



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: "AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL BÁSICO
LATACUNGA. PROPUESTA DE MEJORAS PARA OBTENER UN
EFICIENTE USO ENERGÉTICO"**

AUTORES:

RONALD ALEXIS BONILLA SILVA

WILSON BLADIMIR LLANGANATE QUINATOA

DIRECTOR: ING. GALO ÁVILA

LATACUNGA

2017




DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **"AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL BÁSICO LATACUNGA. PROPUESTA DE MEJORAS PARA OBTENER UN EFICIENTE USO ENERGÉTICO"** realizado por los señores **RONALD ALEXIS BONILLA SILVA Y WILSON BLADIMIR LLANGANATE QUINATO**A, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **RONALD ALEXIS BONILLA SILVA Y WILSON BLADIMIR LLANGANATE QUINATO**A para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 21 de Noviembre del 2017.



ING. GALO ÁVILA.
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

RONALD ALEXIS BONILLA SILVA

WILSON BLADIMIR LLANGANATE QUINATOA

DECLARAMOS QUE:

El trabajo de titulación denominado "**AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL BÁSICO LATACUNGA. PROPUESTA DE MEJORAS PARA OBTENER UN EFICIENTE USO ENERGÉTICO**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos de intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este proyecto es de nuestra autoría, en virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 21 de Noviembre del 2017.

Ronald Alexis Bonilla Silva

C.C.: 0503425399

Wilson Bladimir Llanganate Quinatoa

C.C.: 0502052715



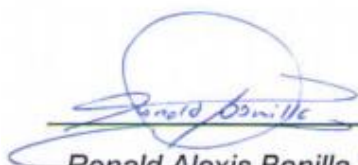
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *RONALD ALEXIS BONILLA SILVA*
WILSON BLADIMIR LLANGANATE QUINATO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL BÁSICO LATACUNGA. PROPUESTA DE MEJORAS PARA OBTENER UN EFICIENTE USO ENERGÉTICO**" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusividad, autoría y responsabilidad.

Latacunga, 21 de Noviembre del 2017.



Ronald Alexis Bonilla Silva
C.C.: 0503425399



Wilson Bladimir Llanganate Quinatoa
C.C.: 0502052715

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis Padres Héctor Bonilla y Martha Silva que han sido mis guías, mis consejeros incondicionales, mis primeros maestros, el pilar fundamental de mi vida para lograr este sueño tan anhelado.

A mis hermanos Jennifer y Fernando que con carisma y amor supieron ayudarme en el trayecto de mis 23 años por la vida, siendo el ejemplo que necesitaba día a día, aquellos que me enseñaron que nada en la vida es fácil y si quieres lograrlo debes luchar por ello.

A mi ángel de la guarda Salomé Cruz, el motor de mi vida, el motivo para continuar con esta etapa, la persona en la cual siempre me encomendé, mi mejor amiga, mi confidente, la persona a quién prometí cumplir este sueño y sé que desde el cielo está orgullosa de mí.

A mi novia Myrka Zavala que llegó en el momento más importante y crucial de mi vida, que ahora lo concluyo gracias a su apoyo y su amor.

A mis amigos Juan Carlos Albán y Karo Ortega que se convirtieron en mi familia desde muy temprana edad y supieron ayudarme en los momentos más críticos de mi vida.

A mi familia y a mi grupo de amigos DKT que de una u otra forma siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

- Ronald Bonilla

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a la hermosa familia que DIOS y la Sagrada Familia en su infinita bondad y sabiduría me brindó, que incluso cuando nos separaban miles de kilómetros nunca dejaron que sienta la soledad y la distancia y que son los principales artífices de iniciar y culminar con éxito este largo pero gratificante proceso, un viejo anhelo de juventud.

A mi padre Julio César cuya inteligencia y habilidad siempre admire, a mi madrecita María pilar fundamental de nuestra familia y apoyo incondicional para alcanzar esta meta y por recordarme que nunca es tarde para cumplir nuestros sueños

A mis hermanos Josue y Nancy; Luis y Liliana; Edwin y Mayte; Julio y Michell; y Betzy, ya que sin su respaldo y ayuda este logro no se hubiera alcanzado y a los que nunca agradeceré lo suficiente.

A mis queridos sobrinos Taty y Junior; Sebastián, Francisco y Doménica; Yamile y Emilio; Rafaela y Antonia, por llenar de alegría nuestro hogar.

A mis amigos de toda la vida por los buenos momentos vividos y los ánimos brindados para alcanzar este objetivo.

Este triunfo es de ustedes.

- Wilson Llanganate

AGRADECIMIENTO

Agradecer infinitamente a Dios por las bendiciones derramadas en nosotros al darnos salud y vida para lograr este objetivo tan añorado.

Agradecer con gran cariño y afecto a nuestro tutor Ingeniero Galo Ávila quien con su experiencia, dedicación y apoyo diario inculcó en nosotros esas ganas y valentía para obtener este logro sabiendo guiarnos de la manera correcta, al Ingeniero Washington Freire quien nos brindó apoyo incondicional en este trayecto, a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE quien nos abrió las puertas como bachilleres y ahora nos envía como profesionales, a todos los docentes de nuestra querida institución quienes nos impartieron sus conocimientos durante esta bonita etapa de la vida.

Agradecer a la Dirección administrativa y de manera especial al Ingeniero Patricio Lomas y personal de mantenimiento del Hospital del IESS General – Latacunga quienes generosamente abrieron sus puertas para el desarrollo del proyecto de titulación, brindándonos ayuda en todo momento.

Y a todas las personas que contribuyeron en nuestra formación como seres humanos y profesionales.

- Ronald Bonilla
- Wilson Llanganate

ÍNDICE

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación del tema.....	2
1.4 Importancia del proyecto de investigación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 Variables de la investigación.....	4
1.6.1 Variable independiente.	4
1.6.2 Variable dependiente.	5
CAPÍTULO II	6
2. DESARROLLO	6
2.1 Antecedentes Investigativos.....	6
2.2 Marco Teórico	12
2.2.1 Eficiencia Energética.....	12
2.2.2 Auditoría Energética.....	13
2.2.3 Sistema de Gestión de la energía (SGEn)	17
2.2.4 Calidad de la energía eléctrica (CEE).	18
2.2.5 Armónicos.....	25
2.2.6 Tasa de distorsión armónica (THD).....	25
2.2.7 Factor de potencia y $\cos\phi$	28

2.2.8	Principales Fuentes De Armónicos	29
2.2.9	Fluctuaciones de tensión (Parpadeo - Flícker)	31
2.2.10	Desequilibrio de voltaje	33
2.2.11	Nivel de voltaje.....	34
2.2.12	Desbalance de carga	35
2.2.13	Iluminación.....	35
2.2.14	Criterios de calidad y diseño	40
2.2.15	Calidad de la energía en sistemas de vapor.....	42
2.2.16	Equipos de medición y registro de datos.....	46
2.2.17	Registrador Trifásico FLUKE 1735.....	49
2.2.18	Hospital del IESS General-Latacunga.....	54
2.3	Hipótesis	56
CAPÍTULO III		57
3.	METODOLOGÍA.....	57
3.1	Modalidad de la investigación	57
3.2	Tipos de investigación.....	57
3.3	Diseño de la investigación.....	58
3.4	Niveles de investigación.....	59
3.5	Técnicas de investigación	60
3.6	Validez y confiabilidad.....	61
3.7	Técnica de análisis de datos	61
3.8	Técnicas de comprobación de la hipótesis.....	62
CAPÍTULO IV		63
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	63
4.1	Recopilación de información	63
4.1.1	Levantamiento de la carga.....	63
4.2	Capacidad instalada en el hospital del IESS General-Latacunga.....	64
4.2.1	Generador de emergencia	64
4.2.2	Cámara de transformación.....	65
4.3	Facturación por electricidad del hospital por parte de ELEPCO SA	69
4.4	Iluminación:.....	72
4.4.1	Diagnóstico del sistema de iluminación.....	72
4.4.2	Distribución de lámparas por áreas de servicios	73
4.5	Tableros de Distribución Principales TP-1, TP-2, TPE-1, TPE-2.....	76
4.5.1	Tablero Principal de Emergencia (TPE)	77
4.5.2	Tablero Principal (TP)	77
4.5.3	Mediciones y diagnóstico energético del Hospital	78

4.6	Datos estadísticos obtenidos	79
4.6.1	Iluminación.....	79
4.6.1.1	Consumo eléctrico por iluminación.....	79
4.6.2	Medición de parámetros eléctricos en zonas críticas del hospital.....	79
4.6.3	Centro quirúrgico (TES1-1)	79
4.6.4	Área de “Rayos X” y mamografía	91
4.6.5	Área de neonatología (TE1-1).....	102
4.6.6	Área de tomografía (TAC).....	113
4.6.7	Cuarto de bombas de agua.....	124
4.6.8	Sistema térmico del Hospital IESS General-Latacunga.....	135
4.6.9	Consumo de combustibles en el año 2016 en el Hospital del IESS.....	138
4.7	Análisis de resultados	141
4.7.1	Centro quirúrgico TES1-1.....	141
4.7.2	Área de Rayos X – Mamografía	149
4.7.3	Área de neonatología (TE1-1).....	156
4.7.4	Área de tomografía (TAC).....	162
4.7.5	Cuarto de bombas de agua.....	169
	CAPÍTULO V	176
5.	PROPUESTA DE PLAN DE MEJORAS:.....	176
5.1	Justificación	176
5.2	Objetivo de la propuesta	176
5.2.1	Objetivo General	176
5.2.2	Objetivos Específicos.....	177
5.4	Diseño de la propuesta	178
5.4.1	Corrección del factor de potencia y reducción de contaminación por armónicos de corriente.	178
5.4.2	Iluminación.....	183
5.5	Desarrollo de la propuesta	184
5.5.1	Diseño de filtros pasivo paralelo sintonizado (FPPS)	184
5.5.2	Cálculo de filtros para área de neonatología Tablero TE1-1.....	184
5.5.3	Cálculo de filtros para el cuarto de bombas	193
5.5.4	Cálculo de filtros para el área de tomografía (TAC).....	194
5.5.5	Cálculo de filtros para el centro quirúrgico (TES1-1).	194
5.5.6	Cálculo de filtros para el área de rayos x.	195
5.6	Alcances y limitaciones de la propuesta.....	201
5.6.1	Alcance	201
5.6.2	Limitaciones.....	202
5.7	Evaluación socio-económica-ambiental de la propuesta	203

5.7.1	Corrección del factor de potencia y reducción de contaminación por armónicos de corriente.	203
5.7.2	Corrección de iluminación.	203
5.7.3	Corrección Sistema Térmico	204
5.8	Validación de la hipótesis.	205
5.8.1	Simulación de filtros pasivo paralelo sintonizado (FPPS)	205
5.8.2	Área de neonatología (TE1-1)	205
5.8.3	Cuarto de bombas.	209
5.8.4	Centro quirúrgico (TES1-1).	211
5.8.5	Área de Rayos X.	214
5.9	Conclusiones y Recomendaciones	217
5.9.1	Conclusiones	217
5.9.2	Recomendaciones	218
	BIBLIOGRAFÍA.....	220
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	220
	ANEXOS	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fenómenos electromagnéticos del sistema eléctrico.	19
Tabla 2: Perturbaciones: causas y efectos.....	21
Tabla 3: Perturbaciones: formas de onda	24
Tabla 4: Valores límites de armónicas de voltaje.	27
Tabla 5: Variaciones de voltaje aceptados por Regulación No. CONELEC 004/001.....	34
Tabla 6: Comparación entre balasto convencional y balasto electrónico	36
Tabla 7: Equivalencia entre fluorescentes compactas e incandescentes.	38
Tabla 8: Ahorro energético por sustitución de lámparas	39
Tabla 9: Parámetros de iluminación recomendados	41
Tabla 10: Diseño de la investigación.....	58
Tabla 11: Datos de placa del equipo Generador A. C.	64
Tabla 12: Datos de placa de transformador de 630 Kva	65
Tabla 13: Datos de placa de transformador de 75 Kva	66
Tabla 14: Carga instalada de transformadores de 630 kVA y de 75 Kva	67
Tabla 15: Carga instalada al transformador de 75 kVA.....	68
Tabla 16: Carga instalada a transformadores de 75 kVA	68
Tabla 17: Datos de facturación del consumo eléctrico del hospital	70
Tabla 18: Tipo de lámparas utilizadas en el Hospital General-Latacunga.....	73
Tabla 19: Cantidad y tipo de lámparas empleadas por áreas en el Hospital	74
Tabla 20: Consumo eléctrico por iluminación por planta del hospital	79
Tabla 21: Tensión medida en Tablero TES1-1.....	82
Tabla 22: Corriente medida en Tablero TES1-1.....	84
Tabla 23: Potencia Activa en TES1-1	87
Tabla 24: Potencia Reactiva en TES1-1	88
Tabla 25: Potencia aparente en TES1-1	89
Tabla 26: Factor de Potencia en TES1-1	90
Tabla 27: Tensión medida en Tablero Rayos X-Mamografía	93
Tabla 28: Corriente medida en Tablero Rayos X-Mamografía	95
Tabla 29: Potencia Activa en Tablero Rayos X – Mamografía	98
Tabla 30: Potencia Reactiva en Tablero Rayos X-Mamografía	99
Tabla 31: Potencia aparente en Tablero Rayos X-Mamografía.....	100
Tabla 32: Factor de Potencia en Tablero Rayos X-Mamografía.....	101

Tabla 33: Tensión medida en Tablero TE1-1	104
Tabla 34: Corriente medida en Tablero TE1-1	106
Tabla 35: Potencia Activa en TE1-1.....	108
Tabla 36: Potencia Reactiva en TE1-1.....	110
Tabla 37: Potencia aparente en TE1-1	111
Tabla 38: Factor de Potencia en TE1-1	112
Tabla 39: Tensión medida en Tablero TAC.....	115
Tabla 40: Corriente medida en Tablero TAC.....	117
Tabla 41: Potencia Activa en TAC.	119
Tabla 42: Potencia Reactiva TAC.	121
Tabla 43: Potencia Aparente TAC.	122
Tabla 44: Factor de Potencia en TAC.	123
Tabla 45: Tensión medida en Tablero Bombas de agua.....	126
Tabla 46: Corriente medida en Tablero Bombas de agua.....	128
Tabla 47: Potencia Activa en Tablero Bombas de agua.....	130
Tabla 48: Potencia Reactiva en Tablero Bombas de agua.....	132
Tabla 49: Potencia aparente en Tablero Bombas de agua.	133
Tabla 50: Factor de Potencia en Tablero Bombas de agua.	134
Tabla 51: Placa de datos de calderas existentes en el hospital	137
Tabla 52: Índice de calidad de voltaje de Línea 1, 2 y 3 de TES1-1	142
Tabla 53: Índice de calidad de voltaje de Tablero Rayos X-Mamografía.....	149
Tabla 54: Índice de calidad de voltaje en TE1-1	156
Tabla 55: Índice de calidad de voltaje de TAC.....	163
Tabla 56: Índice de calidad de voltaje Tablero de bombas de agua.....	170
Tabla 57: Cálculo de elementos descritos en el circuito de la Figura 131	189
Tabla 58: Cálculo de corriente en el filtro del circuito de la Figura 131.....	189
Tabla 59: Valores calculados para FPPS para línea 3 (TE1-1)	193
Tabla 60: Valores calculados para FPPS para línea 2 (Cuarto de bombas).....	193
Tabla 61: Valores calculados para FPPS para línea 1 (TES1-1).....	194
Tabla 62: Valores calculados para FPPS para línea 2 (TES1-1).....	195
Tabla 63: Valores calculados para FPPS para línea 2 y 3 (RAYOS X)	195
Tabla 64: Características Fluorescente T10 vs tubo Led	196
Tabla 65: Tabla comparativa foco incandescente vs ahorrador	197
Tabla 66: Características del sensor.....	200
Tabla 67: Presupuesto de propuesta planteada.....	203
Tabla 68: Ahorro energético y económico de la propuesta	204
Tabla 69: Armónicos medidos y simulados en línea 2 en área de Neonatología...206	

Tabla 70: Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 de TE1-1	207
Tabla 71: Armónicos medidos y simulados en línea 3 del área de Neonatología ..	208
Tabla 72: Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 3 de TE1-1	209
Tabla 73: Armónicos medidos y simulados en línea 2 del cuarto de bombas.....	210
Tabla 74: Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 (Cuarto de Bombas).....	211
Tabla 75: Armónicos medidos y simulados en línea 1 en TES1-1.....	211
Tabla 76: Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 1 de TES1-1	212
Tabla 77: Armónicos medidos y simulados en línea 2 en TES1-1.....	213
Tabla 78: Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 de TES1-1.....	214
Tabla 79: Armónicos medidos y simulados en líneas 2 y 3 del Área de Rayos X.	215
Tabla 80: Mejoras obtenidas con FPPS en las líneas 2 y 3 del Área de Rayos X.	216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del consumo por sectores de energía.	13
Figura 2. Sistema de Gestión Energética.	18
Figura 3. Esquema de funcionamiento de una Caldera.	43
Figura 4. Ciclo de Vapor Ideal.	45
Figura 5. Ciclo de Vapor Real.	45
Figura 6. Analizador de red trifásica FLUKE 1730.	47
Figura 7. Analizador de gases de combustión.	48
Figura 8. Analizador de Redes FLUKE 1735.	50
Figura 9. Elementos de control de FLUKE 1735.	51
Figura 10. Conectores de FLUKE 1735.	52
Figura 11. Descripción de menú de opciones de FLUKE 1735.	52
Figura 12. Hospital del IESS General – Latacunga.	55
Figura 13. Auditoría energética de primer nivel.	63
Figura 14. Carga total instalada por planta en el Hospital del IESS	69
Figura 15. Consumo de energía eléctrica durante el año 2016.	70
Figura 16. Demanda de energía eléctrica durante el año 2016.	71
Figura 17. Factor de Potencia medido durante el año 2016.	71
Figura 18. Carga instalada por iluminación en cada planta.	75
Figura 19. Carga instalada por iluminación en cada área de servicio.	76
Figura 20. Mediciones efectuadas en el Tablero TPE-1.	77
Figura 21. Tablero TPE-1 y TPE-2.	78
Figura 22. Punto de medición Centro Quirúrgico TES1-1	80
Figura 23. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TES1-1.	80
Figura 24. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TES1-1.	81
Figura 25. Potencias y factor de potencia de Tablero TES1-1.	81
Figura 26. Comportamiento en tiempo real de tensión en TES1-1.	83
Figura 27. Comportamiento en tiempo real de corriente en TES1-1.	84
Figura 28. Armónicos de corriente presentes en el tablero TES1-1.	85
Figura 29. Frecuencia medida en tablero TES1-1.	86
Figura 30. Valores pico de Potencia Total en el Tablero TES1-1.	86
Figura 31. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TES1-1.	87
Figura 32. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TES1-1.	88
Figura 33. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en TES1-1.	89
Figura 34. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TES1-1.	90
Figura 35. THD de corriente TES1-1.	91

Figura 36. Punto de medición Rayos X-Mamografía.....	91
Figura 37. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Rayos X-Mamografía.	92
Figura 38. Formas de onda de voltaje y corriente Rayos X-Mamografía.....	92
Figura 39. Potencias y factor de potencia de Rayos X-Mamografía.....	93
Figura 40. Comportamiento en tiempo real de tensión en Rayos X-Mamografía.....	94
Figura 41. Comportamiento en tiempo real de corriente en Rayos X-Mamografía. .	95
Figura 42. Armónicos de corriente presentes en Rayos X-Mamografía.	96
Figura 43. Frecuencia medida en área de Rayos X-Mamografía.	97
Figura 44. Valores pico de Potencia Total en Rayos X-Mamografía.	97
Figura 45. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en Rayos X- Mamografía.	98
Figura 46. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en Rayos X- Mamografía.	99
Figura 47. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en Rayos X- Mamografía.	100
Figura 48. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en Rayos X- Mamografía.	101
Figura 49. THD de corriente en área de Rayos X-Mamografía.	102
Figura 50. Tablero de emergencia planta 1.....	102
Figura 51. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TE1-1.....	103
Figura 52. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TE1-1.....	103
Figura 53. Potencias y factor de potencia de Tablero TE1-1.....	104
Figura 54. Comportamiento en tiempo real de tensión en Neonatología.....	105
Figura 55. Comportamiento en tiempo real de corriente en Neonatología.....	106
Figura 56. Armónicos de corriente presentes en el tablero TE1-1.....	107
Figura 57. Frecuencia medida en tablero TE1-1.....	108
Figura 58 Valores pico de Potencia Total en el Tablero TE1-1.	108
Figura 59. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TE1-1.....	109
Figura 60 Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TE1-1.....	110
Figura 61. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en TE1-1.	111
Figura 62. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TE1-1.	112
Figura 63. THD de corriente TE1-1.....	113
Figura 64. Punto de medición Tomografía TAC.....	113
Figura 65. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TAC.....	114
Figura 66. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TAC	114
Figura 67. Potencias y factor de potencia Tablero TAC.....	115
Figura 68. Comportamiento en tiempo real de la tensión en Tomografía.....	116

Figura 69. Comportamiento en tiempo real de corriente en Tomografía.	117
Figura 70. Armónicos de corriente presentes en Tomografía.....	118
Figura 71. Frecuencia medida en tablero TAC.....	119
Figura 72. Valores pico de Potencia Total en el Tablero TAC.....	119
Figura 73. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TAC.....	120
Figura 74. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TAC.....	121
Figura 75. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en TAC.....	122
Figura 76. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TAC.....	123
Figura 77. THD de corriente TAC.	124
Figura 78. Punto de medición Cuarto de bombas de agua.	124
Figura 79. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 en Cuarto de bombas de agua.	125
Figura 80. Formas de onda de voltaje y corriente en bombas de agua.	125
Figura 81. Potencias y factor de potencia en bombas de agua.	126
Figura 82. Comportamiento en tiempo real de tensión en Bombas de agua.	127
Figura 83. Comportamiento en tiempo real de corriente en Bombas de agua.	128
Figura 84. Armónicos de corriente presentes en Bombas de agua.	129
Figura 85. Frecuencia medida en el Cuarto de Bombas de agua.....	130
Figura 86. Valores pico de Potencia Total en el Tablero Bombas de agua.	130
Figura 87. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en Bombas de agua.	131
Figura 88. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en Bombas de agua.	132
Figura 89. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en Bombas de agua.	133
Figura 90. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en Bombas de agua.	134
Figura 91. THD de corriente en Tablero Bombas de agua.	135
Figura 92. Esquema de instalación de vapor.	136
Figura 93. Sistema de suministro de diésel a calderos del hospital	136
Figura 94. Sistema Generador de Vapor del Hospital del IESS Latacunga.	138
Figura 95. Consumo de combustible en calderas en el año 2016.....	139
Figura 96. Consumo de combustible en generador en el año 2016.....	139
Figura 97. Consumo promedio diario de combustible en el año 2016.....	140
Figura 98. Índice de calidad de voltajes medios (TES1-1).	142
Figura 99. Tendencia semanal de tensión en tablero TES1-1.....	143
Figura 100. Tendencia semanal de corriente total TES1-1.	144
Figura 101. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TES1-1.....	146

Figura 102. Factor de potencia TES1-1.	147
Figura 103. Tendencia semanal de Factor de Potencia TES1-1.	147
Figura 104. Tendencia semanal del THD de corriente TES1-1.	148
Figura 105. Índice de calidad de voltajes medios en Rayos X-Mamografía	150
Figura 106. Tendencia semanal de tensión en Rayos X-Mamografía.	150
Figura 107. Tendencia semanal de corriente en Rayos X-Mamografía.	152
Figura 108. Tendencial de consumo de Potencia Total en Rayos X-Mamografía .	153
Figura 109. Factor de Potencia en área de Rayos X – Mamografía.	154
Figura 110. Tendencia semanal de Factor de Potencia en Rayos X-Mamografía.	154
Figura 111. Tendencia semanal del THD de corriente en Rayos X-Mamografía. ...	155
Figura 112. Índice de calidad de voltajes medios (TE1-1).....	157
Figura 113. Tendencia semanal del voltaje en tablero TE1-1.....	157
Figura 114. Tendencia semanal de corriente total TE1-1.....	158
Figura 115. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TE1-1.	160
Figura 116. Factor de potencia TE1-1.....	160
Figura 117. Tendencia semanal de Factor de Potencia TE1-1.....	161
Figura 118. Índice de calidad de voltajes medios (TAC).	163
Figura 119. Tendencia semanal de Voltaje Tablero TAC.	164
Figura 120. Tendencia semanal de corriente total TAC.	165
Figura 121. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TAC.	166
Figura 122. Factor de potencia TAC.	167
Figura 123. Tendencia semanal de Factor de Potencia TAC.	168
Figura 124. Tendencia semanal del THD de corriente TAC.	169
Figura 125. Índice de calidad de voltajes en tablero Bombas de agua.....	170
Figura 126. Tendencia semanal del voltaje en tablero Bombas de agua.	170
Figura 127. Tendencia semanal de corriente en Bombas de agua.	172
Figura 128. Tendencia semanal de Potencia Total en Bombas de agua.....	173
Figura 129. Factor de potencia por fase Bombas de agua.....	174
Figura 130. Diagrama unifilar Área de Neonatología.	187
Figura 131. Circuito equivalente del arreglo (Transformador-filtro-carga no lineal)	189
Figura 132. Conexión tubo fluorescente T10	198
Figura 133. Conexión tubo LED T8.....	198
Figura 134. Conexión para iluminación en zonas de uso poco frecuente.....	200
Figura 135. Simulación en PSCAD.	205
Figura 136. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. TE1-1.	206
Figura 137. Armónicos simulados filtrados Línea 2. TE1-1	207
Figura 138. Armónicos simulados sin filtrar Línea 3. TE1-1	208

Figura 139. Armónicos simulados filtrados Línea 3. TE1-1	209
Figura 140. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. Bombas de agua.	210
Figura 141. Armónicos simulados filtrados Línea 2. Bombas de agua.	210
Figura 142. Armónicos simulados sin filtrar Línea 1. TES1-1.....	212
Figura 143. Armónicos simulados filtrados Línea 1. TES1-1.....	212
Figura 144. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. TES1-1.....	213
Figura 145. Armónicos simulados filtrados Línea 2. TES1-1.....	214
Figura 146. Armónicos simulados sin filtrar Líneas 2 y 3. Rayos X	215
Figura 147. Armónicos simulados filtrados Líneas 2 y 3. Rayos X	216

RESUMEN

En la actualidad el Gobierno del Ecuador dentro del proceso de cambio de la matriz energética busca establecer un consumo responsable de la energía, que permita un uso eficiente e inteligente por parte de todos los ecuatorianos y en especial de las instituciones públicas, por tal motivo el presente trabajo tuvo como propósito el estudio de la eficiencia energética dentro de las instalaciones del Hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) de la ciudad de Latacunga, que se encuentra inmerso en un proceso de mejoramiento, lo que le ha valido subir de categoría de Básico a General en los últimos meses. El desarrollo de este estudio se basó en la obtención de parámetros eléctricos y térmicos, mediante auditorías energéticas de primer y segundo nivel, con el fin de plantear soluciones a las deficiencias encontradas en la instalación hospitalaria. El empleo del analizador de redes FLUKE 1735 permitió conocer el estado actual del sistema eléctrico en áreas fundamentales del hospital, como el centro quirúrgico, áreas de Rayos X, mamografía y tomografía entre otras, y evaluarlo comparativamente con la normativa vigente como es la Regulación No. CONELEC 004/001. El proyecto contempla establecer estrategias que permitan solucionar las deficiencias encontradas en el diagnóstico de la calidad de la energía, tales como atenuar la distorsión armónica total de corriente (THD) reduciendo la contaminación por armónicos y mejorando el factor de potencia en las áreas que lo requieran, además de plantear los beneficios que se alcanzarían al utilizar lámparas más eficientes. Las propuestas planteadas tienen como fin mejorar la calidad de la energía en el hospital, que permitirán ahorrar recursos, y alargar la vida útil sobre todo de los equipos médicos, lo que redundará en beneficio de la comunidad de la provincia de Cotopaxi.

PALABRAS CLAVE:

- **EFICIENCIA ENERGÉTICA**
- **AUDITORÍA ENERGÉTICA**
- **CALIDAD DE ENERGÍA**

ABSTRACT

The Ecuadorian Government through the Energy Matrix Change Policy promotes a responsible energy consumption and a smart and efficient usage by all Ecuadorians and specially the public institutions. With this antecedent, the present research had as an objective: the study of the energy consumption efficiency at Hospital Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) of Latacunga City, which has accomplished an improving process, so having scaled in category from Basic Hospital to General Hospital. The development of this study was based in getting electric and thermal parameters through first and second level audits in order to propose solutions to the reported inefficiencies in the hospital installations. The network analyzer FLUKE 1735 was applied to get to know the actual situation of the electric system in fundamental areas of the hospital such as Surgery center, X-ray area, Tomography and mammography, among others. The results were contrasted with the actual regulations of CONELEC (Electricity Council) 004/001. The proposal presents strategies to solve the deficiencies found in the diagnosis of the energy quality, among others: reduce the Total Harmonic Distortion (THD) produced by harmonic contamination and improving the power factor when using more efficient bulbs. The proposal final purpose is to improve the energy consumption quality which will reduce costs and prolong the operational lifetime of medical equipment for the benefit of the community.

KEY WORDS:

- **ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY**
- **ENERGY AUDIT**
- **ENERGY QUALITY**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Definición del problema

Actualmente el ahorro de recursos sobre todo los energéticos constituye uno de los principales objetivos tanto de las empresas públicas como privadas para conseguir un Desarrollo Sustentable, que de acuerdo con la Comisión de Brundtland (1987) se define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

De manera particular en el hospital General – Latacunga del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), al ser repotenciado con la adquisición de equipos con tecnología de punta para atender de manera eficiente y oportuna a más de 500 asegurados que acuden diariamente (IESS, 2016), es necesario contar con un eficiente consumo energético que permita no solo ahorros de tipo económico sino también alargar la vida útil de los equipos al determinar los posibles factores negativos que inciden en su funcionamiento y su correcta solución, todo ello determinado a través de una auditoría energética del hospital.

1.2 Antecedentes

En concordancia con el cambio de la matriz productiva que impulsa el Gobierno Nacional y uno de sus retos es implementar la eficiencia energética con sostenibilidad ambiental en todos los procesos para promover el progreso económico del país alcanzando la soberanía energética, y dado que, el consumo de energía es uno de los principales factores que influyen directamente en los costos de producción de cualquier actividad industrial o

de servicios, es de vital importancia la necesidad de realizar una cuidadosa gestión de los costos energéticos.

En la actualidad, la eficiencia energética se define como “el consumo inteligente de la energía, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía” (CONELEC, 2013). Para alcanzar dicha eficiencia es necesario contar con un estudio técnico como es la auditoría energética que no es otra cosa que “un proceso sistemático y organizado del uso de la energía y sirve para determinar la viabilidad técnica y económica de una serie de oportunidades de conservación de energía” (Núñez Salguero, 2005).

Con estos antecedentes, el Hospital del IESS General – Latacunga no es ajeno a las políticas de eficiencia energéticas del país para alcanzar estándares de máxima eficiencia y competitividad, para lo que es necesario que se involucre en procesos de auditorías energéticas que permitan alcanzar una utilización eficaz de la energía, a la vez que establecer las recomendaciones y correcciones necesarias para alcanzar dicho objetivo.

1.3 Justificación del tema

En el último lustro el Hospital del IESS General - Latacunga ha sufrido muchos cambios debido a la repotenciación realizada en las instalaciones hospitalarias con el fin de entregar una atención oportuna y de calidad a los asegurados que acuden diariamente al hospital.

La adquisición de equipos tecnológicos de última generación, así como la remodelación realizada en su infraestructura hace necesario un análisis actualizado del consumo energético en áreas que se pueden considerar imprescindibles en un hospital con el fin de proporcionar un mejor servicio a la comunidad. La auditoría energética saca a la luz el estado actual del consumo energético del hospital y las deficiencias que sufre en áreas fundamentales y que son utilizadas a diario.

El Hospital del IESS General - Latacunga tiene un alto consumo energético por lo cual se analiza detalladamente los campos en donde se consume más energía y mediante un análisis previo se planteará una solución para reducirlo.

1.4 Importancia del proyecto de investigación

La auditoría energética en el Hospital General – Latacunga es necesaria, ya que al tratarse de instalaciones con un alto consumo de energía y cuyo funcionamiento es permanente, permite identificar las posibles actuaciones para mejorar la eficiencia energética dentro de sus instalaciones. En la última década no se ha realizado una auditoría de tal magnitud y no se ha tomado medidas para reducir el consumo energético por lo cual no se cuenta con un inventario específico de los equipos existentes en el hospital.

Se puede señalar que el proyecto es importante para:

- Determinar la situación energética actual de las instalaciones hospitalarias.
- Determinar posibles ahorros de energía.
- Identificar la eficiencia de equipos e instalaciones.
- Medir, registrar y comprobar parámetros de las variables energéticas inmersas en el proceso.
- Analizar las opciones disponibles para aprovechar de manera eficiente la energía consumida.
- Proponer alternativas de mejora: consumo de energía, sustitución de agentes energéticos, emprender un sistema de gestión energética. (Silva, Freire, & Tirado, s. f.).

El principal beneficio al realizar una auditoría energética es determinar el mayor potencial de ahorro de energía dentro del hospital, ya que el valor económico de dicha energía constituye uno de los principales rubros dentro de los costos totales de los procesos desarrollados en el hospital.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Desarrollar la Auditoría Energética del sistema eléctrico y térmico del Hospital General – Latacunga, y en base a los resultados obtenidos presentar una propuesta para obtener un eficiente uso energético.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información disponible en el área de mantenimiento del hospital sobre las instalaciones en los cuales se realizará la Auditoría.
- Seleccionar las áreas críticas según los parámetros energéticos eléctricos y térmicos de acuerdo con la información recolectada y recomendaciones dadas del personal de mantenimiento, para efectuar mediciones más exhaustivas.
- Realizar una auditoría energética de primer nivel a la totalidad de las instalaciones hospitalarias para identificar los equipos que consumen energía, así como el estado actual de las instalaciones para reconocer las posibilidades de ahorro energético
- Efectuar una auditoría energética de segundo nivel en cada una de las áreas seleccionadas para realizar la toma y registro de datos con el analizador de redes eléctricas.
- Analizar los resultados obtenidos en la auditoría de segundo nivel utilizando técnicas o herramientas estadísticas, para reconocer los potenciales de ahorro energético
- Diseñar una propuesta de mejoras para el sistema eléctrico y térmico con el fin de mejorar la eficiencia energética del hospital.

1.6 Variables de la investigación

1.6.1 Variable independiente.

Consumo de energía

1.6.2 Variable dependiente.

Ahorro de energía

CAPÍTULO II

2. DESARROLLO

2.1 Antecedentes Investigativos

En la actualidad países tales como Estados Unidos, Canadá, Japón, miembros de la Unión Europea, entre otros, poseen activos programas de eficiencia energética y que tienen en la auditoría energética una de las herramientas más usadas, alcanzando un alto nivel de masificación en estos países y que en su mayoría cuentan con manuales de auditorías energéticas impulsados por los gobiernos a través de los programas de eficiencia energética (Llancamán Vidal & Porflit Gutiérrez, 2007).

Por tal motivo la tendencia actual a nivel mundial consiste en generar normas internacionales de tipo general, sobre auditorías energéticas pertenecientes, tanto a la familia ISO (Organización Internacional de Estandarización) como IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), así como también normas más específicas para sectores como Edificios, Industria, Transporte. De igual manera, el Comité Europeo de Normalización (CEN), estableció un grupo de trabajo que permita desarrollar una norma común para la Unión Europea sobre las Auditorías Energéticas (García Sánchez, 2010).

Este mismo estudio establece una serie de condicionantes que determinan una correcta metodología de ejecución, tales como establecer canales de comunicación, solicitar por escrito a la organización la relación de información, datos y documentos necesarios para ejecutar la auditoría, establecer un programa de trabajo, realizar mediciones en situ, y elaborar un informe de la auditoría energética (García Sánchez, 2010).

Todo lo anterior permite establecer unos requisitos mínimos con los que debe contar una auditoría energética, para que realizada en diferentes tipos de organizaciones y que utilice energía en cualquiera de sus formas al margen de su tamaño y actividad, pueda ser comparable y permita detectar los puntos claves donde se pueda mejorar la eficiencia energética (Deloitte, 2010).

Por otra parte, en nuestro país, la Agenda Nacional de Energía 2016 – 2040 propuesta por el Ministerio Coordinador de sectores estratégicos afirma:

La eficiencia energética contribuye a la reducción de los gastos en toda la cadena energética, disminuye la dependencia de las importaciones de energía, mitiga daños al ambiente de carácter global y local, aporta a la mejora de la eficiencia productiva del país y tiene impactos positivos en términos de equidad social. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

Por todo lo anterior, el Plan Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (PLANEEER) adscrito al Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017 establece la necesidad de incorporar las medidas necesarias para obtener un uso eficiente de la energía como parte de la estrategia de soberanía energética que promueve el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador y que permita el menor consumo energético posible sin disminuir el grado de bienestar y calidad de vida.

En este contexto con el creciente consumo de energía, especialmente en las ciudades, en las cuales las instalaciones hospitalarias constituyen un grupo de edificios con un consumo de energía particularmente elevado y permanente debido a su funcionamiento los 365 días, las 24 horas al día, además de la constante necesidad de energía para satisfacer los estándares de confort propios de estas instalaciones, así como de aquellos servicios médicos más específicos, constituye uno de los sectores con mayor demanda de un efectivo consumo energético.

Con respecto a este tema (González Ortega, 2016), de la Universidad Nacional de Loja, a través de su tesis: “Uso eficiente de energía eléctrica para el Hospital Básico de Yantzaza”, determinó los índices de consumo de los portadores energéticos, con el objetivo de conocer cuál de ellos es el portador con mayor consumo en el Hospital Básico de Yantzaza, y elaboró un plan de mejoras que permita disminuir el consumo energético a la vez que mejorar su utilización de acuerdo con la eficiencia energética.

En este trabajo mediante el análisis técnico económico se concluyó que el costo anualizado total de la instalación con lámparas fluorescentes eficientes es menor que el obtenido con la utilización de las lámparas fluorescentes ya existentes, con lo cual se determinó que el proyecto es económicamente viable ya que el costo anual de comprar y pagar el consumo energético de las lámparas fluorescente eficientes es menor al de las lámparas existentes tardándose 2,9 años en recuperar la inversión y disminuyendo la potencia necesaria para el sistema de iluminación en un 37,51%.

Esta investigación también determinó que el ahorro energético conseguido por la sustitución por lámparas fluorescentes eficientes se traduce en una disminución de las emisiones de CO₂ en un 37,5%, disminuyendo de esta manera los efectos del calentamiento global.

En cambio en la tesis de Maestría en Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE titulado: “Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso” de los ingenieros (Becerra Palacios & Riquetti Peralta, 2015), se plantea la importancia de iniciar planes y soluciones energéticas que mejoren la eficiencia energética de la parte hospitalaria en el sector Público del Ecuador ya que el desarrollo de este tipo de proyectos ha sido prácticamente nulos en el país, con el fin de obtener un eficiente y racional uso de la energía que permita alcanzar mejores niveles socio-económicos.

Este trabajo tiene por finalidad conocer el consumo energético actual y el que se puede alcanzar utilizando eficiencia energética, del Hospital Vicente Corral Moscoso ubicado en la ciudad de Cuenca para lo cual se analizó toda la infraestructura del Hospital, los servicios que presta, los equipos que dispone, así como el tiempo que los emplea y el tipo de energía que requiere para determinar los índices de consumo tanto eléctricos como térmicos. Dichos índices permitieron compararlos con estándares internacionales tanto en la etapa actual como en la propuesta.

La misma investigación permitió concluir que la eficiencia del sistema térmico llega a un 57,9%, y que si se realizan ajustes valorados en 5406,40 dólares, tales como la relación aire-combustible, mejoras del aislamiento térmico en el tanque de condensado y banco de distribución así como en el sistema de bombas, control de fugas de vapor en la red de distribución, reemplazo de equipos antiguos por equipos eficientes energéticamente, y con un mantenimiento periódico, la eficiencia del sistema alcance el 66%, valor que es muy cercano a la realidad en sistemas térmicos con eficiencia energética y que permite un ahorro de 7318,25 galones por año que representa 6723,3 dólares de ahorro por año. Los indicadores financieros TIR = 43% y PRI = 21 meses dan viabilidad a la implementación de dichas mejoras en el sistema térmico.

Para la parte eléctrica dicha investigación concluye que con un cambio de lámparas se observa una reducción del consumo del 45,67% que representa una reducción del consumo energético en iluminación de 747639,70 kWh/año a 341491,81 kWh/año, el costo total de cambiar las lámparas actuales por lámparas con tecnología LED asciende a 134771 dólares, esta inversión permite un ahorro de 37458,37 dólares por año siendo los indicadores financieros TIR = 19% y PRI = 43,17 meses los que avalan la viabilidad de la implementación de eficiencia energética en el área eléctrica. Finalmente se determina que con los parámetros de eficiencia obtenidos se mejoran los índices energéticos alcanzando niveles aceptados por los estándares internacionales.

Otro trabajo relacionado, es el realizado por (Zaavedra Ortiz, 2013) de la Universidad Nacional de Loja con el tema de tesis: “Auditoría energética en el Hospital Kokichi Otani de Vilcabamba”, y que tiene por finalidad determinar los índices de consumo de los portadores energéticos que son utilizados en el hospital ubicado en la parroquia de Vilcabamba, observándose que el consumo eléctrico representa el 77% del consumo energético total, se incluye el agua con un 20%, el gas licuado de petróleo con un 2% y el diésel con un 1%.

En él se detalla también que el principal consumo de energía eléctrica proviene del sistema de iluminación en donde el 65% corresponde a las lámparas fluorescentes tubulares, el 26% a las lámparas de vapor de mercurio, el 7% a las lámparas fluorescentes compactas y el 8% a focos incandescentes. A su vez la mayor potencia instalada con respecto a las otras áreas del hospital se encuentra en el área de lavandería equivalente al 44%.

La calidad de energía del Hospital Kokichi Otani, también fue evaluada para determinar las oportunidades de ahorro, detectándose que el factor de potencia es de 0.88, planteándose la implementación de un banco de condensadores como solución, se incluye un plan de mejoras que permita reducir el consumo en base a la eficiencia energética tales como el cambio de tres tipos de lámparas, así como cambiar la calefacción eléctrica de agua del área de lavanderías por calefacción a través de un calefón utilizando GLP.

Finalmente se determinó que el consumo promedio de energía eléctrica del hospital es de 231,8 kWh/cama/mes, el mismo que se encuentra dentro del rango establecido de 150-300 kWh/cama/mes para zonas rurales, y que con el plan de mejoras propuesto se alcanzaría un ahorro energético de 18,218 MJ.

En el Hospital Julius Doepfner de la ciudad de Zamora el señor (Aguilar Romero, 2012) realizó una Auditoría Energética como tesis de grado cuya finalidad es determinar los índices de consumo de los portadores energéticos

y establecer el portador que más se consume en el hospital, estableciendo un plan de mejoras para cumplir con la regulación del CONELEC 004/01.

Este estudio estableció que el nivel de tensión medido en el transformador de 300 KVA, de acuerdo con las regulaciones emitidas por el CONELEC está muy por debajo del nivel mínimo, problema que es común a otros sectores de la ciudad de Zamora. Se concluyó que este transformador es subutilizado y debido a su antigüedad presenta grandes pérdidas de energía en el hierro y en el cobre, por lo que se recomienda su reemplazo por uno de menor capacidad ya que el ahorro de energía obtenido permite que se sea viable económicamente. Al igual que en otras instalaciones hospitalarias, el sistema de iluminación es el principal consumidor de energía eléctrica, por lo que se recomienda su sustitución por una más eficiente. También se puede ahorrar energía reemplazando la secadora eléctrica por una que funcione a base de GLP.

Con el plan de mejoras propuesto en esta tesis, se plantea obtener un ahorro de 1198,58 dólares anuales, y un retorno de la inversión en el lapso de 5 años 9 meses aproximadamente. Como observación final se manifiesta que los sistemas de alimentación eléctrica se encuentran muy deteriorados y en mal estado, con protecciones anti técnicas, presentando un nulo mantenimiento siendo el principal problema el mal dimensionamiento de las protecciones de los tableros generales.

Un quinto trabajo de investigación titulado “Análisis de carga del Hospital San Vicente de Paúl de la ciudad de Ibarra y propuesta para el cumplimiento de la calidad de energía según regulación N°. CONELEC 004/01” desarrollada por los señores (Aguirre Alarcón & Herrera Churta, 2010) de la Universidad Técnica del Norte, y que tiene por objetivo mejorar la calidad de energía eléctrica del hospital, así como proponer además alternativas de solución para reducir los costos de penalización debido a un bajo factor de potencia.

El estudio determinó que el factor de potencia en el transformador de 800 kVA es de 0,89, la máxima potencia aparente es de 140 kVA, lo que permite

deducir que utiliza solamente el 17,5% de su capacidad, se detectó también que el transformador de 200 kVA se encuentra subutilizado ya que la máxima potencia aparente que registra es de 380 VA, es decir su utilización es de apenas el 0,19% de su capacidad. Para el transformador de 75 kVA la máxima potencia registrada en las mediciones es de 2,9 kVA, que representa el 3,86 % de su capacidad.

Finalmente, este trabajo recomienda corregir el bajo factor de potencia en el transformador de 800 kVA implementando un banco de capacitores y reasignar la carga de la sala de diálisis y la sala de rayos X al transformador de 800 kVA.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Eficiencia Energética

De acuerdo con el Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008) en el libro “Energías renovables y eficiencia energética”, la eficiencia puede definirse como “el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que, con las mismas prestaciones, consuma menos electricidad” (p. 122).

En cambio, para (Sancha Gonzalo, 2010), la eficiencia energética “es la relación entre la cantidad producida de un servicio o utilidad y la cantidad de energía consumida para proporcionarlo. Una mejora de la eficiencia energética implica producir la misma cantidad consumiendo menos energía, o bien producir más cantidad consumiendo la misma energía” (p. 47).

De acuerdo a estas definiciones, el mejoramiento de la eficiencia energética, permite obtener beneficios de tipo ambiental de manera inmediata y directa, además de los netamente económicos, al reducir el consumo de recursos naturales y de la emisión de agentes contaminantes al medio ambiente, por tal motivo es importante crear una cultura de eficiencia

energética en el país que permita reducir sus necesidades energéticas y que deriven en un ahorro económico, teniendo en cuenta que en el país, el consumo de energía por sectores alcance los 101 millones BEP (Barril Equivalente de petróleo), según el Balance Energético Nacional 2015 elaborado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos como se observa en la Figura 1.

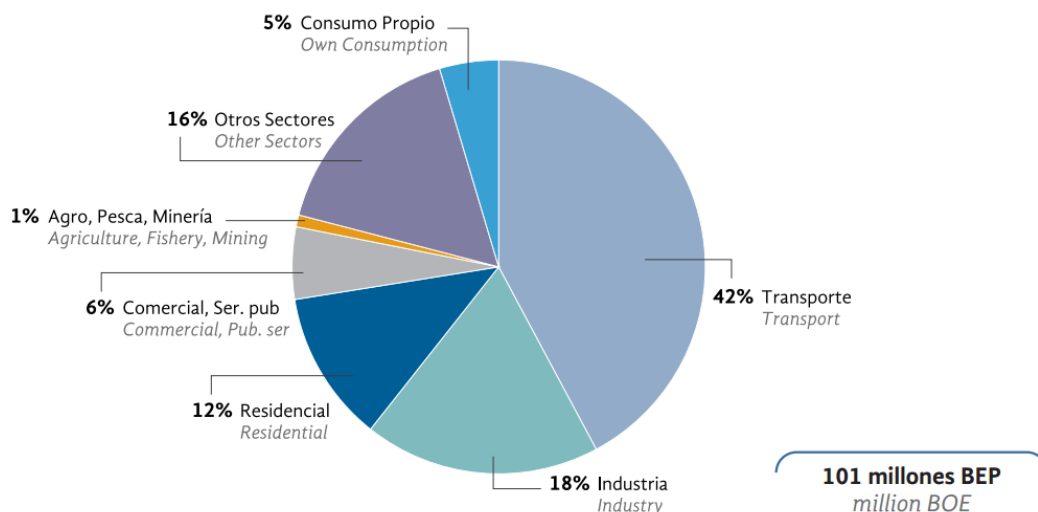


Figura 1. Estructura del consumo por sectores de energía.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2015)

2.2.2 Auditoría Energética

La Auditoría Energética es definida según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España como “todo procedimiento sistemático destinado a obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación u operación industrial o comercial, o de un servicio privado o público, así como para determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía a un coste eficiente e informar al respecto” (España, 2016).

Este conocimiento permite realizar un análisis que detalle donde y como es utilizada la energía de una determinada instalación, y que permita obtener un uso racional y eficiente, identificando las áreas que presentan problemas de mala utilización y la mejor manera de subsanarlos, con el objetivo de

mejorar la eficiencia energética sin afectar la cantidad y calidad del producto o servicio.

De acuerdo con la Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas (AE) elaborada por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia; las AE incluye también una evaluación del uso final, así como también un análisis de la autogeneración y cogeneración estableciendo las medidas correctivas, especificando los consumos específicos, balances energéticos, y las estimaciones de ahorro, inversión y tiempo de retorno de la misma. Estas auditorías según el mismo estudio constituyen una guía cuyo objetivo es la búsqueda de formas de racionalizar y optimizar los usos y consumos de energéticos, a la vez que optimizar procesos y procedimientos tecnológicos que estén relacionados con usos y consumos de energéticos (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2007)

Al ser un procedimiento sistemático las Auditorías Energéticas tienen como alcance:

- Análisis de los consumos históricos de recursos energéticos.
- Identificación de puntos calientes mediante uso de cámaras termográficas.
- Análisis del sistema de puesta a tierra.
- Estudio de coordinación de protecciones.
- Análisis de calidad de la energía eléctrica.
- Recomendaciones para mejorar la eficiencia energética.
- Sistema tarifario, recomendaciones.
- Consumo de agua. (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2007)

Una Auditoría Energética es importante realizarse porque provee toda la información relevante relacionada con el consumo actual de energía y las posibilidades de ahorro, además permite identificar y analizar los flujos energéticos y establecer las estrategias o acciones de ahorro y eficiencias energéticas más adecuadas. Todo ello se consigue con el conocimiento tanto

de los procesos físicos, como de los equipos empleados en las instalaciones auditadas, así como de las técnicas específicas de auditorías empleadas actualmente (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2007).

El resultado obtenido al realizar las Auditorías Energéticas consiste en un conjunto de estrategias, programas o planes detallados en forma de informes en los que constan las recomendaciones y acciones que permitan el ahorro de energía. En este informe deben constar los diagnósticos previamente encontrado antes de realizar la auditoría, y que detalla los consumos energéticos específicos, balances energéticos, aspectos técnicos, el ahorro estimado, la inversión y el tiempo de retorno de las medidas de ahorro energético propuesto. Además, debe incluir el respectivo proceso de implementación de todas las acciones correctivas, de la misma manera es necesario determinar los procesos de seguimiento y de control de dichas acciones, que permitan un control periódico del consumo energético (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2007).

Los resultados positivos obtenidos al realizar una auditoría energética se pueden resumir así:

- Ahorro y mejora en la eficiencia energética.
- Racionalización y optimización de procesos, que puede implicar modernización e innovación tecnológica no solamente en el sentido, de ahorro y eficiencia energética, sino que los cambios pueden ser ambientalmente más limpios.
- Reducción de costos de producción.
- Elevación de la competitividad empresarial o industrial.
- Sensibilización y generación de cultura de ahorro y eficiencia energética al interior de las empresas, especialmente en el nivel directivo y en el personal involucrado en el manejo de los procesos de producción. (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2007).

2.2.2.1 Niveles de auditorías energéticas

En función del volumen de trabajo, del enfoque empleado, de la precisión buscada y el costo asignado, el (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), 2010) de México en su informe “Asistencia Técnica y Capacitación para la Formación de Especialistas en Ahorro y Uso Eficiente de Energía Eléctrica de Guatemala”, determina que las auditorías pueden ser de primer, segundo y tercer nivel.

De acuerdo con este informe, la auditoría de nivel uno o básico, se realiza mediante un examen visual del proceso industrial o instalación auditada, reconociendo y revisando el diseño original de los equipos que consumen energía, que permita reconocer las oportunidades de ahorro energético, y que se pueden obtener mediante la modificación en los hábitos operativos, corrección de desperdicios o incorporando tecnologías más eficientes. Este nivel de auditoría permite obtener recomendaciones a nivel general, y los potenciales de ahorro de energía están basados en estimados y suposiciones, ya que no se realizan mediciones. Su principal ventaja consiste en que permite tener una idea general sobre la posibilidad o no de obtener un ahorro energético.

El siguiente nivel detallado en este informe, es el dos o fundamental, y que proporciona información sobre el consumo eléctrico y térmico por áreas funcionales o determinados procesos de operación, y que permita detectar los subsistemas que presentan el mayor desperdicio energético, mediante la utilización de equipos e instrumentos de medición y evaluación de parámetros energéticos. Este nivel de auditoría entrega datos relacionados con el ahorro de energía y por lo tanto de reducción de costos, lo cual permite diseñar proyectos de aplicación para mejorar la eficiencia. Para FIDE este es el nivel más útil para reconocer los potenciales de ahorro de energía de una instalación de forma cualitativa y cuantificable ya que se analizan entre un 75 y 80% de los consumidores energéticos, dando prioridad a los que consumen mayor potencia y su tiempo de funcionamiento es mayor.

Finalmente, FIDE explica que el nivel tres proporciona información precisa y comprensible de todos los puntos críticos del proceso industrial o instalación auditada, así como las pérdidas de energía de los equipos involucrados. Las características de este nivel según los autores de este informe son la instrumentación extensiva, la adquisición de datos y los estudios de ingeniería involucrados, que permiten un análisis profundo del proceso y de los equipos, para lo cual es imprescindible la participación de especialistas en aplicaciones complejas por lo que su costo es mucho mayor que una de segundo nivel.

2.2.3 Sistema de Gestión de la Energía (SGEn)

Este sistema puede definirse como la metodología que permita obtener una mejora sostenida y de forma continua del desempeño energético de las instalaciones, que permite obtener beneficios tales como: identificar, priorizar y seleccionar acciones que permitan mejorar el desempeño energético, tomando en cuenta su potencial de ahorro y su viabilidad económica.

