19	0.17	0.11	0.24	0.19
	1.0	0.35	0.30	0.26	0.19	0.37	0.31
	2.0	0.49	0.44	0.36	0.29	0.53	0.47
	3.0	0.55	0.50	0.40	0.34	0.61	0.55
	5.0	0.60	0.57	0.45	0.39	0.68	0.63
Luz Semi- directa SD	0.6	0.34	0.28	0.31	0.24	0.35	0.29
	1.0	0.48	0.42	0.44	0.36	0.50	0.43
	2.0	0.64	0.59	0.58	0.51	0.69	0.62
	3.0	0.70	0.66	0.63	0.57	0.78	0.72
	5.0	0.75	0.72	0.68	0.63	0.86	0.81
Luz Difusión general G	0.6	0.26	0.21	0.23	0.16	0.27	0.22
	1.0	0.38	0.33	0.33	0.26	0.40	0.34
	2.0	0.53	0.48	0.44	0.38	0.57	0.51
	3.0	0.59	0.55	0.49	0.44	0.65	0.59
	5.0	0.64	0.61	0.54	0.49	0.73	0.68
Luz Directa D	0.6	0.34	0.28	0.33	0.24	0.35	0.28
	1.0	0.49	0.42	0.47	0.37	0.51	0.43
	2.0	0.65	0.60	0.63	0.55	0.71	0.64
	3.0	0.72	0.67	0.69	0.63	0.80	0.74
	5.0	0.78	0.75	0.75	0.71	0.89	0.85

Fuente: Carlos Arriaga, Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas.

Anexo 19. Coeficiente de reflexión

	COLOR	COEFICIENTE DE REFLEXIÓN %
Claros	Blanco	75 – 85
	Marfil	70 – 75
	Colores pálidos	60 – 70
Semiclarios	Amarillo	55 – 65
	Café claro	45 – 55
	Verde Claro	40 – 50
	Gris	30 – 50
Oscuros	Azul	25 – 35
	Rojo	15 – 20
	Café oscuro	10 - 15

Fuente: Carlos Arriaga, Manual para el laboratorio de instalaciones eléctricas.

Anexo 20. Norma UNE 12464.1

2. EDIFICIOS EDUCATIVOS						
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _l	R _a	OBSERVACIONES	
2.1	AULAS, AULAS DE TUTORIA	300	19	80	· La iluminación debería ser controlable.	
2.2	AULAS PARA CLASES NOCTURNAS Y EDUCACIÓN DE ADULTOS	500	19	80	· La iluminación debería ser controlable.	
2.3	SALA DE LECTURA	500	19	80	· La iluminación debería ser controlable.	
2.4	PIZARRA	500	19	80	· Evitar reflexiones especulares.	
2.5	MESA DE DEMOSTRACIONES	500	19	80	· En salas de lectura 750 lux.	
2.6	AULAS DE ARTE	500	19	80		
2.7	AULAS DE ARTE EN ESCUELAS DE ARTE	750	19	90	· T _{cp} ≥ 5.000K.	
2.8	AULAS DE DIBUJO TÉCNICO	750	16	80		
2.9	AULAS DE PRÁCTICAS Y LABORATORIOS	500	19	80		
2.10	AULAS DE MANUALIDADES	500	19	80		
2.11	TALLERES DE ENSEÑANZA	500	19	80		
2.12	AULAS DE PRÁCTICAS DE MÚSICA	300	19	80		
2.13	AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA	300	19	80		
2.14	LABORATORIOS DE LENGUAS	300	19	80		
2.15	AULAS DE PREPARACIÓN Y TALLERES	500	22	80		
2.16	HALLS DE ENTRADA	200	22	80		
2.17	ÁREAS DE CIRCULACIÓN, PASILLOS	100	25	80		
2.18	ESCALERAS	150	25	80		
2.19	AULAS COMUNES DE ESTUDIO Y AULAS DE REUNIÓN	200	22	80		
2.20	SALAS DE PROFESORES	300	19	80		
2.21	BIBLIOTECA: ESTANTERÍAS	200	19	80		
2.22	BIBLIOTECA: SALAS DE LECTURA	500	19	80		
2.23	ALMACENES DE MATERIAL DE PROFESORES	100	25	80		
2.24	SALAS DE DEPORTE, GIMNASIOS, PISCINAS (USO GENERAL)	300	22	80	· Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la norma EN 12193	
2.25	CANTINAS ESCOLARES	200	22	80		
2.26	COCINA	500	22	80		

Fuente: Norma UNE 12464.1. página 5.

Anexo 21. Presión de saturación a diferentes temperaturas

°C	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
25	31,68	31,86	32,05	32,24	32,44	32,62	32,82	33,01	33,21	33,41
24	29,84	30,01	30,20	30,38	30,56	30,74	30,93	31,12	31,30	31,49
23	28,09	28,26	28,42	28,60	28,77	28,94	29,13	29,30	29,48	29,65
22	26,57	26,60	26,76	26,92	27,09	27,25	27,42	27,58	27,76	27,92
21	24,86	25,02	25,17	25,33	25,48	25,64	25,80	25,96	26,12	26,28
20	23,38	23,52	23,66	23,81	23,96	24,10	24,26	24,41	24,56	24,72
19	21,97	22,10	22,24	22,38	22,52	22,66	22,80	22,94	23,09	23,24
18	20,64	20,76	20,89	21,02	21,16	21,29	21,42	21,56	21,69	21,82
17	19,37	19,49	19,61	19,74	19,86	20,00	20,13	20,25	20,37	20,50
16	18,17	18,29	18,41	18,53	18,65	18,77	18,89	19,01	19,13	19,25
15	17,05	17,16	17,27	17,39	17,49	17,60	17,72	17,83	17,95	18,07
14	15,99	16,08	16,19	16,29	16,40	16,51	16,61	16,72	16,83	16,95
13	14,97	15,07	15,17	15,27	15,37	15,47	15,57	15,68	15,77	15,88
12	14,03	14,12	14,21	14,31	14,40	14,49	14,59	14,68	14,77	14,88
11	13,12	13,21	13,31	13,39	13,48	13,57	13,65	13,75	13,84	13,93
10	12,28	12,46	12,44	12,52	12,61	12,69	12,77	12,87	12,95	13,04
9	11,48	11,56	11,64	11,72	11,79	11,87	11,95	12,03	12,12	12,20
8	10,72	10,80	10,87	10,95	11,03	11,09	11,17	11,25	11,32	11,40
7	10,01	10,08	10,16	10,23	10,29	10,36	10,44	10,51	10,59	10,65
6	9,35	9,41	9,48	9,55	9,61	9,68	9,75	9,81	9,88	9,95
5	8,72	8,79	8,84	8,91	8,97	9,03	9,02	9,16	9,23	9,28
4	8,13	8,19	8,25	8,31	8,36	8,43	8,48	8,55	8,60	8,67
3	7,57	7,63	7,68	7,75	7,80	7,85	7,91	7,96	8,01	8,08
2	7,05	7,11	7,16	7,21	7,27	7,32	7,36	7,41	7,47	7,52
1	6,57	6,61	6,67	6,71	6,76	6,81	6,85	6,81	6,96	7,01
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,28	6,33	6,37	6,43	6,47	6,52

Fuente: <https://blogquimobasicos.com/category/tabla-de-presion-temperatura>. Consulta 20 de mayo 2018.