- Reducir los costos, disminuyendo el desperdicio de recursos energéticos.
- Obtener un mayor aprovechamiento, que mejore la productividad.
- Promover mejores prácticas de gestión energética.
- Proporcionar información confiable y de calidad para la toma de decisiones.
- Desarrollar capacidades dentro de la organización (Asociación de Normalización y Certificación, A.C., 2014).

El SGEn al igual que las auditorías energéticas permiten detectar posibles opciones de mejora, que permita desarrollar un plan de acción para obtener un eficiente consumo energético y ahorrar recursos, sin embargo, este sistema toma como punto de partida la auditoría energética, y realiza el proceso de manera continuada en el tiempo, buscando la mejora continua, tal como se puede observar en Figura 2.

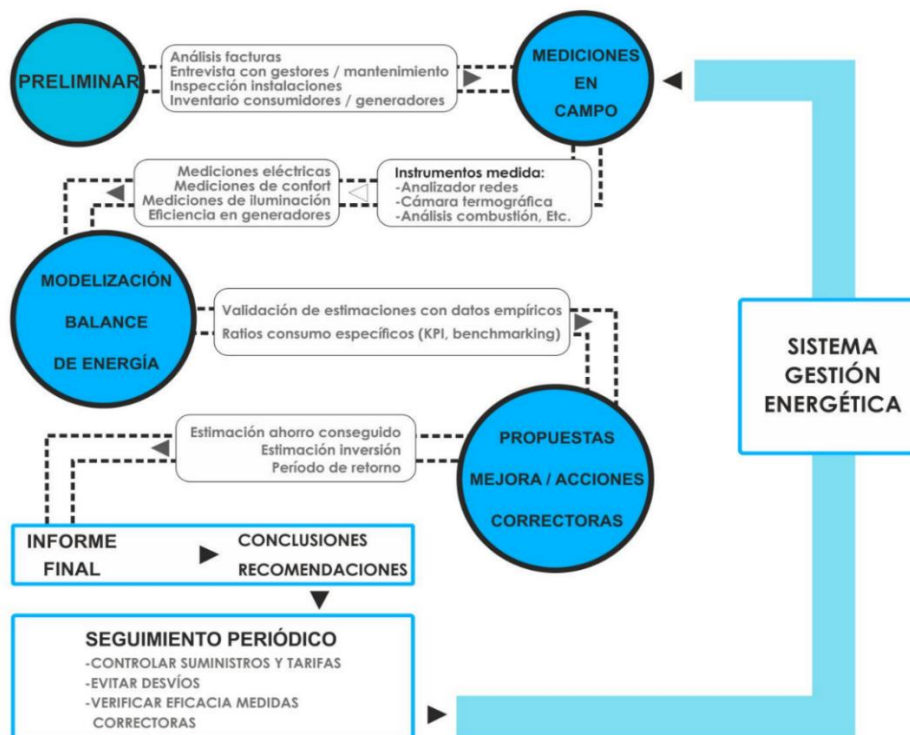


Figura 2. Sistema de Gestión Energética.

Fuente: (JGR Consultoría, 2016)

2.2.4 Calidad de la energía eléctrica (CEE).

Según Sankaran (2002), “la calidad de energía es un conjunto de límites eléctricos, que permite que una pieza de un equipo funcione de la manera prevista sin pérdida significativa de rendimiento o expectativa de vida” (p. 1).

Otros autores tales como Téllez (s. f.) consideran a “la calidad energética se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes”.

En la Tabla 1 se especifica la clasificación de las perturbaciones con sus características.

Tabla 1:
Fenómenos electromagnéticos del sistema eléctrico.

Categorías	Espectro de	Duración	Magnitud
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsivos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de subida	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s de subida	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0,1 ms de	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Frecuencia baja	< 5kHz	0,3-50 ms	0-4 pu ^a
1.2.2 Frecuencia Media	5-500 kHz	20 μ s	0-8 pu
1.2.3 Frecuencia alta	0,5-5 MHz	5 μ s	0-4 pu
2.0 Variaciones rms de corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Sag (Dip)		0,5-30 ciclos	0,1-0,9 pu
2.1.2 Swell		0,5-30 ciclos	1,1-1,8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0,5 ciclos – 3	< 0,1 pu
2.2.2 Sag (Dip)		30 ciclos – 3	0,1-0,9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos – 3	1,1-1,4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		> 3 s – 1 min	<0,1 pu
2.3.2 Sag (Dip)		> 3 s – 1 min	0,1-0,9 pu
2.3.3 Swell		> 3 s – 1 min	1,1-1,2 pu
3.0 Variaciones rms de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0,0 pu
3.2 Subtensión		> 1 min	0,-,-0,9 pu
3.3 Sobretensión		> 1 min	1,1-1,2 pu
4.0 Desbalance de voltaje			
4.1 Voltaje		Estado	0,5-2%
4.2 Corriente		Estado	1,0-30%
5.0 Distorsión de forma de onda			
5.1 DC offset		Estado	0-0,1%
5.2 Armónicos	0-9 kHz	Estado	0-20%
5.3 Interarmónicos	0-9 kHz	Estado	0-2%
5.4 Muecas de tensión		Estado	
5.5 Ruido	Banda ancha	Estado	0-1%
6.0 Fluctuaciones de voltaje (Flicker)			
	< 25 Hz	Intermitente	0,1-7% 0,2-2 P _{st} ^b
7.0 variaciones de frecuencia			
		< 10 s	\pm 0.10 Hz

Fuente: (IEEE, 2009)

^a La cantidad “pu” se refiere a *por unidad* que es adimensional. La cantidad 1.0 pu corresponde a 100%. La condición nominal se considera a menudo como 1,0 pu. En esta

tabla se utiliza el valor pico nominal como base para los transitorios y el valor rms nominal se utiliza como base para las variaciones rms.

^b Índice de severidad por Flicker P_{st} como se define en IEC 61000-4015:2003 [B15] y Std 1453TM-2004 [B28]

El estándar IEEE 1159 – 2009, que es una versión revisada del estándar IEEE 1159 – 1995, que establece la práctica recomendada para el control de calidad de energía eléctrica, define siete categorías en las que se agrupan las perturbaciones electromagnéticas que modifican parámetros tales como la amplitud, forma de onda, frecuencia, y continuidad de un sistema eléctrico, electrónico o de comunicaciones, y que son los que se enumeran a continuación:

1. Transitorios.
2. Variaciones de voltaje root-mean-square (rms) de corta duración.
3. Variaciones de voltaje rms de larga duración.
4. Desbalance o desequilibrio de voltaje.
5. Distorsión de la forma de onda.
6. Fluctuaciones de voltaje.
7. Variaciones de frecuencia

2.2.4.1 Importancia de la calidad de la energía eléctrica (CEE)

En la actualidad el incremento de equipos electrónicos, empleados en muy diversas actividades, tales como asistencia médica, control de procesos, accionamiento, procesamiento de datos, comunicaciones y transmisión de información, existentes tanto, en procesos industriales como de servicio, exige una energía eléctrica de calidad debido a la gran sensibilidad de estos dispositivos frente a las perturbaciones existentes en el suministro eléctrico. Por tal motivo es importante contar con una energía eléctrica de calidad ya que según Viquez (2007) permite:

- Aumentar la vida útil de los equipos, y obtener un funcionamiento eficiente.
- Incrementar la confiabilidad de los equipos al disminuir el riesgo de fallas.

- Disminuir los costos por mantenimiento.
- Reducir los costos de operación debido a una menor necesidad de equipos de protección y sistemas de respaldo.
- Obtener un mejor desempeño de los equipos, y por tanto una menor inversión en pólizas de seguros.
- Disminuir el riesgo de demandas y su consecuente costo.
- Evitar pérdidas en las diferentes líneas de producción o de servicios

2.2.4.1 Problemas que afectan a la calidad de energía eléctrica

En la Tabla 2 se resume las causas que provocan las principales perturbaciones y los efectos que estos tienen en el sistema eléctrico.

Tabla 2:
Perturbaciones: causas y efectos

Perturbaciones	Causas:	Efectos:
Impulsos (Impulses)	<ul style="list-style-type: none"> • Descargas atmosféricas en las cercanías de instalaciones. • Maniobras en las líneas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de los equipos y aislantes. • Destrucción de semiconductores, especialmente en convertidores AC/AC y AC/DC. • Errores en ordenadores y equipos electrónicos a través de convertidores AC/DC.
Oscilaciones (Oscillations)	<ul style="list-style-type: none"> • Alta frecuencia: Respuesta a impulsos. • Media frecuencia: Conexión de bancos de condensadores. • Baja frecuencia: Conmutación de bancos de condensadores, ferorrresonancia y conmutación de transformadores de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de los equipos y aislantes. • Errores en ordenadores y equipos electrónicos sensibles. • Errores en la conmutación de equipos electrónicos.
Interrupciones breves y microcortes (Short interruptions)	<ul style="list-style-type: none"> • Faltas en la red eléctrica derivadas del normal funcionamiento de las protecciones y sistemas de reenganche. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento anormal de equipos electrónicos, como sistemas de control e instrumentación. • Pérdidas de datos en ordenadores y posibles paradas.

CONTINÚA 

Caídas breves (Sags, dips)	<ul style="list-style-type: none"> • Faltas en la red eléctrica. • Conexión de grandes cargas, como motores industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento anormal de equipos electrónicos, como sistemas de control e instrumentación. • Pérdidas de datos en ordenadores y posibles paradas. • Descebado de lámparas de descarga
Sobretensiones breves (Swells)	<ul style="list-style-type: none"> • Desconexión de grandes cargas. • Conmutación de bancos de condensadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento anormal de equipos electrónicos sensibles.
Cortes largos (Sustained interruptions)	<ul style="list-style-type: none"> • Averías en las líneas de alimentación. • Averías en centros de generación y transformación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Paradas de equipos e instalaciones.
Caídas largas (Undervoltage)	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación deficiente ante la conexión de una gran carga. • Conexión incorrecta de los transformadores con tomas. • Líneas eléctricas pobres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento anormal de equipos electrónicos. • Pérdida de datos en computadoras y probable desconexión. • Descebado de lámparas de descarga.
Sobretensiones largas (Overvoltage)	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación deficiente de la red ante la desconexión de una gran carga. • Conexión incorrecta de los transformadores con tomas. • Líneas eléctricas pobres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de equipos eléctricos y electrónicos. • Funcionamiento anormal de los equipos.
Parpadeo (Flicker)	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas que demandan una potencia variable de forma rápida tales como hornos, laminadoras, máquinas de soldadura por resistencia y ventiladores de minas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parpadeo de las lámparas de incandescencia y de los tubos de rayos catódicos.
Desequilibrios (Unbalance)	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución muy desigual de cargas entre fases. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparición de campo inverso en máquinas rotativas. • Circulación de corrientes homopolares por el neutro. • Incremento de pérdidas en transformadores. • Desaprovechamiento de las líneas.
Desajuste de continua(DC Offset)	<ul style="list-style-type: none"> • Rectificadores. • Geomagnetismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación y aumento de las pérdidas en transformadores. • Degradación de los contactos en interruptores.



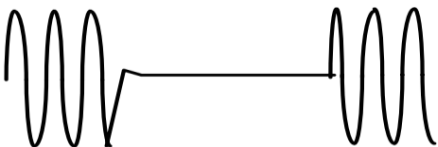
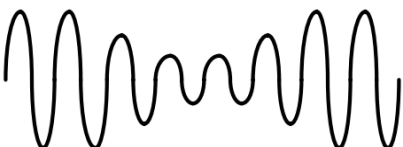
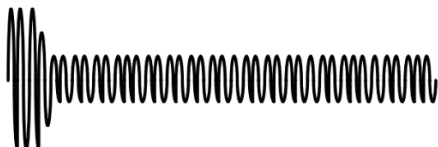
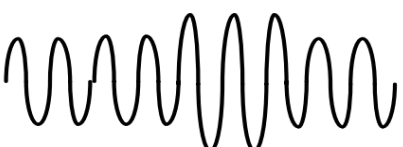
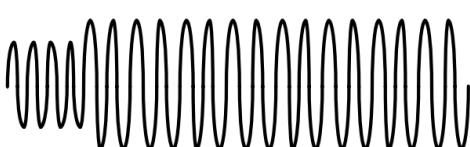
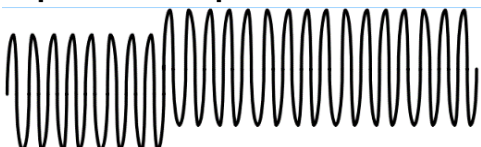

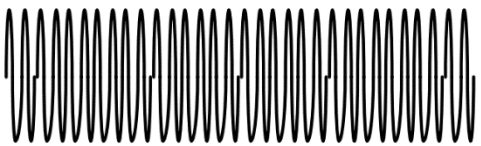



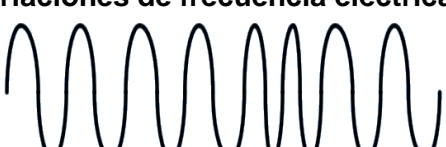
CONTINÚA 

Variaciones de frecuencia (Frequency variations)	<ul style="list-style-type: none"> • Desconexión de muy grandes cargas. • Desconexión de centros de generación. • Descontrol del generador en áreas aisladas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de velocidad de las máquinas rotativas. • Severos esfuerzos de fatiga en turbinas de generación térmica. • Funcionamiento anómalo de equipos informáticos. • Algunos computadores grandes se desconectan.
Interarmónicos (Interharmonics)	<ul style="list-style-type: none"> • Convertidores electrónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos no suficientemente estudiados. Se suponen similares a los que producen los armónicos. Se ha observado también parpadeo en los tubos de rayos catódicos.
Armónicos de tensión (Voltage harmonics)	<ul style="list-style-type: none"> • Convertidores electrónicos. • Dispositivos saturables, como transformadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores pérdidas en los transformadores. • Degradación de los condensadores. • Mayores pérdidas y vibraciones en los motores. • Interferencia en telecomunicaciones. • Funcionamiento anormal de equipos electrónicos. • Dificultades para corregir el factor de potencia.
Ruido de conmutación (Notching)	<ul style="list-style-type: none"> • Convertidores electrónicos con filtrado deficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos incorrectos en sistemas informáticos. • Errores en equipos de instrumentación y control. • Degradación de componentes y contactos.
Ruido generico (Noise)	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos electrónicos de potencia. • Transmisión de señales por la red. • Puesta a tierra incorrectas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Errores en sistemas basados en microprocesadores. • Errores en equipos de instrumentación y control.

Fuente: (Campos, Pérez, & Martínez, 2001)

La Tabla 3 presenta a su vez las formas de onda de las principales perturbaciones que afectan a la calidad de la energía eléctrica, en las que se puede apreciar como distorsionan la forma de onda senoidal.

Tabla 3:
Perturbaciones: formas de onda

<p>Impulsos</p> 	<p>Oscilaciones</p> 
<p>Interrupciones</p> 	<p>Bajada de Tensión</p> 
<p>Subtensión</p> 	<p>Aumento de Tensión</p> 
<p>Sobretensión</p> 	<p>Desplazamiento por C.D.</p> 
<p>Armónicos</p> 	<p>Interarmónicos</p> 
<p>Corte intermitente</p> 	<p>Ruido genérico</p> 
<p>Fluctuaciones de tensión</p> 	<p>Variaciones de frecuencia eléctrica</p> 

Fuente: (American Power Conversión, 2005)

2.2.5 Armónicos

Como se menciona en la Tabla 2, los armónicos son perturbaciones que afectan a la calidad de la energía eléctrica, y que según Pérez, Bravo de Medina y Llorente (2007), constituyen una deformación en la forma de onda respecto de la senoidal pura, y que se originan principalmente debido a la conexión de equipos tales como variadores de velocidad, balastos electrónicos, equipos informáticos, y en general aquellos equipos que cuentan con componentes activos, como diodos, transistores, tiristores, etc. y cuya característica tensión-corriente no es lineal. (Olivares Hernández, 2012)

De acuerdo con Pérez, Bravo de Medina y Llorente (2007), “se dice que una señal periódica contiene armónicos cuando la forma de onda de esa señal no es senoidal o cuando se encuentra deformada con respecto a lo que sería una señal senoidal.” Estos autores también clasifican los armónicos por su orden, frecuencia y secuencia; en donde el orden de los armónicos es el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la componente fundamental, así como también especifican que existen armónicos impares y pares, en donde los armónicos impares son los que se puede encontrar en las instalaciones eléctricas tanto industriales como comerciales, mientras que los armónicos pares solo existen cuando se tiene asimetría en la señal debida a la componente continua. (Olivares Hernández, 2012)

El espectro armónico de una señal deformada puede llegar hasta el infinito, pero solo se analizan hasta los armónicos de orden 40, ya que es muy improbable que armónicos de orden superior tengan algún valor significativo y que pueda alterar el funcionamiento de los equipos

2.2.6 Tasa de distorsión armónica (THD)

Para (Moya, Vilar, & Kolodziej, 2013), “la distorsión armónica total de una señal es una cantidad adimensional, porcentual, que brinda información acerca de cuanta potencia posee la señal en su componente fundamental

respecto a otras componentes armónicas indeseadas”. El THD es en principio una relación de potencias, y se define como:

$$THD(\%) = \frac{\text{Potencia de Armónicos}}{\text{Potencia de (Señal + Armónicas)}} \times 100 \quad (1)$$

En donde:

- Potencia de armónicas: Es la potencia de todas las componentes armónicas existentes en la señal, menos la de la fundamental.
- Potencia de (Señal + Armónicas): Equivale a la potencia de toda la señal, es decir, la suma de las potencias de todas las componentes armónicas más la potencia de la componente fundamental. (Moya, Vilar, & Kolodziej, 2013)

Al mismo tiempo existe un THD que se refiere a la tensión y otro que se refiere a la corriente, el primero se genera por la fuente como resultado de una fuente muy distorsionada, mientras que el segundo es generado por la carga, una práctica habitual es tratar de que el THD de corriente en una instalación sea inferior al 10-15%. (Moya, Vilar, & Kolodziej, 2013)

Las siguientes expresiones se utilizan para calcular el THD

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

V_i' = Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

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

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

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

2.2.6.1 Límites

Tabla 4:
Valores límites de armónicas de voltaje.

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD $	
	V > 40kV	V ≤ 40kV
Impares no múltiplos de		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
>25	$0,1+0,6*25/n$	$0,2+1,3*25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores a 12	0,2	0,5
THD	3	8

Fuente: (CONELEC, 2013)

La Regulación CONELEC 004/01 establece que “los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i) y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD')”, señalados a continuación en la Tabla 4. Esta regulación considera los armónicos comprendidos entre la segunda y cuadragésima.

2.2.7 Factor de potencia y $\cos \phi$

De acuerdo con Pérez, Bravo de Medina y Llorente (2007), el factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, mientras que el $\cos \phi$ es la relación existente entre las componentes fundamentales de la potencia activa y la potencia aparente. Estos autores afirman que “el factor de potencia y el $\cos \phi$ solo son iguales cuando no existen armónicos”. (Olivares Hernández, 2012)

$$PF = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad (4)$$

$$\cos \phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad (5)$$

En donde:

PF = Factor de potencia

P = Potencia activa expresada en watt

S = Potencia aparente expresada en Voltamperios

La Regulación No. CONELEC 004/01 considera que “si en el 5% o más del periodo evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el consumidor está incumpliendo con el índice de calidad, considerando que el valor límite de dicho factor es de 0,92”.

2.2.7.1 Problemas por bajo factor de potencia

Un bajo factor de potencia provoca las siguientes consecuencias tanto para el consumidor como para el distribuidor de energía, tal como lo explica Ramírez Chávez, (2013):

Al consumidor:

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- Aumento de la temperatura en los conductores, que disminuye la vida útil de los aislantes.
- Incremento en el valor de las facturas por consumo de su energía eléctrica.

A la empresa distribuidora de energía:

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que debe entregar energía reactiva adicional, y por lo tanto su capacidad en KVA debe ser mayor.
- Mayores capacidades en las líneas de transmisión y distribución, al igual que en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, que pueden afectar a la estabilidad de la red eléctrica. (p. 18-19).

2.2.8 Principales fuentes de armónicos

El incremento notable de equipos electrónicos conectados a las redes eléctricas es el principal origen de los armónicos, ya que afectan a las formas de onda de tensión y corriente, debido al uso de semiconductores en prácticamente todos los equipos eléctricos. Estos equipos pueden definirse

como cargas de tipo lineal y no lineal. (Pérez Miguel, Bravo de Medina, & Llorente Antón, 2007)

La distorsión en la onda de tensión provoca una variación en sus valores de frecuencia y amplitud nominales, además de provocar una onda diferente a la sinusoidal. Estas son provocadas por cargas no lineales que consumen una corriente no sinusoidal, a pesar de que sean alimentadas por una tensión perfectamente sinusoidal. Las corrientes no sinusoidales circulando por las impedancias del resto del sistema, provocan distorsiones en las tensiones de los diferentes puntos de la red, ya que las caídas de tensión no son sinusoidales, lo cual extiende el problema al resto de componentes del sistema. Existen tres tipos de cargas no lineales: equipos electrónicos como variadores de velocidad, rectificadores, fuentes conmutadas etc.; cargas con inductancias saturables, y cargas con arcos de descarga como fluorescente, hornos de arco, etc. (Meléndez Frigola, Herraiz Jaramillo, & Colomer Llinás, 2005)

2.2.8.1 Efectos de los armónicos

A continuación, se realiza una breve descripción de los efectos que pueden producir los armónicos según Meléndez Frigola, Herraiz Jaramillo y Colomer Llinas (2005):

- En los conductores: Las intensidades armónicas ocasionan un aumento del valor eficaz de la corriente en los conductores, lo que puede producir actuaciones intempestivas de las protecciones, así como también a medida que aumenta la frecuencia de los armónicos, el efecto skin y pelicular se incrementan, lo que reduce la sección efectiva del conductor. Como consecuencia, las caídas de tensión se incrementan y los conductores se sobrecalientan.
- En el conductor del neutro: Si las intensidades que consumen cargas trifásicas y con conductor de neutro, generan armónicos de orden múltiplo de tres, éstos circulan por el conductor de neutro ya que su suma no es igual a cero, lo que ocasiona calentamiento y su posible destrucción si no han sido debidamente dimensionados de acuerdo con

la naturaleza de las cargas conectadas. Otro efecto son los ruidos de frecuencia audible en cables instalados debido a las vibraciones y valores de tensión entre neutro y tierra grandes.

- En los transformadores: El aumento del valor eficaz de la intensidad, produce un aumento de las pérdidas debido al efecto Joule en los devanados, así como también se incrementan las pérdidas en el hierro. Las pérdidas debidas a las corrientes de Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, y las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia, ocasionando la disminución en la potencia máxima que puede suministrar un transformador en presencia de armónicos en la red.
- En los motores: Se producen pérdidas de manera análoga al que se produce en los transformadores. También se pueden generar vibraciones anormales debido a los pares motores adicionales que se provocan por la presencia de armónicos, acortando la vida útil del motor.
- En los condensadores: Existe la posibilidad de la amplificación de los armónicos, así como un aumento de la temperatura, y por ende un envejecimiento prematuro.
- En los equipos electrónicos: En los equipos cuyo funcionamiento se basa en la frecuencia de la red, y que dependen de los pasos por cero de la tensión, pueden sufrir problemas ocasionados por la distorsión de la onda.
- En medidas eléctricas: los aparatos que basan su funcionamiento en el valor medio rectificado o el valor de pico, realizan la corrección de la escala para obtener el valor eficaz de la magnitud medida bajo el supuesto de que dicha magnitud presenta una forma de onda sinusoidal, por lo que, si la onda se distorsiona, se producirán errores en las medidas realizadas.

2.2.9 Fluctuaciones de tensión (Parpadeo - Flícker)

Según la norma española UNE-EN50160-2011, el Flícker es “la impresión subjetiva de la fluctuación luminosa”, producida por las fluctuaciones en la

tensión de la alimentación, y que percibe un observador cuando está presente en un sistema de iluminación, la intensidad de este parpadeo depende de la percepción del observador, del sistema de iluminación sobre todo de tubos fluorescentes, y de la intensidad de la fluctuación. (Berrios Villalba, 2016)

El Flícker de acuerdo a Berrios Villalba (2016), “constituye una forma de medir la incomodidad visual percibida por una persona ante los cambios reiterados del brillo de la iluminación causado por las fluctuaciones de la tensión de suministro”, además según este mismo autor, este parpadeo es controlado mediante el parámetro de Severidad de Parpadeo a Largo Plazo (Plt) y que es evaluado cada 2 horas, y la medida básica es el indicador de Severidad del Parpadeo a Corto Plazo (Pst), y que debe ser evaluado cada 10 minutos. Dichos valores de Pst no son tomados en cuenta en intervalos en los que la magnitud de tensión de suministro exceda un límite de tolerancia de $\pm 15\%$ del valor nominal.

2.2.9.1 Efectos

Este tipo de fluctuaciones pueden afectar el funcionamiento de sistemas digitales de control, electro medicina, PLC, instrumentación, funcionamiento anormal en los sistemas de iluminación, monitores y receptores de televisión entre otros equipos sensible, sin llegar a ser daños irreparables. Otro de los efectos que se presenta es el cansancio visual, ya que, en este tipo de fenómenos, la sensación de fluctuaciones rápidas de tensión (Flícker) es acumulativa, provocando en determinadas circunstancias cefaleas, migrañas, estrés, y problemas de salud, sobre todo en personas propensas a los ataques epilépticos debido a que pueden ocasionar convulsiones (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010)

En conclusión, se puede decir que el Flícker es el parpadeo del alumbrado debido a las fluctuaciones de la tensión entre 0.5 y 25 Hz. Si la frecuencia de la señal eléctrica es inferior a la fundamental, recibe el nombre de sub armónico.

La Regulación No. CONELEC 004/01 manifiesta “para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al Flícker, se considerará el Índice de Severidad por Flícker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos, definida de acuerdo con las normas IEC; misma que es determinada mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (6)$$

Donde:

P_{st} = Índice de severidad de Flícker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, \dots, P_{50}$ = Niveles de efecto “Flícker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del período de observación.

2.2.9.2 Límites

La Regulación CONELEC 004/01 también indica que “el índice de severidad del Flícker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite Pst = 1 como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestar al ojo humano en una muestra específica de población.”

Esta regulación también indica que, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido por un tiempo superior al 5% del periodo de mediciones de 7 días continuos, el suministro de electricidad no cumple con el límite permitido.

2.2.10 Desequilibrio de voltaje

Para la IEEE conocida como “Phase Voltage Unbalance Rate” (PVUR), se calcula por medio de la Ecuación (7)

$$PVUR = \frac{\text{Desviación máxima del promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}}{\text{Promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}} \quad (7)$$

Donde:

V_a, V_b, V_c = Tensiones fase – neutro del sistema

2.2.11 Nivel de voltaje

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

ΔV_k = Variación de voltaje, en el punto de medición el intervalo K de 10 min.

V_k = Voltaje RMS medido en cada intervalo de medición K de 10 min.

V_n = Voltaje nominal en el punto de medición.

2.2.11.1 Límites

La Regulación No. CONELEC 004/001 presenta las variaciones de voltajes que son admitidos con respecto al valor del voltaje nominal en la Tabla 5.

Tabla 5:
Variaciones de voltaje aceptados por Regulación No. CONELEC 004/001

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

Fuente: (CONELEC, 2001)

2.2.12 Desbalance de carga

En un sistema trifásico, se puede calcular el desbalance de carga, por medio de la corriente que circula por las líneas.

$$\% \text{ desbalance} = \frac{\text{carga mayor} - \text{carga menor}}{\text{carga mayor}} \times 100 \quad (9)$$

2.2.13 Iluminación

Al ser la luz una necesidad fundamental del ser humano, es importante recalcar que la iluminación en instalaciones tales como hospitales, salas de consultas entre otras, debe servir para cumplir dos objetivos fundamentales: garantizar las condiciones más óptimas para desarrollar las tareas correspondientes, y contribuir a generar una atmósfera en la que el paciente se sienta confortable, todo esto garantizando la máxima eficiencia energética posible. (IDAE-CEI, 2001)

El consumo eléctrico producido por la iluminación representa aproximadamente el 35%, del total dentro de una instalación del sector, dependiendo este porcentaje de varios factores tales como el tamaño, fachada, aportación de iluminación natural, la zona donde está ubicado, y el uso que se le dé a cada estancia dentro de la instalación. Por esta razón cualquier medida de ahorro energético en iluminación repercute de forma notable en los costos, ya que se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 20% y el 80% en el consumo eléctrico de alumbrado, mediante la utilización de componentes más eficientes, al empleo de sistemas de control y al aprovechamiento de la aportación de la luz natural. (Endesa Energía, 2010)

Los elementos básicos de un sistema de alumbrado y que determinan básicamente su eficiencia energética son:

- **Fuente de luz o lámpara:** es el elemento destinado a suministrar la energía lumínica.
- **Luminaria:** aparato cuya función principal es distribuir la luz proporcionado por la lámpara.
- **Equipo auxiliar:** son dispositivos que modifican las características de la corriente de manera que sean aptas para el funcionamiento de muchas fuentes de luz, que pueden ser conectadas de forma directa a la red. (Endesa Energía, 2010)

Existe un amplio rango de medidas para reducir el consumo energético, siendo las más destacadas las siguientes:

2.2.13.1 Fluorescentes con balastos electrónicos (On/Off y Regulables)

Este tipo de lámparas por lo general son las más utilizadas en zonas donde es necesario una luz de buena calidad y pocos encendidos. Necesitan de un elemento auxiliar que regule la intensidad de paso de la corriente, que es la reactancia o balasto. Los balastos electrónicos no presentan pérdidas debidas a la inducción ni al núcleo por lo que su consumo energético es notablemente inferior. (Endesa Energía, 2010)

En la Tabla 6 se puede observar el consumo energético de un tubo fluorescente con balasto convencional y con balasto de alta frecuencia.

Tabla 6:
Comparación entre balasto convencional y balasto electrónico

Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balasto convencional		Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balasto electrónico	
POTENCIA ABSORBIDA		POTENCIA ABSORBIDA	
Lámparas (2x58W)	116W	Lámparas (2x51W)	102W
Balasto Convencional	30W	Balasto Convencional	11W
TOTAL	146W	TOTAL	113W
DISMINUCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO		22.60%	

Fuente: (Endesa Energía, 2010)

2.2.13.1.1 Balastos electrónicos

La utilización de este tipo de balasto, según ENDESA ENERGÍA, (2010), presenta las siguientes ventajas:

- Mejorar la eficiencia de la lámpara y del sistema.
- Mejorar el confort y reducción de la fatiga visual al evitar el efecto estroboscópico.
- Optimizar el factor de potencia.
- Proporcionar un arranque instantáneo.
- Permitir una buena regulación del flujo luminoso de la lámpara.
- Determinados balastos electrónicos permiten facilitar la regulación de la intensidad de la lámpara, con lo cual se logra adaptar el nivel de iluminación a las necesidades.

El principal inconveniente de la aplicación del balasto electrónico según este mismo autor está en su inversión, ya que es mayor que la de uno convencional, por lo que se recomienda la sustitución en aquellas luminarias que tengan un elevado número de horas de funcionamiento.

2.2.13.2 Tubos Led

Actualmente la mejor alternativa para reemplazar lámparas poco eficientes, lo constituyen los tubos Led, que cuenta con diodos emisores de luz y un driver electrónico que permite transformar la corriente alterna en corriente continua.

Las ventajas con las que cuentan los tubos led con respecto a los tubos fluorescentes son los siguientes:

- **Ahorro energético:** Los tubos led ahorran más del 50% del consumo, así como el ahorro en mantenimiento ya que no necesita de reactancias y cebadores.
- **Horas de vida:** Los tubos led duran más de 50000 horas, en comparación a las 10000 horas de un buen tubo fluorescente.

- **Resistencia:** Son más resistentes a los golpes y vibraciones, además de ser desmontables y reparables.
- **Arrancadas:** Los tubos led son de arranque instantáneo y no les afecta a sus horas de vida.
- **Medio ambiente:** Estos tubos no requieren de ningún gas para encenderse por lo que no son peligrosos para salud humana y el medio ambiente. (LEDBOX, s.f.)

2.2.13.2 Lámparas fluorescentes compactas

Estas lámparas resultan muy adecuadas para sustituir lámparas de incandescencia tradicionales, ya que presentan una reducción del consumo energético del orden del 80%, a la vez que se incrementa la duración de la lámpara de entre 8 y 10 veces respecto a las lámparas de incandescencia. Su inconveniente es que no alcanzan el 80% de su flujo luminoso hasta pasado un minuto de su encendido. (Endesa Energía, 2010)

Tabla 7:
Equivalencia entre fluorescentes compactas e incandescentes.

Lámpara fluorescente compacta	Lámpara Incandescencia	Ahorro energético (%)
3 W	15 W	80
5 W	25 W	80
7 W	40 W	82
11 W	60 W	82
15 W	75 W	80
20 W	100 W	80
23 W	150 W	84

Fuente: (Endesa Energía, 2010)

En la Tabla 8 se indica orientativamente el porcentaje de ahorro aproximado que se puede obtener por sustitución de lámparas por otras más eficientes.

Tabla 8:
Ahorro energético por sustitución de lámparas

ALUMBRADO EXTERIOR		
SUSTITUCIÓN DE	POR	% AHORRO
Vapor de mercurio	Vapor de sodio alta presión	45%
Vapor de sodio alta presión	Vapor de sodio baja presión	25%
Halógena convencional	Halogenuros metálicos	70%
Incandescencia	Fluorescentes compactas	80%
ALUMBRADO INTERIOR		
Incandescencia	Fluorescentes compactas	80%
Halógena convencional	Fluorescentes compactas	70%

Fuente: (Endesa Energía, 2010)

2.2.13.4 Sustituciones de luminarias

En las luminarias va instalada la lámpara, y cumple la función de distribuir la luz producida por la fuente en la forma más adecuada a las necesidades, por lo que utilizar luminarias de elevado rendimiento, por lo general conlleva un ahorro energético sustancial, así como una mejora de las condiciones visuales. (Endesa Energía, 2010)

2.2.13.5 Aprovechamiento de la luz natural

En términos de eficiencia energética el aporte de la luz natural tiene un impacto considerable, ya que los ocupantes de un edificio por lo general prefieren un espacio bien iluminado con aporte de luz natural, teniendo en cuenta que para una mayor eficiencia es importante asegurar que la iluminación artificial se apague cuando el aporte de luz natural alcance una iluminación adecuada. El contar con paredes pintadas con colores claros ayuda, ya que estos colores reflejan hasta un 80% de luz incidente, mientras que los colores oscuros pueden llegar a reflejar menos de un 10% de la luz incidente. (Endesa Energía, 2010)

2.2.13.6 Sistemas de control y regulación (control horario, de presencia y de luminosidad combinada con presencia)

Un sistema de control de alumbrado óptimo asegura una iluminación adecuada mientras sea necesaria y durante el tiempo que sea preciso, asegura mejoras sustanciales en la eficiencia energética, manteniendo niveles óptimos de luz en función de las necesidades. Estos sistemas combinan sistemas de control de tiempo, sistemas de control de la ocupación, sistemas de aprovechamiento de la luz natural y sistemas de gestión de la iluminación. (Endesa Energía, 2010)

2.2.14 Criterios de calidad y diseño

2.2.14.1 Iluminancia

Según IDAE-CEI, (2001), se trata de la cantidad de flujo luminoso (lúmenes) que, emitido por una fuente de luz, llega vertical u horizontalmente a una superficie, dividido por dicha superficie, su unidad de medida es el lux.

2.2.14.2 Control de deslumbramiento

Para IDEA-CEI, (2001), el deslumbramiento se puede producir de forma directa por lámparas, luminarias y ventanas o por reflexión producida por superficies de alta reflectancia, y que pueden estar en el campo de visión del observador. El grado de deslumbramiento directo admisible está en función del tipo de actividad que se realice en el local. Este tipo de deslumbramiento puede ser corregido utilizando luminarias que redistribuyan el flujo de luz.

Este autor utiliza el criterio de la Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E. por sus siglas en francés), que clasifica las actividades en cinco grupos, en las que cada grupo de calidad tiene asignado un índice de deslumbramiento.

- La clase de calidad “A” será para una actividad visual muy alta, índice de deslumbramiento 1,15.

- La clase de calidad “B” será para una actividad visual alta, índice de deslumbramiento 1,50.
- La clase de calidad “C” será para una actividad visual media, índice de deslumbramiento 1,85.
- La clase de calidad “D” será para una actividad visual baja, índice de deslumbramiento 2,20.
- La clase de calidad “E” será para una actividad visual muy baja, índice de deslumbramiento 2,55. (IDAE-CEI, 2001).

2.2.14.3 Color

La Tabla 9 orienta sobre como seleccionar una lámpara según las necesidades de iluminación de las diferentes áreas.

Tabla 9:
Parámetros de iluminación recomendados

(Ra) ^a	Clase	Cálido < 3300 K	Neutro 3300 – 5000 K	Frío > 5000K	Criterio de aplicación
≥90	1A	<ul style="list-style-type: none"> • Halógenas • Fluorescente Lineal y compacta • Halogenuros metálicos y cerámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorescente lineal y compacta • Halogenuros metálicos y cerámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorescente lineal y compacta 	Principalmente donde la apreciación del color sea un parámetro crítico.
80-89	1B	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorescente lineal y compacta. • Halogenuros metálicos y cerámicos • Sodio Blanco 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorescente lineal y compacta. • Halogenuros metálicos y cerámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorescente lineal y compacta 	En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores
70-79	2B	<ul style="list-style-type: none"> • Halogenuros metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Halogenuros metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Halogenuros metálicos 	En zonas donde la calidad de apreciación correcta del color no es importante.
< 70	2B	<ul style="list-style-type: none"> • Mercurio. • Sodio 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercurio 		

Fuente: (INEN, 2011)

^a Índice de reproducción cromático

El color de un espacio o local iluminado de forma artificial depende de concretamente de dos parámetros de la lámpara.

- Índice de reproducción cromática (Ra) o grupo de rendimiento de color según CIE (1A, 2A, 1B, 2B).
- Temperatura de color (K). (IDAE-CEI, 2001)

2.2.15 Calidad de la energía en sistemas de vapor.

2.2.15.1 Sistemas Térmicos

Estos sistemas son equipos destinados a la generación de calor a través de la combustión de un combustible con el oxígeno del aire, y que permiten cubrir necesidades térmicas de calefacción y agua caliente y de procesos productivos. Entre los equipos térmicos más representativos se encuentran las calderas, hornos y secadores (UCATEE, s.f.)

2.2.15.2 Calderas

En las calderas el principio de funcionamiento es combustible y comburente (aire) que se inyectan en el interior de la caldera a través del quemador y que se inflaman con ayuda de la llama que alimentan. La reacción que se produce entre el combustible y el oxígeno del aire es altamente exotérmica, que produce como productos: residuos sólidos y humos y gases a elevadas temperaturas (de 200 a 1000°C). El contenido energético de estos gases es aprovechado en las calderas para calentar un fluido que puede ser aire, agua o aceite, mediante una superficie de intercambio. Finalmente, los gases de combustión que han transferido gran parte de su temperatura son evacuados por una chimenea (UCATEE, s.f.).



Figura 3. Esquema de funcionamiento de una Caldera.

Fuente: (UCATEE, s.f.)

Las calderas pueden ser de cámara de combustión abierta (atmosférica o tiro natural) o cerrada (presurizada o tiro forzado), así como también se encuentran calderas acuotubulares que constan de una serie de tubos por los cuales circula el fluido a calentar, y por su exterior circulan los gases que cede parte de su energía a través de las paredes de los tubos, o también pirotubulares en las que son los gases calientes los que pasan por los tubos, los cuales están rodeados por el fluido a calentar, también se clasifican por su rendimiento, en estándar que sirve para la producción de agua caliente entre 70 y 90°C, de baja temperatura que permite aprovechar el calor sensible de los humos a través de un recuperador de calor especial, y de condensación que permite que el vapor de agua de los gases de combustión condense sobre la superficie de los tubos de humos, consiguiendo recuperar el calor latente de los gases de combustión; estas dos últimas se consideran de alta eficiencia que pueden suponer un ahorro del 10-20% del combustible (UCATEE, s.f.).

Otros componentes de una red de un sistema de vapor según la Corporación Interamericana de Inversiones, (s.f.) son los siguientes:

- Líneas de vapor
- Válvulas reguladoras de presión de vapor: Permiten entregar el vapor a la presión en la que opera un equipo o un área de vapor
- Trampas de vapor: Para PRONAME, (s.f.), son válvulas automáticas que permiten el paso libre del condensado, eliminando el aire y otros gases no condensables de las tuberías de vapor y equipos que trabajan con el mismo, así como también impiden fugas de vapor al

sistema de retorno. Las trampas pueden ser mecánicas, termodinámicas y termostáticas.

- Líneas de retorno de condensado: Son aquellas que transportan el condensado.
- Tanque de condensados y/o alimentación: Está constituido por un recipiente que contiene el agua de alimentación a la caldera y debe cumplir tres tareas fundamentales tales como mantener una reserva mínima de agua, recuperar el agua de los retornos de los condensados y precalentar el agua de alimentación.
- Bombas de alimentación de agua: Se encargan de transportar el agua de alimentación a la caldera.

2.2.15.3 Sistemas de Vapor

El vapor de agua constituye uno de los medios de transmisión de energía calorífica de mayor efectividad en la industria como medio de calentamiento por su forma de generación, manejo y bajo costo, el vapor es generado en una caldera a partir de la combustión de un combustible, por lo general un derivado del petróleo, para transformar el agua en vapor a determinada presión y temperatura que permite transportarlo al equipo o proceso consumidor sin necesidad de utilizar algún medio mecánico como una bomba (Betancur Mesa, 2007).

El vapor generado en una caldera se lo puede utilizar para transportar energía proveniente del combustible hacia los equipos o procesos que necesitan esta energía en forma de calor. La transferencia de calor en estos casos puede darse de forma directa o indirecta. El vapor posee la virtud de su presión que puede ser utilizada para generar movimiento por ejemplo una turbina (Betancur Mesa, 2007).



Figura 4. Ciclo de Vapor Ideal.

Fuente: (Barriga, s. f.)

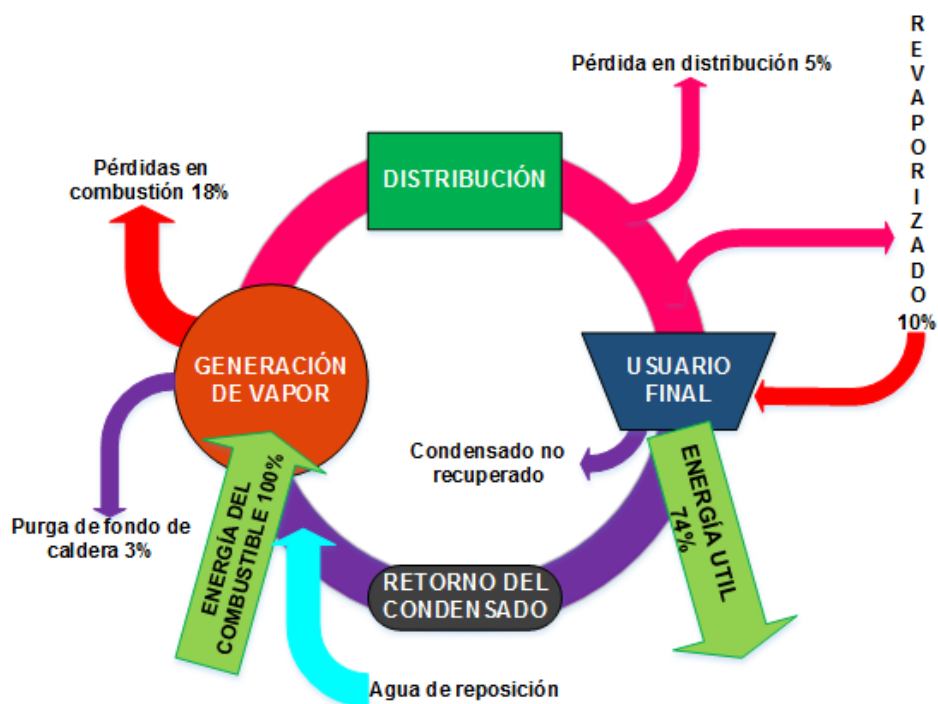


Figura 5. Ciclo de Vapor Real.

Fuente: (Barriga, s. f.)

2.2.15.3.1 Focos de pérdidas de sistemas de distribución de vapor

Según Barriga, (s.f.), en su trabajo titulado Auditoría Energética de un sistema de vapor, considera que los principales focos donde existe pérdidas dentro del sistema de distribución de vapor son los siguientes:

- Dimensionamiento de las redes.
- Distribución general y drenaje de condensados.
- Aislamiento de las redes.
- Presiones de vapor mayores a las necesarias para el tipo de procesos.
- Baja recuperación de los condensados generados en los sistemas de intercambio de calor.

2.2.16 Equipos de medición y registro de datos

En el desarrollo de auditorías energéticas es necesario realizar mediciones, que permitan obtener ciertos parámetros de interés, por lo que se necesitan diferentes equipos que proporcionen datos, tanto térmicos como eléctricos y que permitan una correcta evaluación.

2.2.16.1 Analizador de redes

El analizador de redes es un instrumento de medida, que mide directamente (tensión e intensidad) o bien calcula (potencia y energías activas y reactivas, factor de potencia, consumos máximos y mínimos, armónicos, etc.) los diferentes parámetros eléctricos de una línea eléctrica (por lo general de baja potencia) (Comunidad de Madrid, s. f.).

Estos equipos además permiten memorizar dichos parámetros mediante diversas funciones de programación, y están compuestos por:

- El equipo registrador/analizador.
- Tres pinzas amperimétricas.
- Cuatro pinzas voltimétricas.

- Uno o varios sistemas de extracción de los datos memorizados (impresora, tarjetas de memoria, cable y software específico) (Comunidad de Madrid, s. f.)



Figura 6. Analizador de red trifásica FLUKE 1730.
Fuente: (FLUKE, 2006)

2.2.16.2 Analizador de gases de combustión

El analizador de gases de combustión es un instrumento de medida que permite medir directamente (concentración de oxígeno, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, inquemados sólidos, tiro y temperatura del aire ambiente y de gases) o bien calcular (rendimiento de combustión, índice de exceso de aire, etc.) los diferentes parámetros que determinan las características de una combustión en un determinado equipo consumidor de combustible como puede ser una caldera, un horno, un motor, etc. (Comunidad de Madrid, s. f.).

Al igual que los analizadores de red, estos equipos permiten memorizar dichos parámetros mediante funciones de programación, y por lo general están compuestos por el equipo analizador, una sonda para tomar muestras de gases y medición, termómetros y bomba opacímetro. (Comunidad de Madrid, s. f.).



Figura 7. Analizador de gases de combustión.
Fuente: (Bacharach)

2.2.16.3 Luxómetro

Este instrumento se usa para medir la iluminación o nivel de iluminación (lux), y cuyos datos se comparan con los niveles recomendados por los estándares establecidos, sobre iluminación de los lugares de trabajo interiores. Estos equipos son muy sencillos y están formados por el analizador y la sonda fotosensible. (Comunidad de Madrid, s. f.)

2.2.16.4 Otros equipos de medición

2.2.16.4.1 Muestreador de caudal constante

Mide velocidad de los gases y determina el caudal volumétrico mediante medidas isocinéticas en chimeneas. Es utilizado en grandes instalaciones industriales. (Comunidad de Madrid, s. f.).

2.2.16.4.2 Termómetro de contacto

Por lo general con un rango 0 °C – 200 °C para determinar pérdidas de calor en conductos, tuberías y equipos dotados de aislamiento. (Comunidad de Madrid, s. f.).

2.2.16.4.3 Multímetro

Permite medir un conjunto de variables, tales como: voltaje, intensidad, resistencia, frecuencia, temperatura, humedad, intensidad de luz, incluso sonido. (Comunidad de Madrid, s. f.)

2.2.16.4.4 Bomba opacimétrica

Indica el índice de opacidad en humos en la escala Bacharach. Sirve para utilizar en temperaturas no muy elevadas, tales como sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). (Comunidad de Madrid, s. f.)

2.2.16.4.5 Pirómetro de infrarrojos

Permite medir la temperatura superficial en hornos, calderas, etc. También permite detectar los “los puntos calientes” en cuadros eléctricos, aislamientos térmicos y refractarias. (Comunidad de Madrid, s. f.)

2.2.16.4.6 Medidor de energía eléctrica

Mide Voltaje, Intensidad de corriente, Potencia activa, Potencia reactiva, Vatios-hora y consumo, y permite realizar mediciones eléctricas en equipos concretos. (Comunidad de Madrid, s. f.)

2.2.17 Registrador Trifásico FLUKE 1735

De acuerdo con el manual de usuario proporcionado por el fabricante, FLUKE (2006), el 1735 Power Logger, puede realizar estudios de tensión, corriente y potencia para determinar las cargas existentes. Esta herramienta permite también investigar la calidad de la potencia con fines generales y que indique la calidad del suministro de tensión en cualquier punto de una red de distribución.



Figura 8. Analizador de Redes FLUKE 1735.
Fuente: (FLUKE, 2006)

El registrador FLUKE 1735 permite según FLUKE (2006):

- Registrar la potencia y los parámetros asociados por un periodo máximo de 45 días.
- Monitorizar la demanda máxima de potencia a lo largo de periodos de cálculo de promedios definidos por el usuario.
- Comprobar el beneficio obtenido por implementación de mejoras de eficiencia con pruebas de consumo de energía.
- Medir la distorsión armónica causada por presencia de cargas electrónicas.
- Mejorar la fiabilidad al capturar huecos de voltaje y sobretensiones que parecen cuando se produce la conmutación de cargas.
- Medir las tres fases y el neutro con las 4 sondas flexibles de corriente, incluidas, así como visualizar gráficos y generar informes con el software Power Log.

Aplicaciones:

- Estudios de carga: Verifica la capacidad del sistema eléctrico antes de agregar cargas.

- Evaluación de energía: Cuantifica el consumo de energía antes y después de realizar mejoras, para justificar los dispositivos de ahorro de energía.
- Mediciones de armónicos: Descubre problemas con armónicos que pueden provocar daños o perturbar el funcionamiento de equipos críticos.
- Captura de sucesos de voltaje: Monitoriza la existencia de huecos de voltaje y sobretensiones que causan restablecimientos espurios o activación inexplicada de disyuntores. (FLUKE, 2006)

Descripción de los elementos de control:

La Figura 9 indica los elementos de control del Power Logger FLUKE 1735.

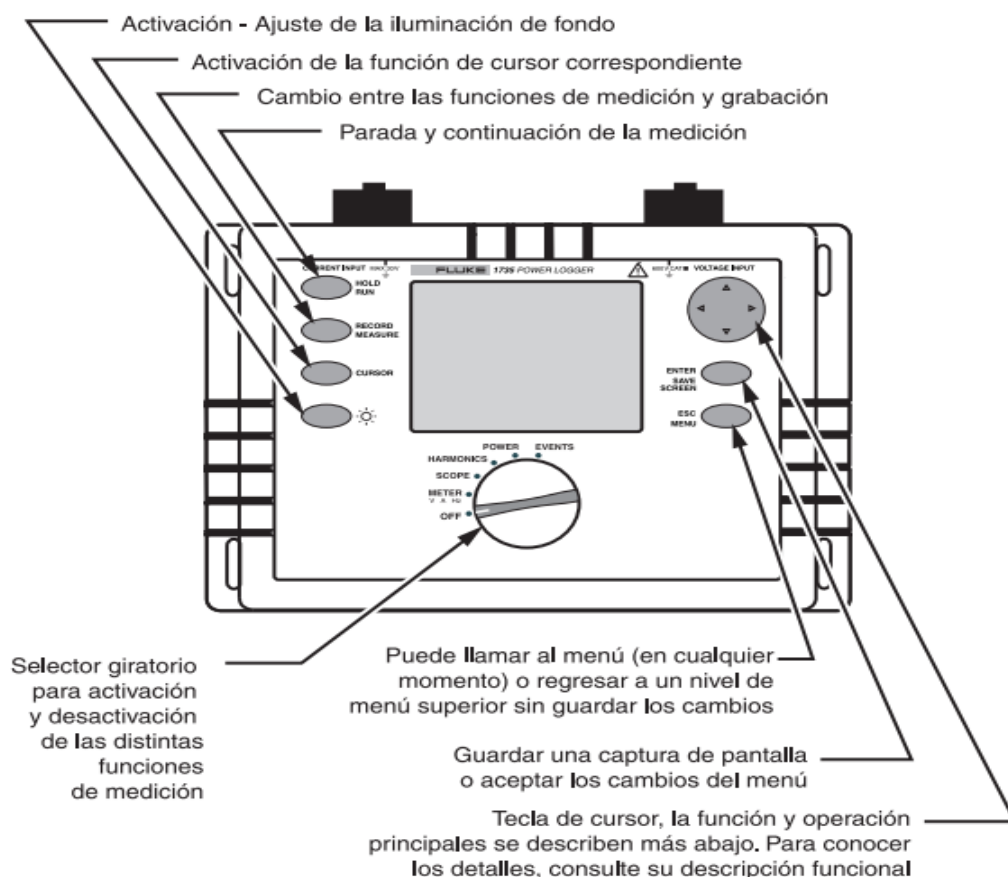


Figura 9. Elementos de control de FLUKE 1735.

Fuente: (FLUKE, 2006)

Conectores:

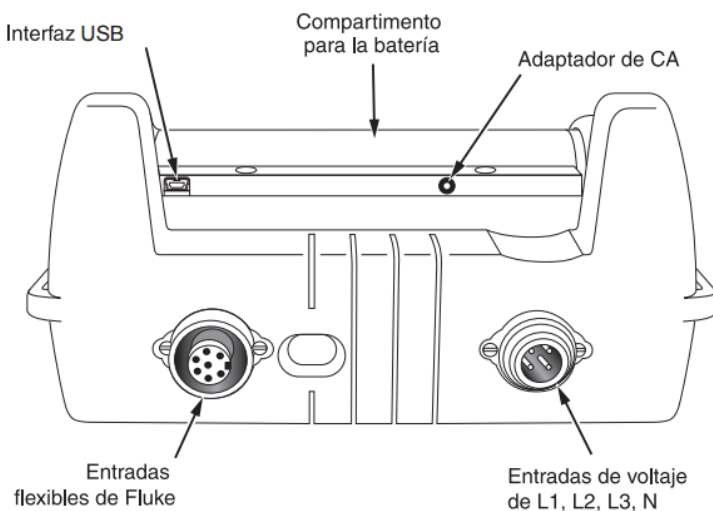


Figura 10. Conectores de FLUKE 1735.
Fuente: (FLUKE, 2006)

Breve descripción del menú:

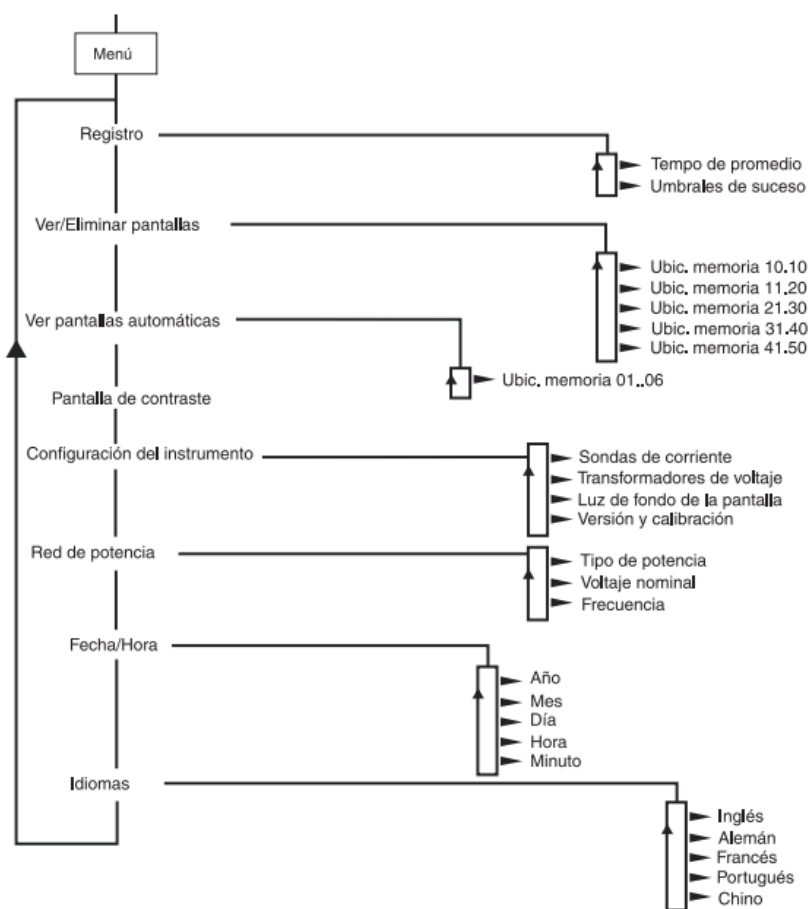


Figura 11. Descripción de menú de opciones de FLUKE 1735.
Fuente: (FLUKE, 2006)

2.2.17.1 Registro de parámetros de calidad eléctrica con el FLUKE 1735

El registrador FLUKE 1735 permite realizar estudios de la carga instalada. Incluye sondas flexibles de corriente que facilitan su conexión alrededor de múltiples conductores o barras colectoras; cuenta además con una interfaz para PC y un software que permite la descarga para su correspondiente análisis de las medidas. Este modelo 1735 realiza medidas de tensión y corriente tanto en las tres fases como también en el neutro, registrando simultáneamente numerosos parámetros que permiten determinar el estado de la carga de la instalación, así como la tensión, corriente, frecuencia, potencia activa (kW), potencia aparente (kVA), potencia reactiva (kVAR), factor de potencia y consumo de energía (kWh). (FLUKE, 2006).

Procedimiento para realizar estudio de carga:

1. Conectar las sondas del instrumento a la instalación eléctrica. Para un sistema trifásico existen ocho conexiones: la tensión en las tres fases, tensión en el neutro, corriente en las tres fases y corriente en el neutro.
2. Establecer los parámetros del sistema eléctrico y la topología presentada por la red, de tal manera que coincidan con el tipo de instalación que se va a analizar. Comprobar que la tensión nominal de la red y la frecuencia son correctas.
3. Establecer el tiempo de registro, por ejemplo, un intervalo de 15 minutos durante 30 días en total.
4. Iniciar el registro de datos. En la posición W (potencia), el equipo FLUKE1735 registrará los valores mínimo, máximo y promedio durante el tiempo elegido en el paso anterior, de los siguientes parámetros:
 1. Potencia (en vatios para cada fase y el valor total)
 2. Potencia reactiva (en VAR para cada fase y el valor total).
 3. Potencia aparente (en VA para cada fase y el valor total).
 4. Factor de potencia (para cada fase y el valor promedio).
 5. Consumo promedio de energía (en kWh).
 6. Energía reactiva (en kVARh).

En la pantalla de tendencias se puede visualizar de forma actualizada los valores mínimos, máximos y promedios. Finalizado el tiempo de recogida de datos, desconectar el registrador de la red, y conectarlo al PC utilizando el cable de comunicación serie y mediante el software PowerLog descargar todos los datos almacenados.

Descargar y revisar las medidas. PowerLog creará un gráfico con esos datos, de manera que pueda visualizarse fácilmente la corriente o potencia máxima en cada fase, comparar las tres fases y proporcionar el valor más alto. PowerLog incorpora la función de generación de informes, que incluye la creación de gráficos de corriente y potencia, así como gráficos de barras.

2.2.18 Hospital del IESS General-Latacunga

Este hospital se encuentra ubicado en el barrio Loreto, calle Quito S/N Y Leopoldo Pino, y mantuvo la categoría de Básico hasta agosto del 2017, fecha en que subió a la categoría de General gracias a los cambios que se realizaron en las instalaciones hospitalarias, así como la implementación de la unidad de cuidados intensivos y cuyo objetivo es proteger a la población urbana y rural, cuente o no con relación de dependencia laboral, contra contingencias de enfermedad, maternidad, riesgos de trabajo, discapacidad, cesantía, invalidez, vejez y muerte, de acuerdo con los términos consagrados en la Ley de Seguridad Social y las políticas del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (Rivera Orbea, 2016)

El Hospital del IESS Latacunga proporciona una atención de calidad y calidez, con la finalidad de convertirse en la institución hospitalaria más importante de la provincia de Cotopaxi, al contar con tecnología de punta, cumpliendo estándares de calidad ya que cuenta con personal altamente calificado. Al tratarse de la única casa de salud propia del IESS, ofrece atención médica tanto a la población afiliada como a la ciudadanía en general de los cantones de La Maná, Pujilí, Pangua, Salcedo, Saquisilí, Sigchos. (Rivera Orbea, 2016)



Figura 12. Hospital del IESS General – Latacunga.

En el informe de rendición de cuentas del “Hospital Básico Latacunga” de la Ing. Eliana Rivera (2016), pone de manifiesto que, durante el año 2016, la cobertura en Consulta externa llegó a 161.200, Emergencia 62.500 y Egresos Hospitalarios 7.020, así como existieron 186.900 citas gestionadas con un total de 185.200 citas médicas atendidas; incrementándose en un 20% el número de usuarios durante el 2016.

Objetivos institucionales

- Incrementar la calidad, calidez y oportunidad en la prestación de los servicios de salud.
- Incrementar la eficiencia operacional.
- Incrementar las capacidades técnicas y administrativas del Talento Humano.
- Incrementar el uso eficiente de los recursos financieros. (Rivera Orbea, 2016)

2.2.18.1 Identificación de áreas y servicios del Hospital

2.2.18.1.1 Área de atención médica

El Hospital del IESS Latacunga brinda atención médica integral ya que cuenta con especialistas en las cuatro ramas básicas: cirugía general, gineco-obstetricia, medicina interna y pediatría, con el apoyo del servicio de anestesiología. Además, dispone de servicios de diagnóstico y tratamiento a través de laboratorio clínico, gabinete de radiología y servicio de transfusión o banco de sangre. (Rivera Orbea, 2016).

2.2.18.1.2 Áreas Administrativas

El Hospital cuenta con una organización funcional con diferentes áreas administrativas para una mejor y eficiente atención. Estas cumplen con diferentes roles muy importantes y para una mejor comprensión se citan las siguientes áreas:

- Dirección Técnica
- Dirección Administrativa
- Dirección Médica
- Talento Humano
- Trabajo Social
- Informática y Estadística
- Contabilidad-Facturación
- Seguridad y Salud Ocupacional
- Oficina de Enfermería

2.3 Hipótesis

La auditoría energética por realizar en el Hospital del IESS General - Latacunga permitirá determinar las falencias en el consumo de energía en todas las áreas y mediante la propuesta de mejoras se permitirá obtener un eficiente consumo energético.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación

Investigación Cuantitativa

La investigación cuantitativa permitirá recoger y organizar datos cuantitativos sobre variables eléctricas mediante mediciones exhaustivas y controladas por medio del analizador de redes FLUKE 1735, lo que permitirá establecer conclusiones y recomendaciones al problema que se investiga, con la ayuda de gráficas, ecuaciones, análisis de factores entre otras.

3.2 Tipos de investigación

Investigación Bibliográfica

Constituye el primer paso dentro del proceso de investigación, ya que permite obtener el conocimiento necesario sobre el uso eficiente de la energía, como alcanzarlo y los beneficios que genera, a través de una amplia búsqueda de información en las diferentes fuentes bibliográficas tales como libros, normas, páginas web.

Investigación Descriptiva

Este tipo de investigación permitirá recoger los datos obtenidos en las mediciones con el fin de analizar las variaciones que se producen en el sistema eléctrico durante el periodo de mediciones y poder definir una hipótesis sobre el grado de eficiencia energética actual de las instalaciones hospitalarias.

Investigación Documental

Para el desarrollo del presente proyecto se utiliza la investigación documental, ya que permite seleccionar, analizar y recopilar adecuadamente información sobre instalaciones y equipos del hospital a partir del uso de documentos existentes en el área de mantenimiento, tales como manuales, planos entre otros.

Investigación Aplicada Tecnológica

Permite mejorar la eficiencia del área productiva del hospital, al orientarse a la producción de conocimientos y métodos sobre un uso eficiente de la energía, con el fin de poner en práctica un mejoramiento en el consumo energético del hospital.

3.3 Diseño de la investigación

Tabla 10:
Diseño de la investigación

Objetivos específicos	Tareas
Recopilar información disponible en el área de mantenimiento del hospital sobre las instalaciones hospitalarias, para determinar las áreas más sensibles en los cuales se realizará la Auditoría	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una investigación documental y archivista en el Hospital del IESS Latacunga • Conocer la totalidad de la infraestructura del hospital e indagar las diferentes áreas: atención médica, administrativas y mantenimiento.
Seleccionar las áreas críticas según los parámetros energéticos eléctricos y térmicos de acuerdo con la información recolectada y recomendaciones dadas del personal de mantenimiento, para efectuar mediciones más exhaustivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar la distribución eléctrica y térmica del hospital y realizar una división pertinente por áreas en los cuales se tomará mediciones continuas durante el tiempo establecido por la norma CONELEC 004/001 • Recopilar información sobre los equipos de medición que serán utilizados en las diferentes áreas del Hospital.

CONTINÚA 

<p>Realizar una auditoría energética de primer nivel a la totalidad de las instalaciones hospitalarias para identificar los equipos que consumen energía, así como el estado actual de las instalaciones para reconocer las posibilidades de ahorro energético</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Visitar las instalaciones del hospital y realizar la observación y toma de datos de los equipos médicos, electromecánicos y de oficina para obtener la carga instalada total. • Estudiar la información proporcionada por ELEPCO S.A, para obtener conclusiones y tablas comparativas de consumo y demanda.
<p>Efectuar una auditoría energética de segundo nivel en cada una de las áreas seleccionadas para realizar la toma y registro de datos con el analizador de redes eléctricas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar mediante el diagrama unifilar existente, el punto de medición en los tableros eléctricos principales. • Realizar la toma de mediciones en áreas previamente definidas durante el periodo de tiempo establecido por la norma CONELEC 004/001, mediante los equipos proporcionados por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
<p>Analizar los resultados obtenidos en la auditoría de segundo nivel utilizando técnicas o herramientas estadísticas, para reconocer los potenciales de ahorro energético</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener un completo análisis estadístico de las mediciones efectuadas. • Realizar gráficas y tablas comparativas de los resultados obtenidos en la auditoría de segundo nivel.
<p>Diseñar una propuesta de mejoras para el sistema eléctrico y térmico con el fin de mejorar la eficiencia energética del hospital.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los problemas existentes en el sistema eléctrico y en el sistema térmico, obteniendo conclusiones y recomendaciones respecto al consumo energético del hospital en el año 2016. • Diseñar el plan de mejoras una vez realizado el análisis de resultados y el reconocimiento de los problemas que afectan el consumo energético del hospital.

3.4 Niveles de investigación

El nivel de investigación es descriptivo y explicativo:

Nivel descriptivo

Porque permite describir el comportamiento real de las variables eléctricas por medio de los datos recogidos en el analizador de redes eléctricas, cuya finalidad es establecer parámetros estadísticos de los datos medidos más relevantes y de acuerdo con ello describir sus implicaciones y características.

Nivel explicativo

Porque tiene por finalidad explicar el comportamiento del consumo energético en las áreas donde se realizó las mediciones y determinar cómo influyen las perturbaciones detectadas en la calidad de energía eléctrica que se consume en el hospital.

3.5 Técnicas de investigación

Observación directa

Permite observar directamente y evidenciar de cerca el estado de las instalaciones, así como detectar el grado de eficiencia energética que tienen en el hospital.

Entrevista no estructurada

Se mantuvo conversaciones informales con el personal de mantenimiento, con el fin de conocer de primera mano la información con la que cuentan para canalizarla en el mejor uso de la energía en las distintas áreas del hospital.

Medición de Parámetros

Mediante esta técnica y con la ayuda de equipos de medición de parámetros eléctricos se puede monitorear y conocer el comportamiento del sistema eléctrico, y a la vez contar con un registrador con el cual se podrá almacenar los datos medidos por el equipo.

Fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos

- Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones.
- Recopilación de proyectos similares basados en auditorías energéticas

realizadas en diferentes Hospitales.

- Identificación de las herramientas y técnicas estadísticas a utilizarse mediante bases digitales para el correspondiente análisis de los datos obtenidos en la auditoría.

3.6 Validez y confiabilidad

El analizador de redes FLUKE 1735, constituye el principal instrumento de recolección de datos por lo tanto su confiabilidad y validez son muy importantes.

Los equipos FLUKE están contruidos de acuerdo con las normas más altas de seguridad y fiabilidad, que permite realizar estudios de carga de acuerdo al Código Eléctrico Nacional (NEC), que es un estándar de los Estados Unidos para la instalación segura de cableado y equipos eléctricos, lo que le brinda la mayor confiabilidad al momento de efectuar mediciones, además dispone de un potente software para analizar la calidad eléctrica de las instalaciones, que convierte los datos de las mediciones en información muy valiosa para proponer soluciones.

La validez y confiabilidad son cualidades esenciales que deben estar presentes en todo el proceso de medición y recolección de información ya que da rigor, calidad y mayor confianza en las conclusiones posteriormente emitidas respecto a los problemas encontrados.

3.7 Técnica de análisis de datos

Una vez completada la auditoría de primer y segundo nivel se procede a la clasificación y análisis de datos obtenidos.

Análisis descriptivo de datos

Este tipo de técnica se emplea en las primeras etapas del análisis estadístico de los datos recopilados, y que permitirán obtener información destacable de las variables eléctricas medidas en cada uno de los puntos de medición seleccionados, tales como el número de observaciones, medidas de

dispersión, etc. y que permite hacer una descripción de las características halladas en cada uno de los puntos de medición, así como comparaciones en relación con algún tipo de característica importante respecto a la calidad energética entre las áreas en las se efectúa la medición.

El análisis descriptivo de datos se realiza mediante procesos específicos como el cálculo de estadísticas descriptivas, la clasificación de los datos obtenidos en las mediciones efectuadas, graficación de estos datos y el análisis exploratorio.

Análisis exploratorio de datos

Esta técnica está basada en gráficas y estadísticos que permitan identificar valores característicos de los parámetros eléctricos medidos con el analizador de redes eléctricas, tales como: medias, desviación estándar, mínimos y máximos, valores atípicos, tipo de distribución, saltos, discontinuidades, concentración de valores, entre otros, con el fin de identificar tendencias relevantes que puedan afectar a la calidad de la energía eléctrica.

3.8 Técnicas de comprobación de la hipótesis

El método inductivo constituye la principal herramienta para comprobar la hipótesis ya que permite establecer conclusiones generales a partir de observaciones y antecedentes del comportamiento del consumo de energía en el hospital, que permita dar explicaciones a lo observado y establecer una serie de deducciones.

Uso de estadística

Esta técnica permite determinar si la hipótesis planteada es coherente con los datos obtenidos en las mediciones, ya que si se encuentran factores que afecten a la calidad de la energía en los datos recopilados, su corrección mejorará la eficiencia energética del hospital.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Recopilación de información

Para determinar el estado en que se encuentran en la actualidad las instalaciones eléctricas del Hospital General-Latacunga fue necesario realizar una recopilación de información mediante la identificación de las diversas áreas y el levantamiento de carga por sección, a través de la Auditoría Energética de primer nivel efectuada en las instalaciones hospitalarias.



Figura 13. Auditoría energética de primer nivel

4.1.1 Levantamiento de la carga

Un factor fundamental en el desarrollo de una auditoría energética es el levantamiento de la carga, ya que permite obtener la magnitud de la potencia instalada y el tipo de carga. Dicha potencia instalada se determina mediante el desarrollo de una auditoría de nivel uno, basados en la revisión de los datos de placa de los diferentes equipos. A continuación, se presenta la capacidad

instalada de cada uno de los transformadores y las cargas asociadas a cada uno de ellos.

4.2 Capacidad instalada en el hospital del IESS General-Latacunga

1. Generador de emergencia 370 kVA
2. Transformador 630 kVA
3. Transformador 75 kVA
4. Transformador 75 kVA
5. Transformador 75 kVA

4.2.1 Generador de emergencia

El Hospital del IESS General-Latacunga cuenta con un grupo electrógeno que proporciona energía eléctrica alternativa para situaciones de emergencia o en aquellas en que se produce un fallo en el suministro de la red eléctrica pública, y que provee de energía a los sistemas críticos y esenciales.

A continuación Tabla 11 se detallan las características técnicas del grupo electrógeno.

Tabla 11:
Datos de placa del equipo Generador A. C.

Equipo generador A. C.	
Marca	DOW-WARNER
Modelo	300CA2
Serie	94-5842-1
Voltaje	127/220
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones	1800 rpm
Corriente	984 A
PF	0.8
Potencia	300 kW 375 kVA

El grupo electrógeno se enciende automáticamente al detectarse un corte en el suministro de energía eléctrica, de igual manera se produce su desconexión cuando se restablece el suministro de la red eléctrica pública.

El grupo electrógeno se encuentra ubicado en la casa de máquinas del hospital, junto a las calderas, por lo que se encuentra protegido de los factores medio ambientales, tales como la lluvia, radiación solar, rocío y que cuenta con la suficiente ventilación natural para su correcto funcionamiento.

4.2.2 Cámara de transformación

El Hospital del IESS General-Latacunga, cuenta con una cámara de transformación que consta de cuatro transformadores trifásicos, el primero de 630 kVA con voltajes secundarios de 220/127 voltios, los tres restantes de 75 kVA con voltajes secundarios de 220/127, cada uno.

Tabla 12:
Datos de placa de transformador de 630 Kva

Capacidad en régimen continuo	630 KVA
Voltaje nominal primario	13200 V
Voltaje nominal secundario	220/127 V (en vacío)
Conexión del primario	Delta
Conexión del secundario	Estrella con neutro
Impedancia sobre la base de la potencia nominal	4%
Desplazamiento angular entre los voltajes primario y secundario (Dy5, según IEC)	150°
Valor medio de elevación de temperatura sobre 30°C de temperatura medio ambiente	65°C
Frecuencia	60 Hz
Clase de aislamiento en el lado primario	15 KV
Clase de aislamiento en el lado secundario	1,2 KV
Nivel de impulso básico (BIL) lado primario	125 KV
Nivel de impulso básico (BIL) lado secundario	30 KV

Tabla 13:
Datos de placa de transformador de 75 Kva

Capacidad en régimen continuo	75 KVA
Voltaje nominal primario	13200 V
Voltaje nominal secundario	220/127 V (en vacío)
Conexión del primario	Delta
Conexión del secundario	Estrella con neutro
Impedancia sobre la base de la potencia nominal	4%
Desplazamiento angular entre los voltajes primario y secundario (Dy5, según IEC)	150°
Valor medio de elevación de temperatura sobre 30°C de temperatura medio ambiente	65°C
Frecuencia	60 Hz
Clase de aislamiento en el lado primario	15 KV
Clase de aislamiento en el lado secundario	1,2 KV
Nivel de impulso básico (BIL) lado primario	125 KV
Nivel de impulso básico (BIL) lado secundario	30KV

4.2.2.1 Transformador de 630 kVA y 75 kVA

La Tabla 14 permite observar la carga instalada que alimentan los transformadores de 630 kVA y el transformador de 75 kVA, que constituye la práctica totalidad de la carga instalada del hospital, a excepción de los equipos generadores de Rayos X y Mamógrafo que comparten un transformador de 75 kVA independiente y el Tomógrafo, que a su vez cuenta con un transformador también de 75 kVA.

Los resultados obtenidos en la auditoría energética de primer nivel se presentan en la Tabla 15 y que permitió determinar los valores de carga instalada por área y que son energizados por los transformadores de 630 kVA y 75 kVA.

Tabla 14:
Carga instalada de transformadores de 630 kVA y de 75 kVA

ÁREA	CARGA TOTAL INSTALADA POR ÁREA [KVA]
ÁREA DIRECCIÓN MÉDICA	0,52
ÁREA DE RAYOS X	22,87
BODEGA	6,16
CAPILLA - SERVICIO PREHOSPITALARIOS	0,34
CENTRO QUIRÚRGICO	27,08
CONSULTA EXTERNA	31,92
CUARTO DE MÁQUINAS – PARQUEADERO	43,72
DIRECCIONES TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA	11,55
EMERGENCIAS	4,34
ESTERILIZACIÓN	73,68
ESTIMULACIÓN TEMPRANA - TERAPIA INFANTIL	2,73
EXTERIORES - CUARTO DE BOMBAS	38,21
FARMACIA	2,85
GINECOLOGÍA	5,48
HOSPITALIZACIÓN CLÍNICA – CIRUGÍA	4,69
HOSPITALIZACIÓN TRAUMATOLOGÍA	10,46
ILUMINACIÓN	80,17
LABORATORIO CLÍNICO	19,73
LABORATORIO HISTOPATOLÓGICO	9,37
LAVANDERÍA	17,40
MANTENIMIENTO - SERVICIOS GENERALES	63,45
NEONATOLOGÍA	12,77
NUTRICIÓN Y DIETÉTICA	121,59
PEDIATRÍA	2,44
REHABILITACIÓN	6,50
SALA DE MÁQUINAS	30,00
SALA DE YESOS - ACTIVOS FIJOS - INFORMÁTICA Y ESTADÍSTICAS	1,51
TOTAL	659,51

4.2.2.2 Transformador de 630 kVA y 75 kVA

La Tabla 15 permite observar la carga instalada y que corresponde al área de tomografía.

Tabla 15:
Carga instalada al transformador de 75 kVA

ÁREA DE TOMOGRAFÍA	CARGA TOTAL INSTALADA POR ÁREA [KVA]
TOMÓGRAFO	90,00
CPU	0,60
CPU TOMÓGRAFO	1,80
IMPRESORA TOMÓGRAFO	1,54
INYECTOR DE CONTRASTE	0,30
MONITOR	0,24
MONITOR PARA MEDICINA	0,22
TOTAL	94,70

4.2.2.3 Transformadores de 75 kVA

La Tabla 15 permite observar la carga instalada y que corresponde al área de Rayos X y Mamografía.

Tabla 16:
Carga instalada a transformadores de 75 kVA

ÁREA DE RAYOS X	CARGA TOTAL INSTALADA POR ÁREA [KVA]
EQUIPO DE MAMOGRAFÍA	6,60
EQUIPO DE RAYOS X	0,87
EQUIPO DE RAYOS X	1,27
GENERADORES DE RAYOS X	1,32
TOTAL	10,04

La auditoría de primer nivel efectuada en las instalaciones del Hospital del IESS General-Latacunga permitió establecer en 873,6 kVA la carga total instalada, que incluye equipos médicos, electromecánicos, de oficina y de iluminación. En la Figura 14 se representa la cantidad de carga instalada en kVA y el porcentaje que representa, en cada una de las plantas con la que cuenta el hospital. De esta auditoría se desprende que el subsuelo #2 y la planta baja son las que cuentan con mayor carga instalada.

**Carga total instalada por planta
Hospital del IESS General-Latacunga [KVA]**

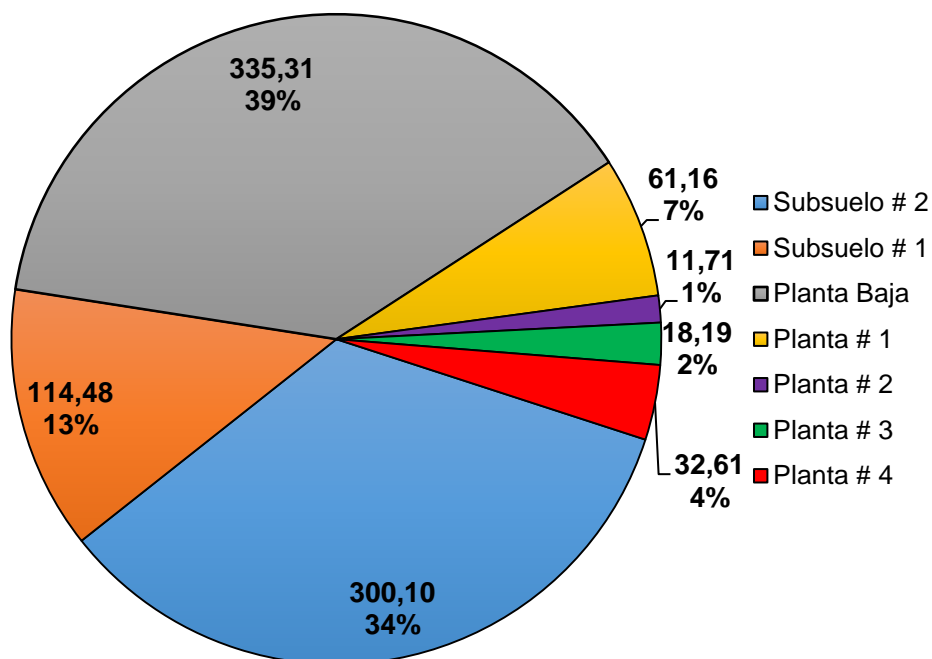


Figura 14. Carga total instalada por planta en el Hospital del IESS

4.3 Facturación por electricidad del hospital por parte de ELEPCO SA

Como parte de la auditoría de nivel uno, se recopiló información sobre los datos del consumo de energía eléctrica del hospital durante el periodo enero-diciembre del 2016, y que fue entregado por parte de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Sociedad Anónima (ELEPCO SA).

Los datos recibidos de los registros permiten observar la tendencia y el perfil del comportamiento del consumo de energía eléctrica del hospital y que se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17:
Datos de facturación del consumo eléctrico del hospital

DATOS DE FACTURACIÓN (2016) HOSPITAL GENERAL - LATACUNGA			
Periodo	Consumo [kWh]	Demanda [kW]	Factor de Potencia
Enero	47,389	126	0,939
Febrero	42,874	107	0,930
Marzo	46,167	106	0,932
Abril	46,320	111	0,932
Mayo	48,205	112	0,939
Junio	51,292	151	0,949
Julio	57,454	141	0,949
Agosto	54,158	140	0,946
Septiembre	49,700	127	0,941
Octubre	49,892	127	0,939
Noviembre	47,300	128	0,941
Diciembre	49,819	124	0,940

Fuente: ELEPCO SA.

Como se muestra en la Figura 15, el consumo de energía eléctrica en el transcurso del año 2016, tiene un promedio de 49,21 kWh y un pico máximo de 57,45 kWh en el mes de julio, además es importante recalcar que el mayor consumo se produce en los meses de junio, julio y agosto. En cuanto a la demanda el promedio a lo largo del año 2016 es de 125 kW, y con una demanda máxima de 151 kW durante el mes de junio, como se observa en la Figura 16.

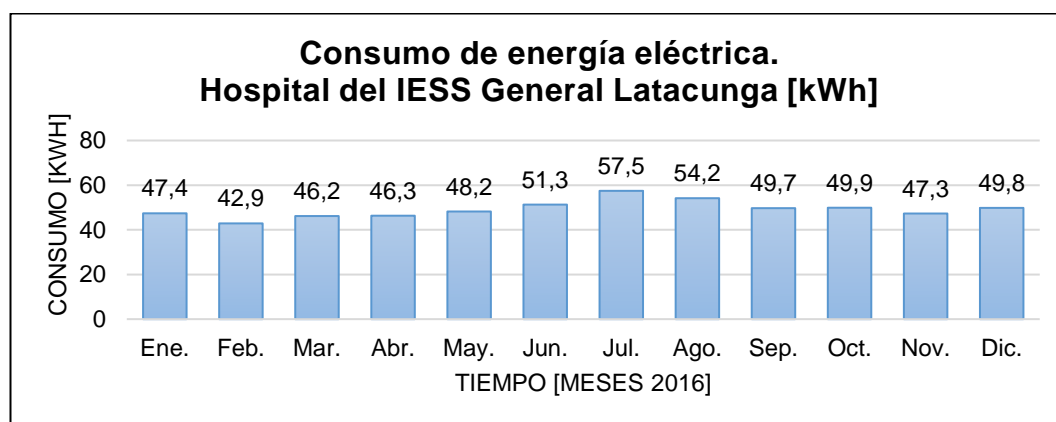


Figura 15. Consumo de energía eléctrica durante el año 2016.
Fuente: ELEPCO SA

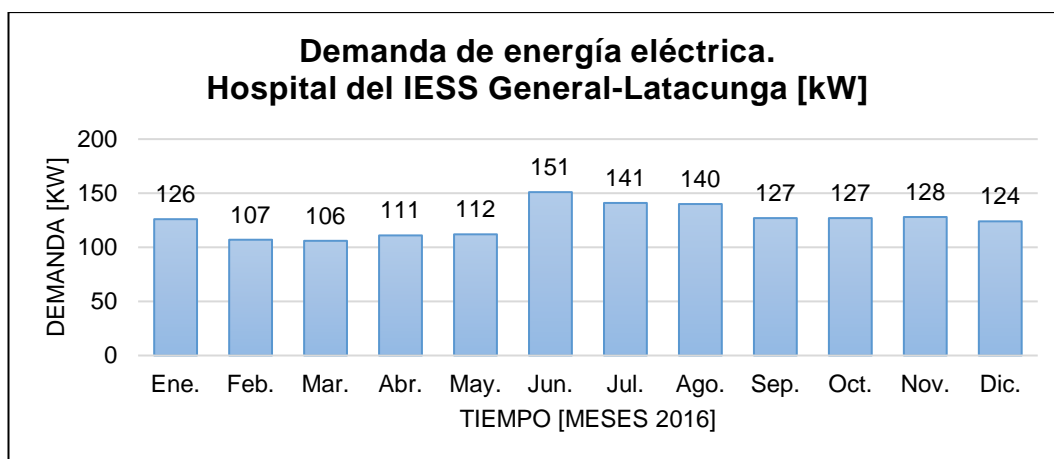


Figura 16. Demanda de energía eléctrica durante el año 2016.
Fuente: ELEPCO SA

En cuanto al Factor de Potencia, ELEPCO SA registra un valor promedio mensual de 0,94, el cual está por encima del valor mínimo aceptable de acuerdo con la Regulación No. CONELEC 004/001. El valor mínimo de factor de potencia se presenta en el mes de febrero con un valor de 0,93, lo cual indica que en ningún periodo del año el hospital incumple con la normativa, como se indica en la Figura 17.

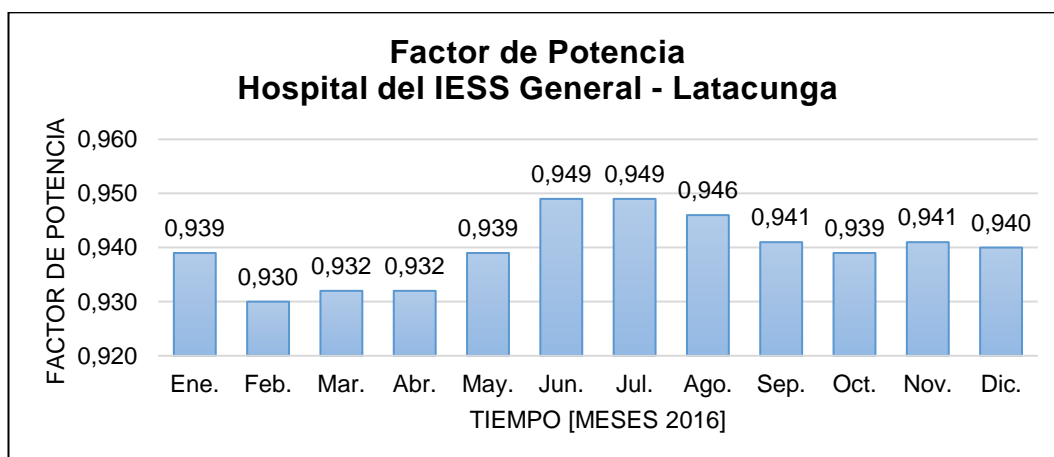


Figura 17. Factor de Potencia medido durante el año 2016.
Fuente: ELEPCO SA

Para efectos de facturación el Hospital del IESS General-Latacunga se encuentra dentro de la categoría de asistencia social con demanda pico (ASDP) en la que el modelo de facturación se establece en el numeral 8: Demanda Facturable, literal c: Demanda de aparatos de uso instantáneo del

Pliego tarifario 2017. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad. ARCONEL, 2017) y que establece

“Los procedimientos para la determinación de la demanda facturable señalados en a) y en b), no se aplican en el caso de cargas correspondientes a aparatos de uso instantáneo como, por ejemplo: soldadoras eléctricas y equipos similares, equipos de rayos X, turbinas de uso odontológico, entre otros.

En estos casos la demanda facturable considerará adicionalmente la potencia de placa tomando en cuenta el punto de conexión donde trabajan estos aparatos o la medición de la potencia instantánea de tales equipos. La demanda total facturable corresponderá a la suma de la demanda registrada o calculada según lo establecido en a) y b), más la potencia de placa o potencia instantánea medida de dichos aparatos, afectada por un factor de coincidencia o de simultaneidad para el caso de varios equipos.” (Agencia de Regulación y Control de Electricidad. ARCONEL, 2017)

De acuerdo a este procedimiento el consumo mensual promedio de energía eléctrica registrado por ELEPCO SA es 49,214 kWh con una demanda máxima de 151 kW, y que no contempla equipos de uso instantáneo como pueden ser los equipos de Rayos X, mamógrafo, y tomógrafo en los que su funcionamiento y por ende su consumo de potencia son por periodos de tiempo del orden de los mili segundos, lo cual impide determinar el valor de potencia real consumido con los equipos de medición de la empresa eléctrica, por lo que se establece un recargo adicional debido a este motivo.

4.4 Iluminación:

4.4.1 Diagnóstico del sistema de iluminación

Es necesario determinar la cantidad de luminarias existentes por cada área de servicio, así como identificar las características técnicas de las mismas.

Las instalaciones del Hospital General-Latacunga cubren actualmente sus necesidades lumínicas, mediante la utilización de las lámparas que se describen en la Tabla 18.

Tabla 18:
Tipo de lámparas utilizadas en el Hospital General-Latacunga

Tipo	Potencia [W]	(CRI) ^a [%]	[lm] ^b	Vida Prom. [horas]	Temperatura de color [°K]	Marca
Ahorrador tipo globo	23	81	1400	8000	2700	Philips
Fluorescente + balasto	(2x40W) + 16W	70	2500	10000	6500	Sylvania
Fluorescente Compacta	25	80	1500	8000	6500	Sylvania
Incandescente	52	100	1000	2000	2600	Osram
Incandescente	7	100	33	3000		
Lámp. de vapor de mercurio	125	50	6300	6000	4000	Osram
Led	8	> 90	450	40000	3000	Sylvania
Led	24	> 90	1680	25000	6500	Sylvania

^a Índice de reproducción cromático

^b Flujo luminoso

4.4.2 Distribución de lámparas por áreas de servicios

Las instalaciones hospitalarias cuentan con una cantidad importante de lámparas, y que consumen una gran cantidad de energía por lo que es esencial conocer el estado del sistema de iluminación del hospital

De acuerdo a la Auditoría de nivel 1 o básico realizada en las instalaciones del Hospital del IESS General-Latacunga, la distribución y la carga instalada correspondiente a lámparas por áreas de servicio se presentan en la Tabla 19, destacándose el empleo mayoritario de luminarias conformadas por tubos fluorescentes tipo T12 y T10 con balasto electromagnético, los mismos que actualmente se encuentran en proceso de reemplazo por balasto electrónicos, siendo aún todavía un porcentaje menor los que ya disponen de dicho balasto electrónico.

Tabla 19:
Cantidad y tipo de lámparas empleadas por áreas en el Hospital

Nivel	ÁREA	Fluorescente + balasto (2x40W+16W),	Incandescente 52W	Fluorescente Compacta 25W	Led 8W	Lámpara de vapor de mercurio 125W	Incandescente 7W	Led 24W	Ahorrador tipo globo 23W	Pot. /Área [W]	Pot /Planta [kW]
-2	Mantenimiento-Serv. Generales	16	1	8	0	0	0	0	0	1788	20,81
	Cuarto de Máquinas-Parqueadero	28	13	6	0	2	0	2	0	3812	
	Histopatología	11	2	2	0	0	0	0	0	1210	
	Nutrición y Dietética	51	11	5	0	0	0	0	0	5593	
	Lavandería	19	2	4	0	0	0	0	0	2028	
	Bodegas - Morgue	61	1	19	0	0	0	0	0	6383	
-1	Esterilización	39	4	18	0	0	0	0	0	4402	16,50
	Estimulación Temprana- Terapia Infantil- Parqueadero	8	3	11	0	3	0	0	15	1919	
	Centro Quirúrgico	100	2	14	0	0	0	5	0	10174	
0	Rehabilitación	13	2	12	0	0	0	0	0	1652	27,34
	Laboratorio Clínico	35	1	3	0	0	0	0	0	3487	
	Farmacia	17	0	4	0	0	0	0	0	1732	
	Consulta Externa-Und. de servicio al Asegurado	118	11	10	0	0	0	0	0	12150	
	Emergencias	34	3	4	0	0	0	0	0	3520	
	Área de Rayos X	20	4	10	2	0	0	0	0	2394	
	Exteriores-Cuarto de Bombas	3	9	26	0	8	0	0	0	2406	
1	Consulta Externa	37	2	9	0	0	0	0	0	3881	15,69
	Dir. Técnica y Administrativa-Talento humano	39	4	10	0	0	0	0	0	4202	
	Ginecología	38	5	11	8	0	0	0	0	4247	
	Neonatología	11	0	6	0	0	0	0	0	1206	
	Pediatría	15	9	10	0	0	0	0	0	2158	
2	Hospitalización Clínica- Cirugía	53	2	24	18	0	4	0	0	5964	7,69
	Dirección Médica	15	4	3	0	0	1	0	0	1730	
3	Hospitalización Traumatología	52	2	23	18	0	5	0	0	5850	7,44
	Sala de Yesos-Activos Fijos-Informática y Estadística	15	2	2	0	0	0	0	0	1594	
4	Capilla	16	0	1	0	0	0	0	0	1561	2,62
	Sala de Máquinas- Ascensor	0	1	0	0	0	0	0	0	52	
	Escaleras	7	2	8	0	0	4	0	0	1004	
TOTAL		871	102	263	46	13	14	7	15	98,10	

Como resultado de la auditoría energética realizada se observa en la Figura 18 que la carga total instalada correspondiente a la iluminación de las instalaciones hospitalarias equivale a 98,099 kW, siendo la planta Baja y el subsuelo # 2 los que indica mayor carga instalada correspondiente a iluminación

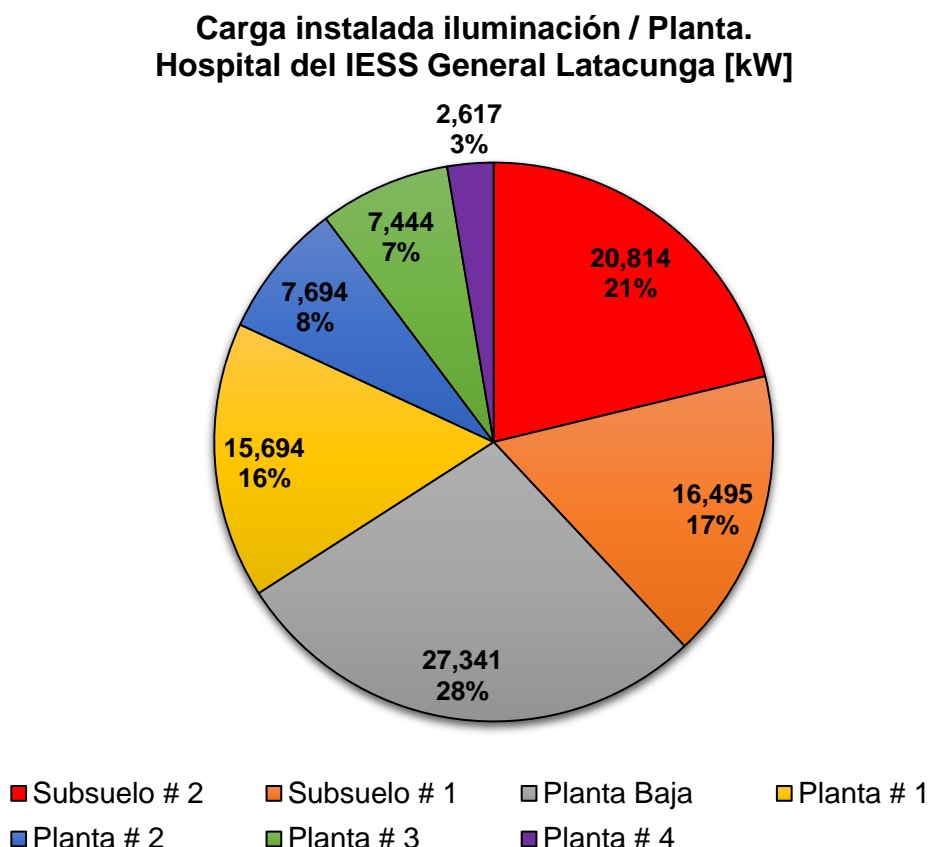


Figura 18. Carga instalada por iluminación en cada planta

En cuanto a la carga instalada por área de servicio, según la auditoría realizada se puede observar en la Figura 19, que el área correspondiente a Consulta Externa y la Unidad de Servicio al Asegurado presenta junto al Centro Quirúrgico, la más alta demanda en cuanto a iluminación se refiere, ya que cuentan con una mayor cantidad de lámparas y que generalmente permanecen encendidas.

Carga instalada iluminación / Área de servicio. Hospital del IESS General-Latacunga [W]

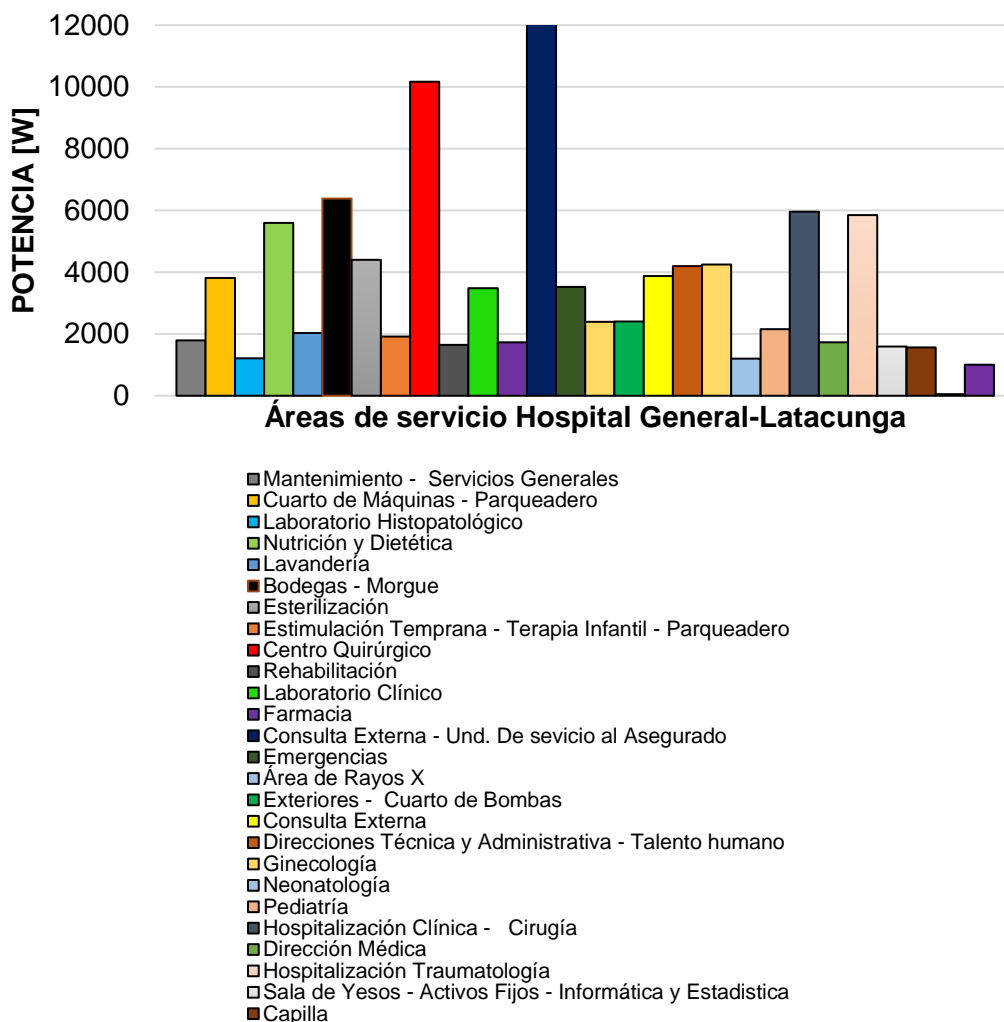


Figura 19. Carga instalada por iluminación en cada área de servicio

4.5 Tableros de Distribución Principales TP-1, TP-2, TPE-1, TPE-2

Los tableros de distribución principales con los que cuenta el hospital son: Tablero Principal 1 (TP-1), Tablero Principal de Emergencia 1 (TPE-1), Tablero Principal 2 (TP-2), Tablero Principal de Emergencia 2 (TPE-2) y el Tablero tomógrafo (TAC).

4.5.1 Tablero Principal de Emergencia (TPE)

En este tipo de tablero, las acometidas llegan desde el Tablero General de Distribución, así como del sistema de emergencia alimentado por el grupo electrógeno, por lo que las cargas conectadas a este tablero son las consideradas esenciales dentro del funcionamiento de las instalaciones hospitalarias y en caso de corte del suministro eléctrico estos equipos son alimentados por el sistema de emergencia.

4.5.2 Tablero Principal (TP)

En este tipo de tablero, las acometidas llegan únicamente desde el Tablero General de Distribución, por lo que las cargas conectadas a este tablero pueden sufrir cortes del suministro eléctrico, sin afectar de manera significativa al funcionamiento del hospital.



Figura 20. Mediciones efectuadas en el Tablero TPE-1.

4.5.3 Mediciones y diagnóstico energético del Hospital

El proceso de mediciones dentro de la instalación hospitalaria se desarrolló a través de la selección de 5 puntos considerados esenciales dentro del funcionamiento del hospital, en los que se realizó mediciones periódicas, por medio del equipo FLUKE 1735 por un periodo no menor a siete días consecutivos de acuerdo con la regulación del CONELEC 0004-01 y el artículo 12 del reglamento de Suministros del Servicio de Electricidad y que son los siguientes:

- Centro Quirúrgico
- Área de Rayos X y Mamografía
- Área de Neonatología
- Área de Tomografía
- Cuarto de Bombas de agua

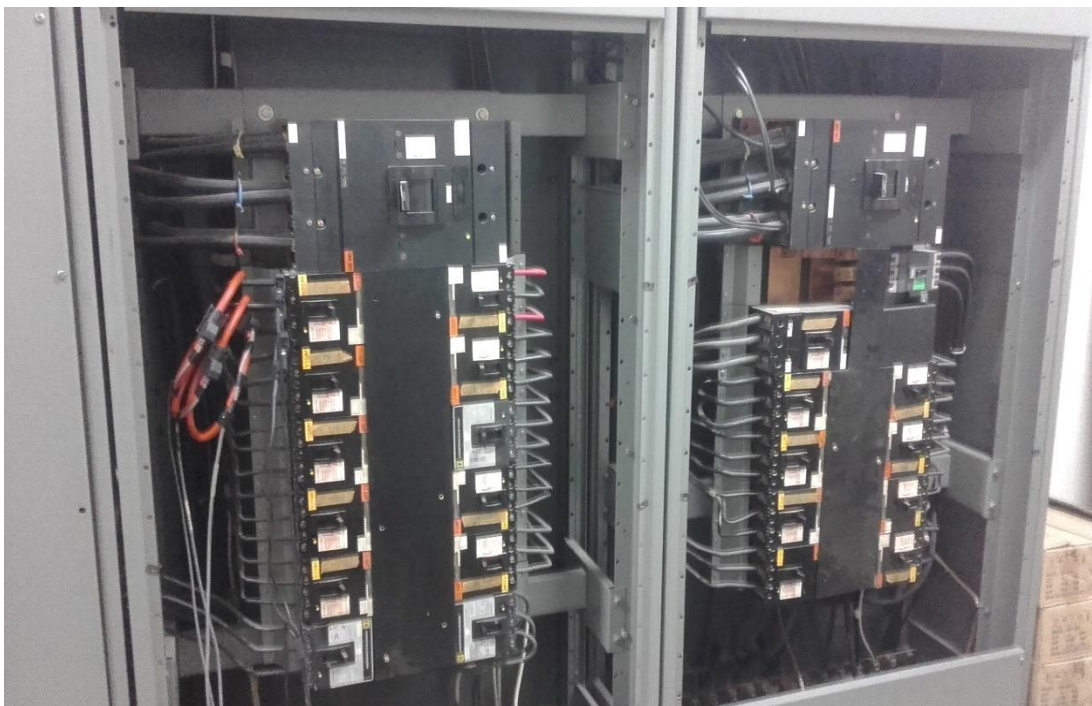


Figura 21. Tablero TPE-1 y TPE-2

4.6 Datos estadísticos obtenidos

4.6.1 Iluminación

4.6.1.1 Consumo eléctrico por iluminación

La Tabla 20 permite observar consumo eléctrico aproximado debido a la iluminación que se produce en cada planta del Hospital del IESS Latacunga

Tabla 20:
Consumo eléctrico por iluminación por planta del hospital

Nivel	Consumo por tipo de lámpara [kWh/día]							Consumo total por planta [kWh/día]	Consumo total por planta [kWh/Mes]
	Fluorescente + balasto (2x40W+16W)	Incandescente 52W	Fluorescente Compacta 25W	Led 8W	Lámpara de vapor de mercurio 125W	Led 24W	Ahorrador tipo globo 23W		
-2	135,8	8,5	14,0	0,0	3,00	0,0	0,0	161,3	4194,3
-1	198,6	1,9	6,9	0,0	4,50	1,2	4,1	217,3	5648,8
0	375,2	3,6	14,0	0,0	12	0,0	0,0	404,8	10525,7
1	190,5	4,1	6,9	0,8	0,00	0,0	0,0	202,3	5259,6
2	80,3	4,8	0,8	1,8	0,00	0,0	0,0	87,6	2277,9
3	90,1	4,4	6,2	1,7	0,00	0,0	0,0	102,3	2659,6
TOTAL HOSPITAL									30565,9

4.6.2 Medición de parámetros eléctricos en zonas críticas del hospital

4.6.3 Centro quirúrgico (TES1-1)

Las mediciones efectuadas mediante el analizador FLUKE 1735, corresponden al Tablero de Emergencia Subsuelo1 (TES1-1), perteneciente al Tablero de Emergencia TEP-2, y que alimentan los subtableros TES1-1, TAT-1, TAT-2, TAT-3, para dotar de energía eléctrica al centro quirúrgico, incluido el área de quirófanos, por eso constituye un área fundamental dentro del funcionamiento del hospital.



Figura 22. Punto de medición Centro Quirúrgico TES1-1

A continuación, se presentan las imágenes almacenados por el analizador FLUKE 1735, correspondientes a mediciones en el Tablero TSE1-1. Estas imágenes corresponden a mediciones puntuales efectuadas antes de realizar la adquisición de datos por un periodo de 7 días consecutivos y cuyos resultados se indican más adelante.

En primer lugar, en la Figura 23 se observa los valores rms de voltaje y de corriente de cada una de las líneas, además de los valores máximos y mínimos obtenidos en el momento de la medición.

L123		AN	0.0 A	59.93 Hz
		V rms	A rms	
L1		120.8	11.5	
L2		122.4	9.5	
L3		120.0	9.4	

L1			min	max
V	120.9	V rms	120.3	122.0
A	11.4	A rms	11.4	11.6
F	59.94	HZ	59.91	59.94

L2			min	max
V	122.4	V rms	121.5	123.3
A	9.4	A rms	9.4	9.6
F	59.94	HZ	59.91	59.96

L3			min	max
V	120.2	V rms	119.3	121.0
A	9.6	A rms	9.4	9.6
F	59.97	HZ	59.91	59.98

Figura 23. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TES1-1.

En segundo lugar, se observa la forma de ondas de voltaje y de corriente de cada una de las líneas de alimentación del tablero TES1-1. En la Figura 24 se observa una forma de onda de voltaje sin distorsión, a diferencia de la forma de onda de corriente que presenta cierto grado de distorsión, en particular la Línea 1.

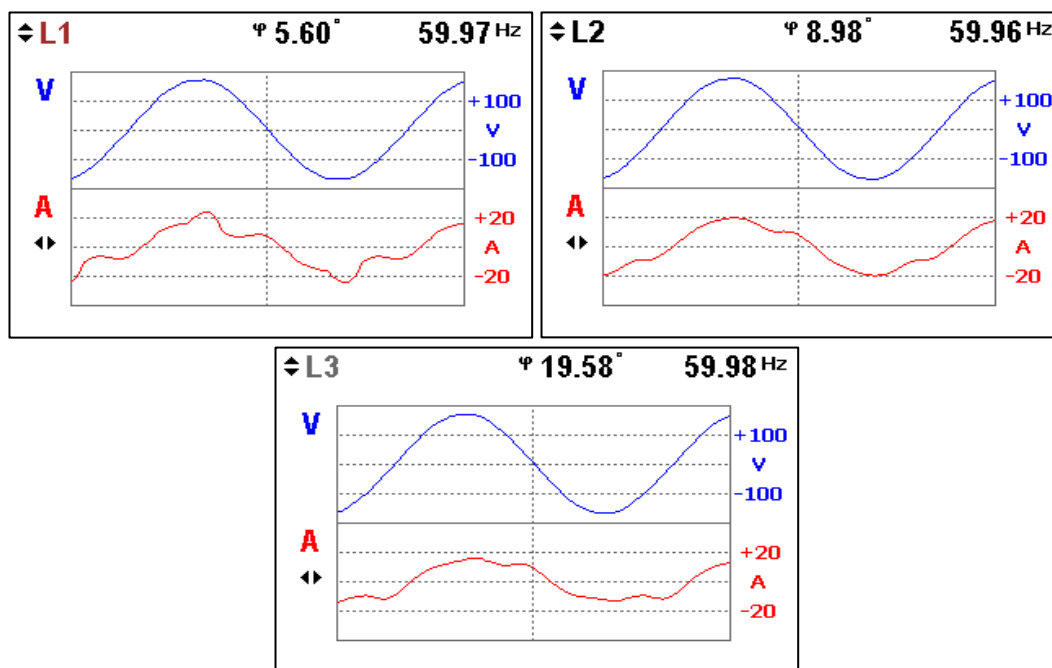


Figura 24. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TES1-1.

Los valores obtenidos sobre potencia activa, aparente y reactiva, así como el factor de potencia del tablero eléctrico TES1-1 se pueden mirar en la Figura 25.

↕ L ¹²³	3.55 _{tot} kW	3.68 _{tot} kVA	0.44 _{tot} kvar ↔	↕ L ¹²³	3.57 _{tot} kW	3.70 _{tot} kVA	0.964 _{tot} PF ↔
L1	1.32	1.38	0.09	L1	1.33	1.39	0.957
L2	1.12	1.15	0.15	L2	1.13	1.16	0.973
L3	1.11	1.15	0.20	L3	1.11	1.15	0.963

Figura 25. Potencias y factor de potencia de Tablero TES1-1.

Para las mediciones de acuerdo con la Regulación No. CONELEC 004/001 el equipo FLUKE 1735, se configuró para guardar los datos cada 5 minutos, el registro de mediciones se promedian en un intervalo de 200 ms en un periodo de 7 días. Las mediciones registradas en el tablero TES1-1 son las siguientes:

- Tensión
- Corriente
- Armónicos de corriente
- Frecuencia
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- THD de corriente

4.6.3.1 Tensión Centro Quirúrgico (TES1-1)

La Tabla 21 permite conocer los valores mínimos, máximos y promedios de la tensión medida en el periodo de siete días en cada una de las líneas del tablero eléctrico que proporciona energía eléctrica al centro quirúrgico.

Tabla 21:
Tensión medida en Tablero TES1-1

	L1N			L2N			L3N		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx.[V]	127,0	128,2	131,7	127,8	129,2	132,7	126,1	127,1	130,4
Mín.[V]	114,5	118,4	123,1	117,5	119,1	124,1	113,0	117,4	121,8
μ [V]	121,3	124,9	126,8	122,9	125,9	127,0	119,8	123,8	125,0

La Figura 26 presenta gráficamente los registros obtenidos en tiempo real de las mediciones de cada una de las líneas del tablero TES1-1.

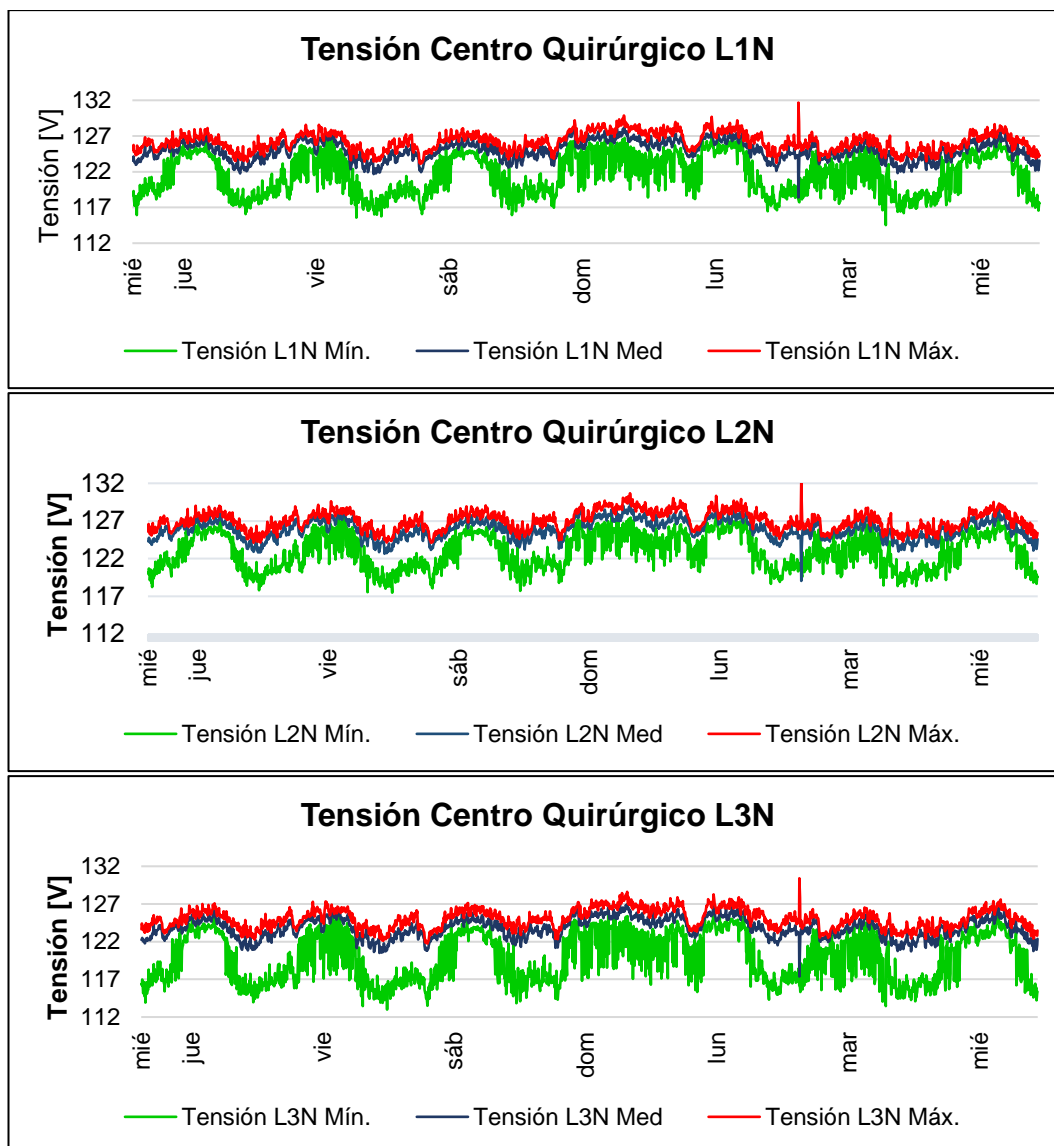


Figura 26. Comportamiento en tiempo real de tensión en TES1-1.

4.6.3.2 Corriente Centro Quirúrgico (TES1-1)

La Tabla 22 permite apreciar los valores máximos, mínimos obtenidos en la medición de corriente en cada una de las líneas, en el caso del neutro la corriente que circula es cero, de igual manera que en el caso de la tensión de este tablero, se ofrecen datos estadísticos para una mejor comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en el centro quirúrgico del hospital.

Tabla 22:
Corriente medida en Tablero TES1-1

	Corriente L1 [A]			Corriente L2 [A]			Corriente L3 [A]		
	Mín.	Media	Máy.	Mín.	Media	Máy.	Mín.	Media	Máy.
Máy. [A]	15,8	16,9	19,9	16,5	17,9	57,6	12,6	13,5	34,6
Mín. [A]	10,8	11,0	11,2	6,5	6,8	6,9	6,4	8,1	8,5
μ [A]	11,9	12,1	12,5	9,4	9,7	10,0	8,6	9,7	11,2

En la Figura 27 se indican las mediciones registradas, por un periodo de siete días consecutivos, en los que se puede observar el comportamiento de la corriente en cada una de las tres líneas.

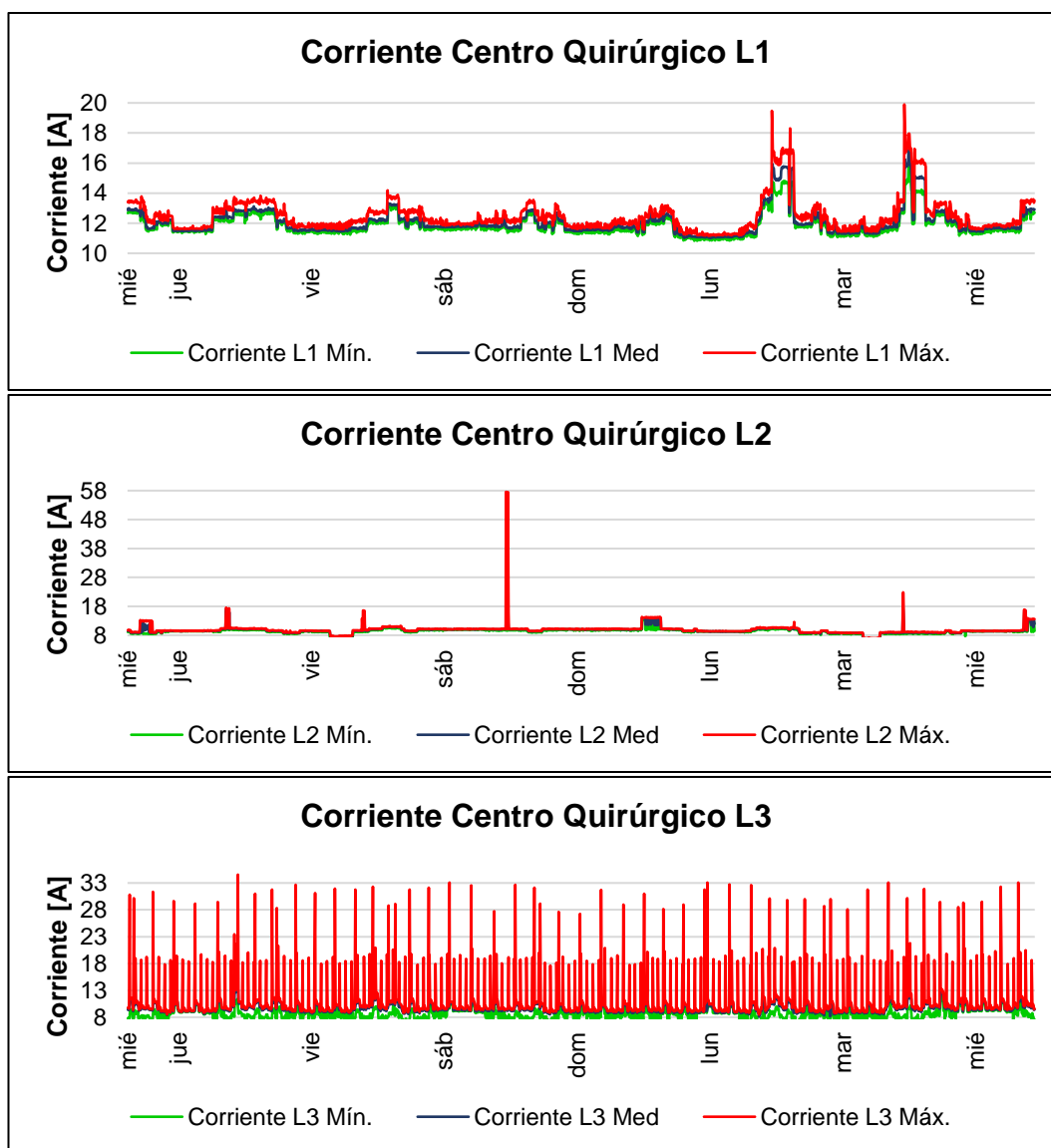


Figura 27. Comportamiento en tiempo real de corriente en TES1-1.

4.6.3.3 Armónicos de corriente presentes en el Centro Quirúrgico

Los armónicos de corriente presentes de manera significativa en las líneas de alimentación del centro quirúrgico son los de tercero, quinto y séptimo orden, mientras que en el Neutro no se presentan dichos armónicos, tal como se puede observar en la Figura 28.

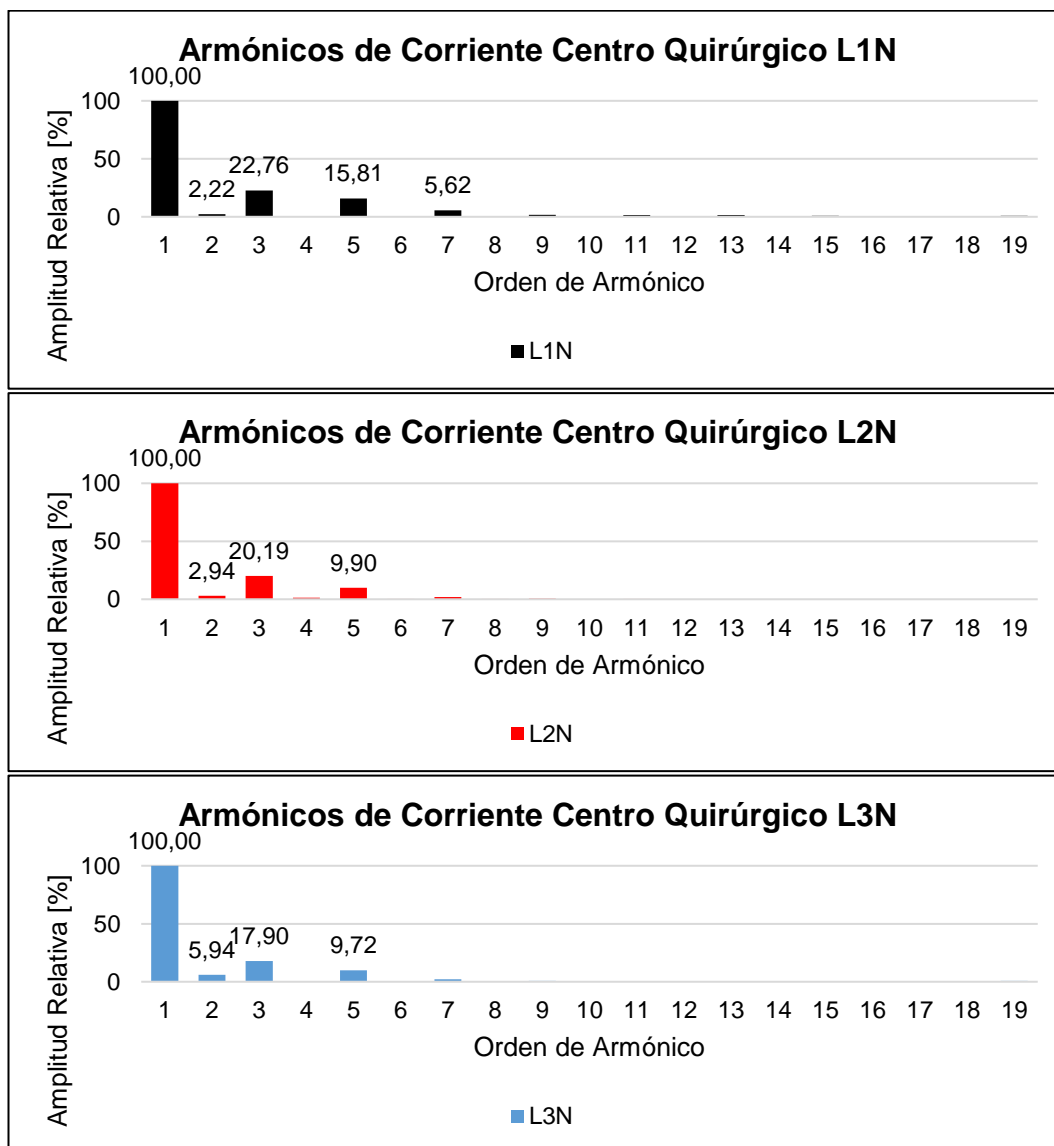


Figura 28. Armónicos de corriente presentes en el tablero TES1-1.

4.6.3.4 Frecuencia Centro Quirúrgico (TES1-1)

El comportamiento de la frecuencia en las mediciones realizadas en tiempo real es estable cuyo valor promedio en el periodo semanal es de 59,99 Hz.

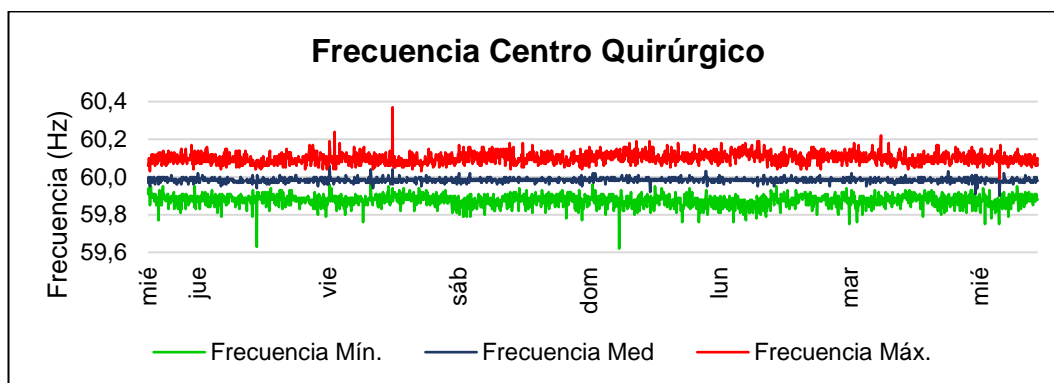


Figura 29. Frecuencia medida en tablero TES1-1.

4.6.3.5 Potencia Centro Quirúrgico (TES1-1)

Las mediciones efectuadas en el tablero TES1-1 permiten obtener los valores máximos, mínimos y la media de la potencia aparente, activa y reactiva, que se indican en la Figura 30.

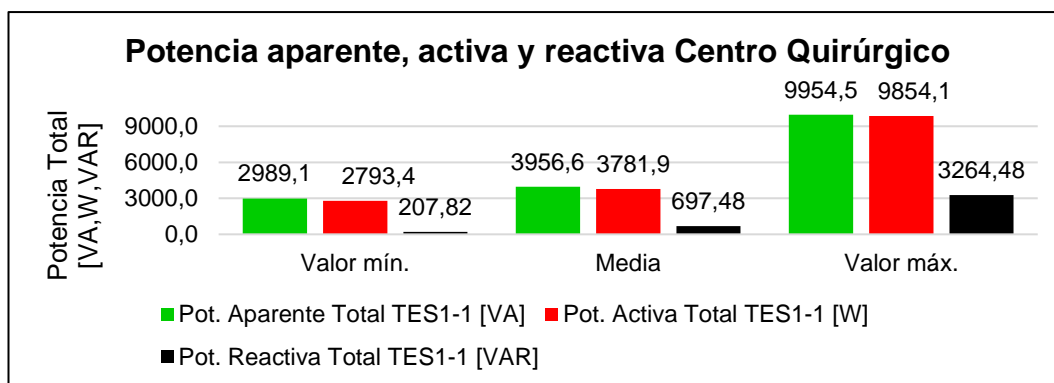


Figura 30. Valores pico de Potencia Total en el Tablero TES1-1.

4.6.3.5.1 Potencia Activa TES1-1

La Tabla 23 expone un resumen de los valores de potencia activa total consumida por el centro quirúrgico, así como en cada una de las líneas.

Tabla 23:
Potencia Activa en TES1-1

	Pot. Activa L1N [W]	Pot. Activa L2N [W]	Pot. Activa L3N [W]	Pot. Activa Total TES1-1 [W]
Valor mín.	1233,1	904,0	433,0	2793,4
Media	1470,6	1165,8	1145,5	3781,9
Valor máx.	3250,6	7211,3	4043,8	9854,1

El consumo de potencia activa durante el periodo de medición en el centro quirúrgico se ve reflejado en la Figura 31.

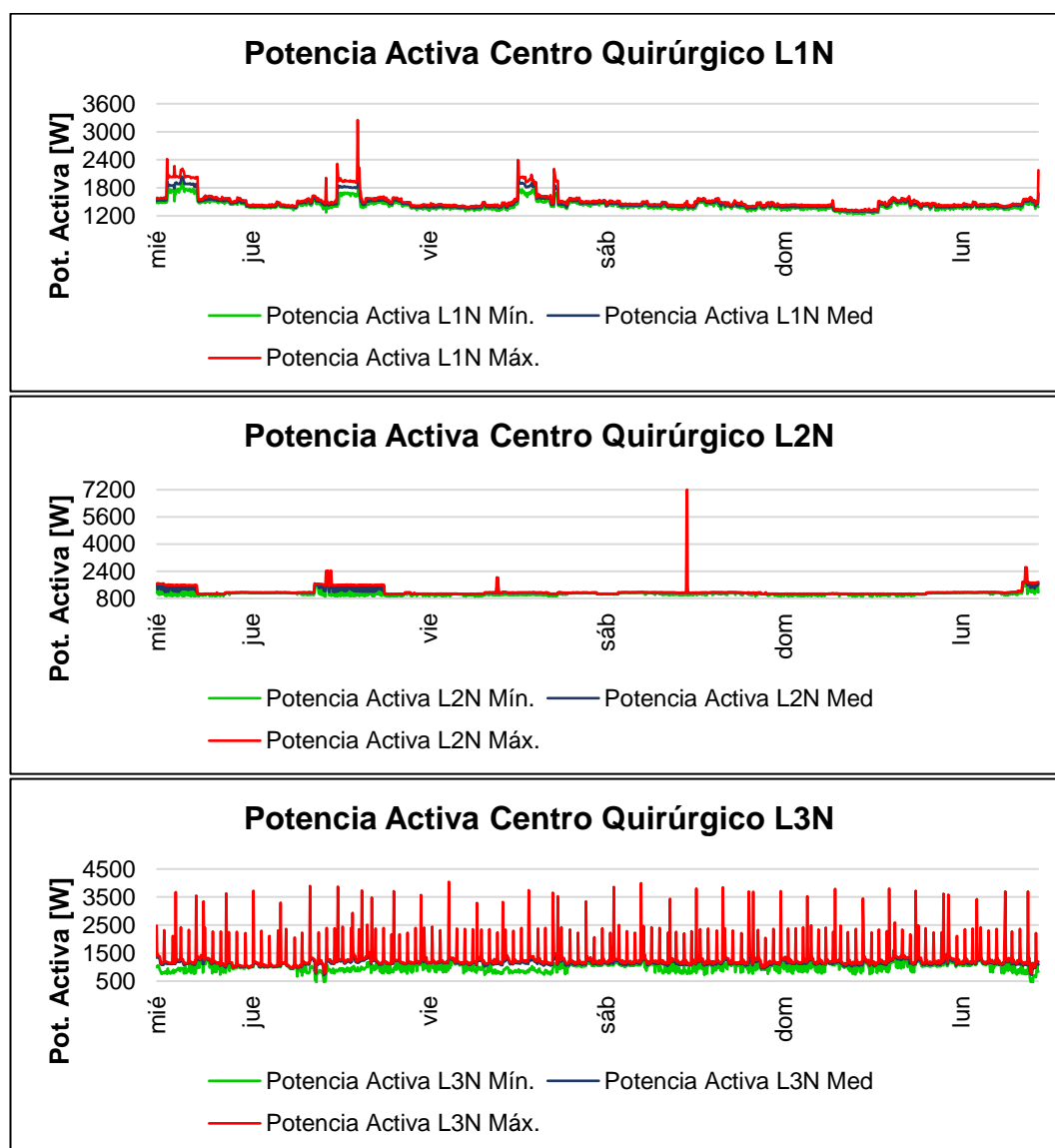


Figura 31. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TES1-1.

4.6.3.5.2 Potencia Reactiva TES1-1

Los valores de potencia reactiva en el centro quirúrgico se detallan en la Tabla 24 y su comportamiento en la Figura 32.

Tabla 24:
Potencia Reactiva en TES1-1

	Pot. Reactiva L1N [VAR]	Pot. Reactiva L2N [VAR]	Pot. Reactiva L3N [VAR]	Pot. Reactiva Total TES1-1 [VAR]
Valor mín.	27,7	114,3	-12,1	207,8
Media	172,7	220,2	304,6	697,5
Valor máx.	536,9	2798,6	1337,0	3264,5

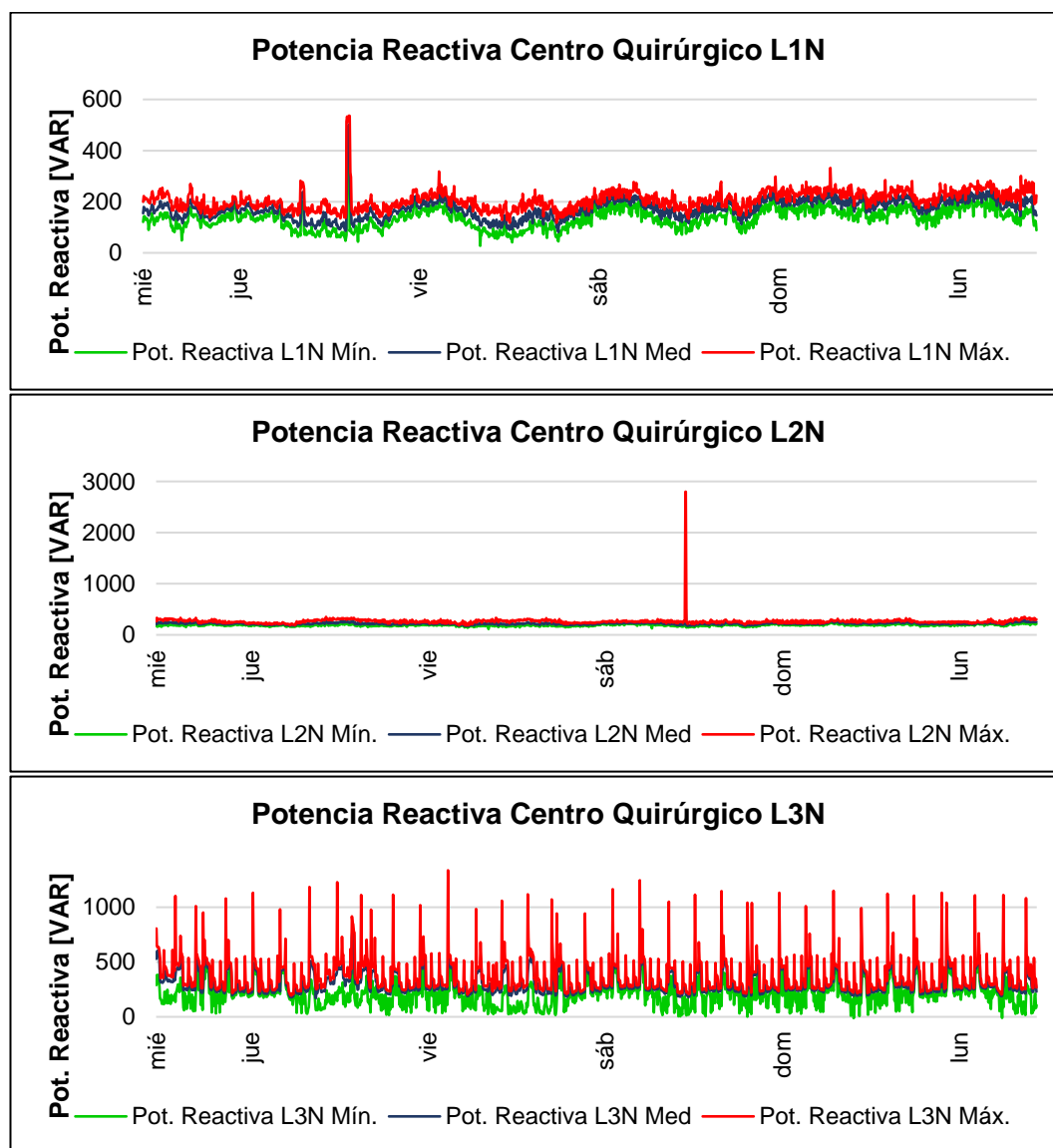


Figura 32. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TES1-1.

4.6.3.5.3 Potencia Aparente TES1-1

La cantidad total de potencia que se consume se observa en la Tabla 25, y cómo se comporta en la Figura 33

Tabla 25:
Potencia aparente en TES1-1

	Pot. Aparente L1N [VA]	Pot. Aparente L2N [VA]	Pot. Aparente L3N [VA]	Pot. Aparente Total TES1-1 [VA]
Valor mín.	1307,5	983,7	524,7	2989,1
Media	1535,8	1210,6	1402,0	3956,6
Valor máx.	3250,6	7211,3	4798,9	9954,5

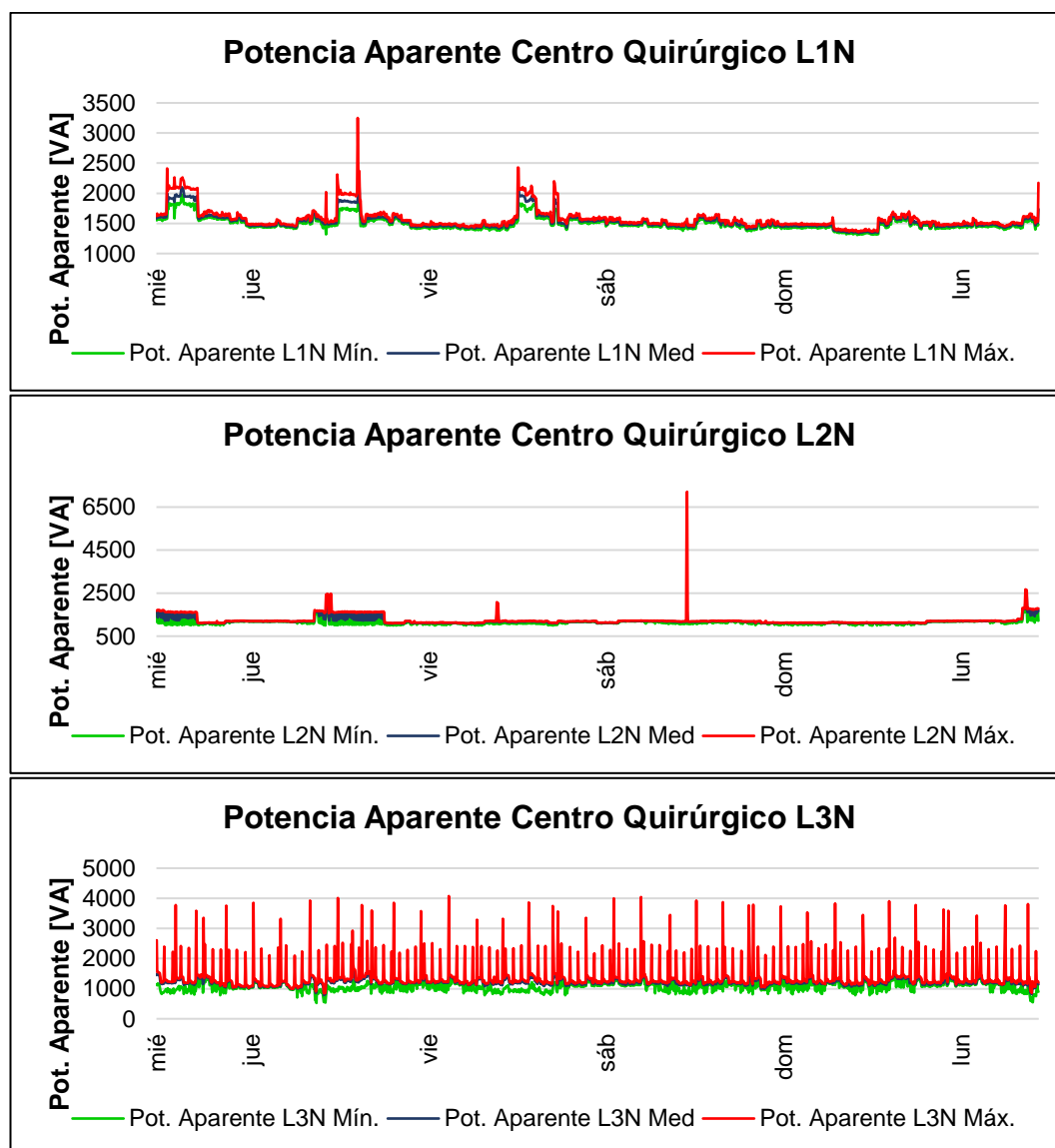


Figura 33. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en TES1-1.

4.6.3.6 Factor de potencia centro quirúrgico (TES1-1)

El factor de potencia medido por el analizador de redes eléctricas FLUKE 1735, se detalla en la Tabla 26.

Tabla 26:
Factor de Potencia en TES1-1

	Factor de Potencia L1N	Factor de Potencia L2N	Factor de Potencia L3N
Valor mín.	0,85	0,37	0,53
Media	0,96	0,96	0,95
Valor máx.	1,00	1,00	1,00

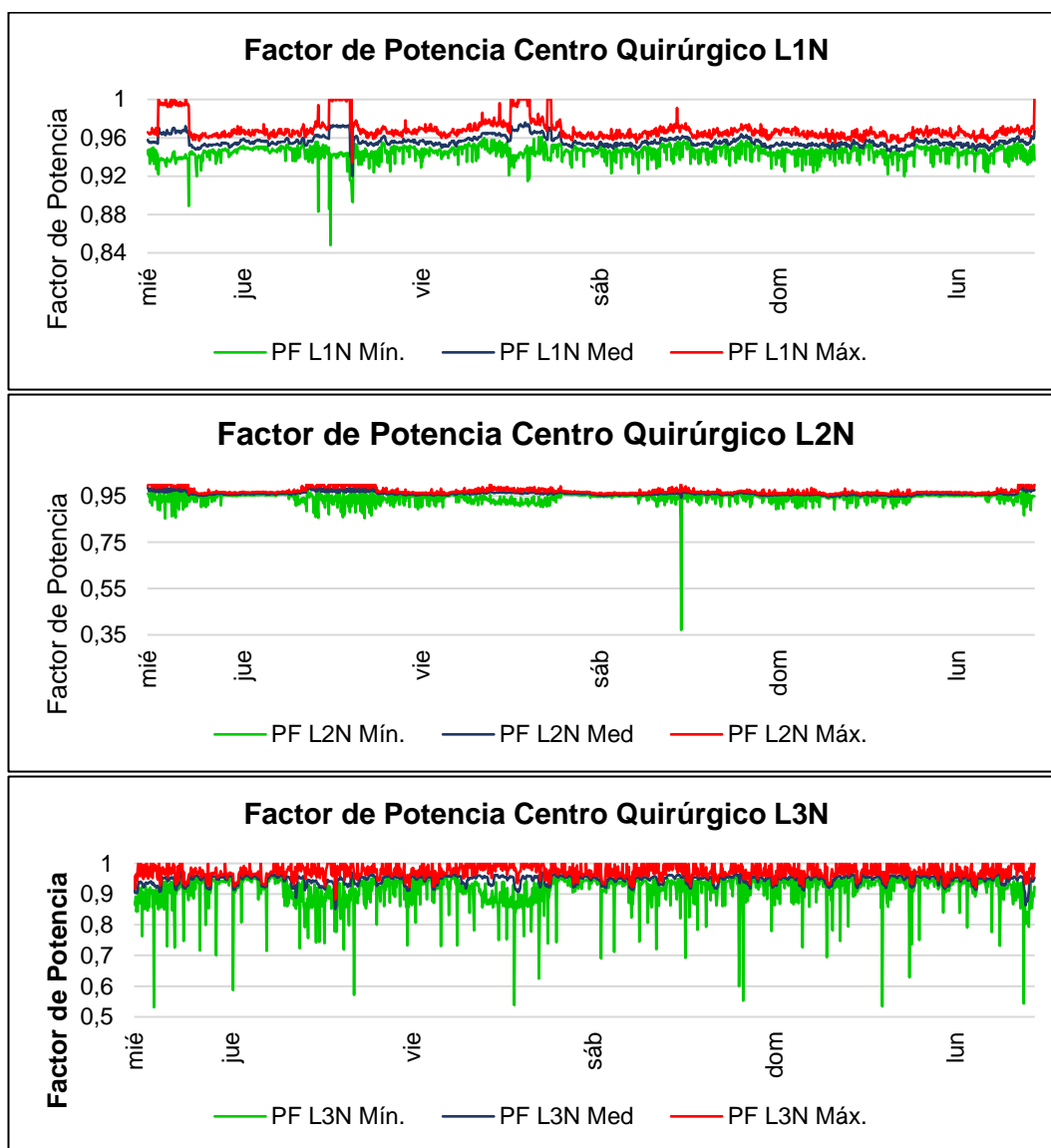


Figura 34. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TES1-1.

4.6.3.7 THD de Corriente Centro Quirúrgico (TES1-1)

De acuerdo con la Figura 35, el porcentaje de THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas es el siguiente.

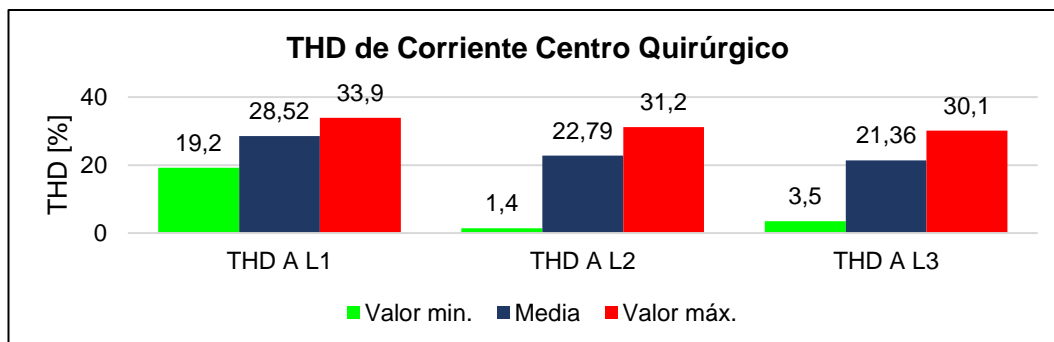


Figura 35. THD de corriente TES1-1.

4.6.4 Área de “Rayos X” y mamografía

Otro sector crítico en el Hospital es el área de Rayos X y Mamografía, por lo que el punto elegido para las mediciones se indica en la Figura 36.

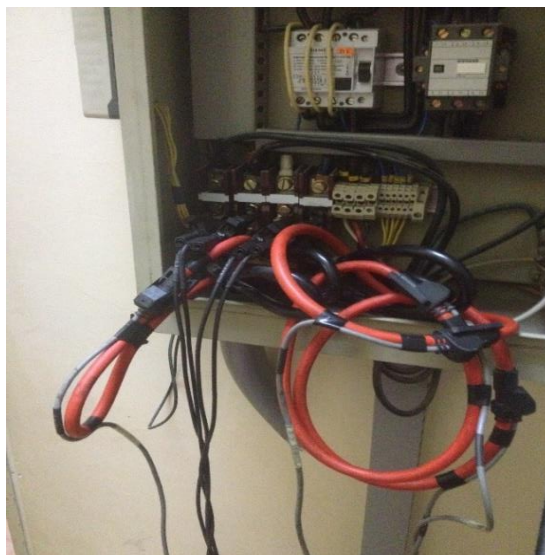


Figura 36. Punto de medición Rayos X-Mamografía.

Las mediciones efectuadas corresponden al tablero eléctrico que alimenta al generador de Rayos X y al equipo de Mamografía. La Figura 37 permite

visualizar mediciones puntuales de voltaje y corriente y la forma de onda obtenida en las mediciones efectuadas se observa en la Figura 38.

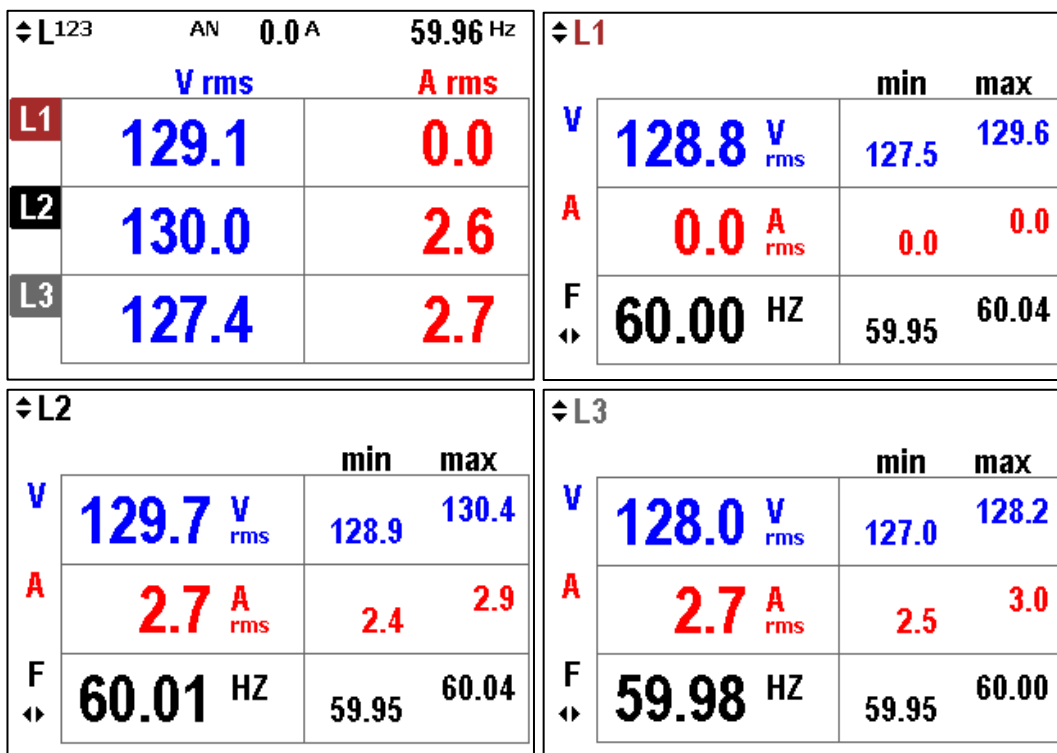


Figura 37. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Rayos X-Mamografía.

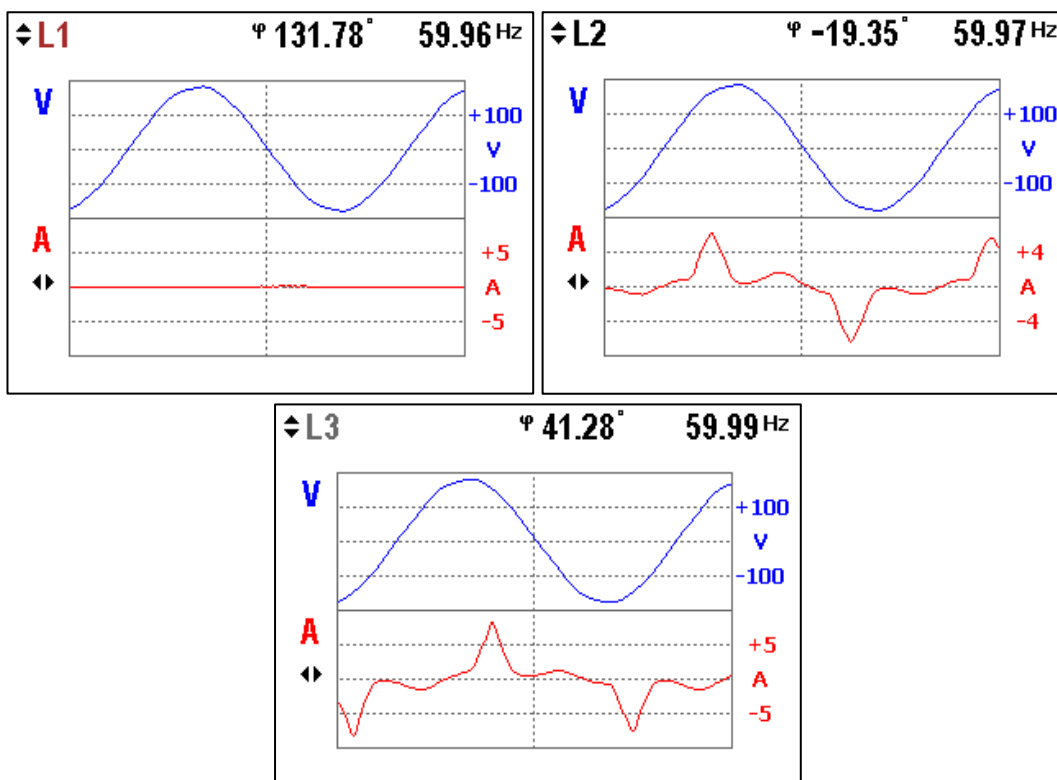


Figura 38. Formas de onda de voltaje y corriente Rayos X-Mamografía.

↕ L ¹²³	0.43 _{tot} kW	0.66 _{tot} kVA	0.11 _{tot} kvar ↔	↕ L ¹²³	0.44 _{tot} kW	0.69 _{tot} kVA	0.140 _{tot} PF ↔
L1	0.00	0.01	0.01	L1	0.00	0.00	-0.866
L2	0.24	0.32	-0.07	L2	0.24	0.34	0.717
L3	0.19	0.33	0.17	L3	0.20	0.35	0.571

Figura 39. Potencias y factor de potencia de Rayos X-Mamografía.

Las variables eléctricas medidas son las mismas que para el centro quirúrgico, y se detallan a continuación los resultados obtenidos.

4.6.4.1 Tensión área de Rayos X – Mamografía

En la Tabla 27 se presenta un resumen de los valores mínimos, medios y máximos de las tres líneas de alimentación del tablero del Área de Rayos X – Mamografía.

Tabla 27: Tensión medida en Tablero Rayos X-Mamografía

	L1N			L2N			L3N		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx. [V]	135,2	136,4	137,6	135,9	136,8	138,0	133,6	134,6	136,0
Mín. [V]	108,9	128,5	129,6	110,7	129,3	130,3	107,5	126,9	128,0
μ [V]	131,1	132,3	133,3	131,8	133,1	134,2	129,2	130,8	132,0

La Figura 40 presenta gráficamente los registros máximo, mínimo y promedio obtenidos en tiempo real en las mediciones de cada una de las líneas del tablero de Rayos X - Mamografía.

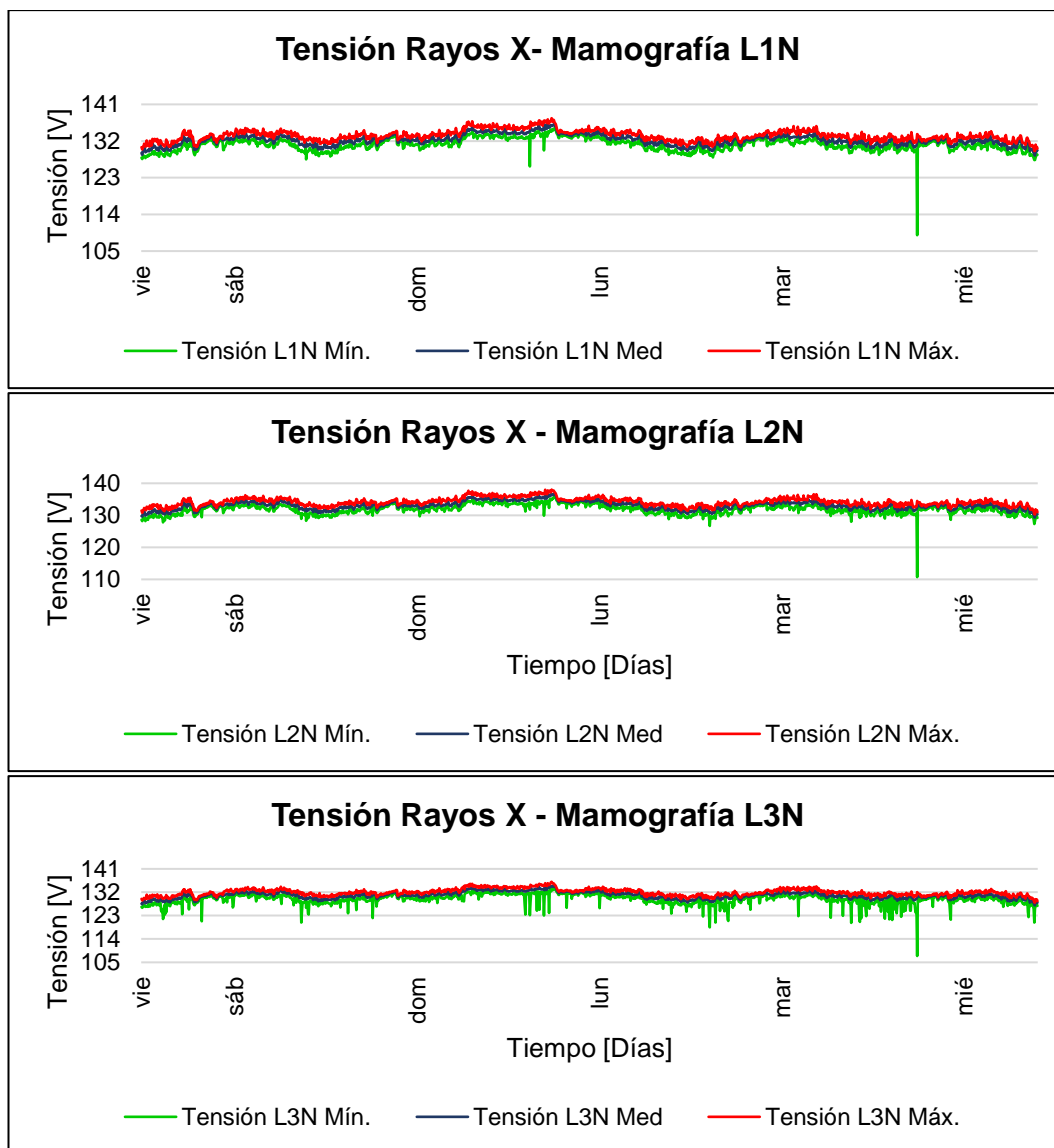


Figura 40. Comportamiento en tiempo real de tensión en Rayos X- Mamografía.

4.6.4.2 Corriente área de Rayos X – Mamografía

La Tabla 28 permite apreciar los valores máximos, mínimos obtenidos en la medición de corriente, de igual manera que en el caso de la tensión de este tablero, se ofrecen datos estadísticos para una mejor comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en el área de Rayos X - Mamografía del hospital.

Tabla 28: Corriente medida en Tablero Rayos X-Mamografía

	Corriente L1			Corriente L2			Corriente L3		
	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
Máx. [A]	0,0	0,1	0,4	2,5	3,6	241,0	2,6	3,7	251,7
Mín. [A]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
μ [A]	0,0	0,0	0,0	1,5	1,8	20,4	1,6	1,9	21,2

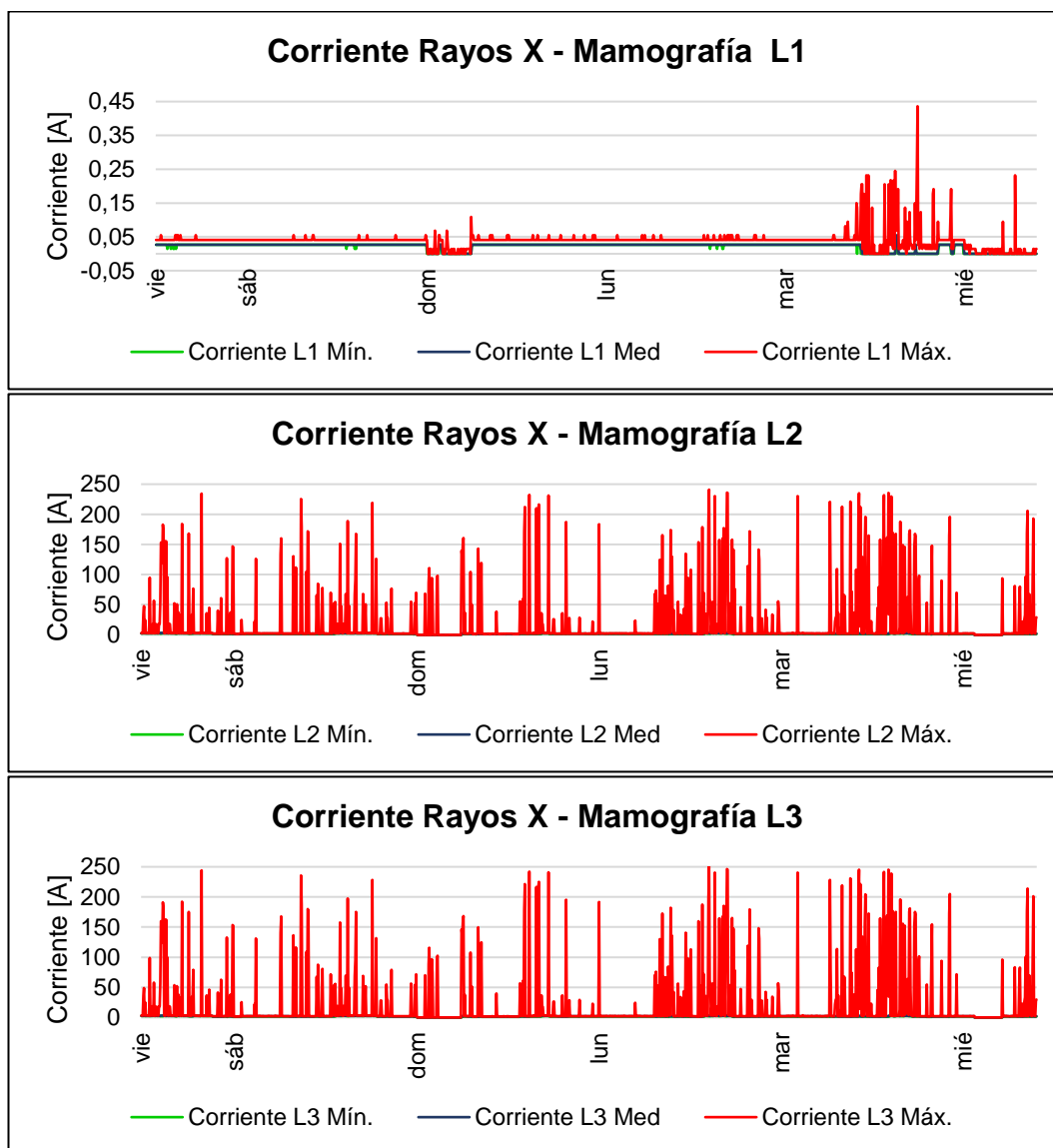


Figura 41. Comportamiento en tiempo real de corriente en Rayos X-Mamografía.

La Figura 41 permiten observar que la línea 1 no tiene carga, por lo que la corriente que circula es prácticamente cero, y las líneas 2 y 3 presentan valores máximos que llegan a los 250 A y que corresponden al momento de

generación de rayos X, y que su duración está en el orden de los milisegundos.

4.6.4.3 Armónicos de Corriente en el área de Rayos X – Mamografía

Los armónicos de corriente presentes de manera significativa en las líneas de alimentación del área de Rayos X – Mamografía son los de tercero, quinto, séptimo y noveno orden, mientras que en el Neutro no se presentan dichos armónicos, tal como se puede observar en la Figura 42.

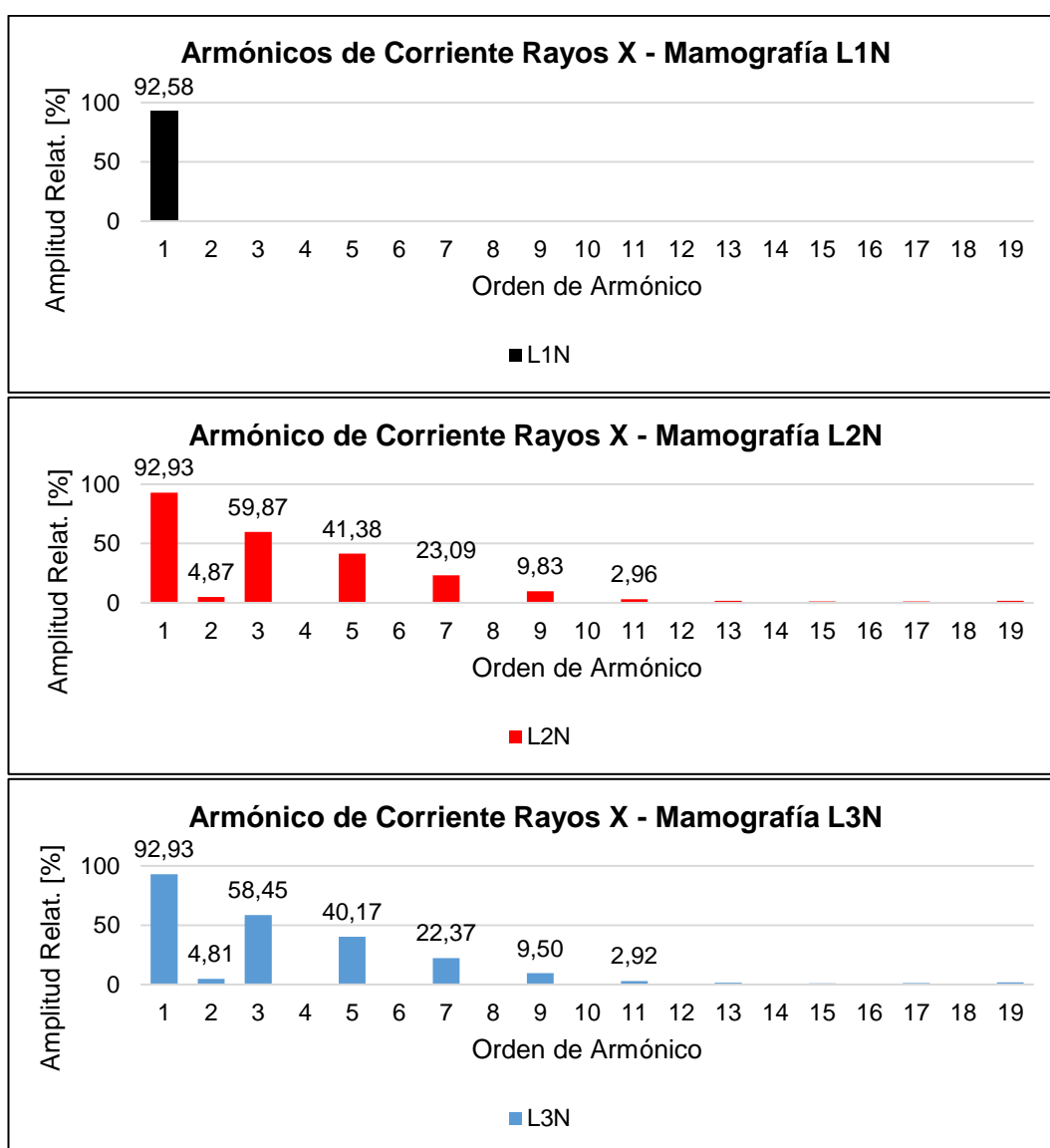


Figura 42. Armónicos de corriente presentes en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.4 Frecuencia área de Rayos X – Mamografía

La frecuencia obtenida en las mediciones en tiempo real, se observa en la Figura 43.

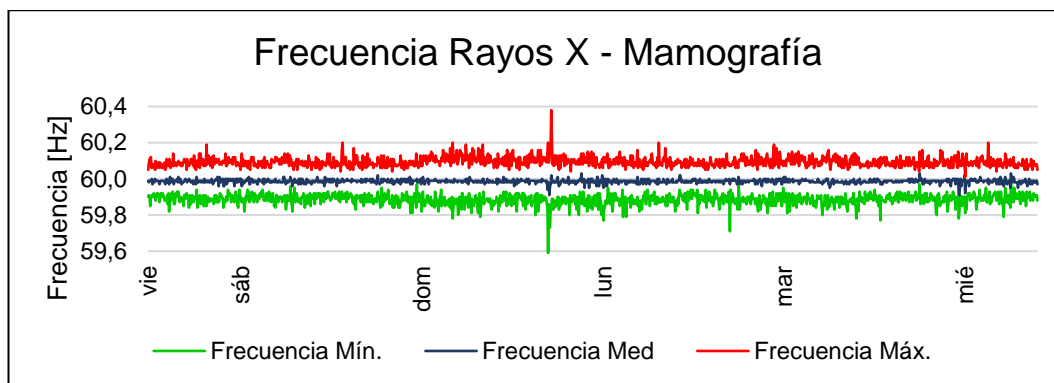


Figura 43. Frecuencia medida en área de Rayos X-Mamografía.

4.6.4.5 Potencia área de Rayos X – Mamografía

Las mediciones efectuadas en el tablero Rayos X - Mamografía permiten obtener los valores máximos, mínimos y la media de la potencia aparente, activa y reactiva, como se indican en la Figura 44.

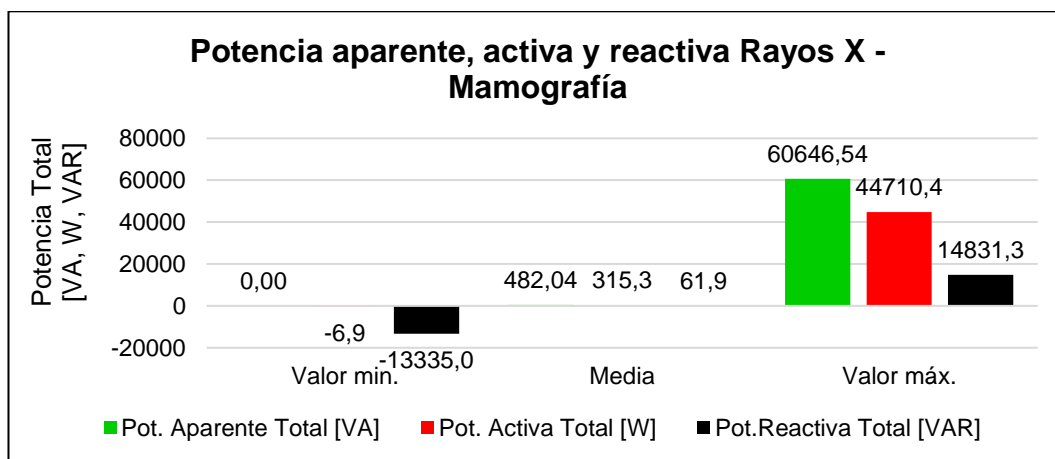


Figura 44. Valores pico de Potencia Total en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.5.1 Potencia Activa área de Rayos X – Mamografía

La Tabla 29 expone un resumen de los valores de potencia activa total consumida en el área de Rayos X - Mamografía, así como en cada una de las líneas.

Tabla 29:
Potencia Activa en Tablero Rayos X – Mamografía

	Pot. Activa L1N [W]	Pot. Activa L2N [W]	Pot. Activa L3N [W]	Pot. Activa Total [W]
Valor min.	-5,2	0,0	-1,7	-6,9
Media	-0,9	171,8	144,4	315,3
Valor máx.	12,1	25478,5	19495,1	44710,4

El consumo de potencia activa durante el periodo de medición en el área de Rayos X - Mamografía se ve reflejado en la Figura 45. La línea 1 presenta un consumo de potencia prácticamente nulo por lo que no se adjunta la imagen de su comportamiento.

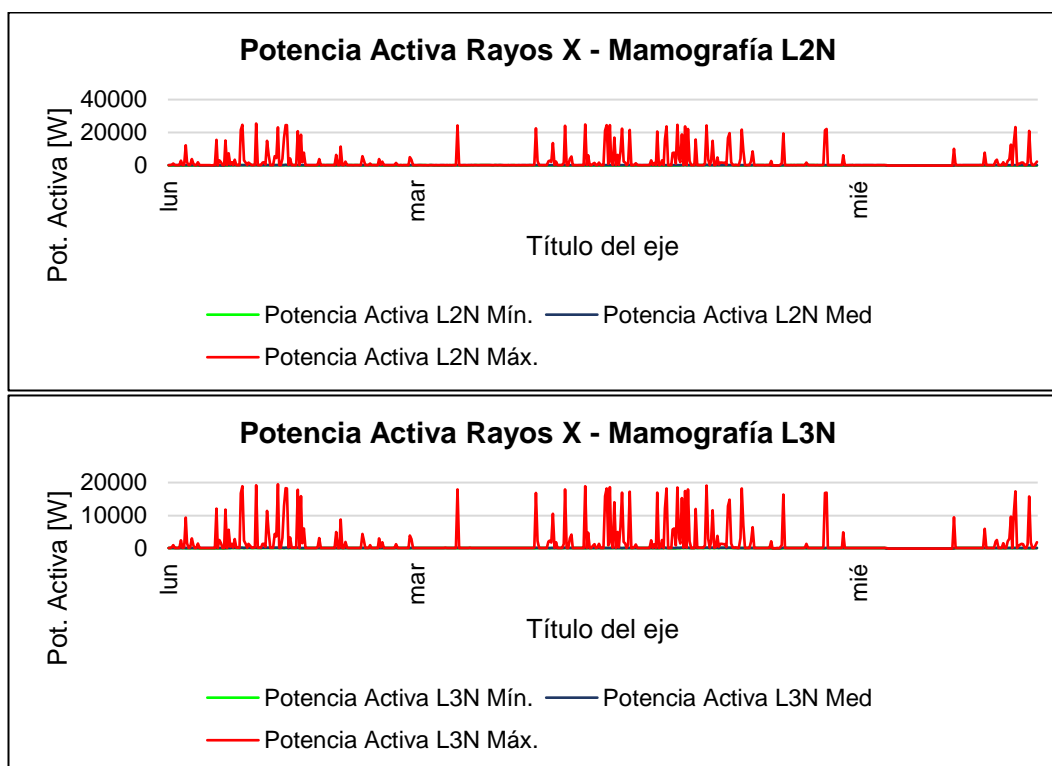


Figura 45. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.5.2 Potencia Reactiva área de Rayos X – Mamografía

Las mediciones efectuadas de forma continua permitieron obtener los valores de potencia reactiva en el centro quirúrgico y se detallan en la Tabla 30.

Tabla 30:
Potencia Reactiva en Tablero Rayos X-Mamografía

	Pot. Reactiva L1N [VAR]	Pot. Reactiva L2N [VAR]	Pot. Reactiva L3N [VAR]	Pot. Reactiva Total [VAR]
Valor min.	-12,1	-13496,1	-1,7	-13335,0
Media	3,3	-63,3	121,9	61,9
Valor máx.	10,4	5,2	14886,7	14831,3

El comportamiento de la potencia reactiva medido en cada una de las líneas se puede observar en la Figura 46.

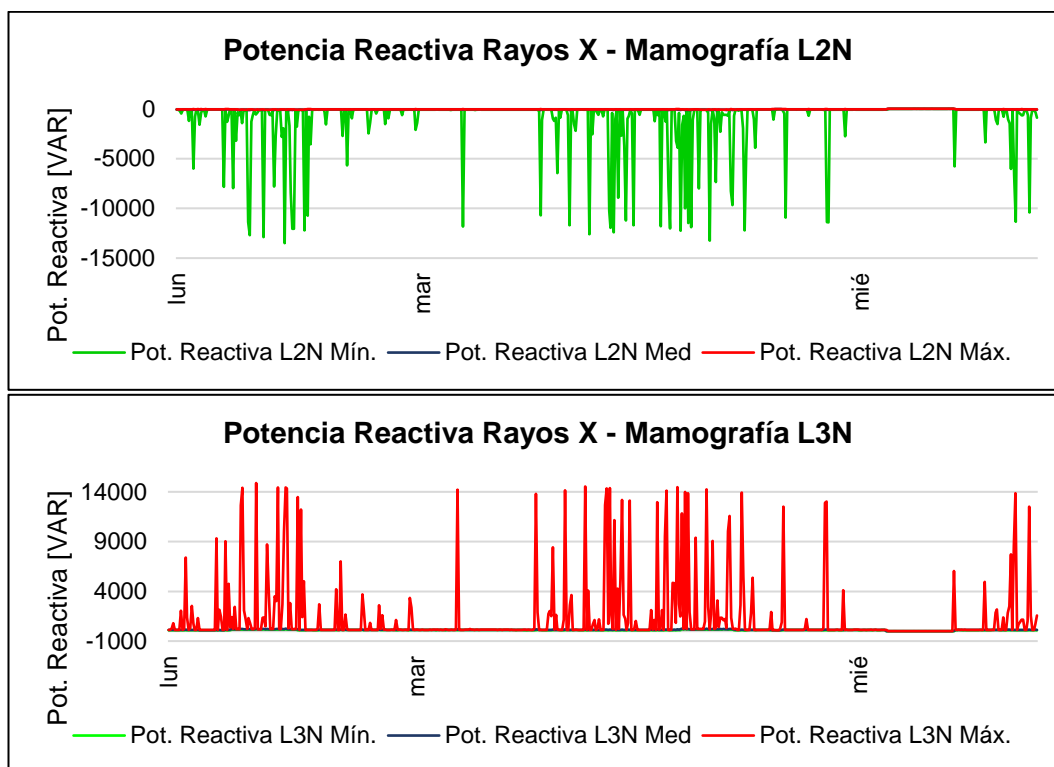


Figura 46. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.5.3 Potencia Aparente área de Rayos X – Mamografía

La cantidad total de potencia que consumen los equipos radiológicos se observa en la Tabla 31

Tabla 31:
Potencia aparente en Tablero Rayos X-Mamografía

	Pot. Aparente L1N [VA]	Pot. Aparente L2N [VA]	Pot. Aparente L3N [VA]	Pot. Aparente Total [VA]
Valor min.	5,20	0,0	0,00	0,00
Media	2,0	237,2	242,8	482,0
Valor máx.	57,2	30741,5	29898,1	60646,5

La potencia aparente como se observa en la Figura 47 mantiene la misma tendencia que la potencia activa y presentan igual comportamiento durante todo el período registrado.

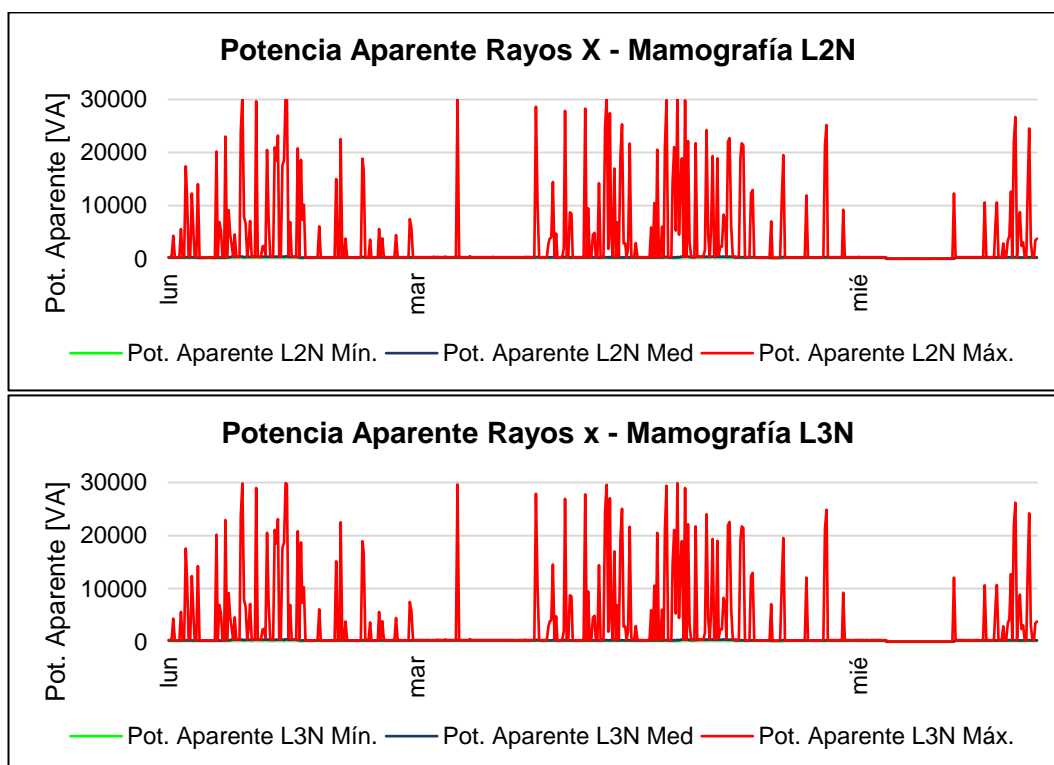


Figura 47. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.6 Factor de Potencia área de Rayos X – Mamografía

El factor de potencia medido por el analizador de redes eléctricas FLUKE 1735 en el área de radiología, se detalla en la Tabla 32.

Tabla 32:
Factor de Potencia en Tablero Rayos X-Mamografía

	Factor de Potencia L2N	Factor de Potencia L3N
Valor min.	0,0	-1,00
Media	0,66	0,66
Valor máx.	1.00	1,00

El factor de potencia se comporta como se observa en la Figura 48.

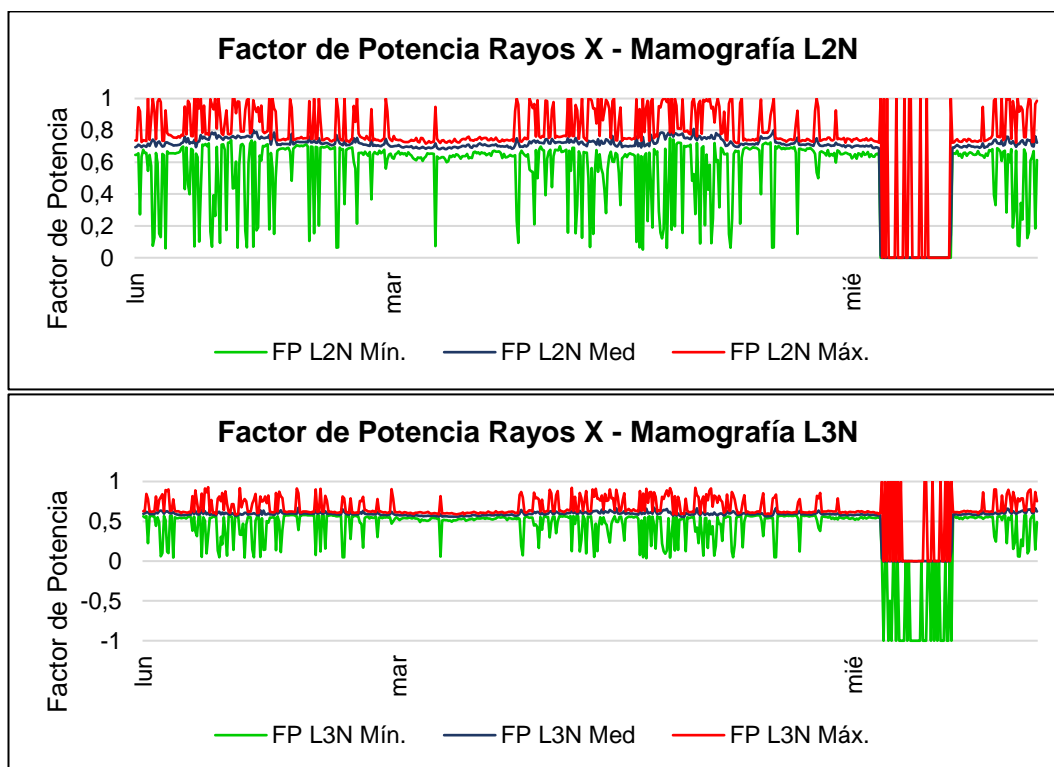


Figura 48. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en Rayos X-Mamografía.

4.6.4.7 THD de Corriente Rayos X – Mamografía

La Figura 49 muestra el porcentaje de distorsión armónica total de corriente de las 3 líneas, sin embargo, solo la línea 2 y 3 tienen carga.

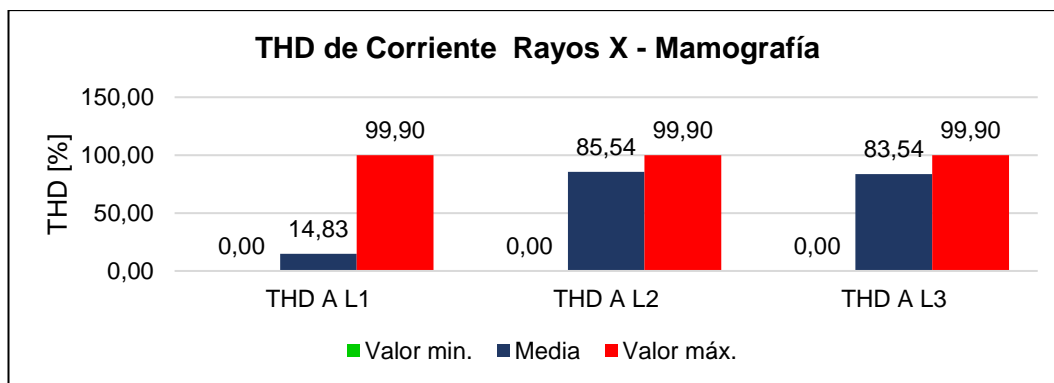


Figura 49. THD de corriente en área de Rayos X-Mamografía.

4.6.5 Área de neonatología (TE1-1)

Las mediciones efectuadas mediante el analizador corresponden al Tablero de Emergencia Planta1 (TE1-1), perteneciente al Tablero de Emergencia TEP-1, que suministra energía eléctrica al área de Neonatología.



Figura 50. Tablero de emergencia planta 1.

En la Figura 51 se observa los voltajes y corrientes de cada una de las líneas, además de los valores máximos y mínimos obtenidos en el momento de la medición. Mientras que la Figura 52 indica las formas de onda.

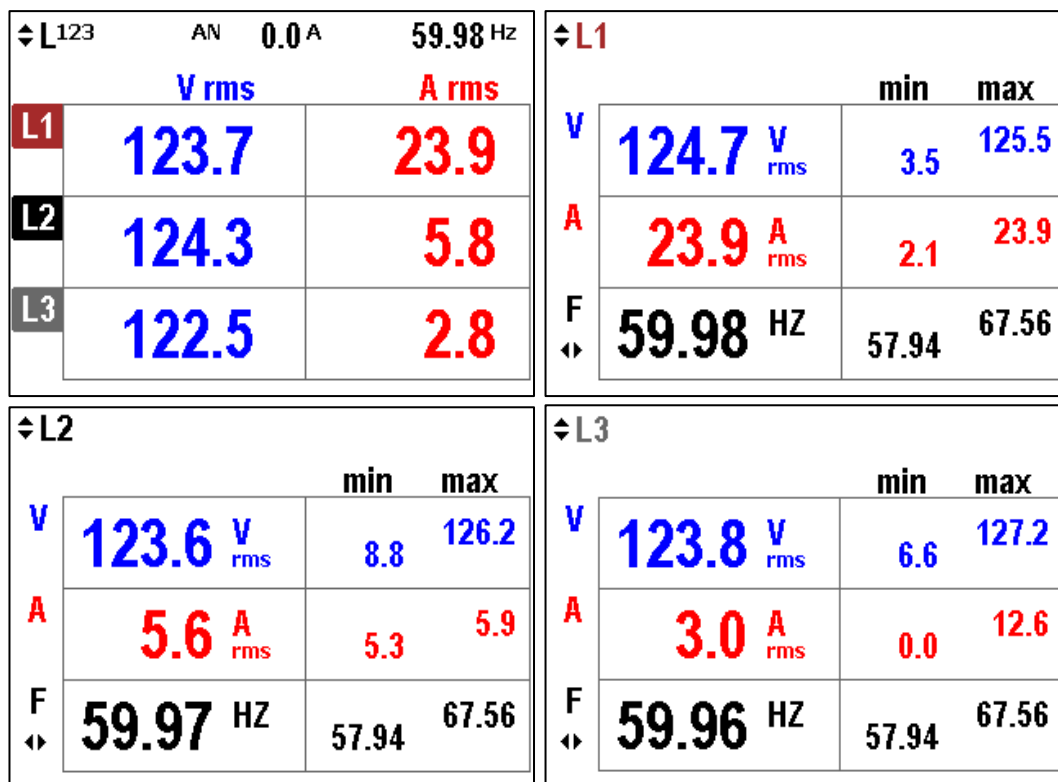


Figura 51. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TE1-1.

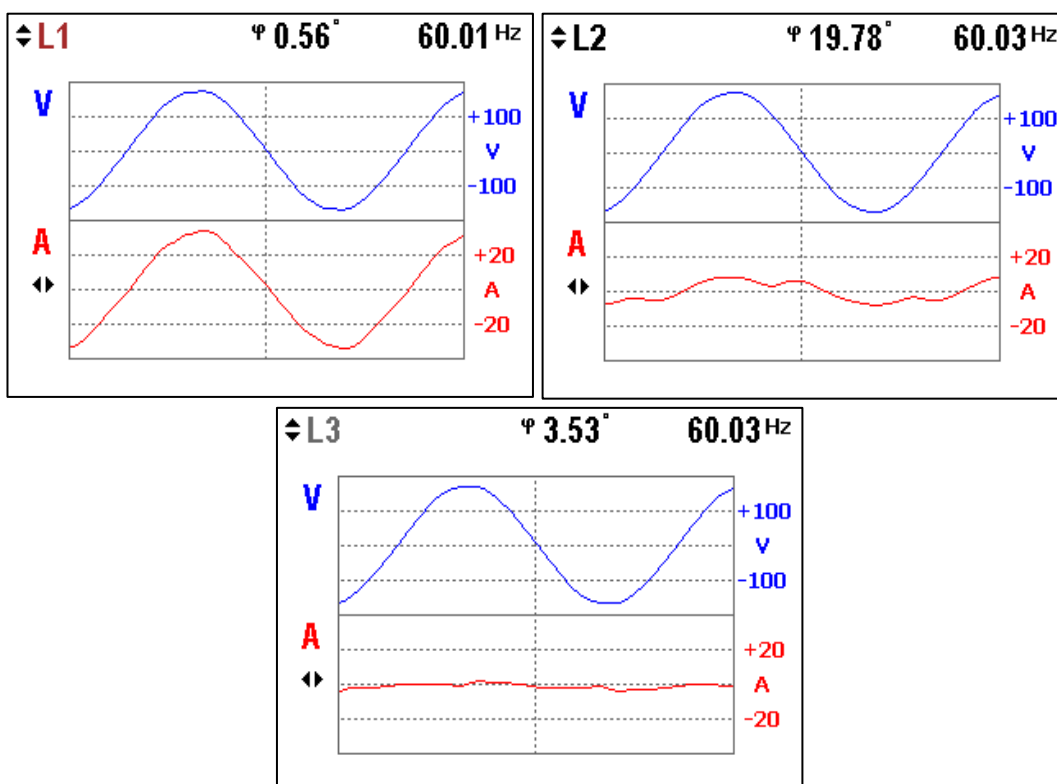


Figura 52. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TE1-1.

↕ L ¹²³	3.85 _{tot} kW	4.04 _{tot} kVA	0.30 _{tot} kvar	↕ L ¹²³	3.82 _{tot} kW	4.00 _{tot} kVA	0.859 _{tot} PF
L1	2.97	2.97	0.05	L1	2.96	2.96	1.000
L2	0.66	0.73	0.23	L2	0.65	0.72	0.901
L3	0.22	0.34	0.02	L3	0.21	0.32	0.677

Figura 53. Potencias y factor de potencia de Tablero TE1-1.

Las variables eléctricas medidas son las que citan a continuación:

4.6.5.1 Tensión Neonatología (TE1-1)

La Tabla 33 permite conocer los valores mínimos, máximos y promedios de la tensión medida en el periodo de más de siete días en cada una de las líneas del tablero eléctrico que proporciona energía eléctrica al área de neonatología.

Tabla 33:
Tensión medida en Tablero TE1-1

	L1N			L2N			L3N		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx. [V]	127,0	128,4	130,1	127,9	129,1	130,9	126,0	127,2	128,7
Mín. [V]	101,2	121,2	123,0	102,8	121,7	123,8	100,1	120,0	122,1
μ [V]	121,4	125,2	126,5	122,3	126,0	127,3	120,3	124,0	125,4

Para un mejor análisis en la Figura 54 se presenta gráficamente las mediciones de la tensión en tiempo real de cada una de las líneas del tablero TE1-1 y que proporcionan energía al área de neonatología del hospital.

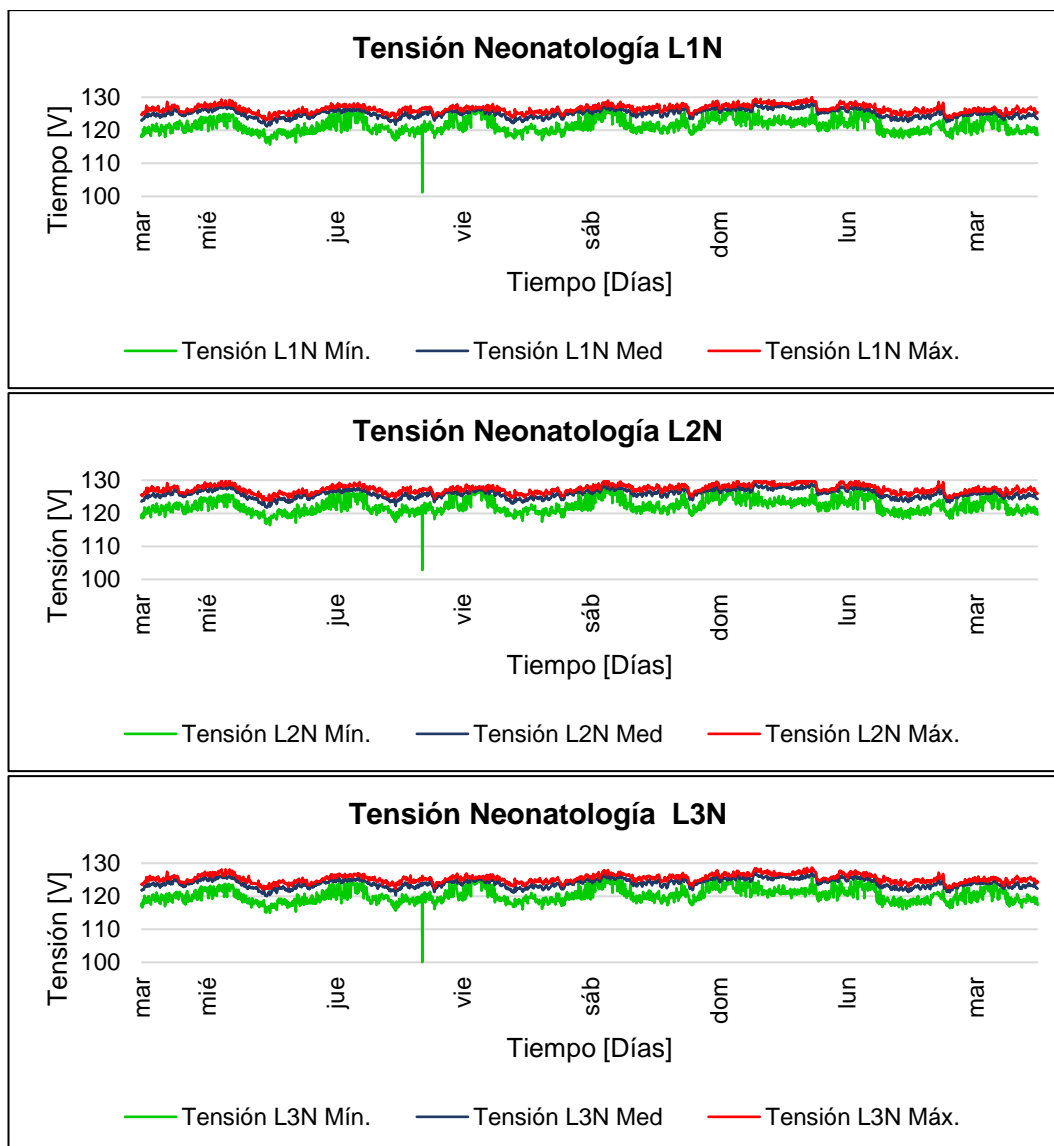


Figura 54. Comportamiento en tiempo real de tensión en Neonatología.

4.6.5.2 Corriente Neonatología (TE1-1)

La Tabla 34 permite apreciar los valores máximos, mínimos obtenidos en la medición de corriente en cada una de las líneas, en el caso del neutro la corriente que circula es cero, se ofrecen datos estadísticos para una mejor comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en el área de neonatología del hospital.

Tabla 34:
Corriente medida en Tablero TE1-1

	Corriente L1			Corriente L2			Corriente L3		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx. [A]	27,8	28,3	39,0	17,3	18,4	68,2	15,5	18,9	62,0
Mín. [A]	1,4	1,5	1,6	2,4	3,1	3,5	0,2	0,3	0,4
μ [A]	7,1	10,3	15,6	4,5	5,7	7,4	5,1	5,9	6,9

En la Figura 55 se encuentra graficado el resultado de las mediciones de corriente efectuadas durante una semana.

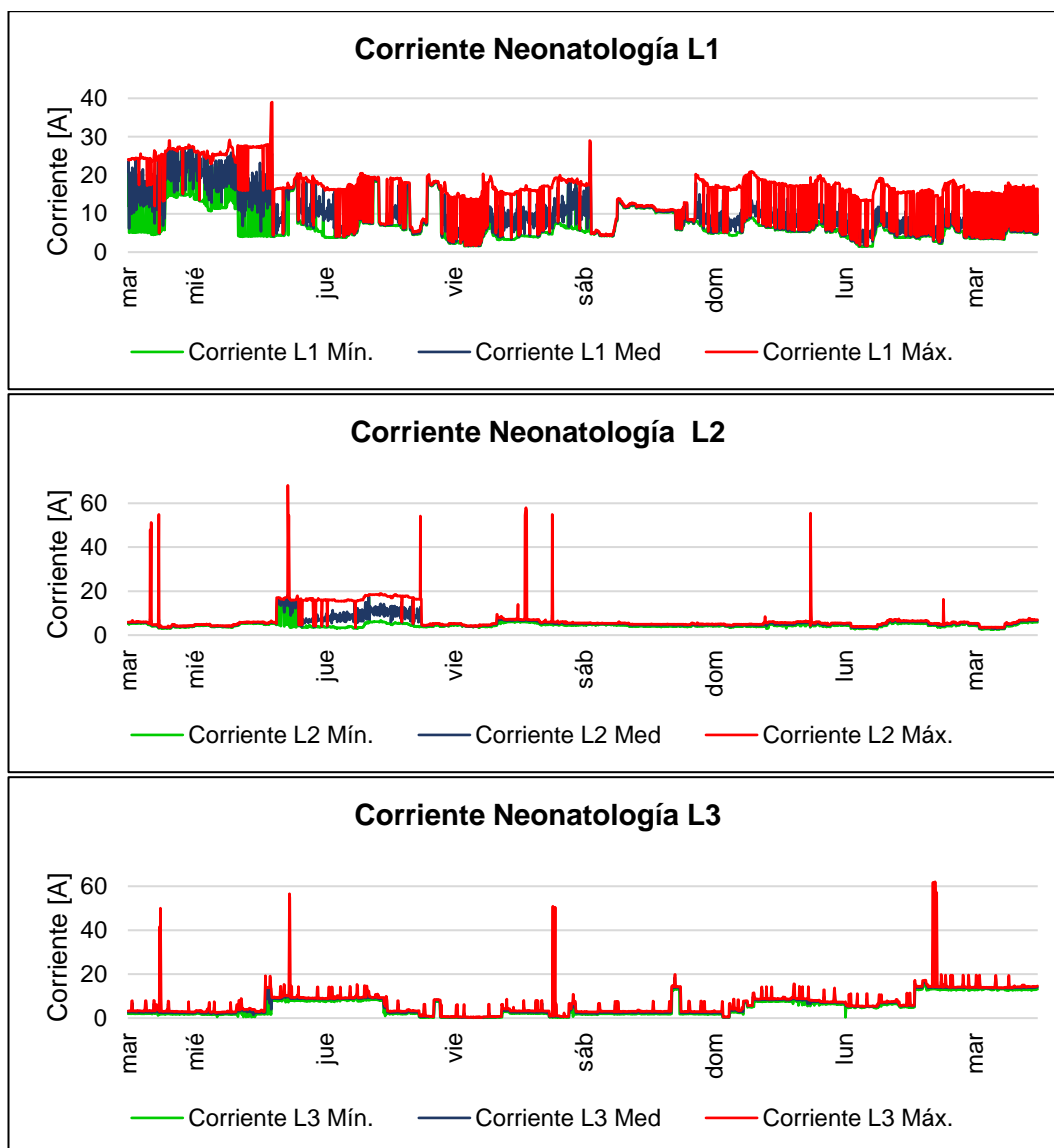


Figura 55. Comportamiento en tiempo real de corriente en Neonatología.

4.6.5.3 Armónicos de corriente presentes en el área de Neonatología

Los armónicos de corriente presentes en las líneas de alimentación del centro quirúrgico son los de tercer orden, mientras que en el Neutro no se presentan dichos armónicos, tal como se puede observar en la Figura 56.

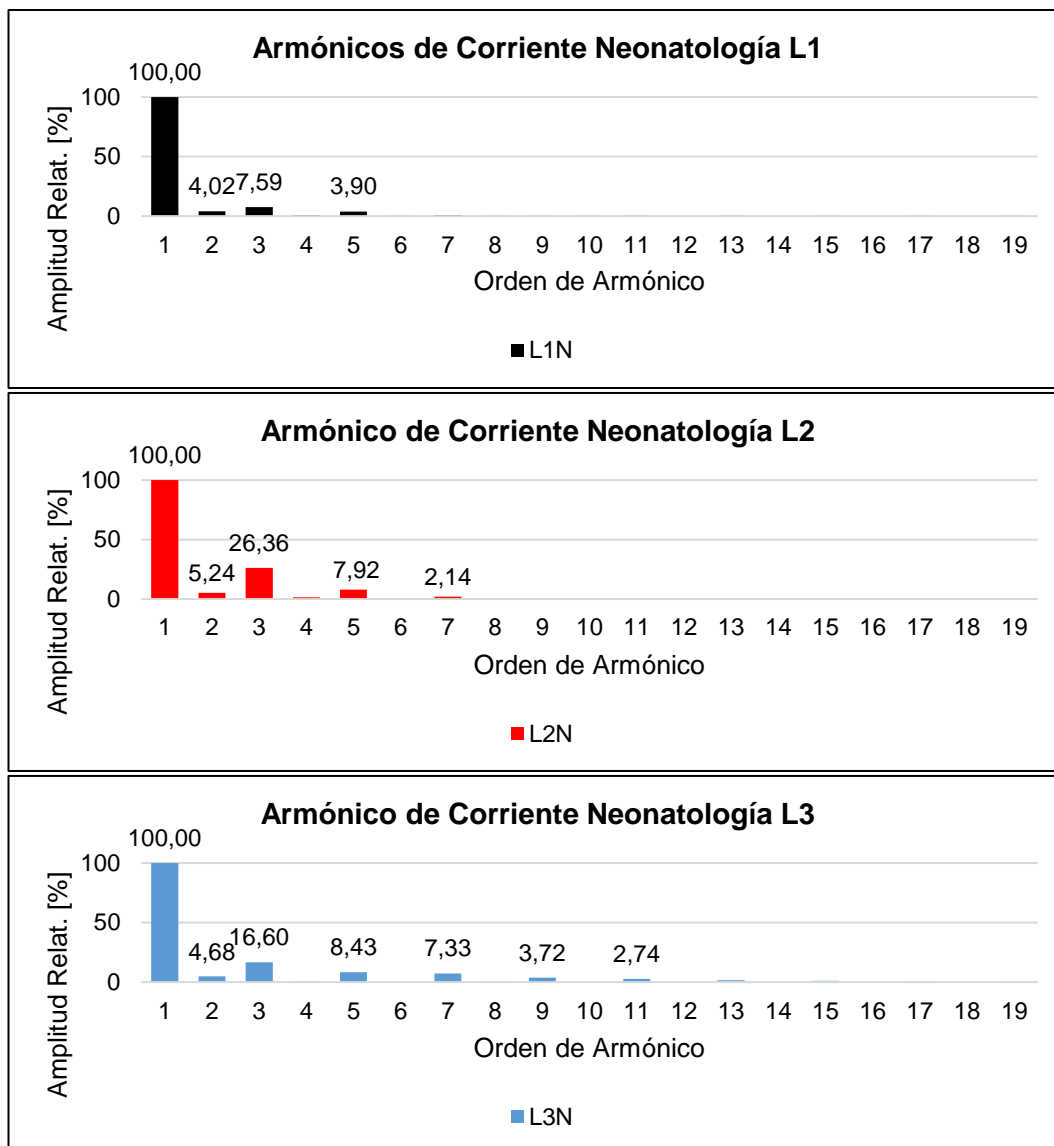


Figura 56. Armónicos de corriente presentes en el tablero TE1-1.

4.6.5.4 Frecuencia Neonatología (TE1-1)

La Figura 57 muestra en detalle el comportamiento de la frecuencia durante el periodo de medición.

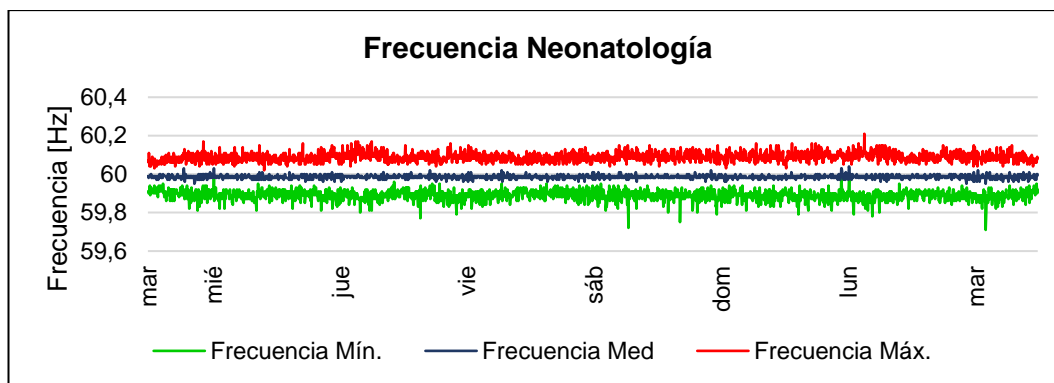


Figura 57. Frecuencia medida en tablero TE1-1.

4.6.5.5 Potencia Neonatología (TE1-1)

Las mediciones efectuadas en el tablero TE1-1 permiten obtener los valores máximos, mínimos y la media de la potencia aparente, activa y reactiva, y que se indican en la Figura 58.

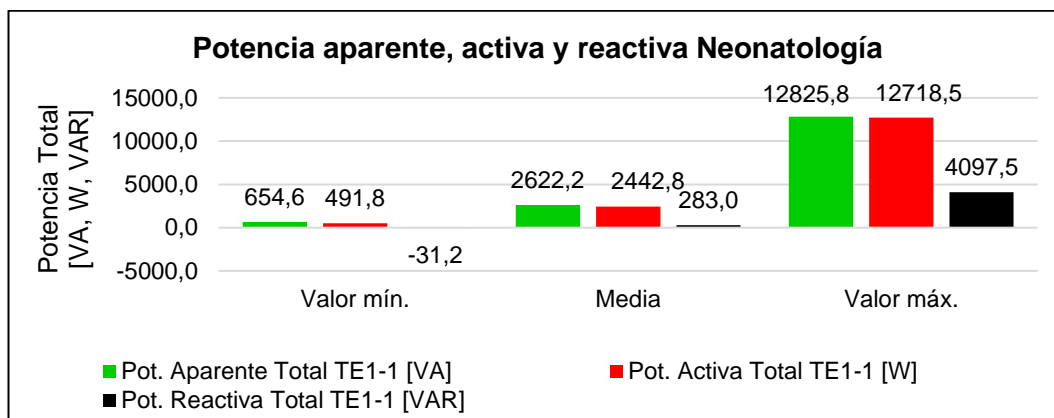


Figura 58 Valores pico de Potencia Total en el Tablero TE1-1.

4.6.5.5.1 Potencia Activa TE1-1

Tabla 35:
Potencia Activa en TE1-1

	Potencia Activa L1N [W]	Potencia Activa L2N [W]	Potencia Activa L3N [W]	Potencia Activa Total TE1-1 [W]
Valor mín.	154,1	171,5	-24,3	491,8
Media	1195,2	558,4	689,2	2442,8
Valor máx.	5860,5	7190,5	7694,5	12718,5

La Tabla 35 permite conocer valores alcanzados por la potencia activa en cada una de las líneas del tablero TE1-1, mientras que la Figura 59 permite conocer el comportamiento de la potencia activa durante los días de medición.

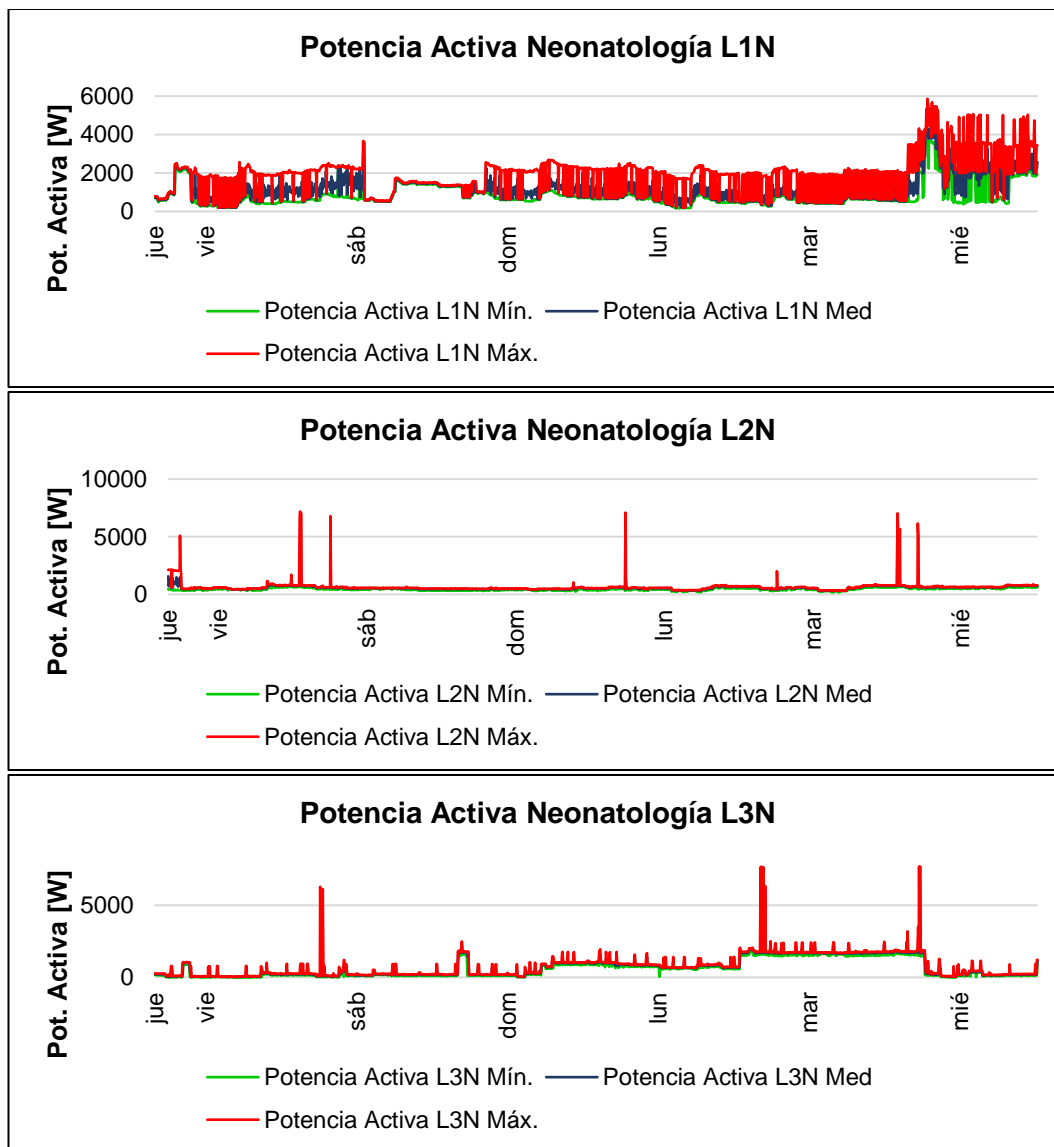


Figura 59. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TE1-1.

4.6.5.5.2 Potencia Reactiva TE1-1

Las mediciones efectuadas durante la semana de forma continua permitieron obtener los valores de potencia reactiva en el área de neonatología y se detallan en la Tabla 36.

Tabla 36:
Potencia Reactiva en TE1-1

	Pot. Reactiva L1N [VAR]	Pot. Reactiva L2N [VAR]	Pot. Reactiva L3N [VAR]	Pot. Reactiva Total TE1-1 [VAR]
Valor mín.	-173,2	32,9	-148,9	-31,2
Media	56,8	196,1	30,1	283,0
Valor máx.	900,6	3936,4	2971,8	4097,5

El comportamiento de la potencia reactiva medido en cada una de las líneas se puede observar en la Figura 60.

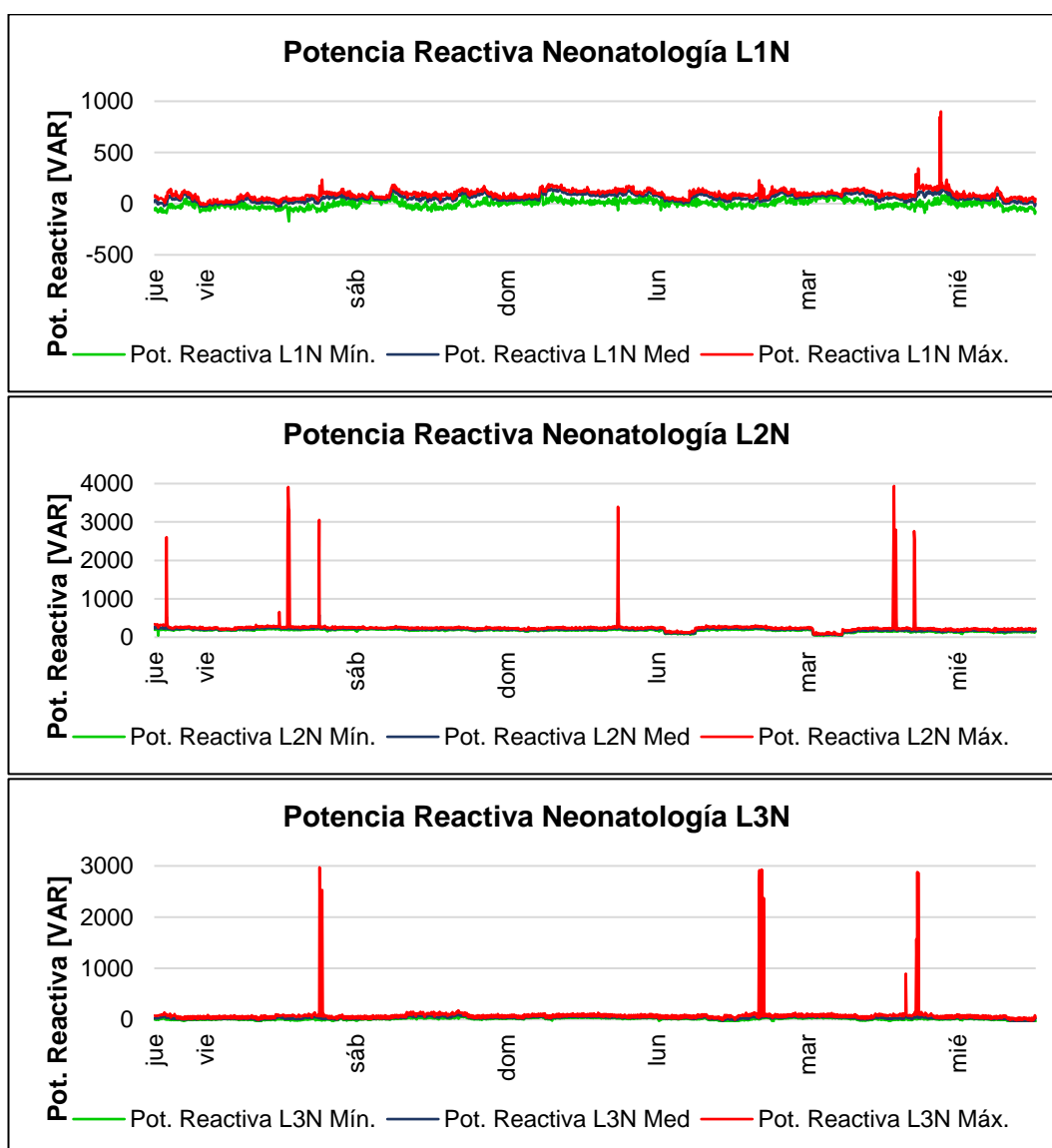


Figura 60 Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TE1-1.

4.6.5.5.3 Potencia Aparente TE1-1

La potencia total que consume el área se detalla en la Tabla 37 mientras que su comportamiento en el periodo se puede observar en la Figura 61.

Tabla 37:
Potencia aparente en TE1-1

	Pot. Aparente L1N [VA]	Pot. Aparente L2N [VA]	Pot. Aparente L3N [VA]	Pot. Aparente Total TE1-1 [VA]
Valor mín.	171,5	294,4	17,3	654,6
Media	1210,1	661,1	751,1	2622,2
Valor máx.	5891,7	7190,5	7694,5	12825,8

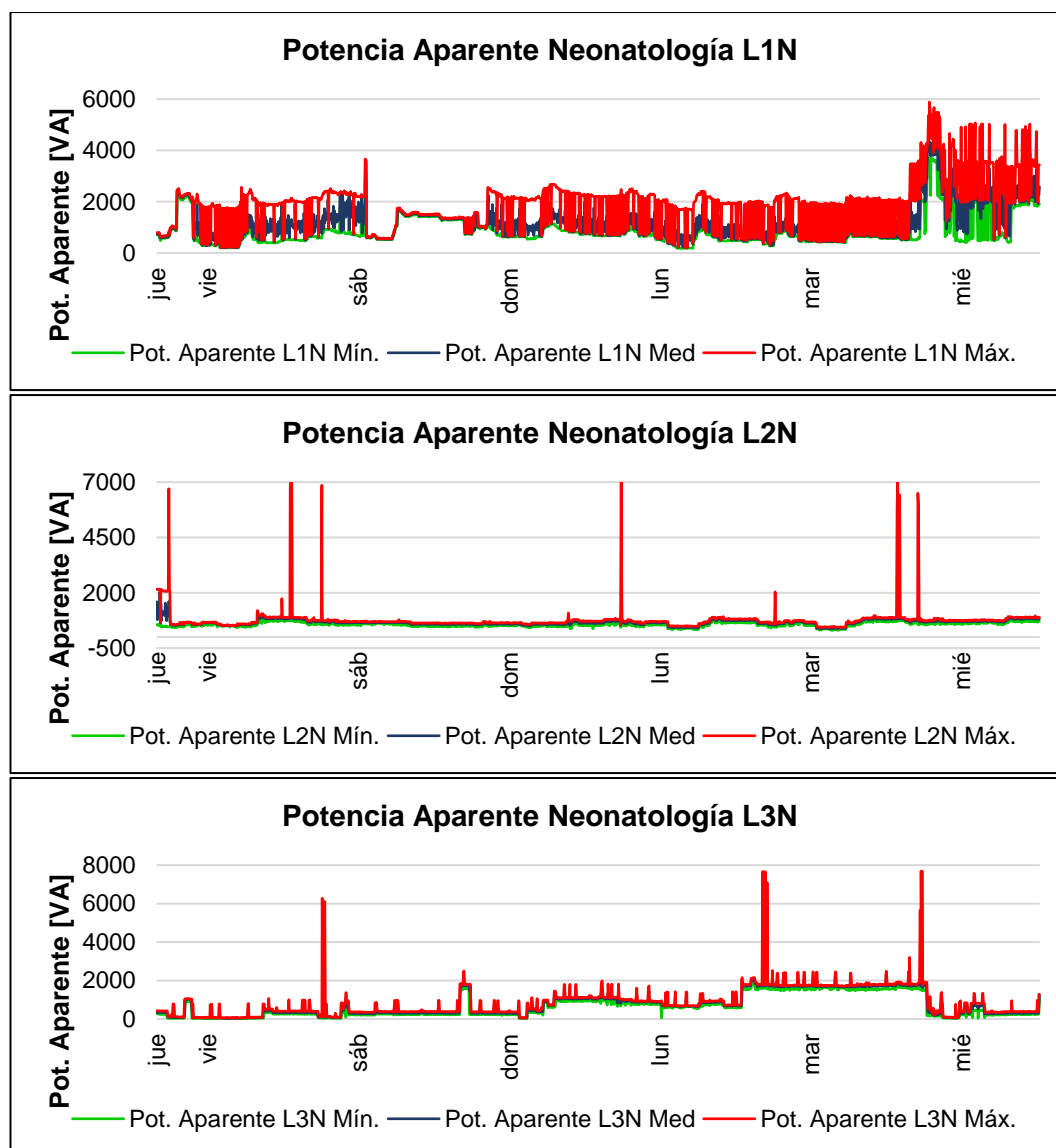


Figura 61. Comportamiento en tiempo real de pot. aparente en TE1-1.

4.6.5.6 Factor de Potencia Neonatología (TE1-1)

El factor de potencia medido por el analizador de redes eléctricas FLUKE 1735, se detalla en la Tabla 38 y en la Figura 62 su comportamiento.

Tabla 38:
Factor de Potencia en TE1-1

	Factor de Potencia L1N	Factor de Potencia L2N	Factor de Potencia L3N
Valor mín.	0,27	0,15	-0,61
Media	0,98	0,84	0,83
Valor máx.	1,00	1,00	1,00

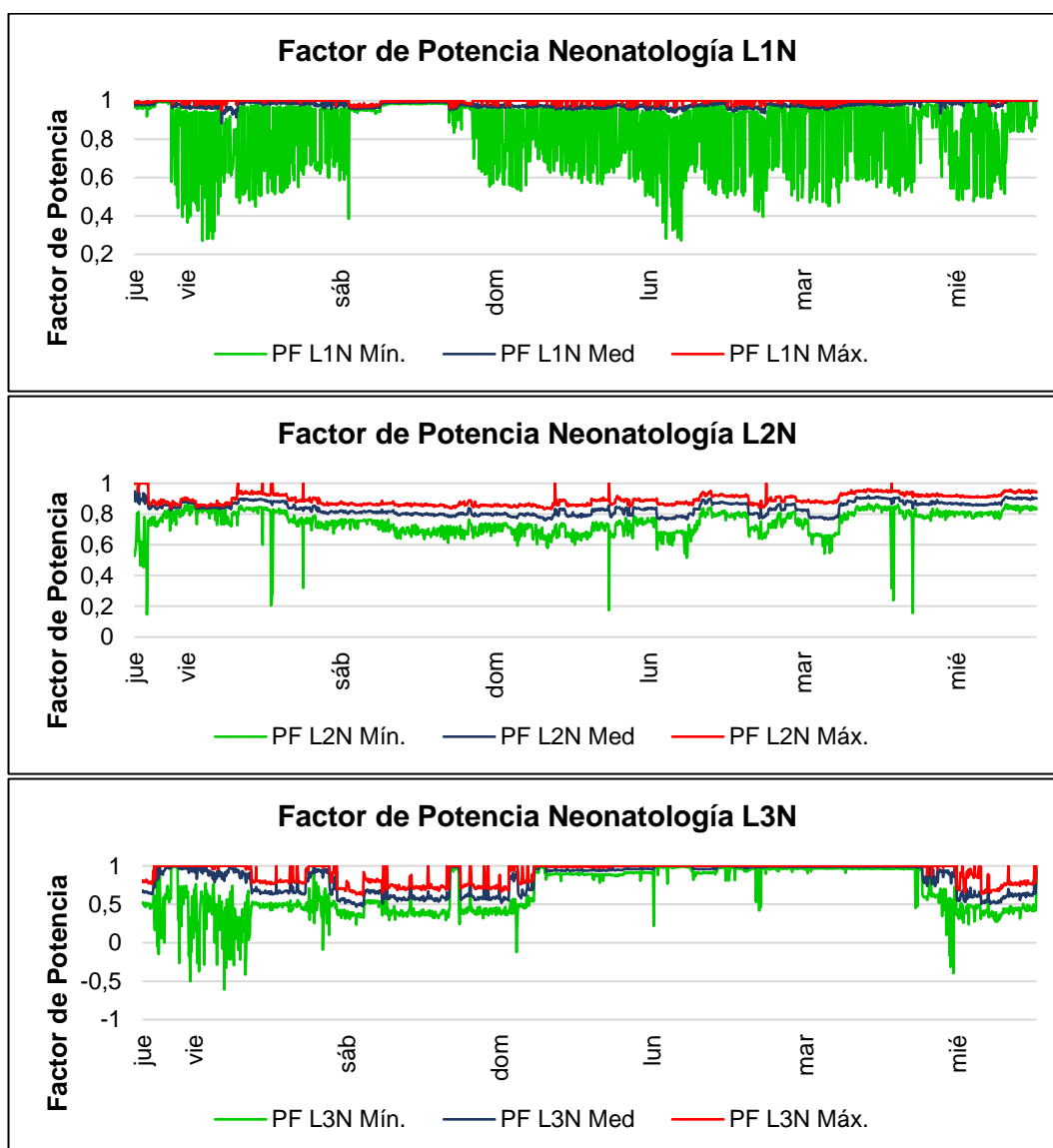


Figura 62. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TE1-1.

4.6.5.7 THD de Corriente Neonatología (TE1-1)

El THD de corriente promedio en las líneas 2 y 3 superan el 20% tal como se observa en la Figura 63.

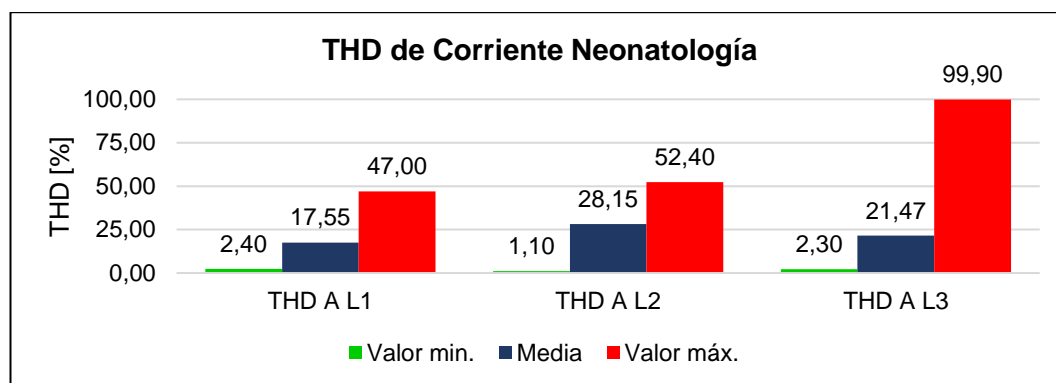


Figura 63. THD de corriente TE1-1.

4.6.6 Área de tomografía (TAC)

Las mediciones efectuadas mediante el analizador FLUKE 1735, se realizaron en el tablero TAC que energiza al equipo de tomografía del hospital y que se puede observar en la Figura 64.



Figura 64. Punto de medición Tomografía TAC.

Los valores de voltaje y corriente en cada una de las líneas del tablero TAC se pueden observar en la Figura 65 y en la Figura 66 su formas de onda.

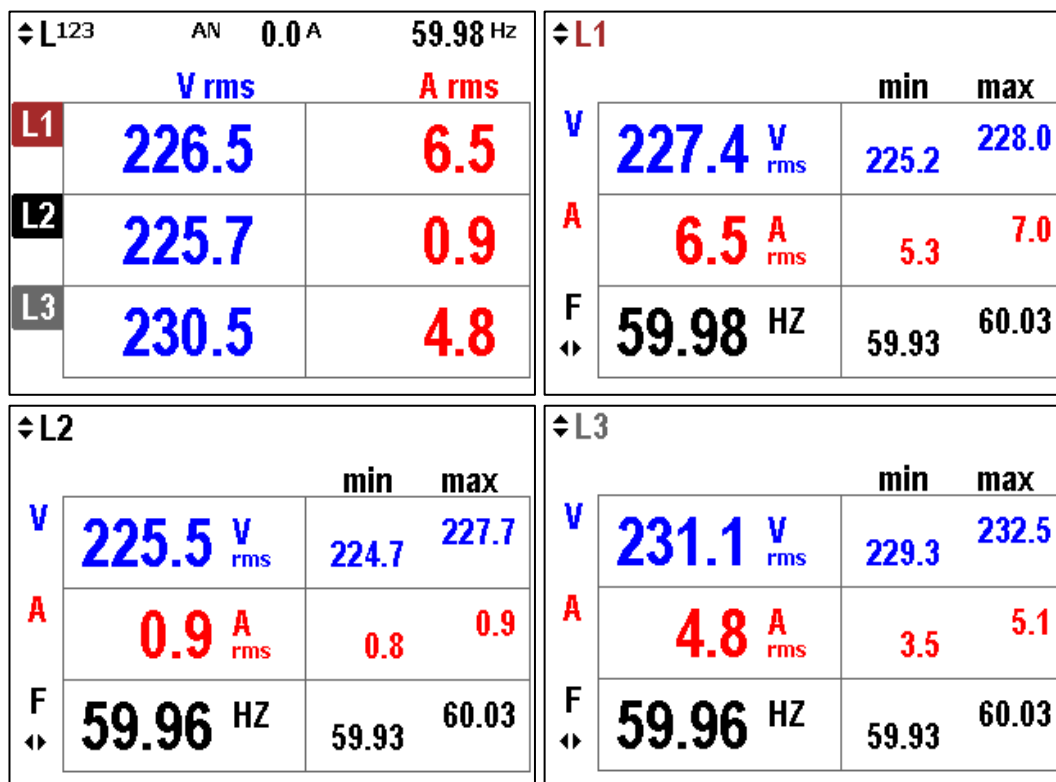


Figura 65. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 de Tablero TAC.

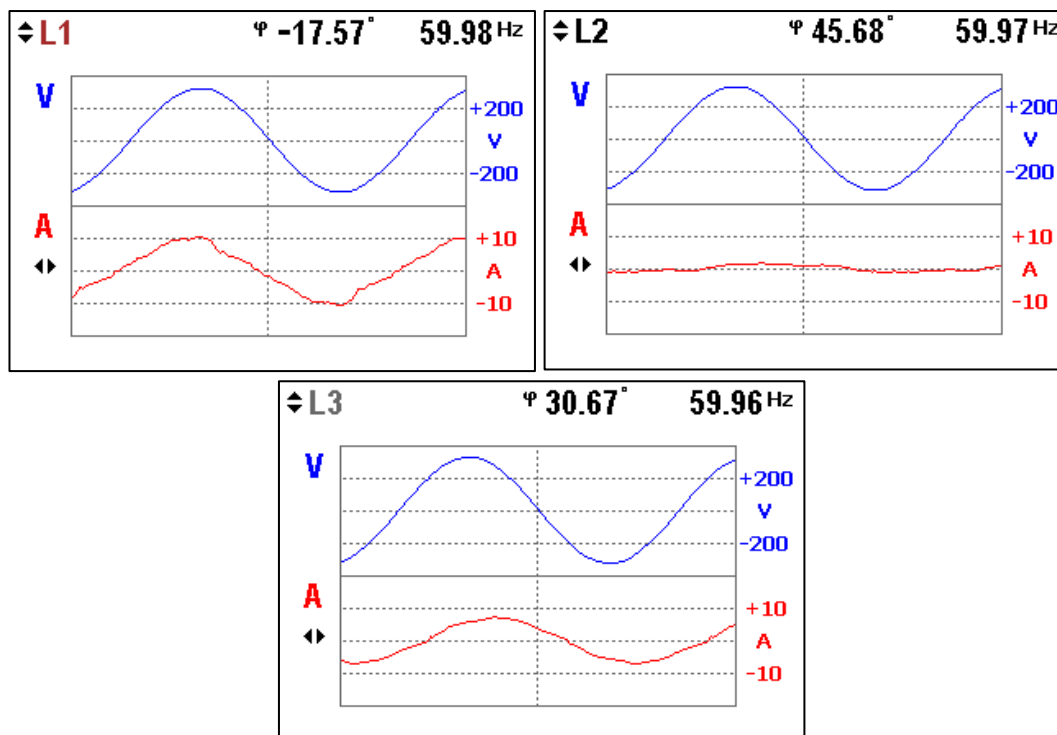


Figura 66. Formas de onda de voltaje y corriente del Tablero TAC

	$\triangleleft L^{123}$	2.49_{tot} kW	2.78_{tot} kVA	0.27_{tot} kvar \leftrightarrow		$\triangleleft L^{123}$	2.50_{tot} kW	2.78_{tot} kVA	0.834_{tot} PF \leftrightarrow
L1		1.39	1.47	-0.43	L1		1.40	1.47	0.950
L2		0.14	0.20	0.14	L2		0.14	0.20	0.691
L3		0.96	1.11	0.56	L3		0.96	1.11	0.863

Figura 67. Potencias y factor de potencia Tablero TAC.

Los datos obtenidos en las mediciones de las variables eléctricas en el área de tomografía son los siguientes.

4.6.6.1 Tensión Tomografía (TAC)

La Tabla 39 permite conocer los valores mínimos, máximos y promedios de la tensión medida en el periodo de siete días en cada una de las líneas del tablero eléctrico que proporciona energía eléctrica al área de Tomografía.

Tabla 39:
Tensión medida en Tablero TAC

	L1N			L2N			L3N		
	Mín.	Media	Máy.	Mín.	Media	Máy.	Mín.	Media	Máy.
Máy. [V]	234,0	234,8	236,8	233,6	234,4	236,7	239,0	239,6	242,3
Mín. [V]	177,0	217,9	222,1	168,2	219,5	221,7	183,1	223,1	225,7
μ [V]	227,1	229,1	230,7	226,5	228,4	230,1	231,3	233,3	235,1

Para una mejor comprensión de los valores máximo, mínimo y promedio se indica en la Figura 68 gráficamente la tensión obtenidos en tiempo real en las mediciones de cada una de las líneas del tablero TAC.

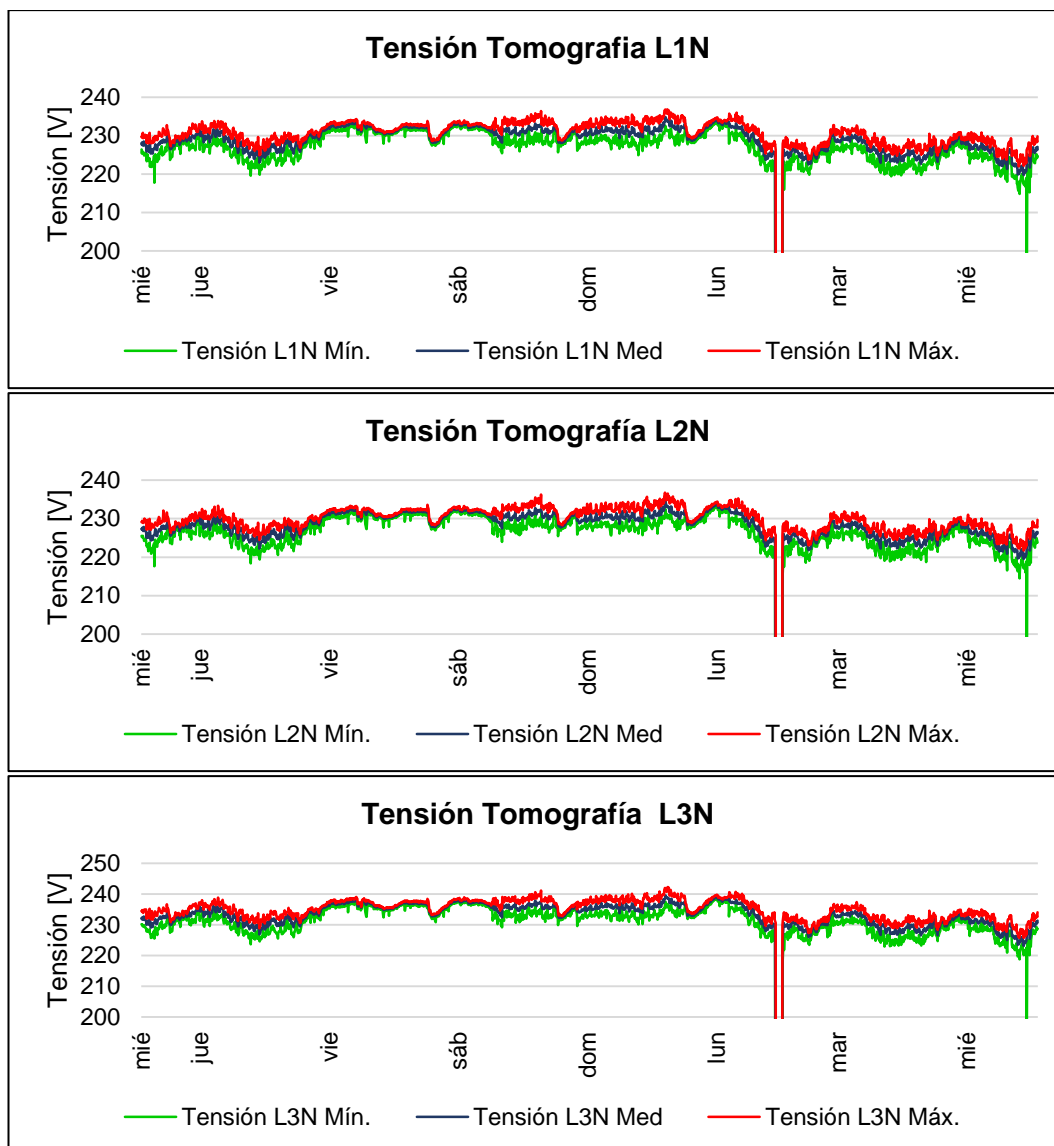


Figura 68. Comportamiento en tiempo real de la tensión en Tomografía.

4.6.6.2 Corriente Tomografía (TAC)

La Tabla 40 permite apreciar los valores máximos, mínimos obtenidos en la medición de corriente, de igual manera que en el caso de la tensión de este tablero, se ofrecen datos estadísticos para una mejor comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en el área de tomografía del hospital.

Tabla 40:
Corriente medida en Tablero TAC

	Corriente L1			Corriente L2			Corriente L3		
	Mín. [A]	Media	Máx. [A]	Mín. [A]	Media	Máx. [A]	Mín. [A]	Media	Máx. [A]
Máx. [A]	7,5	23,3	91,5	1,8	18,7	85,3	5,1	21,9	89,1
Mín. [A]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
μ [A]	5,3	5,8	9,4	0,7	1,1	4,8	3,5	4,0	7,8

La corriente medida en el tablero TAC, presenta picos de corriente que corresponden al momento de utilización del tomógrafo, tal como se puede ver en la Figura 69.

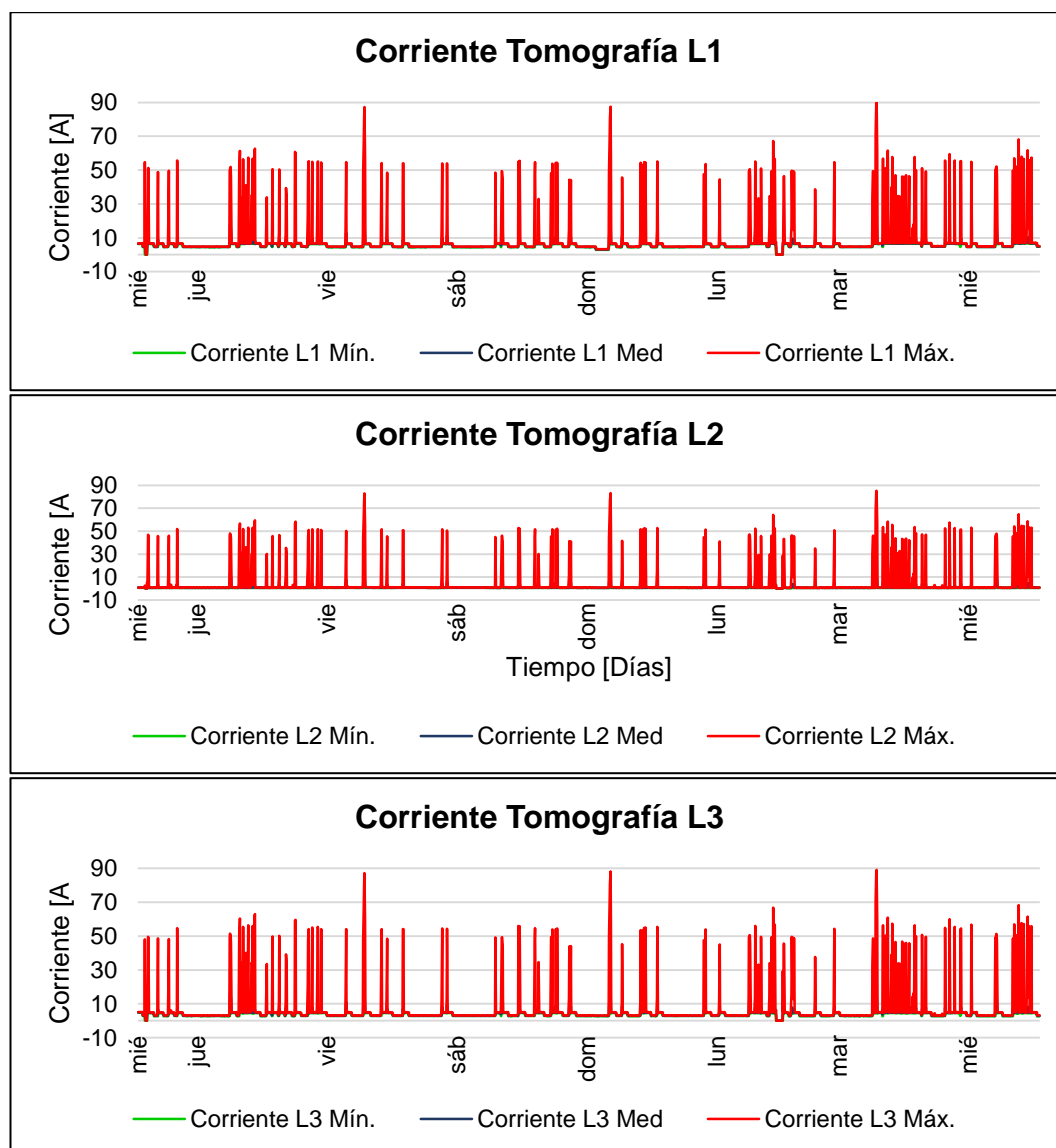


Figura 69. Comportamiento en tiempo real de corriente en Tomografía.

4.6.6.3 Armónicos de corriente presentes en Tomografía (TAC)

Los armónicos de corriente presentes de manera significativa en las líneas de alimentación del área de tomografía se pueden observar en la Figura 70.

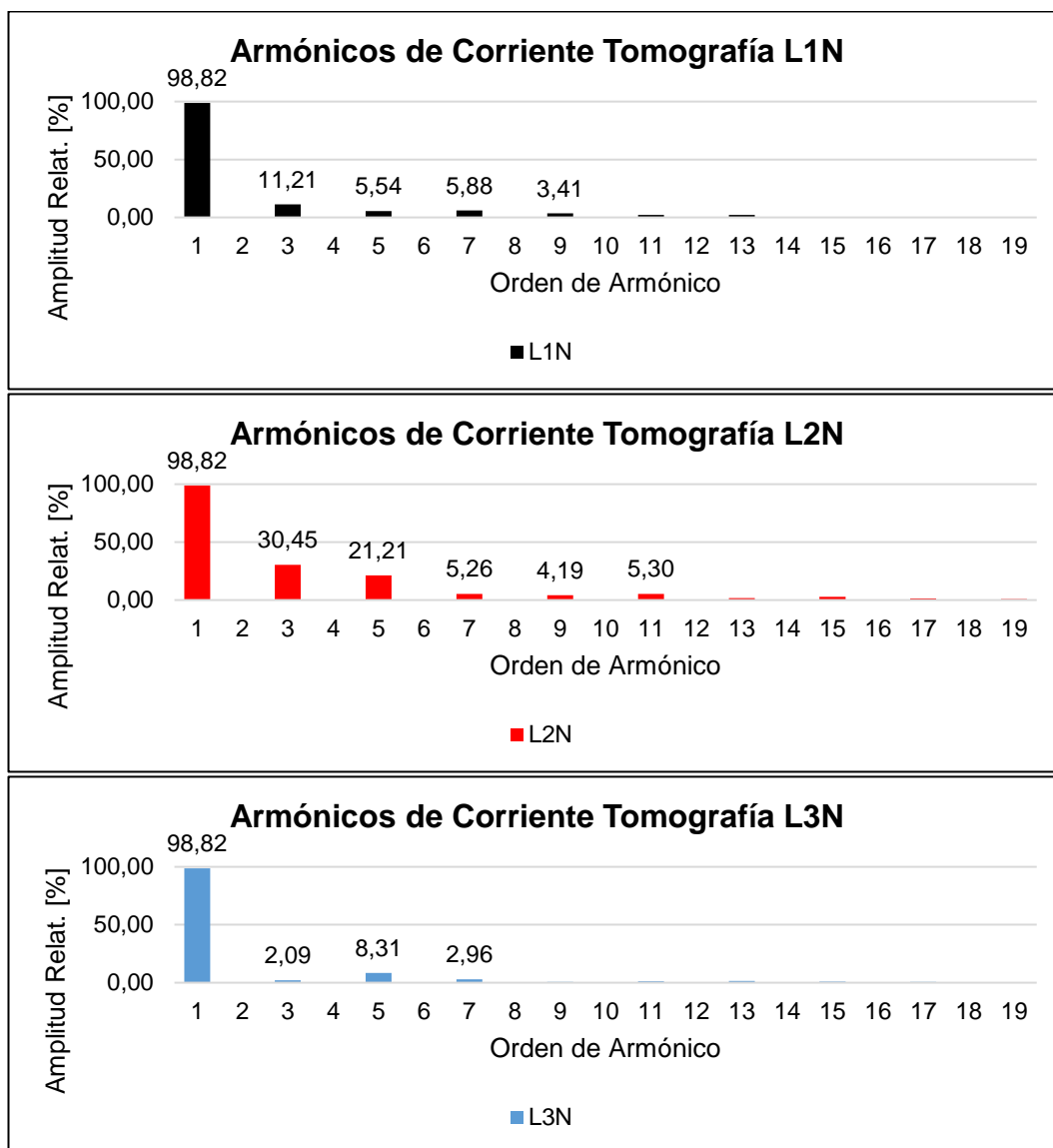


Figura 70. Armónicos de corriente presentes en Tomografía.

4.6.6.4 Frecuencia Tomografía (TAC)

Los resultados de las mediciones de frecuencia en el área se indican en la Figura 71.

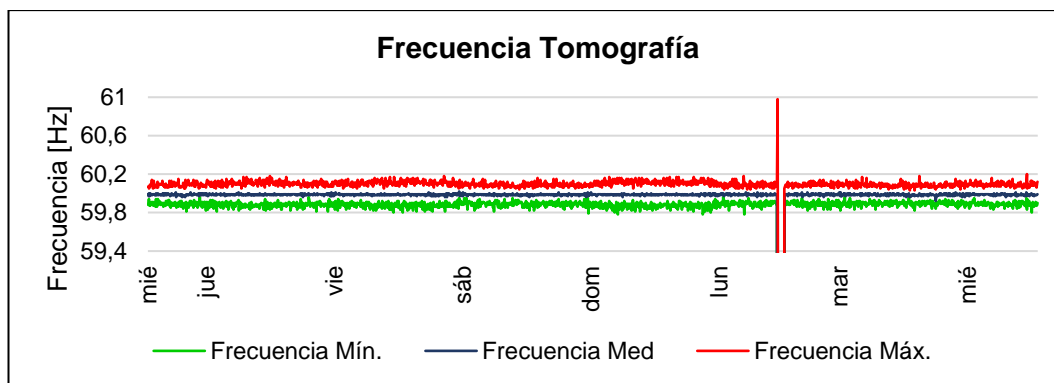


Figura 71. Frecuencia medida en tablero TAC.

4.6.6.5 Potencia Tomografía (TAC)

Una gráfica comparativa entre las potencias aparente, activa y reactiva del tablero TAC se muestra en la Figura 72

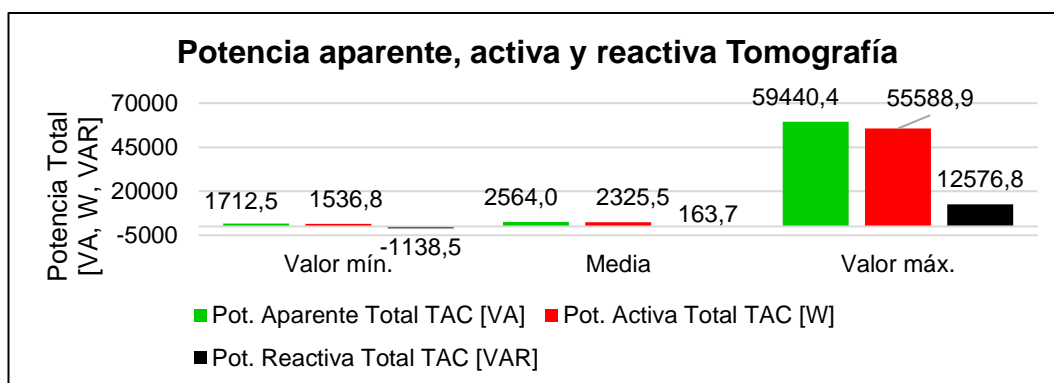


Figura 72. Valores pico de Potencia Total en el Tablero TAC.

4.6.6.5.1 Potencia Activa TAC

La Tabla 41 expone un resumen de los valores de potencia activa total.

**Tabla 41:
Potencia Activa en TAC.**

	Potencia Activa L1N [W]	Potencia Activa L2N [W]	Potencia Activa L3N [W]	Potencia Activa Total TAC [W]
Valor mín.	956,59	50,18	520,64	1536,82
Media	1284,93	206,02	834,5	2325,45
Valor máx.	19254,14	17685,96	18978,14	55588,91

Mientras que el comportamiento de la potencia activa consumida en las líneas del tablero TAC durante el tiempo de medición se detalla en la Figura 73.

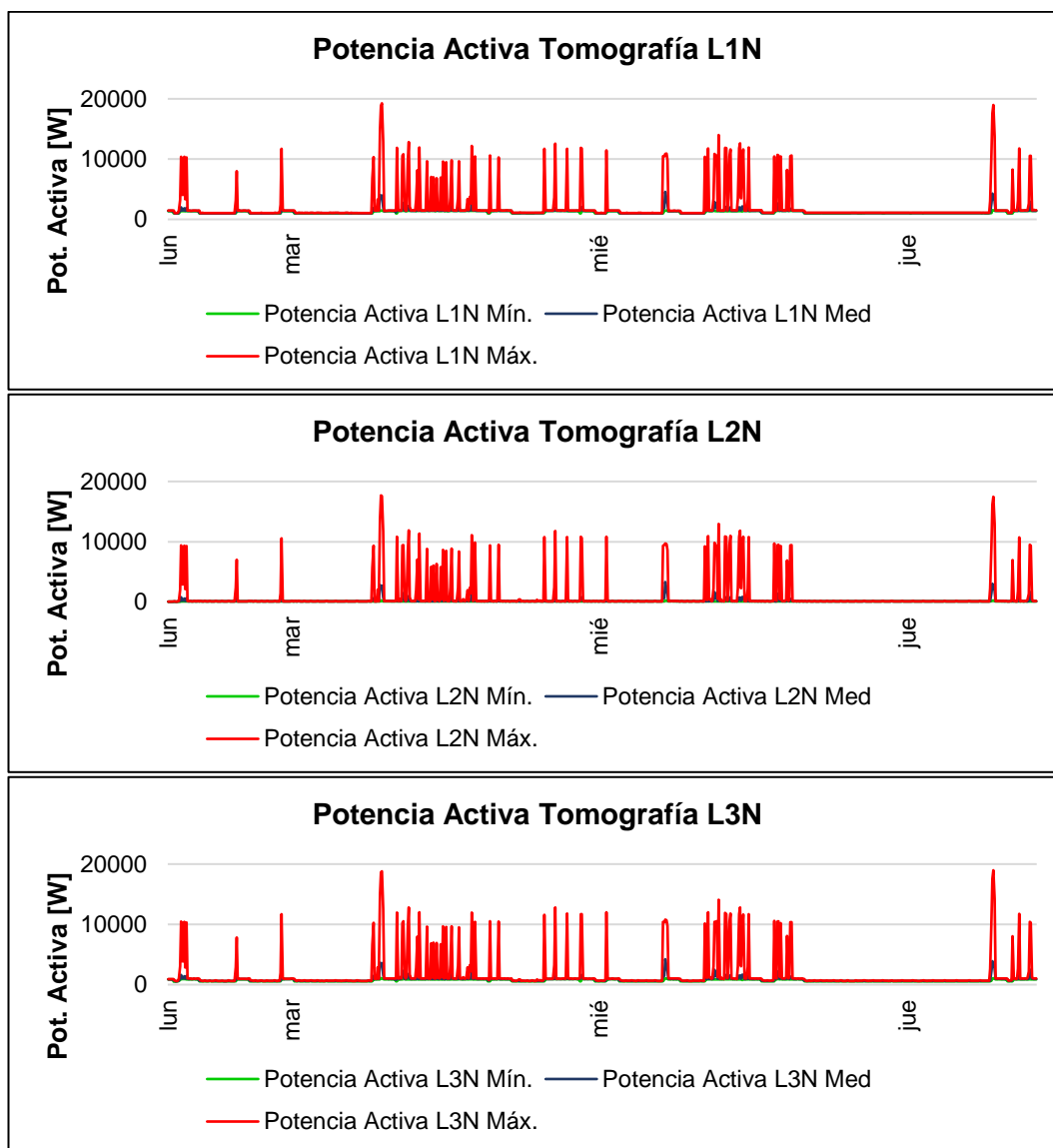


Figura 73. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en TAC.

4.6.6.5.2 Potencia Reactiva TAC

Las mediciones efectuadas de forma continua permitieron obtener los valores de potencia reactiva en el área y se detallan en la Tabla 42.

Tabla 42:
Potencia Reactiva TAC.

	Pot. Reactiva L1N [VAR]	Pot. Reactiva L2N [VAR]	Pot. Reactiva L3N [VAR]	Pot. Reactiva Total TAC [VAR]
Valor mín.	-862,5	-476,7	-188,2	-1138,5
Media	-356,9	109,1	411,5	163,7
Valor máx.	3346,5	4397,2	4842,6	12576,8

El comportamiento de la potencia reactiva se detalla en la Figura 74.

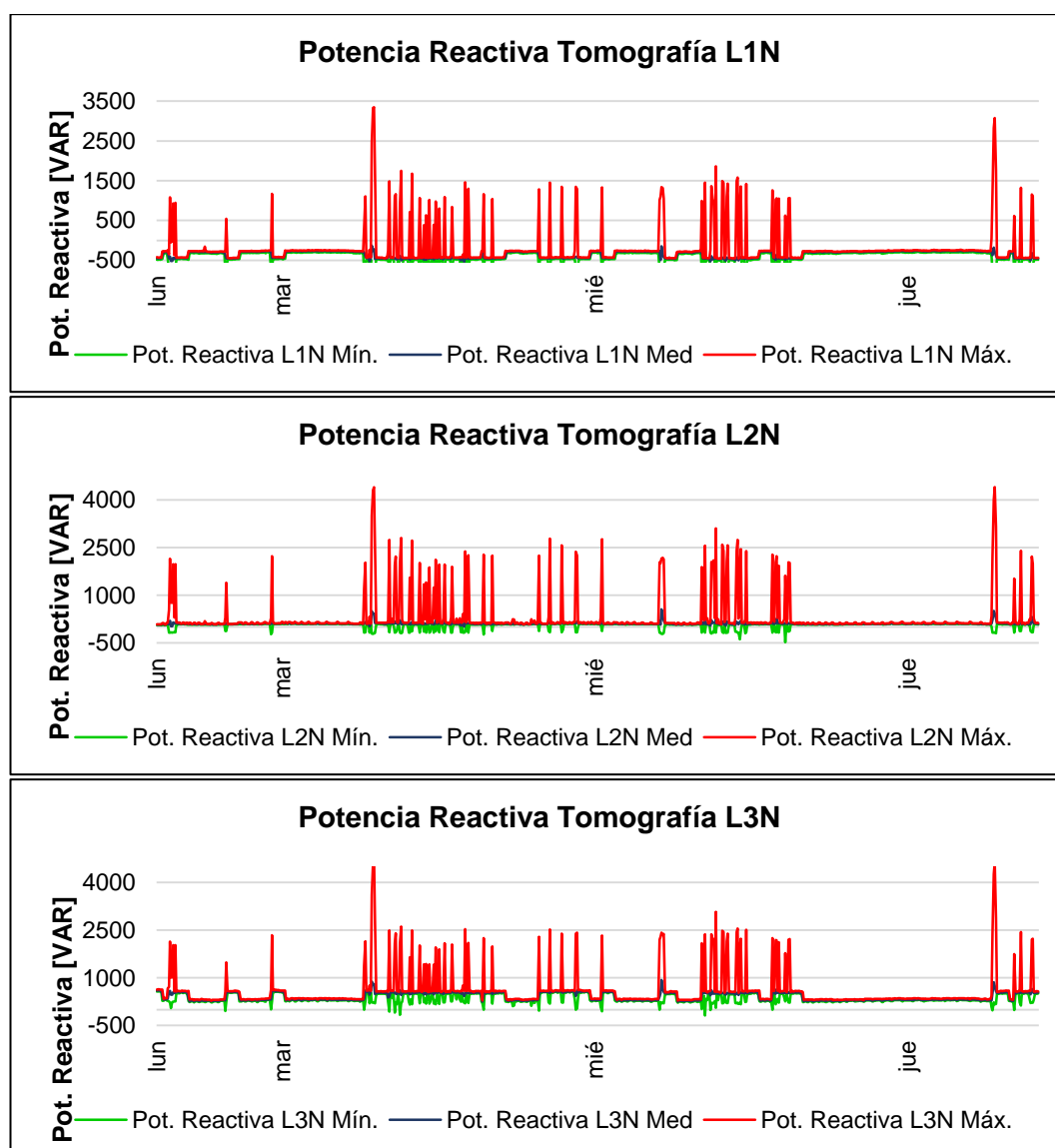


Figura 74. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en TAC.

4.6.6.5.3 Potencia Aparente TAC

La Tabla 43 resume la potencia total, y la Figura 75 grafica su comportamiento durante el periodo de mediciones.

Tabla 43:
Potencia Aparente TAC.

	Pot. Aparente L1N [VA]	Pot. Aparente L2N [VA]	Pot. Aparente L3N [VA]	Pot. Aparente Total TAC [VA]
Valor mín.	1003,6	94,1	605,3	1712,5
Media	1358,4	263,4	942,2	2564,0
Valor máx.	20389,5	18880,9	20359,1	59440,4

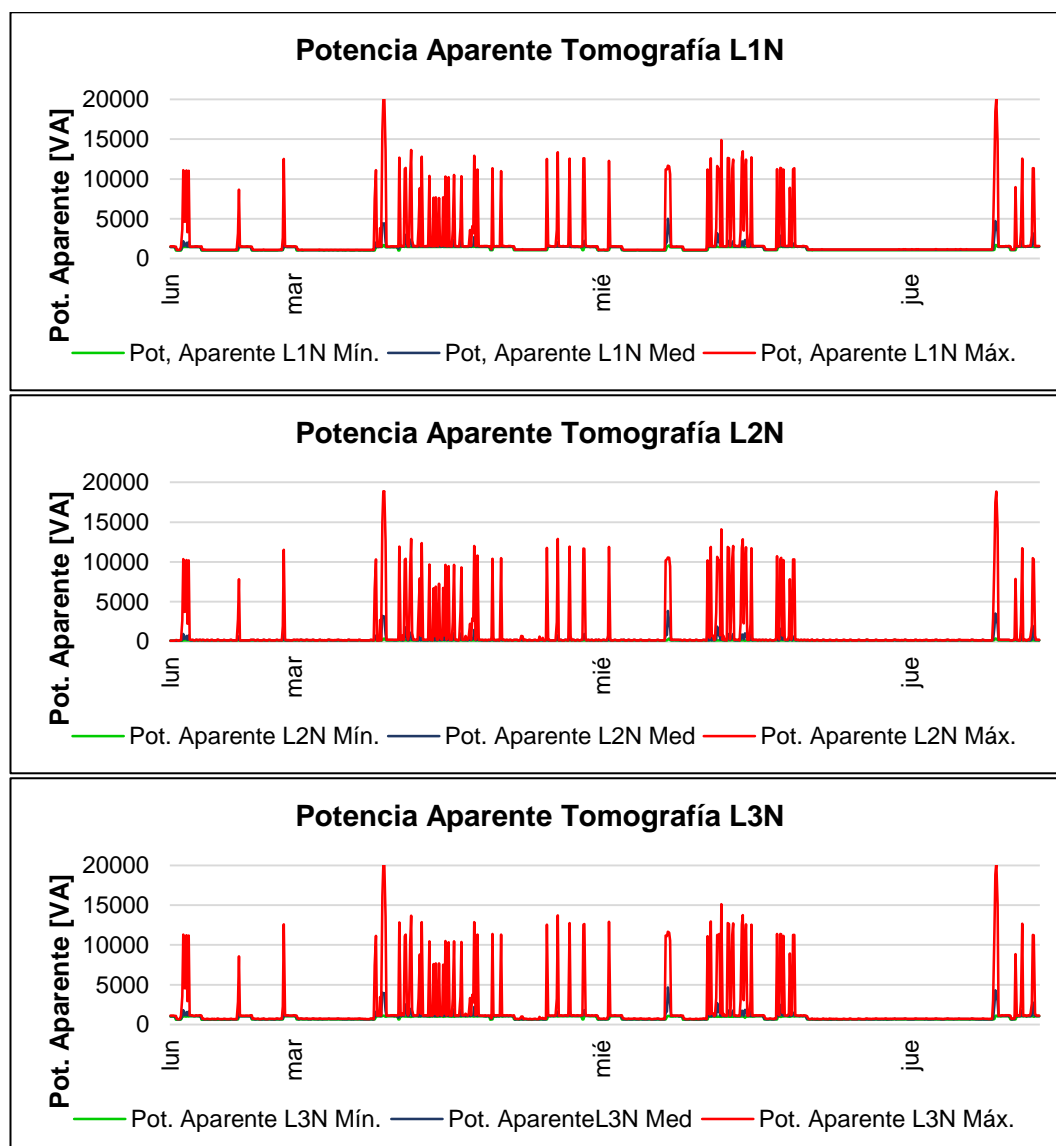


Figura 75. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en TAC.

4.6.6.6 Factor de Potencia TAC

El factor de potencia medido por el analizador de redes eléctricas FLUKE 1735, se detalla en la Tabla 44, y su evolución en la Figura 76.

Tabla 44:
Factor de Potencia en TAC.

	Factor de Potencia L1N	Factor de Potencia L2N	Factor de Potencia L3N
Valor mín.	0,21	0,05	0,16
Media	0,95	0,74	0,90
Valor máx.	1,00	1,00	1,00

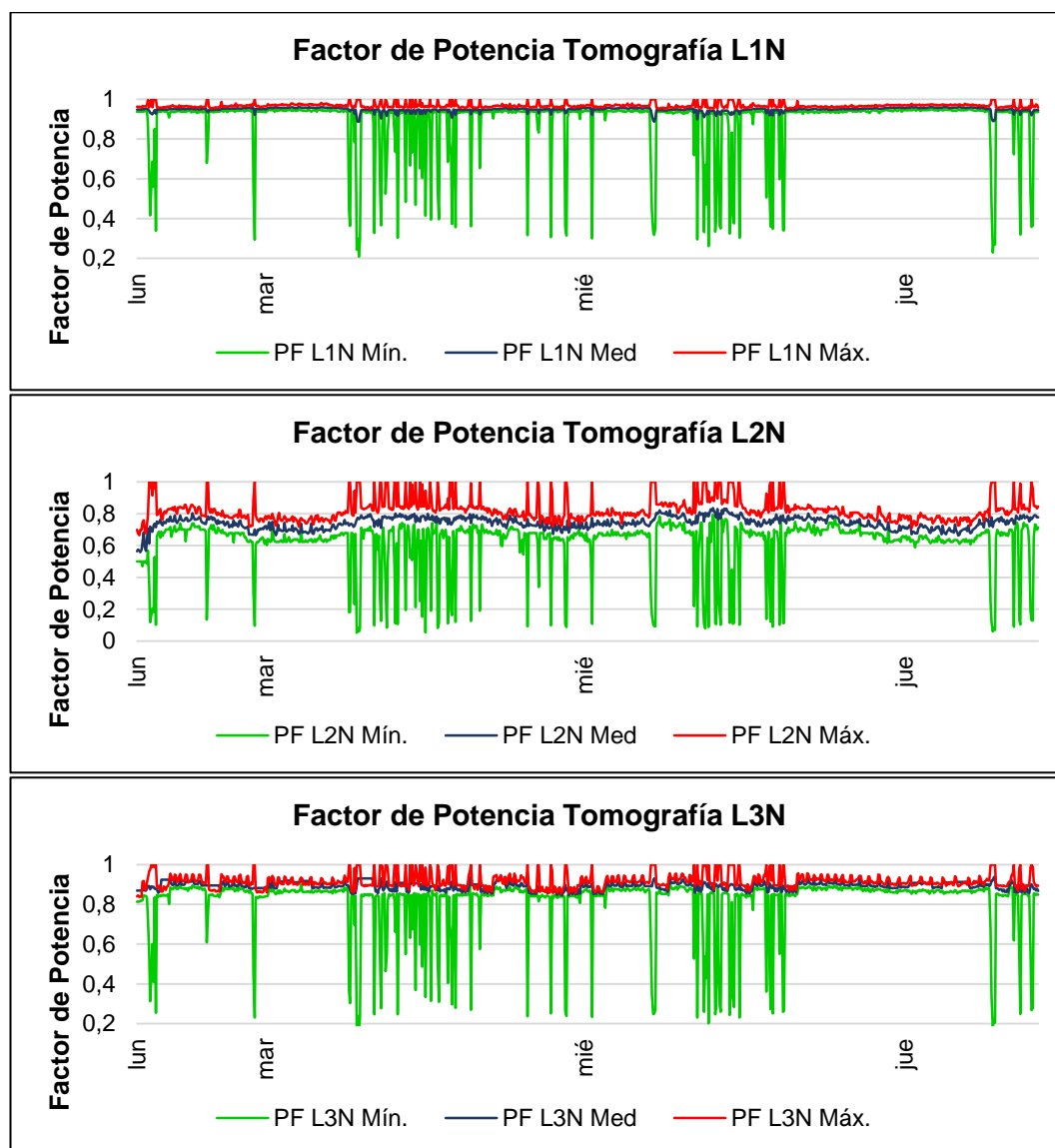


Figura 76. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en TAC.

4.6.6.7 THD de Corriente Tomografía (TAC)

Los valores THD de corriente encontrados en el área de tomografía se encuentran en la Figura 77.

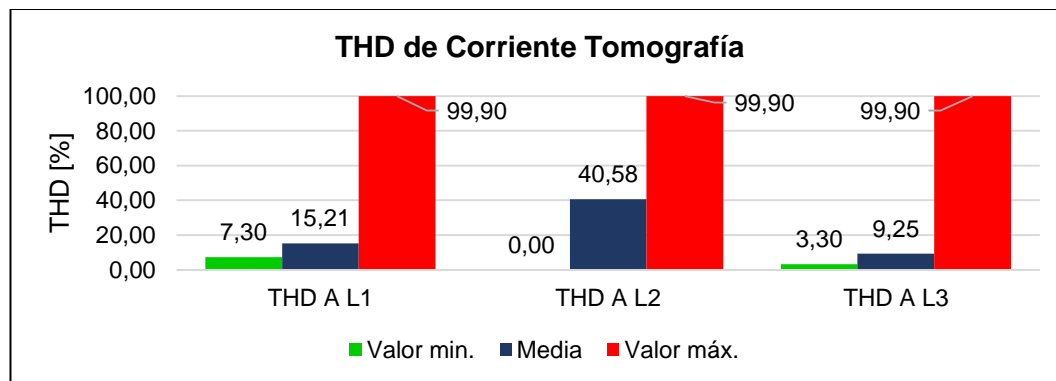


Figura 77. THD de corriente TAC.

4.6.7 Cuarto de bombas de agua

Las mediciones efectuadas mediante el analizador FLUKE 1735, corresponden al Tablero del Cuarto de bombas de agua y que es alimentado por el Tablero de Emergencia TEP-2. La Figura 78 indica el punto de medición donde se realizó la toma de datos.



Figura 78. Punto de medición Cuarto de bombas de agua.

En la Figura 79 se observa los valores RMS de voltaje y de corriente de cada una de las líneas obtenidos en el momento de la medición.

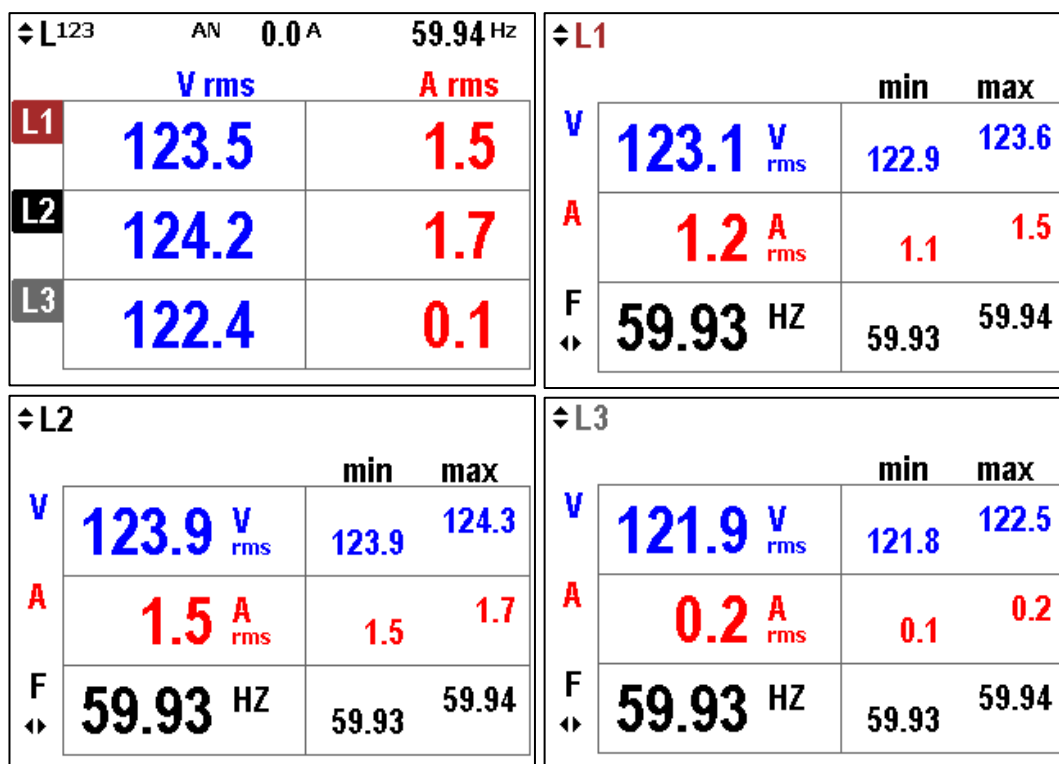


Figura 79. Mediciones en Líneas 1, 2 y 3 en Cuarto de bombas de agua.

La forma de ondas de voltaje y de corriente de cada una de las líneas de alimentación del cuarto de bombas de agua se observa en la Figura 80.

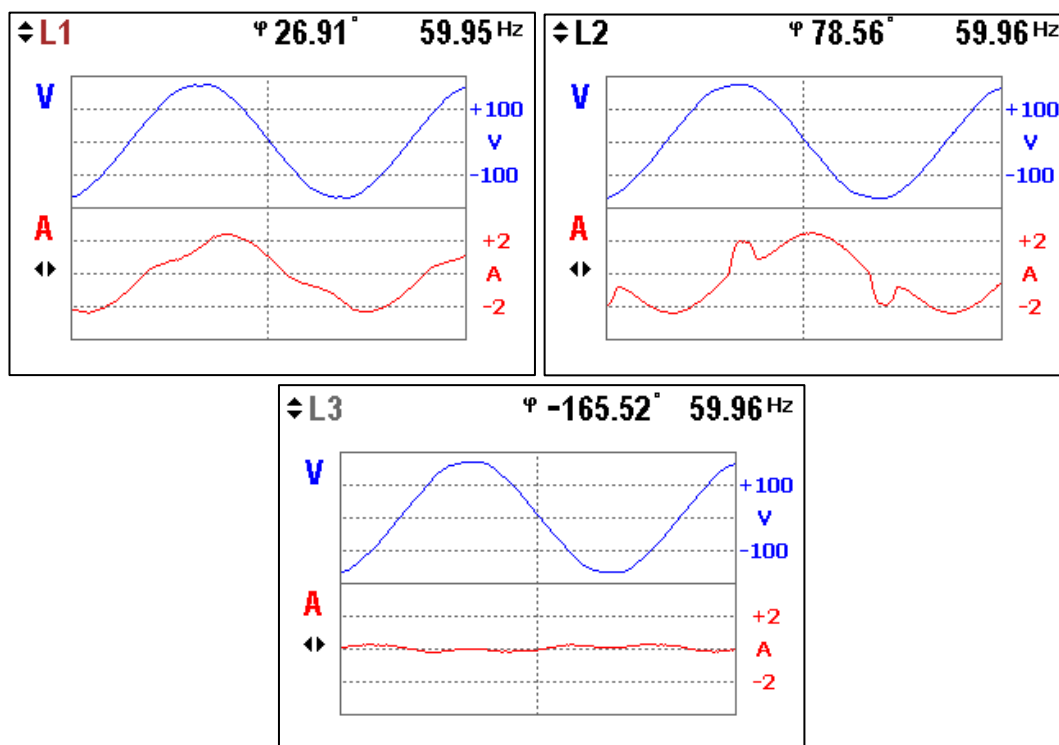


Figura 80. Formas de onda de voltaje y corriente en bombas de agua.

Los valores obtenidos sobre potencia activa, aparente y reactiva, así como el factor de potencia del tablero eléctrico del cuarto de bombas de agua se pueden mirar en la Figura 81.

↕ L ¹²³	0.10 _{tot} kW	0.34 _{tot} kVA	0.26 _{tot} kvar	↔	↕ L ¹²³	0.11 _{tot} kW	0.35 _{tot} kVA	-0.018 _{tot} PF	↔
L1	0.10	0.13	0.08		L1	0.10	0.13	0.753	
L2	0.02	0.18	0.17		L2	0.03	0.19	0.144	
L3	-0.02	0.03	0.01		L3	-0.02	0.03	-0.952	

Figura 81. Potencias y factor de potencia en bombas de agua.

Los resultados obtenidos en las mediciones se describen a continuación:

4.6.7.1 Tensión Cuarto de bombas de agua

La Tabla 45 permite conocer los valores mínimos, máximos y promedios de la tensión medida en el periodo de siete días en cada una de las líneas del tablero eléctrico que proporciona energía eléctrica al cuarto de bombas de agua del hospital.

Tabla 45:
Tensión medida en Tablero Bombas de agua.

	L1N			L2N			L3N		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx. [V]	127,6	128,3	129,9	128,8	129,5	131,2	126,6	127,3	129,0
Mín. [V]	114,9	121,0	122,0	116,6	122,6	123,7	112,0	119,9	121,1
μ [V]	122,7	125,2	126,2	124,1	126,6	127,5	121,1	124,2	125,3

La Figura 82 presenta gráficamente los registros máximo, mínimo y promedio obtenidos en tiempo real en las mediciones de cada una de las líneas del tablero Bombas de agua, durante el periodo de siete días.

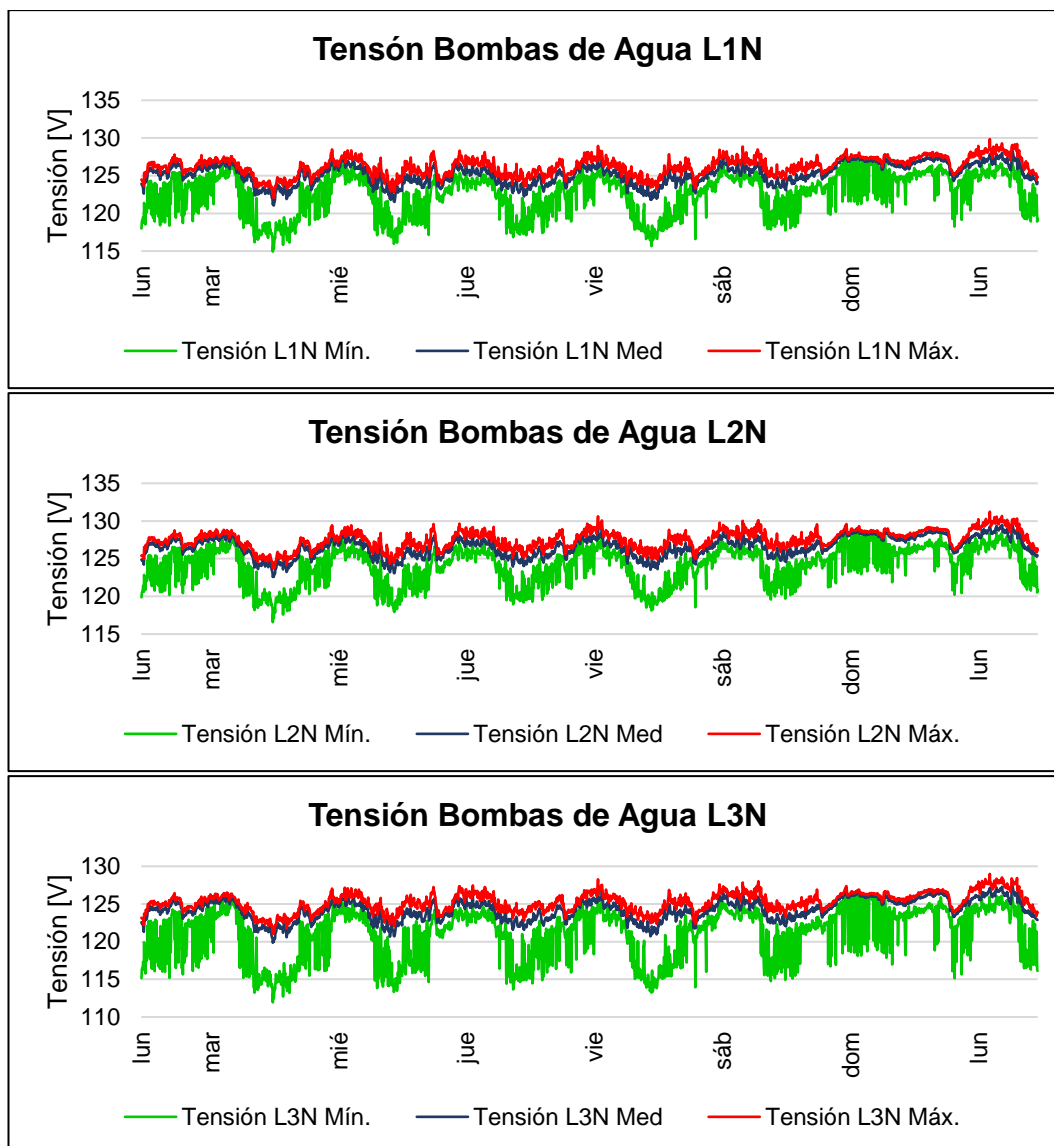


Figura 82. Comportamiento en tiempo real de tensión en Bombas de agua.

4.6.7.2 Corriente Cuarto de bombas de agua

La Tabla 46 permite apreciar los valores máximos, mínimos obtenidos en la medición de corriente, se ofrecen datos estadísticos para una mejor comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en el cuarto de bombas.

Tabla 46:
Corriente medida en Tablero Bombas de agua.

	Corriente L1			Corriente L2			Corriente L3		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Máx. [A]	2,4	23,2	331,4	1,6	23,4	330,4	0,2	24,3	347,1
Mín. [A]	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
μ [A]	0,6	2,3	89,3	0,5	2,1	88,5	0,1	1,7	92,8

En la Figura 83 se puede observar el comportamiento de la corriente en cada una de las tres líneas que alimentan a las bombas de agua.

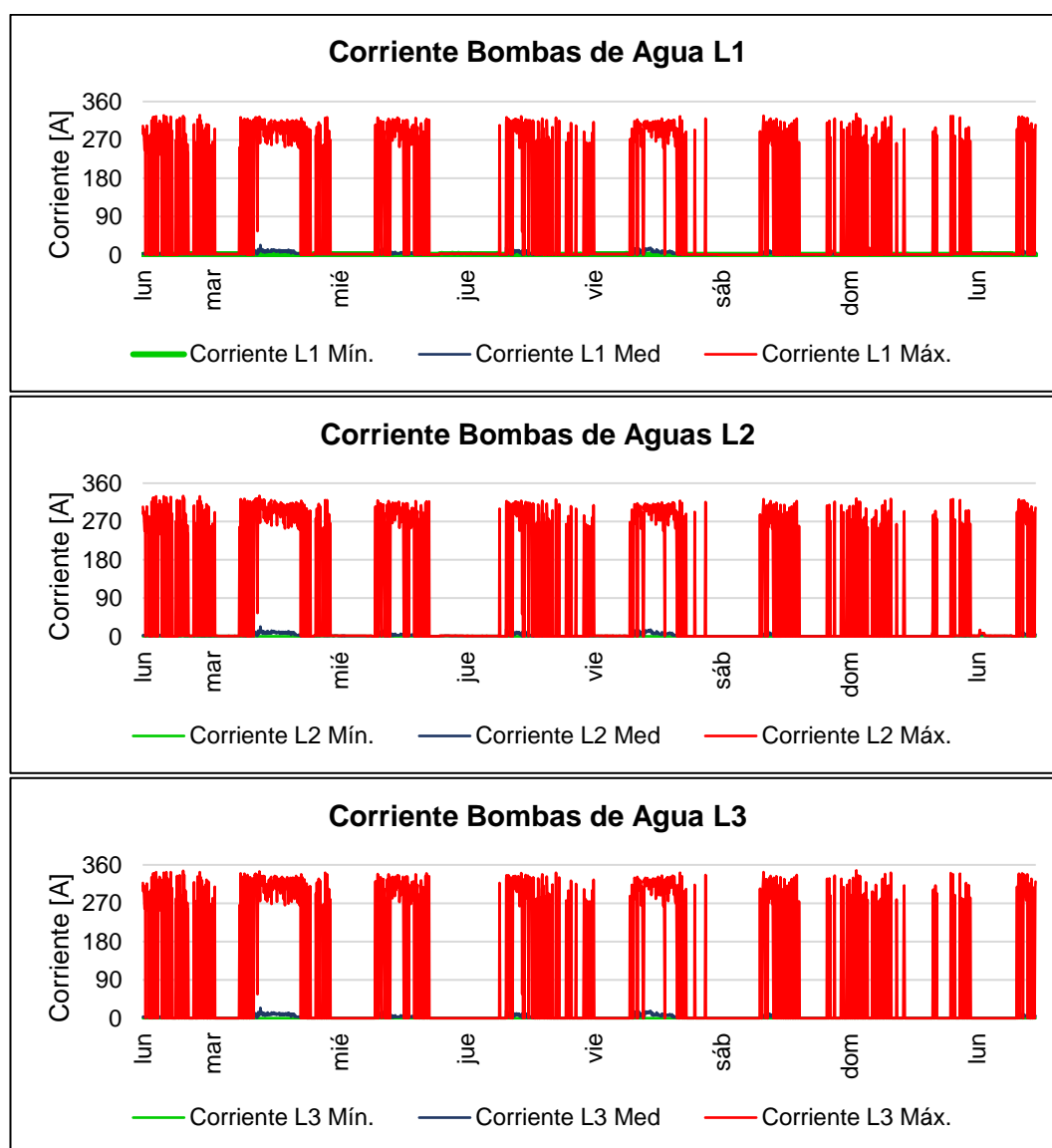


Figura 83. Comportamiento en tiempo real de corriente en Bombas de agua.

4.6.7.3 Armónicos de corriente presentes en bombas de agua

Los armónicos de corriente presentes de manera significativa en las líneas de alimentación de las bombas de agua se pueden observar en la Figura 84.

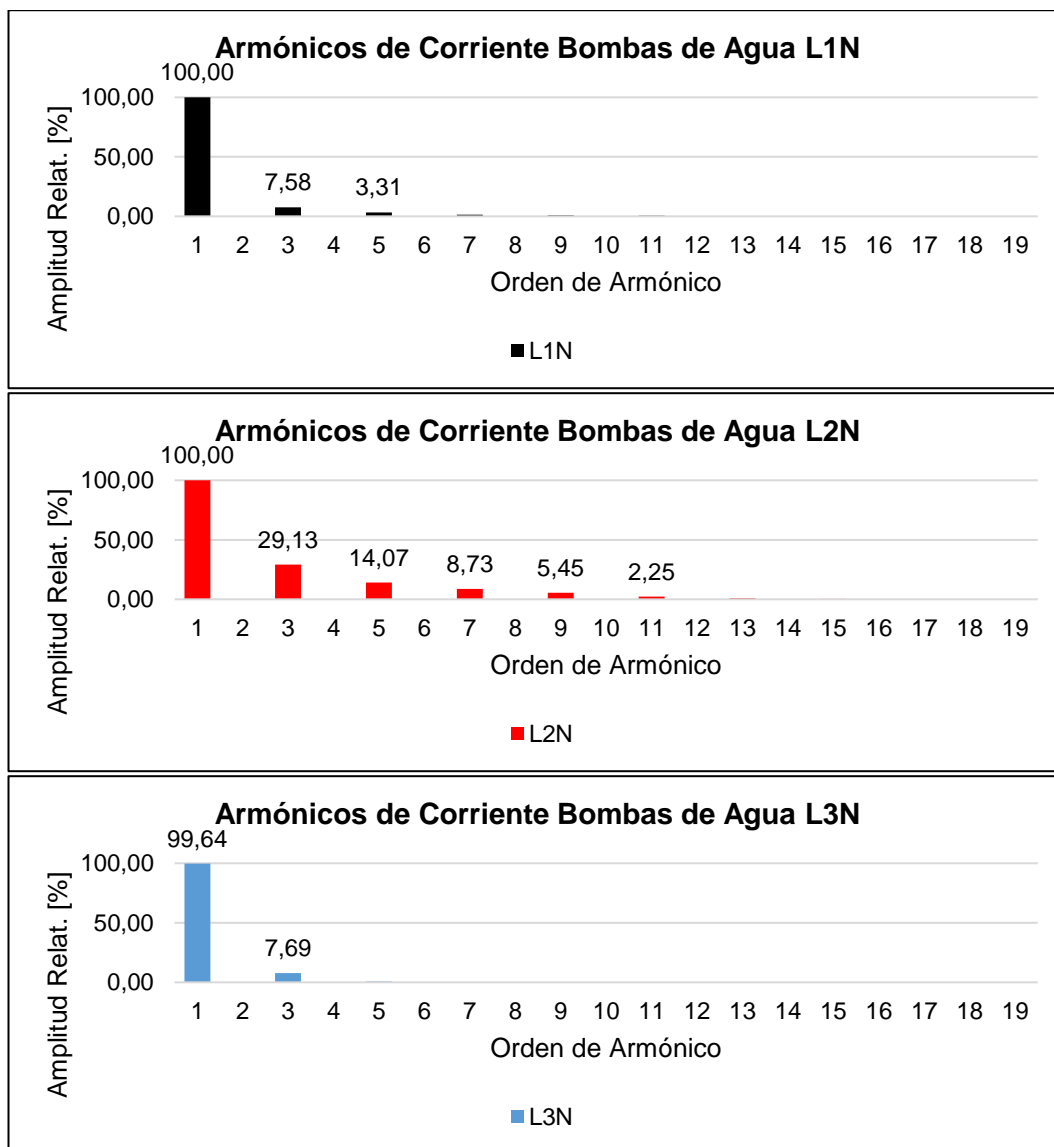


Figura 84. Armónicos de corriente presentes en Bombas de agua.

4.6.7.4 Frecuencia Cuarto de bombas de agua

El comportamiento de la frecuencia eléctrica durante el periodo de medición en tiempo real es reflejado en la Figura 85.

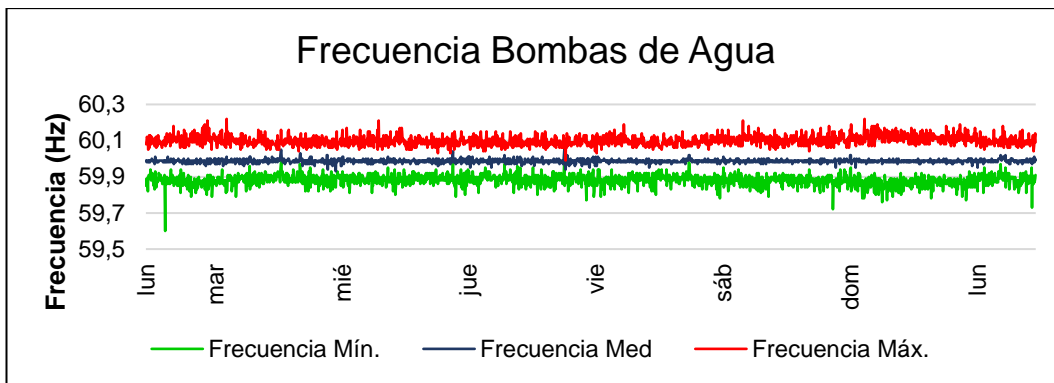


Figura 85. Frecuencia medida en el Cuarto de Bombas de agua.

4.6.7.5 Potencia Cuarto de bombas de agua

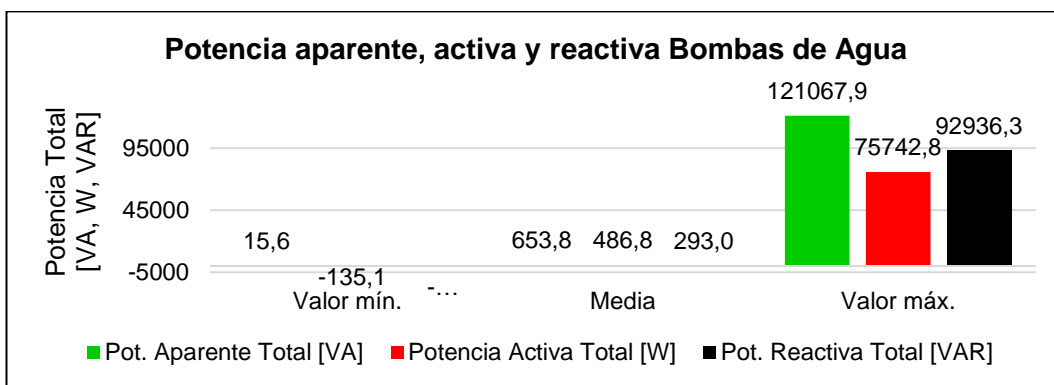


Figura 86. Valores pico de Potencia Total en el Tablero Bombas de agua.

4.6.7.5.1 Potencia Activa Bombas de agua

La Tabla 47 expone un resumen de los valores de potencia activa total consumida por las bombas de agua, así como en cada una de las líneas.

Tabla 47:
Potencia Activa en Tablero Bombas de agua.

	Potencia Activa L1N [W]	Potencia Activa L2N [W]	Potencia Activa L3N [W]	Potencia Activa Total [W]
Valor mín.	-5,20	-133,4	-39,8	-135,1
Media	221,9	146,1	118,9	486,8
Valor máx.	23287,8	26689,1	25795,4	75742,8

El consumo de potencia activa durante el periodo de medición en las bombas de agua se ve reflejado en la Figura 87.

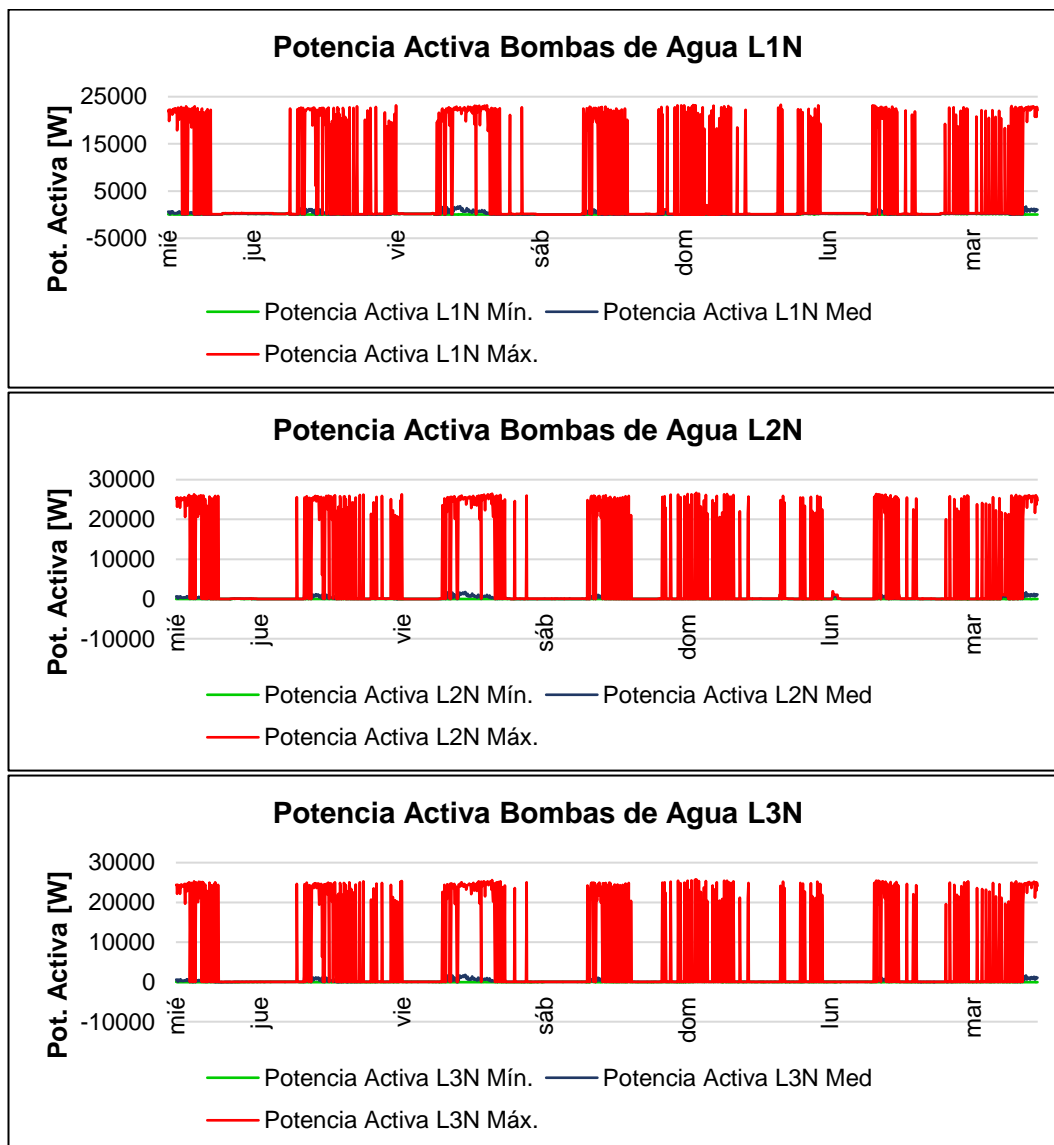


Figura 87. Comportamiento en tiempo real de potencia activa en Bombas de agua.

4.6.7.5.2 Potencia Reactiva Bombas de agua

Las mediciones efectuadas durante la semana de forma continua permitieron obtener los valores de potencia reactiva en el cuarto de bombas de agua y se detallan en la Tabla 48.

Tabla 48:
Potencia Reactiva en Tablero Bombas de agua.

	Pot. Aparente L1N [VAR]	Pot. Aparente L2N [VAR]	Pot. Aparente L3N [VAR]	Pot. Aparente Total [VAR]
Valor mín.	-17,3	-58,9	-29,4	-77,9
Media	104,9	113,5	74,6	293,0
Valor máx.	31799,7	30703,4	30497,3	92936,3

El comportamiento de la potencia reactiva medido en cada una de las líneas se puede observar en la Figura 88.

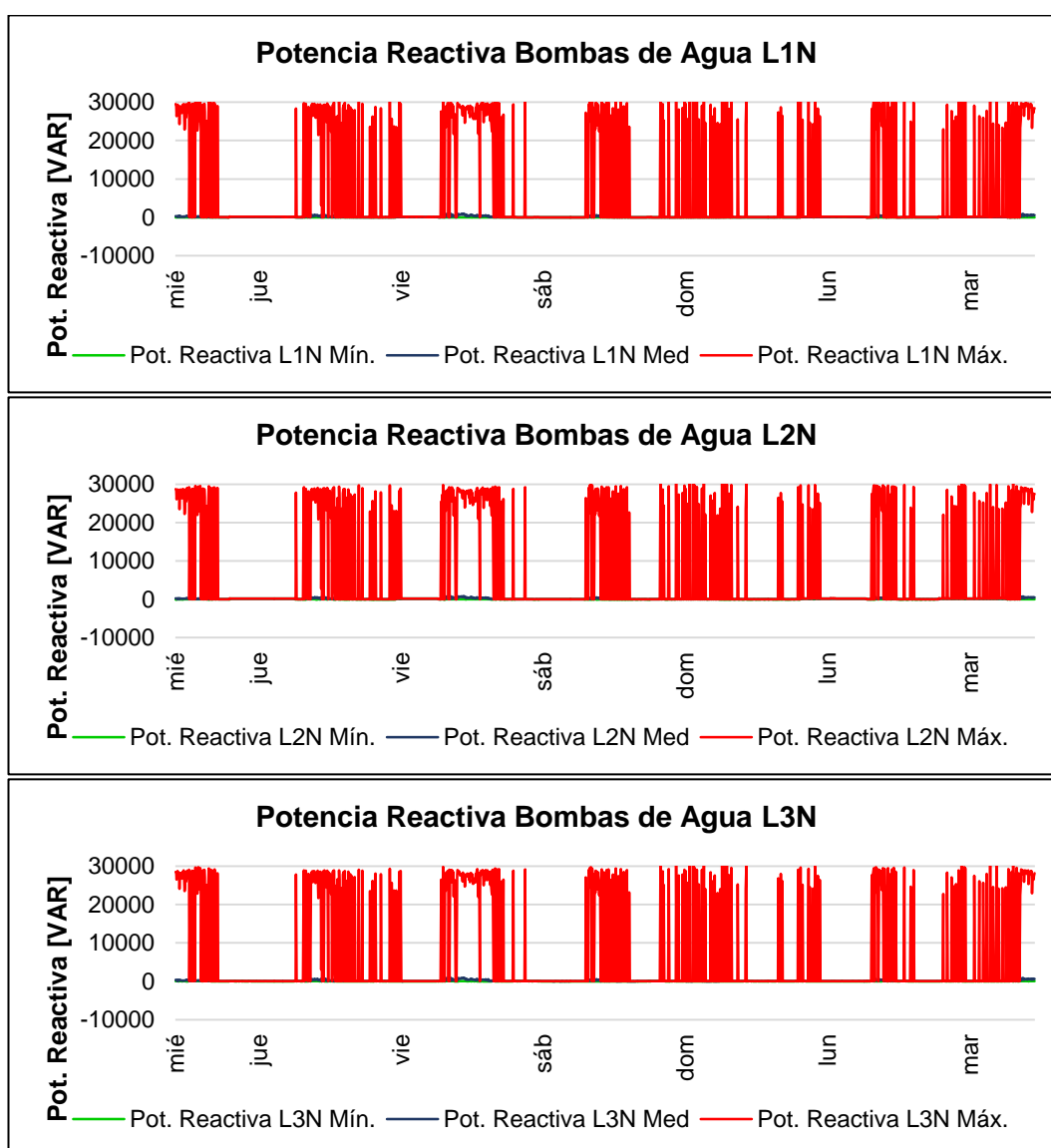


Figura 88. Comportamiento en tiempo real de potencia reactiva en Bombas de agua.

4.6.7.5.3 Potencia Aparente Bombas de agua

La cantidad total de potencia que consume el cuarto de bombas de agua se observa en la Tabla 49 y su comportamiento en la Figura 89.

Tabla 49:
Potencia aparente en Tablero Bombas de agua.

	Pot. Aparente L1N [VA]	Pot. Aparente L2N [VA]	Pot. Aparente L3N [VA]	Pot. Aparente Total [VA]
Valor mín.	3,5	5,2	5,2	15,6
Media	251,5	213,1	171,0	653,8
Valor máx.	40157,4	39911,5	40999,1	121067,9

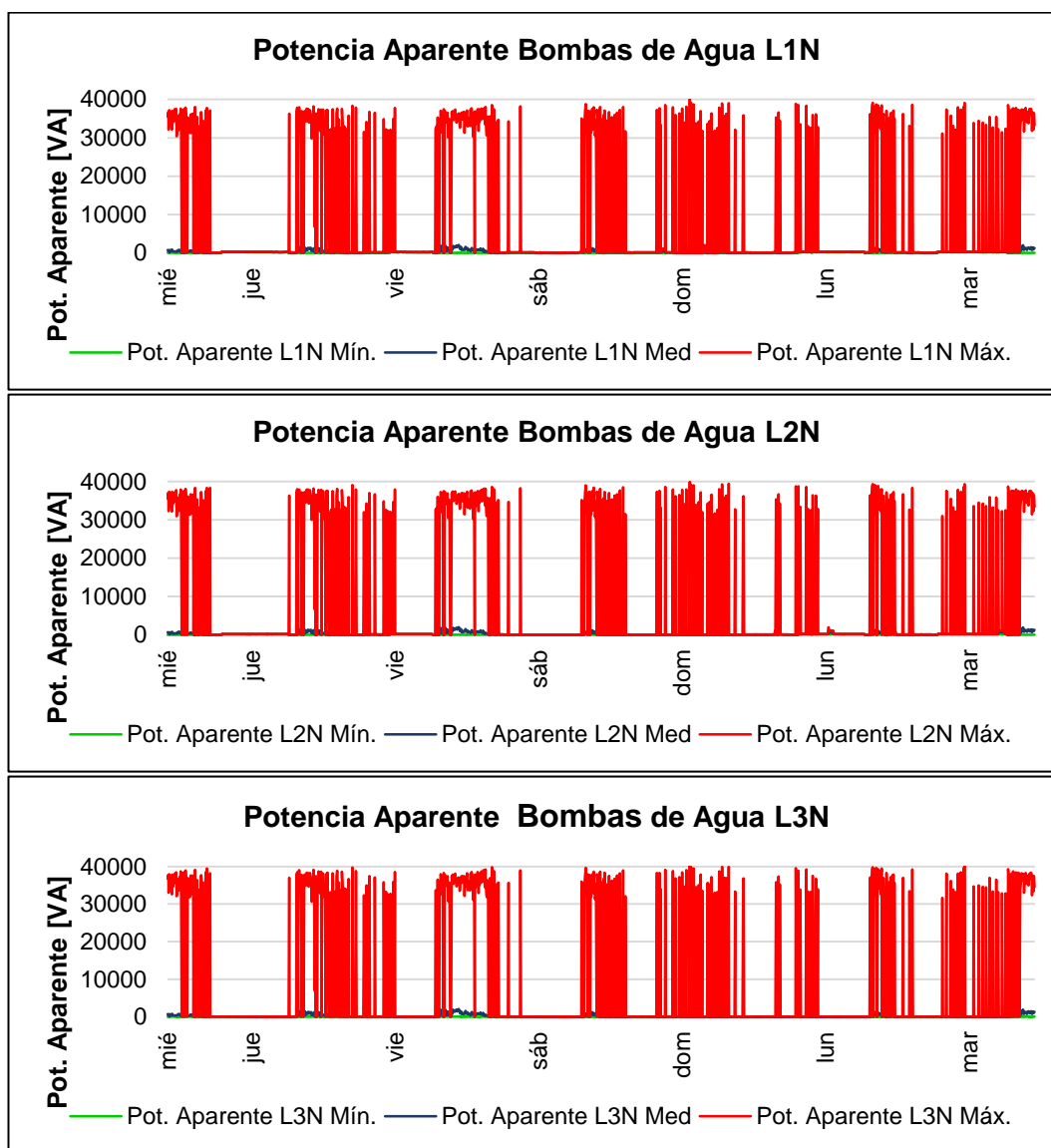


Figura 89. Comportamiento en tiempo real de potencia aparente en Bombas de agua.

4.6.7.6 Factor de Potencia Cuarto de bombas de agua

El factor de potencia medido por el analizador de redes eléctricas, se detalla en la Tabla 50 y cómo se comporta en la Figura 90.

Tabla 50:
Factor de Potencia en Tablero Bombas de agua.

	Factor de Potencia L1N	Factor de Potencia L2N	Factor de Potencia L3N
Valor mín.	-1,00	-1,00	-1,00
Media	0,93	0,68	-0,92
Valor máx.	1,00	1,00	1,00

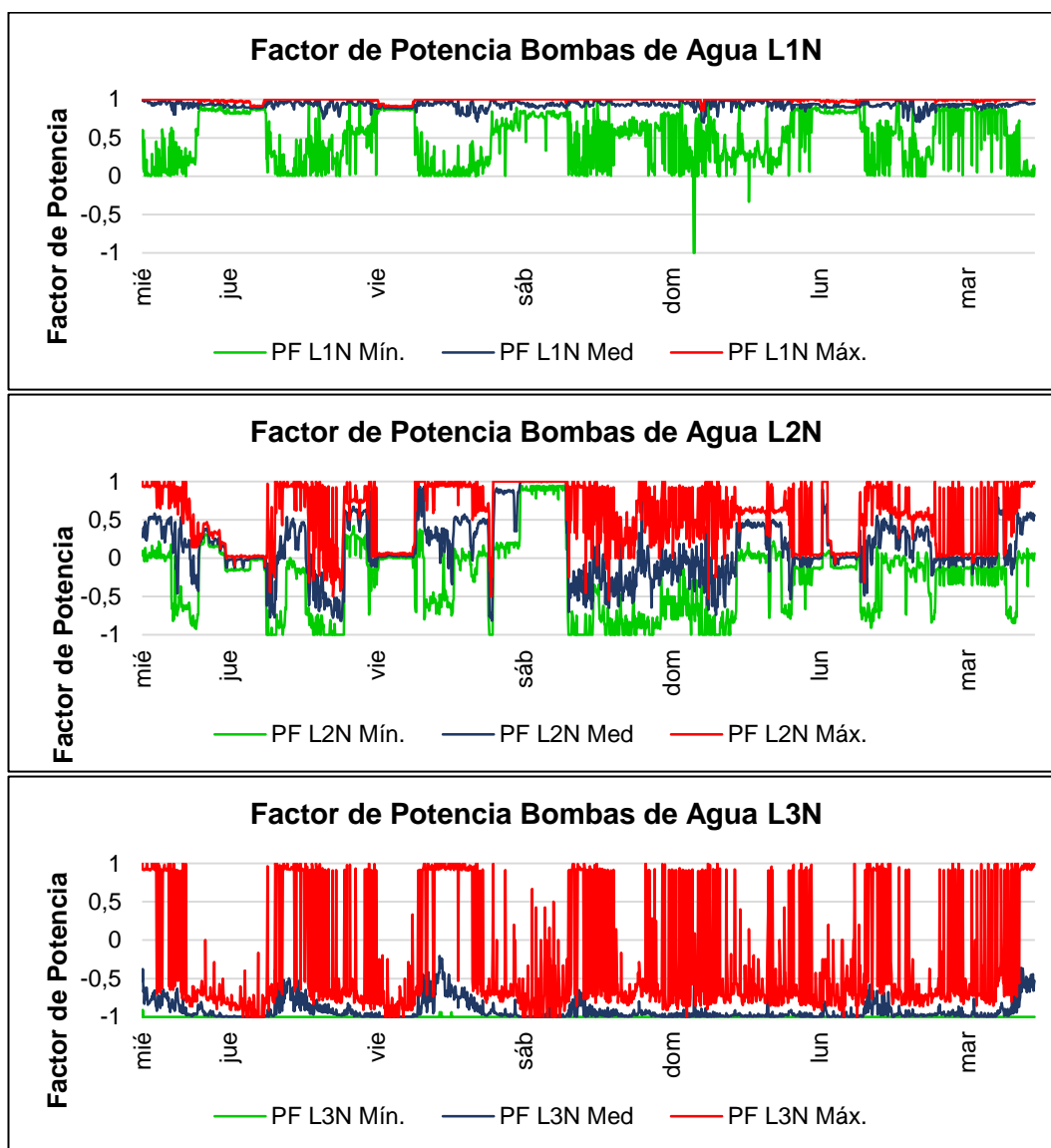


Figura 90. Comportamiento en tiempo real del Factor de Potencia en Bombas de agua.

4.6.7.7 THD de Corriente de Bombas de agua

La Figura 91 presenta los valores obtenidos de distorsión armónica total de corriente en el cuarto de bombas.

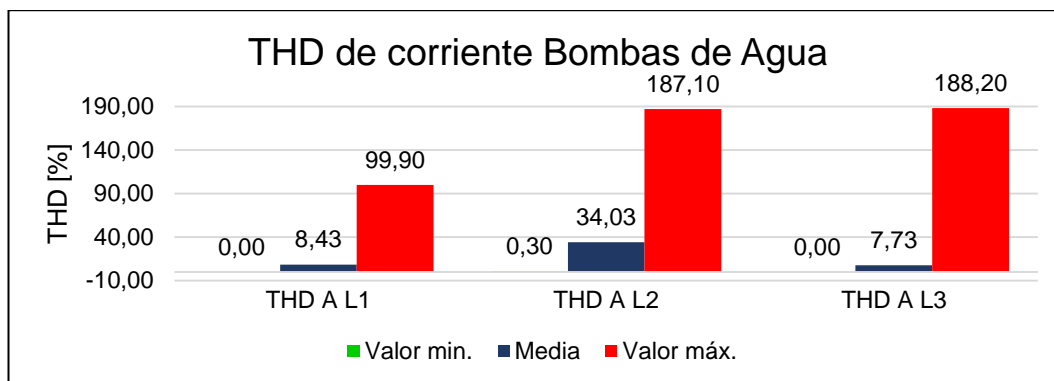


Figura 91. THD de corriente en Tablero Bombas de agua.

4.6.8 Sistema térmico del Hospital IESS General-Latacunga

4.6.8.1 Sistema generador de vapor

El hospital del IESS General – Latacunga, genera vapor, a través de dos calderas, que es distribuido por medio de una línea que llega a cada uno de los equipos demandantes de vapor, además el sistema cuenta con una línea de retorno de condensado, que permite almacenarlo en un tanque de realimentación de agua para los calderos, tal como se puede observar en la Figura 92 en la que constan los principales componentes del sistema empleado en el hospital.

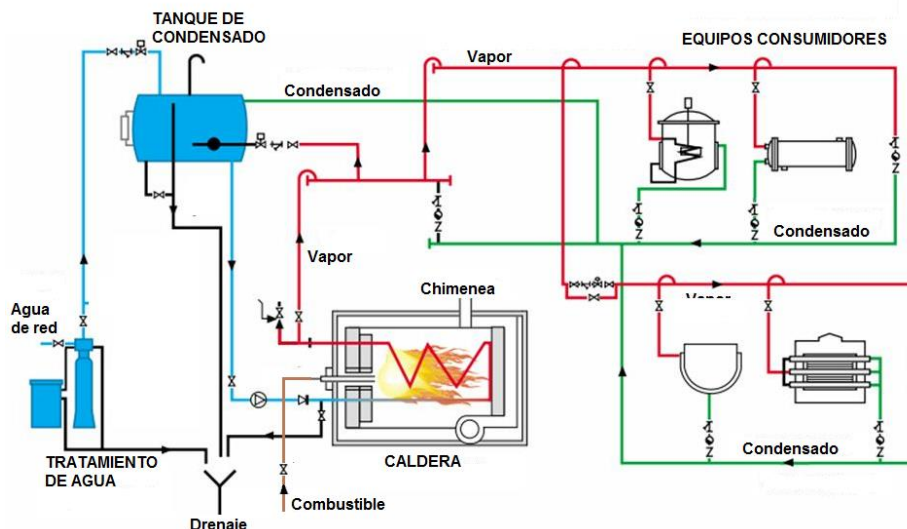


Figura 92. Esquema de instalación de vapor.
Fuente: (Mesa Mora, 2015)

4.6.8.2 Sistema de suministro de combustible

Las calderas generan vapor de agua mediante la combustión de combustible de tipo Diesel 2, el sistema que suministra dicho combustible y sus componentes se puede observar en la Figura 93.

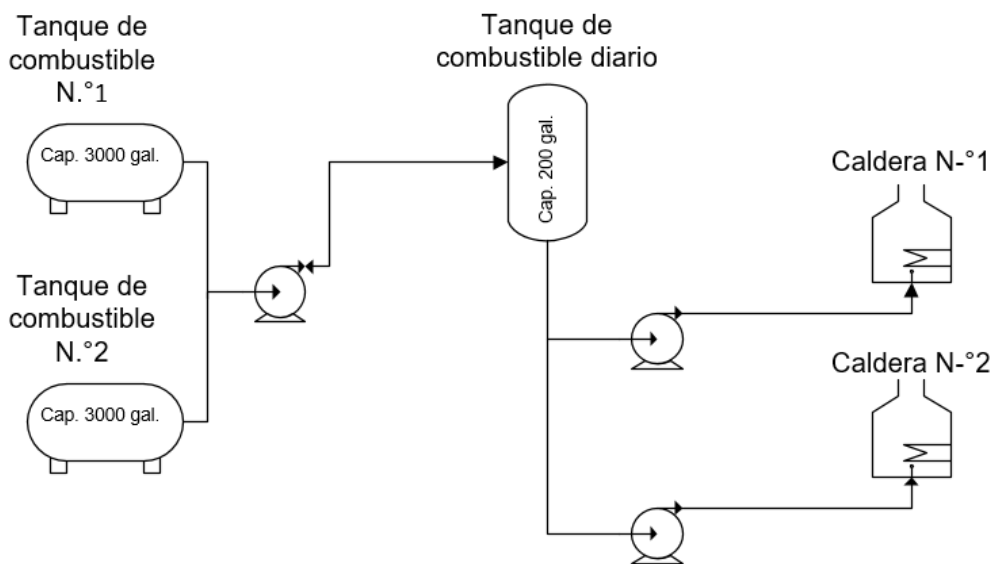


Figura 93. Sistema de suministro de diésel a calderos del hospital

4.6.8.2.1 Descripción de la caldera

El hospital cuenta con dos calderas de la clase “Scotch Marine”, que cuenta con un tubo de vapor por la cual pasan gases de humo caliente a través de tubos colocados dentro de un tanque de agua. El esquema general es el de un cilindro horizontal ancho. Existen uno o más grandes hornos cilíndricos en la parte inferior del cuerpo de la caldera. El diseño de las calderas del hospital corresponde al llamado “dryback” que es aquella que tiene la parte trasera de la cámara de combustión como una caja abierta, respaldada o rodeada sólo por chapa metálica. (Superior Boiler Works, Inc., 2011)

La caldera tipo “dryback” de tres pasos Mohawk está diseñada para máxima eficiencia, y que realiza el encendido con ignición eléctrica y la combustión por atomización de diésel.

En la Tabla 51 se enumeran las principales características técnicas de las calderas existentes en el hospital.

Tabla 51:
Placa de datos de calderas existentes en el hospital

Fabricado por	SUPERIOR BOILER WORKS
Tipo	Mohawk
Modelo	4-6-751
Superficie de calentamiento	751 pies cuadrados
Presión de diseño	150 psig
Capacidad de vapor	4312 Lbs/Hr
Capacidad mínima de válvula	6008 Lbs/Hr (BTU/Hr)
Potencia nominal	125 BHP

Cada caldera cuenta con:

- Quemador y su respectivo control perteneciente a Industrial Combustion, modelo DL-84P.
- Sistema impulsor de aire para la combustión.
- Sistema de alimentación de diésel.
- Sistema de regulación de diésel y aire presurizado
- Inyector de diésel.

- Regulación de tasa de combustión.
- Sistema de Gas (GLP)
- Sistema de control. (Industrial Combustion, 2010)



Figura 94. Sistema Generador de Vapor del Hospital del IESS Latacunga.

4.6.9 Consumo de combustibles en el año 2016 en el Hospital del IESS

Para la generación de vapor y agua caliente que cubren las necesidades hospitalarias, el consumo total de diésel N°2 durante el año 2016 fue de 22900

galones. En la Figura 95 se puede observar la evolución mensual del consumo de combustible por parte de las calderas.

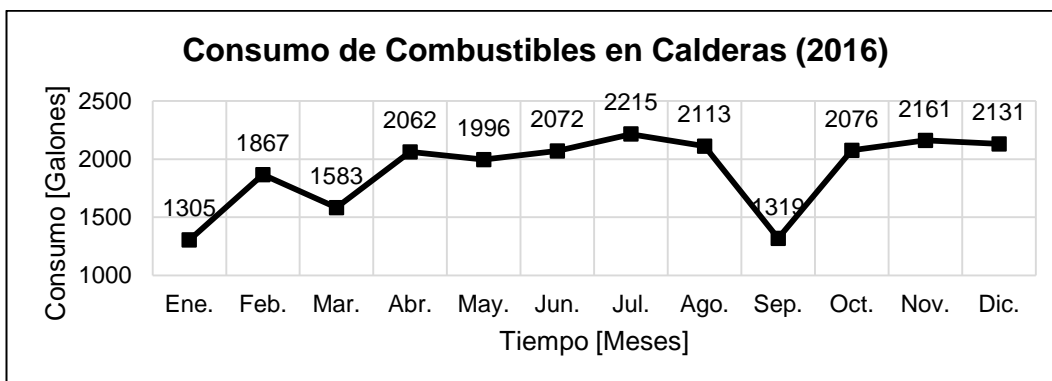


Figura 95. Consumo de combustible en calderas en el año 2016
 Fuente: (Hospital IESS General - Latacunga)

La Figura 96, permite observar el consumo de combustible por parte del generador de emergencia, su consumo es mínimo si se compara con el de las calderas, ya que su funcionamiento es esporádico, a diferencia del sistema generador de vapor, que funciona todos los días.

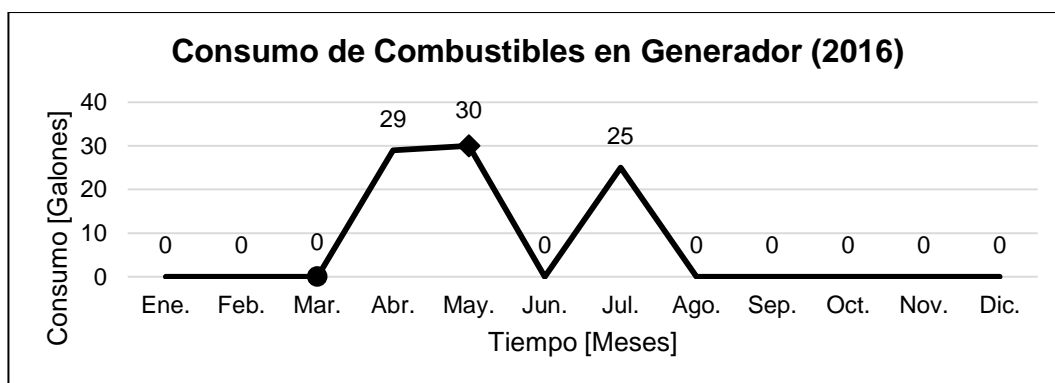


Figura 96. Consumo de combustible en generador en el año 2016
 Fuente: (Hospital IESS General - Latacunga)

En cuanto al consumo promedio por días, la Figura 97 permite determinar que el consumo de diésel de lunes a viernes tiene un valor medio de 70 galones diarios, durante todo el año 2016. El día domingo se observa un descenso en el consumo debido principalmente al descenso de usuarios que asisten al centro hospitalario.

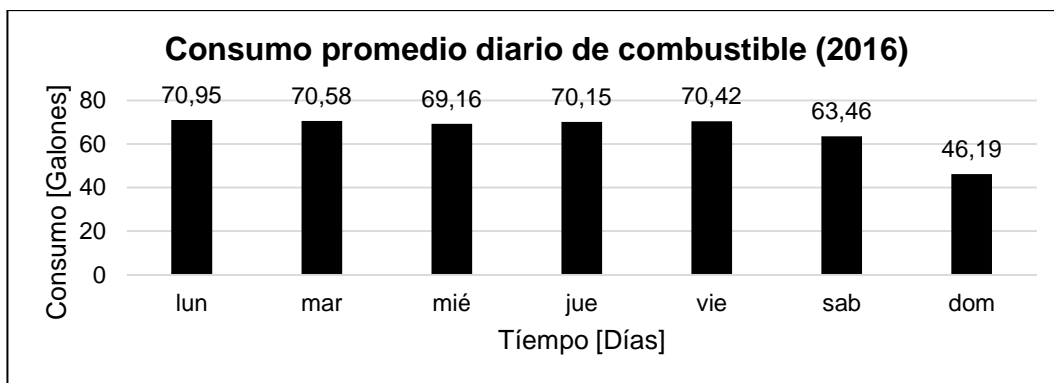


Figura 97. Consumo promedio diario de combustible en el año 2016

Fuente: (Hospital IESS General - Latacunga)

4.7 Análisis de resultados

4.7.1 Centro quirúrgico TES1-1

4.7.1.1 Diagnóstico de tensión centro quirúrgico TES1-1

Voltaje, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de TES1-1

En los valores máximos y mínimos de cada línea de alimentación del Tablero TES1-1, así como su valor medio. Según lo establecido por la norma IEEE std 1159 el desbalance en voltaje en estado estable no debe superar el 2%, y por medio de la Ecuación (7) el porcentaje de desbalance alcanzado es de 0,87%, que cumple con la norma.

Índice de calidad de voltaje de TES1-1

Mediante el empleo de los valores mínimos, medios y máximos obtenidos por el analizador FLUKE 1735 y aplicando la regulación No. CONELEC 004/01, que permite una variación de voltaje máxima de $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal, se calcula el índice de calidad del voltaje por medio de la Ecuación (8) de cada una de las líneas de alimentación del Tablero TES1-1.

Estos resultados se muestran en la Tabla 52, donde se indica el porcentaje de mediciones que presentan una variación mayor al $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal, y que no debe ser superior al 5%, como establece la regulación. De acuerdo con esto, el único que presenta problemas es el rango de valores mínimos de la línea 3, que supera el límite establecido por la regulación, pero solo en sus valores mínimos.

Mientras que en la Figura 98, se observa gráficamente que, en los valores de tensión media obtenidas en las mediciones de cada una de las líneas, no se encuentran ningún valor que se encuentre fuera del rango del $\pm 8\%$ de

variación del voltaje nominal de 127 V, que establece la regulación No. CONELEC 004/01.

Tabla 52:
Índice de calidad de voltaje de Línea 1, 2 y 3 de TES1-1

	Valores Mín.	Valores Med.	Valores Máx.
	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)
L1N	1,88	0,00	0,00
L2N	0,00	0,00	0,00
L3N	25,74	0,00	0,00

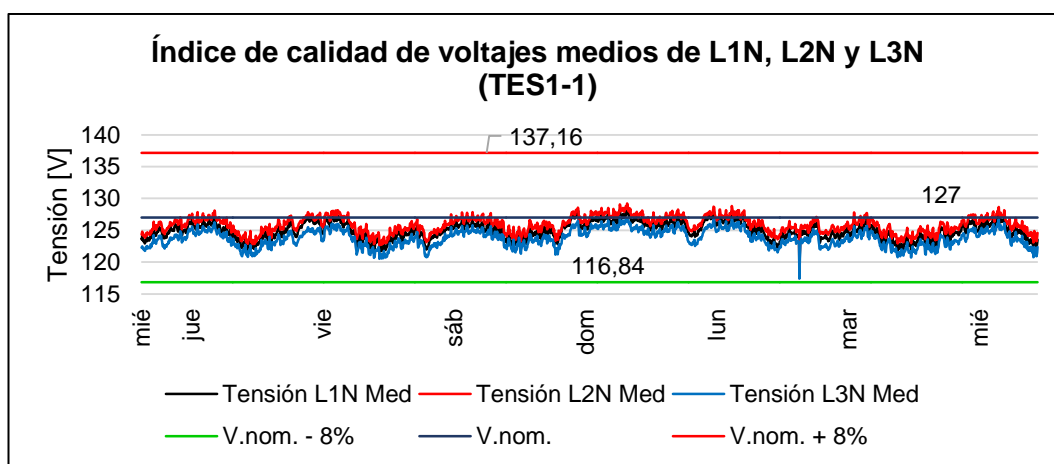


Figura 98. Índice de calidad de voltajes medios (TES1-1).

Tendencia semanal del Voltaje del Tablero TES1-1

En base a los resultados obtenidos en las mediciones se puede graficar la tendencia del comportamiento del voltaje total del Tablero TES1-1 en el transcurso de una semana, tal como se observa en la Figura 99.

Esta tendencia permite observar que en los días de menor ocupación del hospital como es el día domingo, se presentan los valores máximos de voltaje, a diferencia del valor mínimo que se presenta en un día laborable cuando la caída de tensión es mayor debido a la utilización de los equipos médicos y quirófanos del centro quirúrgico, mientras que el fin de semana este tipo de intervenciones disminuye por lo que la caída de tensión es menor. En

cualquiera de los dos casos, el nivel del voltaje se mantiene dentro de los parámetros aceptados por la regulación.

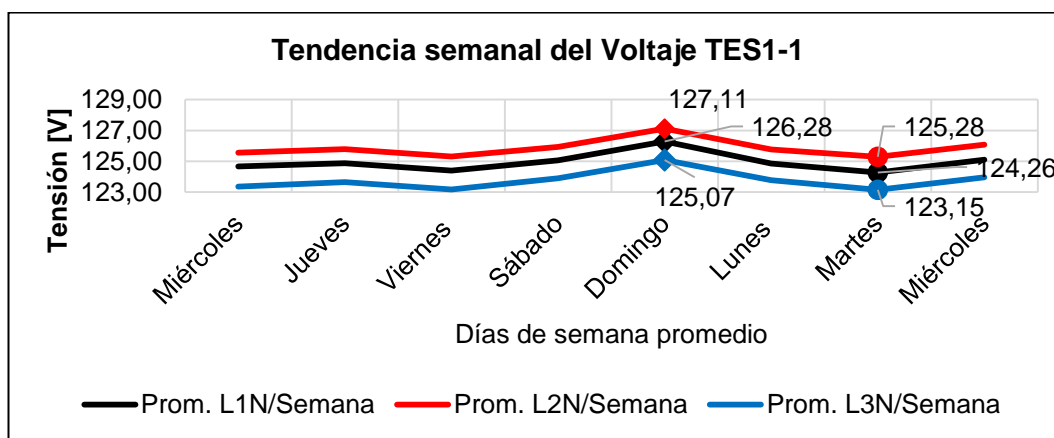


Figura 99. Tendencia semanal de tensión en tablero TES1-1.

En lo que respecta al comportamiento del voltaje en cada una de las líneas de alimentación del tablero TES1-1 en un día promedio, las mayores caídas de tensión empiezan desde las 06:00 hasta las 18:00, y que coincide con el periodo de funcionamiento del centro quirúrgico, alcanzando el menor nivel de voltaje a las 09:00, y el máximo valor alrededor de las 22:00 que sin embargo se mantienen dentro de parámetros correctos.

4.7.1.2 Diagnóstico de corriente centro quirúrgico TES1-1

Corriente, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de TES1-1

El valor recomendado por la Norma ANSI-IEEE std 446-1995, para desbalances de Corriente en Baja Tensión en sistemas trifásicos es de 5 al 20% para una fase, este desbalance se calcula por medio de la Ecuación 9 obteniéndose los siguientes resultados.

- Desbalance entre líneas (1-2) = 19,88%
- Desbalance entre líneas (2-3) = 0,10%
- Desbalance entre líneas (1-3) = 19,97%

Según los resultados obtenidos, el desbalance de corriente encontrado se encuentra dentro del rango proporcionado por la norma, ya que los valores promedios de la corriente en las tres líneas no supera el 20%.

Tendencia semanal de Corriente del Tablero TES1-1

Los resultados obtenidos en las mediciones permiten graficar la tendencia del comportamiento de la corriente total del Tablero TES1-1 en el transcurso de una semana, tal como se observa en la Figura 100 y que muestra que la Línea 1 y 3 alcanzan su valor mínimo el día domingo, mientras que la Línea 2 alcanza su valor máximo el martes. Además, es observable que la Línea 1 presenta un mayor valor promedio de corriente con respecto a la línea 2 y Línea 3. Por otro parte la corriente promedio del Neutro es cero.

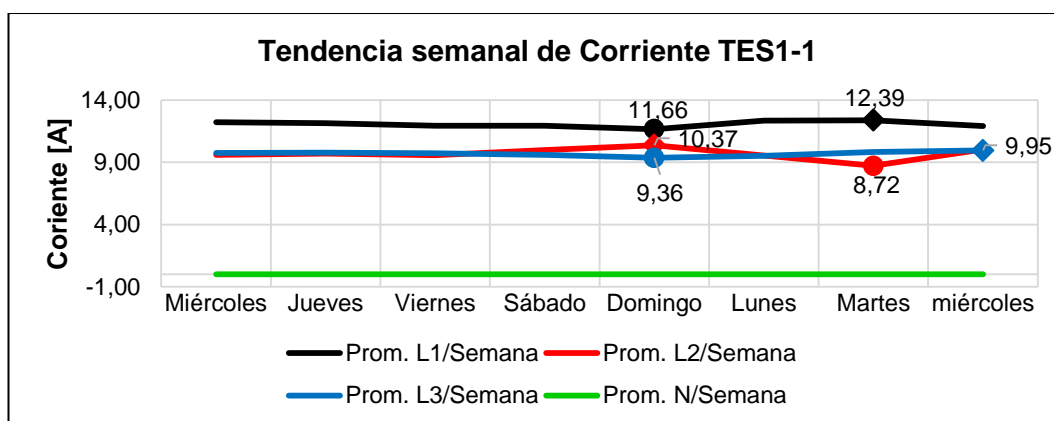


Figura 100. Tendencia semanal de corriente total TES1-1.

En cambio, en un día promedio, durante las horas laborables, al aumentar la carga hospitalaria por los servicios dentro del área quirúrgica la demanda de corriente aumenta por lo que se observa en este periodo los valores máximos alcanzados en las tres líneas, y mientras que los valores mínimos se alcanzan entre las 19:00 y 06:00.

4.7.1.3 Diagnóstico de armónicos de corriente centro quirúrgico TES1-1

La norma IEEE std 519-2014 recomienda como límite el 15% de la amplitud de la frecuencia fundamental para los armónicos de orden impar inferior a 11, y tal como se observa en los resultados obtenidos en las mediciones de armónicos de corriente, el armónico de orden 3 en las tres líneas superan el límite recomendado por la norma, además el armónico de orden 5 de la línea 1 igualmente presenta una amplitud superior al 15%. La misma norma recomienda limitar a los armónicos pares al 25% de los límites de los armónicos impares, y como se observa la línea 3 presenta un armónico de orden 2 con un valor superior al 3,75%.

4.7.1.4 Diagnóstico de frecuencia del tablero TES1-1

Tendencia semanal de frecuencia

La tendencia semanal muestra una estabilidad total en todo el período de registro de mediciones de frecuencia, en el cual existe un porcentaje ínfimo de error igual a 0,02% con un valor promedio de 59,99Hz.

4.7.1.5 Diagnóstico de potencia del tablero TES1-1

Registro de potencia total en tiempo real

En el área que abarca el centro quirúrgico, la iluminación es una de las principales y permanentes consumidores de energía eléctrica, mientras que el consumo por parte de equipos médicos se realiza principalmente entre las 08:00 y 18:00. Como dato relevante se destaca que la línea 3 presenta picos de consumo cada hora.

Tendencia semanal de consumo de potencia total del Tablero TES1-1.

En lo referente al comportamiento del consumo de potencia, durante la semana, el centro quirúrgico disminuye su consumo el fin de semana, ya que por lo general no se realizan intervenciones quirúrgicas, por otra parte, el mayor consumo de potencia durante un día laboral se realiza de 08:00 a 16:00, que coincide con el horario de atención a los pacientes. Potencia activa y aparente comparten el mismo comportamiento, mientras que la potencia reactiva permanece constante durante la semana y las 24 horas debido principalmente a que la zona permanece iluminada en su mayoría con lámparas fluorescentes.

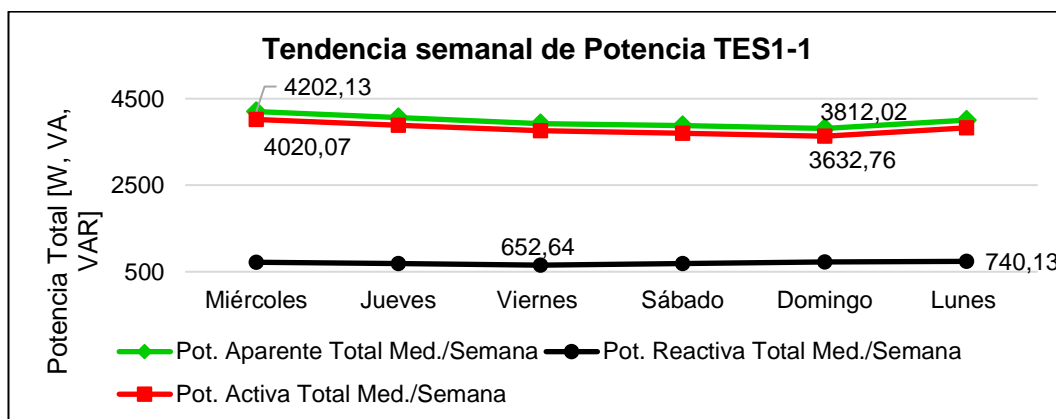


Figura 101. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TES1-1.

4.7.1.6 Diagnóstico del factor de potencia del tablero TES1-1

El factor de potencia promedio en el área de cirugías es de 0,96, valor que permanece en más del 95% de mediciones, los valores inferiores al estipulado por la Regulación No. CONELEC 004/001 no superan el 5% del total de mediciones con lo que no incumple dicha norma.

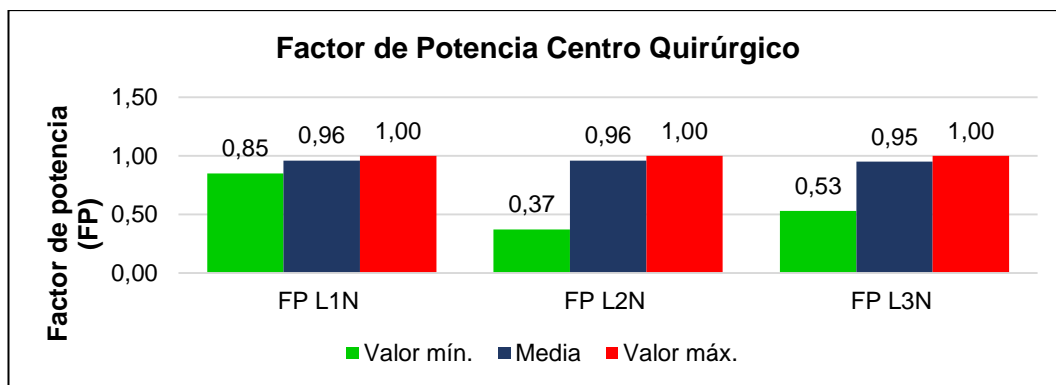


Figura 102. Factor de potencia TES1-1.

Tendencia semanal del Factor de Potencia del Tablero TES1-1

El factor de potencia promedio durante la semana permanece por encima del 0,92 establecido como valor mínimo por la regulación, por lo que el área funciona con un factor de potencia aceptable.

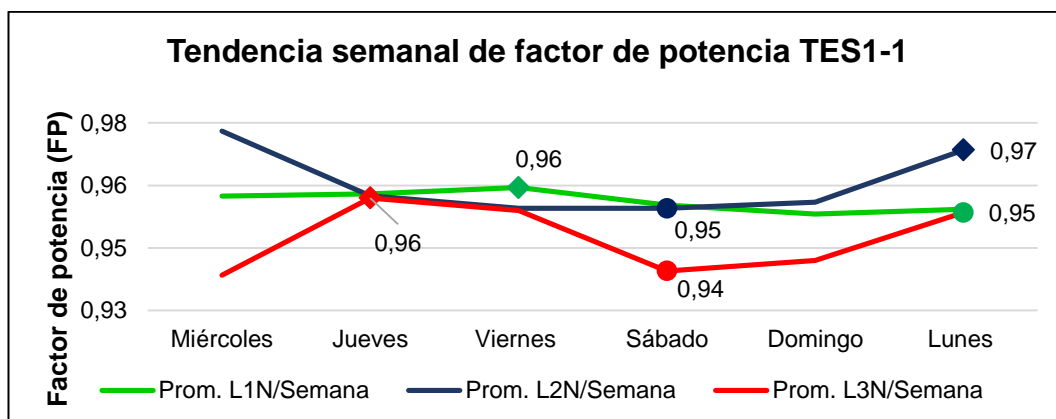


Figura 103. Tendencia semanal de Factor de Potencia TES1-1.

4.7.1.7 THD del Tablero TES1-1

Los datos entregados por el analizador de redes permiten obtener el THD de voltaje y el THD de corriente que existe en el centro quirúrgico, en el caso del primero, el máximo valor alcanzado es de 2,4%, que está dentro del rango permitido por la Regulación No. CONELEC 004/001 y no afecta a la forma de onda de la tensión; mientras que en el caso del THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas alcanza valores promedios

superiores al 20% recomendado por la norma IEEE std 519-2014 y que provoca distorsión de la forma de onda senoidal de la corriente.

Tendencia de THD de Corriente en una semana promedio del Tablero TES1-1.

Los resultados obtenidos en las mediciones permiten graficar la tendencia del comportamiento del THD de voltaje total del Tablero TES1-1 en el transcurso de una semana, tal como se observa en la Figura 104 y que muestra que la Línea 1 y 3 alcanzan su valor máximo el día jueves, y la línea 3 lo alcanza el día sábado; mientras que los valores mínimos se alcanzan a partir del día lunes.

Los valores superiores a límite recomendado por la norma IEEE std 519-2014 se presenta en el 100% de valores medidos en la línea 1, en el 93,49% en la línea 2 y en el 73,91% en la línea 3 incumpliendo la norma que considera que el sistema se ve afectado si el número de datos que sobrepasan el valor máximo (20%) supera el 5% de las mediciones tomadas, tal como se observa en la figura siguiente.

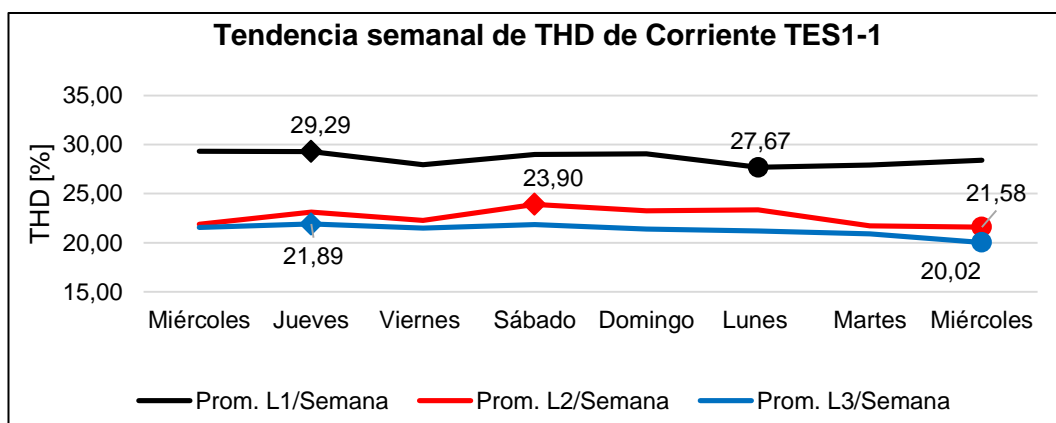


Figura 104. Tendencia semanal del THD de corriente TES1-1.

4.7.2 Área de Rayos X – Mamografía

4.7.2.1 Diagnóstico de tensión área de Rayos X – Mamografía

Voltaje, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de área de Rayos X – Mamografía.

Con los valores mínimos, máximos y medios de cada una de las tres líneas que alimentan al área de Rayos X-Mamografía, y determinó que el desbalance de voltaje presente alcanza el 0,94%, cumpliendo con la norma IEEE std 1159.

Índice de calidad de voltaje

El número de mediciones con una variación de voltaje fuera del rango $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal encontrada no supera el 5%, por lo que cumple con la regulación No. CONELEC 004/001.

Tabla 53:
Índice de calidad de voltaje de Tablero Rayos X-Mamografía

	Valores Mín.	Valores Med.	Valores Máx.
	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)
L1N	0,00	0,00	0,35
L2N	0,00	0,00	1,27
L3N	0,00	0,00	0,00

En la Figura 105 se puede observar el comportamiento en tiempo real de las tensiones promedio de las tres líneas que suministran la energía eléctrica al área de Rayos X - Mamografía, y comprobar que ningún valor está fuera del rango del $\pm 8\%$ del voltaje nominal, observándose que se encuentran por encima del valor nominal.

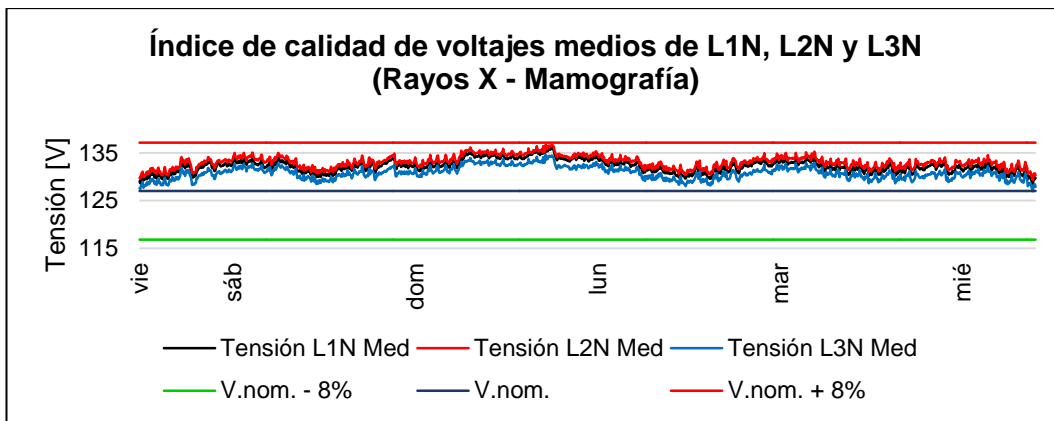


Figura 105. Índice de calidad de voltajes medios en Rayos X- Mamografía

Tendencia semanal del Voltaje del Tablero Rayos X – Mamografía.

Al disminuir el número de pacientes que requieren el servicio de Rayos X, o de Mamografía, durante el fin de semana, las caídas de tensión son menores, a diferencia de los días laborables en los que se encuentran las mayores caídas de tensión, tal como se muestra en la Figura 106.

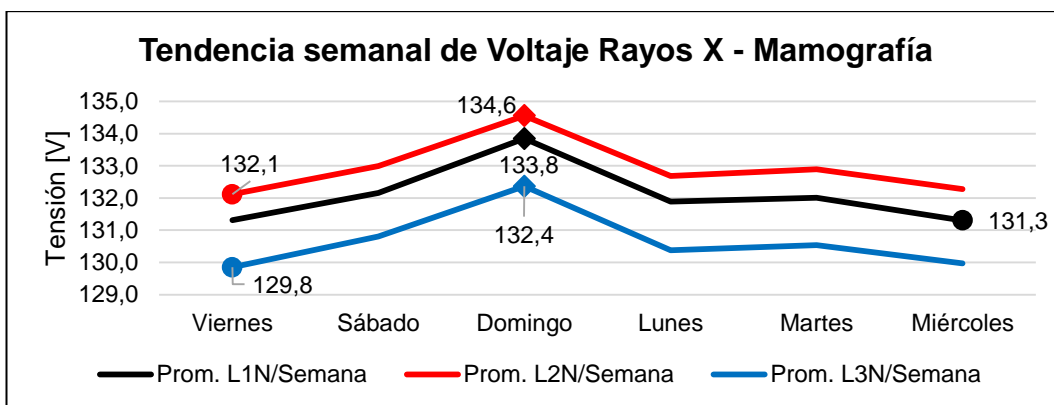


Figura 106. Tendencia semanal de tensión en Rayos X-Mamografía.

En lo que respecta al comportamiento del voltaje en cada una de las líneas de alimentación del tablero TES1-1 en un día promedio, las mayores caídas de tensión empiezan desde las 04:00 hasta las 22:00, y que coincide con el periodo de funcionamiento del área de rayos X - mamografía, alcanzando el

menor nivel de voltaje a las 22:00, y el máximo valor alrededor de las 00:00 que sin embargo se mantienen dentro de parámetros correctos.

4.7.2.2 Diagnóstico de corriente área de Rayos X – Mamografía.

Corriente, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 del Área de Rayos X – Mamografía.

Los desbalances de corriente encontrados en el Área de Rayos X- Mamografía son los siguientes:

- Desbalance entre líneas (1-2) = 98.89%
- Desbalance entre líneas (2-3) = 4.26%
- Desbalance entre líneas (1-3) = 98.94%

Según los resultados obtenidos, el desbalance de corriente se encuentra fuera del rango proporcionado por la norma, a excepción del desbalance entre la línea 2 y 3, debido a que la línea 1 no tiene carga y por lo tanto su consumo de corriente es cero, es decir el desbalance entre las líneas 2 y 3 cumple con la recomendación de la norma.

Tendencia semanal de Corriente del Tablero del Área de Rayos X – Mamografía.

El área de Rayos X- Tomografía es utilizada de manera regular de lunes a viernes por lo que, de acuerdo con la Figura 107, el valor máximo promedio se observa el día viernes, notándose un descenso de consumo el fin de semana, a pesar de ello el valor mínimo se encuentra el día miércoles.

El mayor consumo promedio durante un día se presenta durante el periodo que va desde 12:00 hasta las 19:00, manteniéndose estable a partir de las 00:00, ya que este servicio funciona las 24 horas, por lo que no se aprecia un descenso notable del consumo.

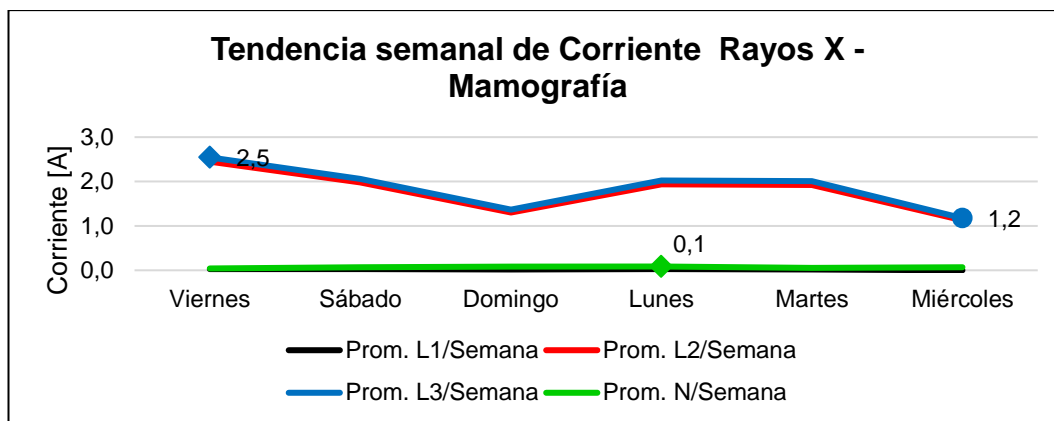


Figura 107. Tendencia semanal de corriente en Rayos X-Mamografía.

4.7.2.3 Diagnóstico de armónicos de corriente área de Rayos X – Mamografía.

De acuerdo con la norma IEEE std 519-2014 los valores porcentuales de los armónicos de orden impar menores de 11 no deben ser superiores al 15%, sin embargo, en las mediciones efectuadas en el área de rayos X-Mamografía, la línea 1 no presenta armónicos debido a que no tiene carga, mientras que la línea 2 y 3, el armónico de orden 3, 5 y 7 superan ampliamente el límite recomendado. La misma norma recomienda limitar a los armónicos pares al 25% de los límites de los armónicos impares, y como se observa la línea 2 y 3 presentan un armónico de orden 2 con un valor superior al 3,75%.

4.7.2.4 Diagnóstico de frecuencia

Tendencia semanal de frecuencia

El comportamiento de la frecuencia en las mediciones realizadas es estable cuyo valor promedio en el periodo semanal es 59,99 Hz.

4.7.2.5 Diagnóstico de potencia de Rayos X – Mamografía

Registro de potencia total en tiempo real del Área de Rayos X – Mamografía.

El área de rayos X y de mamografía funciona durante las 24 horas, las mediciones efectuadas permiten observar que solo las líneas 2 y 3 tienen carga, y que se caracteriza por valores picos que coinciden con la utilización de los equipos radiológicos y que tiene duración de milisegundos.

Tendencia semanal de consumo de Potencia Total del Área de Rayos X – Mamografía.

El área de Rayos x – Mamografía, consume potencia de manera constante durante los días laborables, disminuyendo este valor durante el fin de semana, debido a que el número de tomas de placas radiográficas disminuye durante estos días.

El mayor consumo promedio al igual que la corriente durante un día, se presenta durante el periodo que va desde 12:00 hasta las 19:00, manteniéndose estable a partir de las 00:00, ya que este servicio funciona las 24 horas, y no se aprecia un descenso notable del consumo.

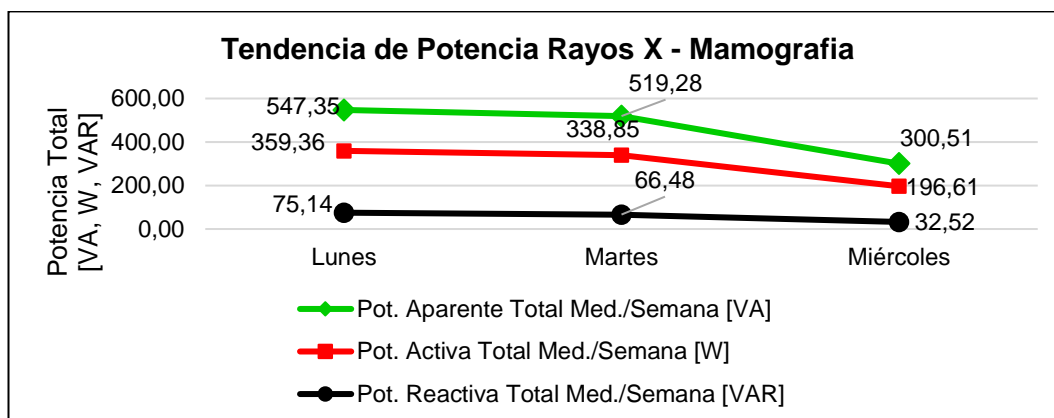


Figura 108. Tendencial de consumo de Potencia Total en Rayos X- Mamografía

4.7.2.6 Diagnóstico del factor de potencia de Rayos x – Mamografía.

El 95% de mediciones del factor de potencia promedio en las líneas 2 y 3 tiene como valor máximo de 0,77, con lo que incumple con la regulación No. CONELEC 004/001, y es necesario corregirlo.

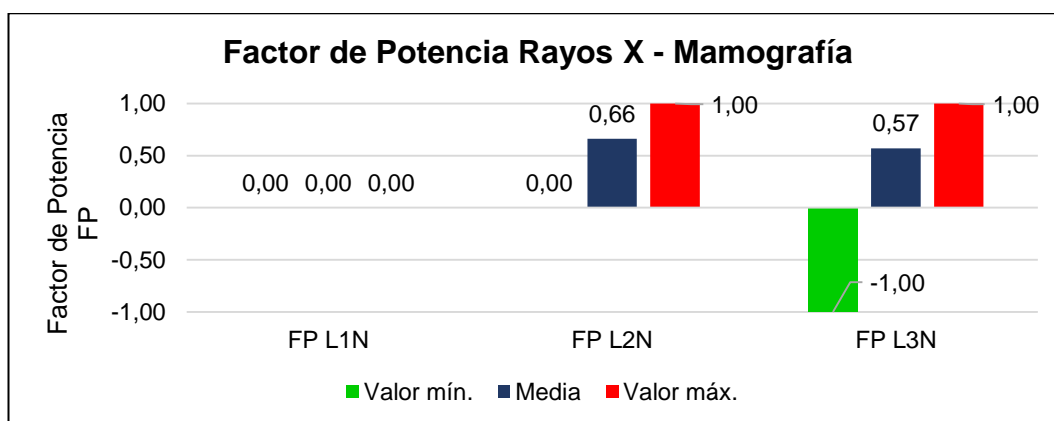


Figura 109. Factor de Potencia en área de Rayos X – Mamografía.

Tendencia semanal del Factor de Potencia de Rayos X – Mamografía.

El factor de potencia promedio durante la semana es inferior al 0,92 establecido como valor mínimo por la regulación, por lo que el área funciona con un factor de potencia no aceptable, mientras que a lo largo del día el valor de factor de potencia no presenta cambios bruscos manteniéndose constante con valores que no superan el 0,7.

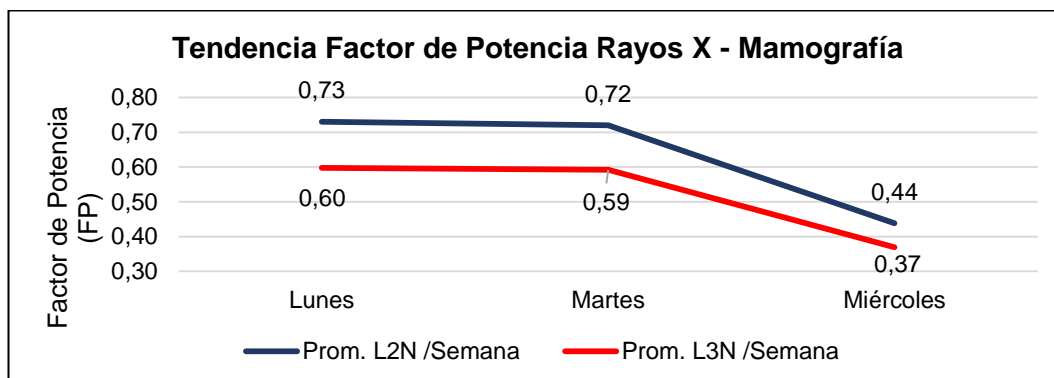


Figura 110. Tendencia semanal de Factor de Potencia en Rayos X- Mamografía.

4.7.2.7 Distorsión armónica total de corriente (THD A) de Rayos X – Mamografía.

El porcentaje de THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas activas presenta valores superiores al 80%, lo cual incumple lo recomendado por la norma IEEE std 519-2014, por lo que es necesario atenuarlo.

Por otro lado, la situación de THD de voltaje en el área se mantiene en valores promedio inferiores al 1%, cumpliendo con la Regulación No. CONELEC 004/001.

Tendencia de THD de corriente en una semana promedio del Área de Rayos X – Mamografía.

El THD de corriente durante el periodo de mediciones, presenta en sus valores medios, porcentajes superiores al límite establecido por la norma, y que llegan al 99,7 % del total de mediciones en el caso de la línea 2, y el 99,7% en la línea 3, mientras tanto la línea 1 presenta un valor medio de 14,83%, aunque el número de mediciones que superan el límite constituyen el 15,82%, aún sin tener carga. El THD de corriente no varía significativamente durante el fin de semana, como se observa en la Figura 111.

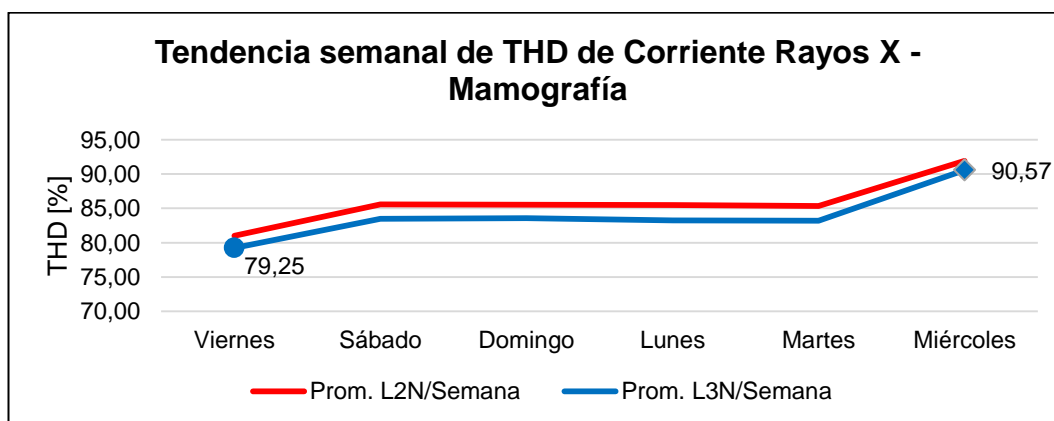


Figura 111. Tendencia semanal del THD de corriente en Rayos X- Mamografía.

4.7.3 Área de neonatología (TE1-1).

4.7.3.1 Tensión área de neonatología TE1-1.

Voltaje, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de TE1-1.

El desbalance de voltaje presente en cada una de las tres líneas que alimentan al área de Neonatología alcanza el 0,84%, cumpliendo con la norma IEEE std 1159.

Índice de calidad de voltaje

La cantidad de mediciones que presentan una variación de voltaje fuera del rango $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal encontrada no supera el 5%, por lo que cumple con la regulación No. CONELEC 004/001, tal como se indica en la Tabla 54.

Tabla 54:
Índice de calidad de voltaje en TE1-1

	Valores Mín.	Valores Media	Valores Máx.
	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)
L1N	0,35	0,00	0,00
L2N	0,15	0,00	0,00
L3N	2,18	0,00	0,00

En la Figura 112 se puede observar el comportamiento en tiempo real de las tensiones promedio de las tres líneas que suministran la energía eléctrica al área de Neonatología, y comprobar que ningún valor está fuera del rango del $\pm 8\%$ del voltaje nominal.

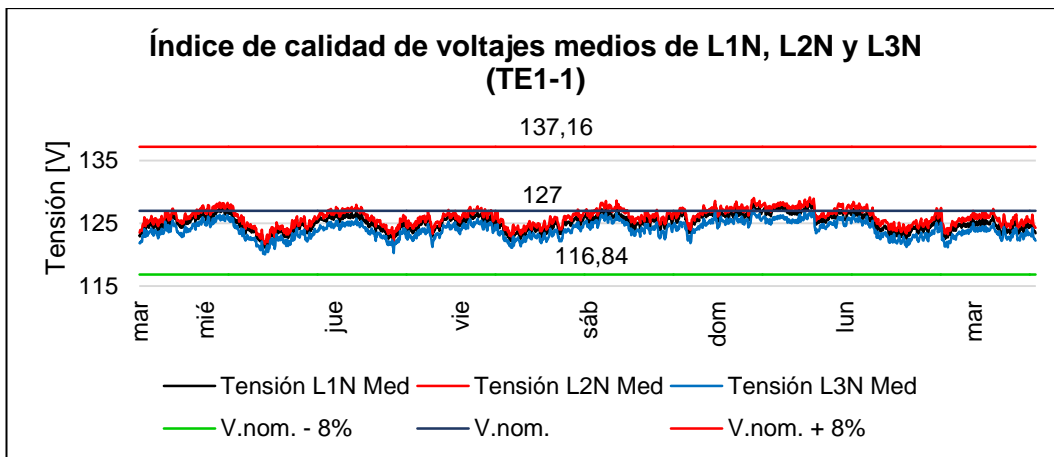


Figura 112. Índice de calidad de voltajes medios (TE1-1).

Tendencia semanal del Voltaje del Tablero TE1-1.

La Figura 113 permita observar que la caída de tensión es menor durante el fin de semana, en el que disminuye el número de pacientes que utilizan este servicio.

En cuanto al consumo diario, las mayores caídas de tensión se dan a partir de las 06:00 hasta las 17:00, en las que se atiende a la mayor cantidad de pacientes.

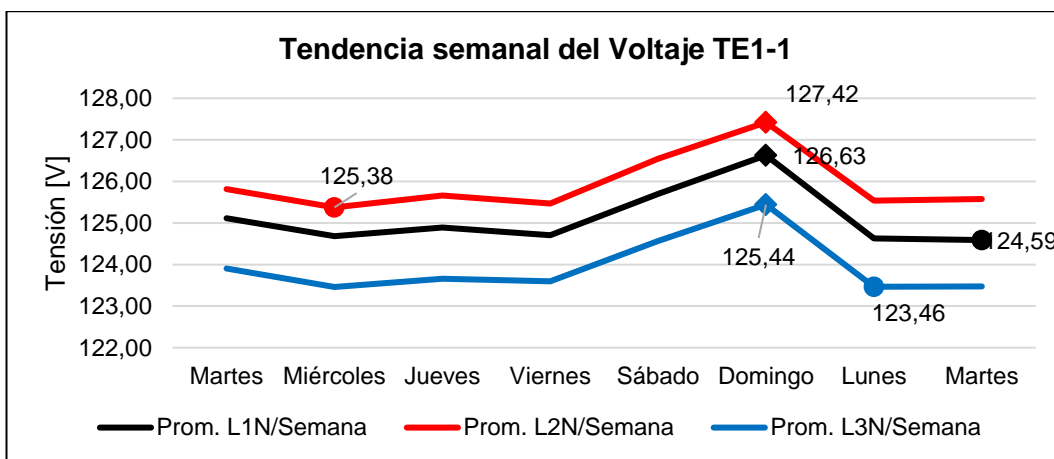


Figura 113. Tendencia semanal del voltaje en tablero TE1-1.

4.7.3.2 Diagnóstico de corriente área de neonatología TE1-1

Corriente, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 TE1-1.

Los desbalances de corriente encontrados en el Área de Neonatología (TE1-1) son los siguientes:

- Desbalance entre líneas (1-2) = 44,48%
- Desbalance entre líneas (2-3) = 3,05%
- Desbalance entre líneas (1-3) = 42,73%

Según los resultados obtenidos, el desbalance de corriente encontrado se encuentra fuera del rango del 20% proporcionado por la norma, ya que el valor medio de la línea 1 es prácticamente el doble de la línea 2 y línea 3.

Tendencia semanal de Corriente del Tablero TES1-1.

La Figura 114 permite observar el comportamiento de la corriente, en el que los días laborables presentan los valores máximos de corriente en las tres líneas.

Mientras que el menor consumo a lo largo de un día se presenta en horas de la madrugada, destacándose que la línea tres presenta un mayor consumo a partir del mediodía.

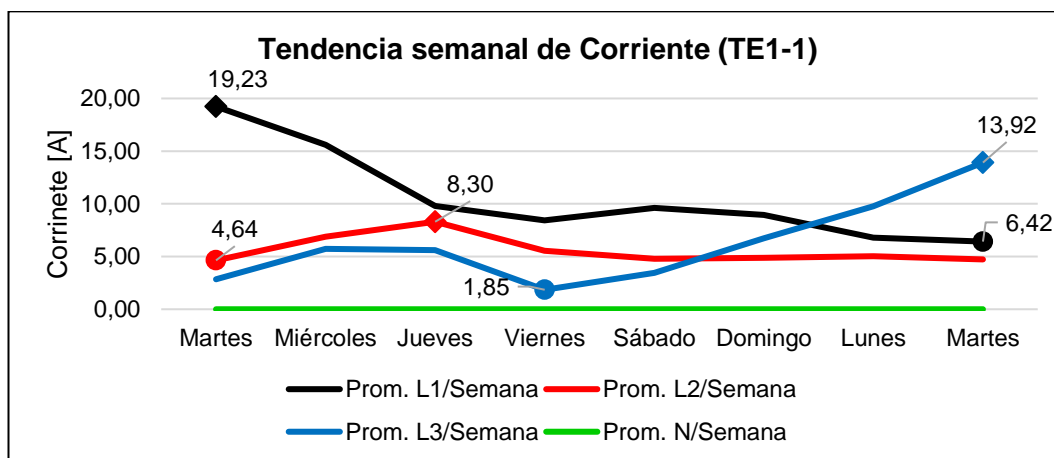


Figura 114. Tendencia semanal de corriente total TE1-1.

4.7.3.3 Diagnóstico de armónicos de corriente de neonatología TE1-1.

De acuerdo con la norma IEEE std 519-2014 los valores porcentuales de los armónicos de orden impar menores de 11 no deben ser superiores al 15%, con lo que, la línea 1 se mantiene dentro del rango permitido a excepción del armónico par de orden 2 que presenta un valor superior al 25% del límite del armónico impar, es decir es mayor a 3,75%. Por otra parte, las líneas 2 y 3 presentan el armónico 2 y 3 con valores superiores al límite, siendo la línea 2 la presenta mayor diferencia con respecto a este límite, mientras que la línea 3 presenta armónicos hasta de orden 11, por lo que es necesario su corrección.

4.7.3.4 Diagnóstico de frecuencia del área de neonatología TE1-1.

Tendencia semanal de frecuencia

La tendencia semanal de la frecuencia indica una completa estabilidad en todo el período de registros de mediciones, en el cual no existe un gran porcentaje de error con un valor promedio de 59,99Hz.

4.7.3.5 Diagnóstico de potencia del área de neonatología TE1-1

Registro de potencia activa en tiempo real

El área cuenta con equipos médicos tales como cunas térmicas, incubadoras, termocunas de calor radiante, calefactor de aceite entre otras, que son los principales consumidores junto a la iluminación de energía eléctrica, y que provocan con comportamiento irregular en la línea 1, y más estable sobre todo en la línea 2 y 3, aunque con presencia de picos altos.

Tendencia semanal de consumo de Potencia Total del Tablero TE1-1.

Al tratarse un área con atención a pacientes internados, el consumo es constante incluso el fin de semana, por lo que no se evidencia mayor

diferencia entre un día laboral y el fin de semana tal como se observa en la Figura 115. Las horas de mayor consumo son a partir de las 06:00 hasta las 22:00.

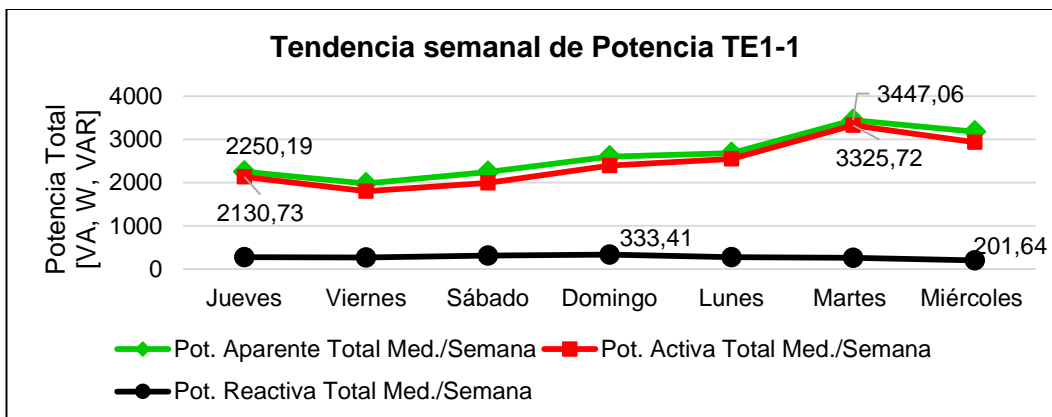


Figura 115. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TE1-1.

4.7.3.6 Diagnóstico del factor de potencia de neonatología TE1-1.

El factor de potencia promedio es de 0,84 durante el 95% de mediciones para la línea 2 y de 83% en un 65% de las mediciones en la línea 3, por lo que es necesario corregirlo, no así la línea 1 que presenta un factor de potencia superior al exigido por la regulación No. CONELEC 004/001.

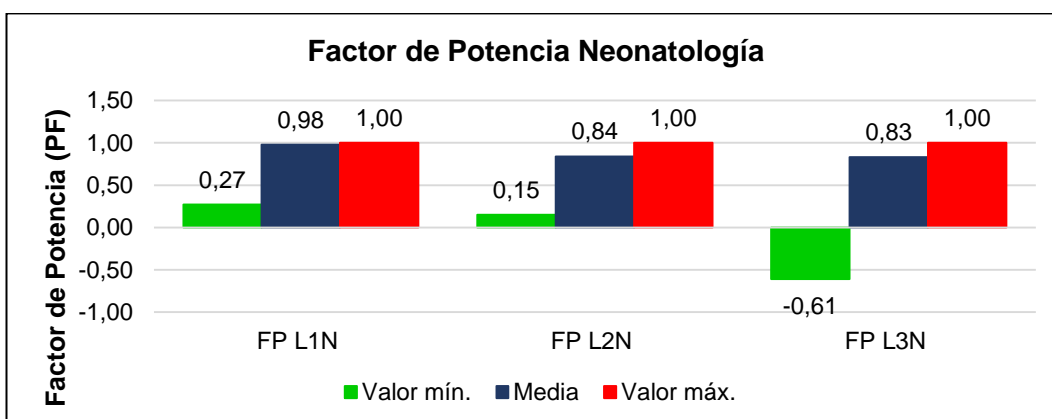


Figura 116. Factor de potencia TE1-1.

Tendencia semanal del Factor de Potencia del Tablero TES1-1

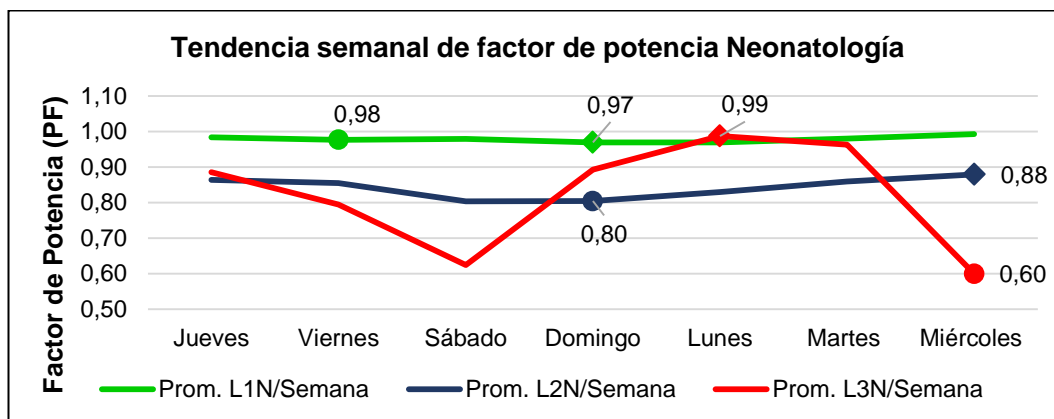


Figura 117. Tendencia semanal de Factor de Potencia TE1-1.

La línea 1 permanece estable con un factor de potencia superior al exigido, mientras que en la línea 2 permanece sin mayores variaciones, pero con un valor inferior al aceptado. La línea 3 presenta un comportamiento más irregular, que sin embargo su promedio es inferior a lo que norma establece, tal como se visualiza en la Figura 117. Este mismo comportamiento se realiza a lo largo de las 24 horas, al tratarse de una unidad que atiende a pacientes internados.

4.7.3.7 THD del área de neonatología TE1-1.

El porcentaje de THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas alcanza valores promedios superiores al 20% de la fundamental, recomendado por la norma IEEE std 519-2014, a excepción de la línea 1 que está dentro del rango recomendado.

Tendencia de THD de Corriente en una semana promedio del Tablero TE1-1.

El THD de corriente durante el periodo de mediciones, presenta en sus valores medios, porcentajes superiores al límite establecido por la norma, y que llegan al 96,47 % del total de mediciones en el caso de la línea 2, y el 49,11% en la línea 3, mientras tanto la línea 1 presenta un valor medio de 17,55%, aunque el número de mediciones que superan el límite constituyen el 39,87%. El THD de corriente no varía significativamente durante el fin de semana.

4.7.4 Área de tomografía (TAC)

4.7.4.1 Diagnóstico de tensión área de tomografía (TAC).

Medición de voltaje, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de TAC.

Los datos obtenidos permiten observar el comportamiento en tiempo real de la tensión en las tres líneas que alimentan al área de tomografía, y el voltaje empleado, que en este caso es de 220 V. Es importante notar que se desconectó el tomógrafo por espacio de una hora lo que genera valores de cero en las mediciones de las tensiones en las tres líneas, pero que no son considerados dentro de los cálculos estadísticos.

Los valores mínimo, máximo y medio de cada una de las tres líneas que alimentan al área de Tomografía, permiten determinar el desbalance de voltaje presente, que alcanza el 1,33%, cumpliendo con la norma IEEE std 1159.

Índice de calidad de voltaje de TAC

La variación de voltaje fuera del rango $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal encontrada no supera el 5%, en las líneas 1 y 2, en cambio los valores medio y máximo de la línea 3 superan ligeramente el 5% del total de mediciones

efectuadas y que están por encima del límite del $\pm 8\%$ de acuerdo con la regulación de CONELEC 004-001, como se indica en la tabla siguiente.

Tabla 55:
Índice de calidad de voltaje de TAC

	Valores Mín.	Valores Med.	Valores Máx.
	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)	Variación > $\pm 8\%$ (%)
L1N	0,85	0,75	0,70
L2N	0,85	0,75	0,70
L3N	2,20	5,85	27,71

En la Figura 118 se puede observar el comportamiento en tiempo real de las tensiones promedio de las tres líneas que suministran la energía eléctrica al área de Tomografía, y comprobar que la línea 3 presenta valores superiores al 8% del voltaje nominal, tal como se indicó anteriormente.

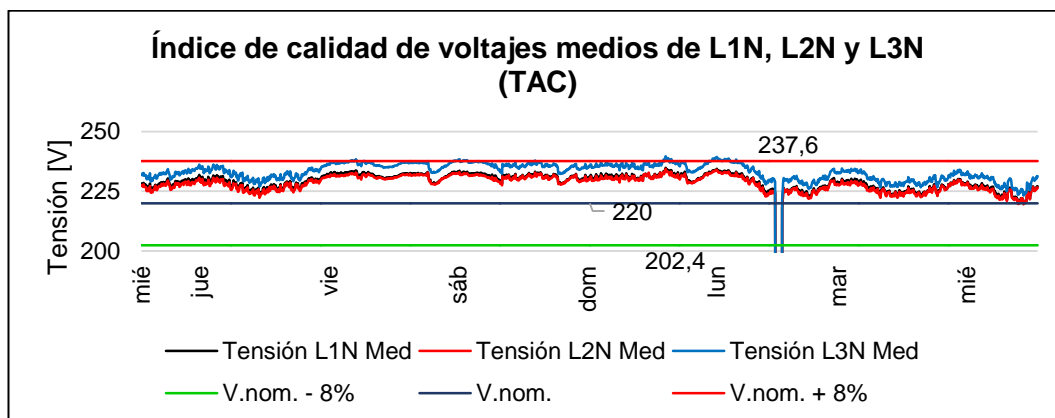


Figura 118. Índice de calidad de voltajes medios (TAC).

Tendencia semanal del Voltaje del Tablero TAC.

Al igual que la mayoría de instalaciones del hospital, las mayores caídas de tensión se observan durante los días laborables, que es cuando el área atiende a la mayoría de pacientes.

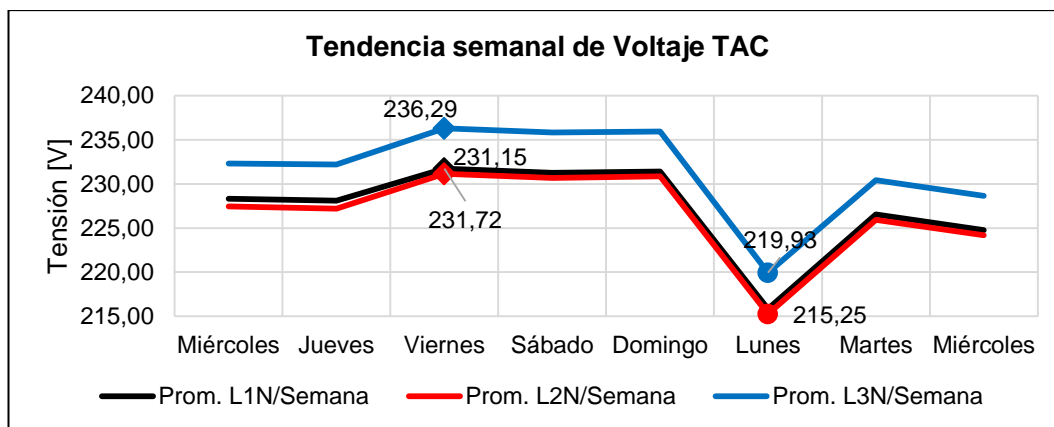


Figura 119. Tendencia semanal de Voltaje Tablero TAC.

De la misma manera las mayores caídas de tensión durante el día son en horario de atención a los pacientes, alcanzando los valores máximos de tensión en horas de la noche.

4.7.4.2 Diagnóstico de corriente área de tomografía (TAC).

Corriente, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de TAC.

Los desbalances de corriente encontrados en el Área de Tomografía (TAC) son los siguientes:

- Desbalance entre líneas (1-2) = 80,66%
- Desbalance entre líneas (2-3) = 72,21%
- Desbalance entre líneas (1-3) = 30,40%

Según los resultados obtenidos, el desbalance de corriente encontrado se encuentra fuera del rango del 20% proporcionado por la norma, ya que el menor desbalance alcanza el 30%.

Tendencia semanal de Corriente TAC.

La Figura 120 permite observar que el valor de la corriente disminuye durante el fin de semana, debido a que el uso del área se realiza principalmente de lunes a viernes.

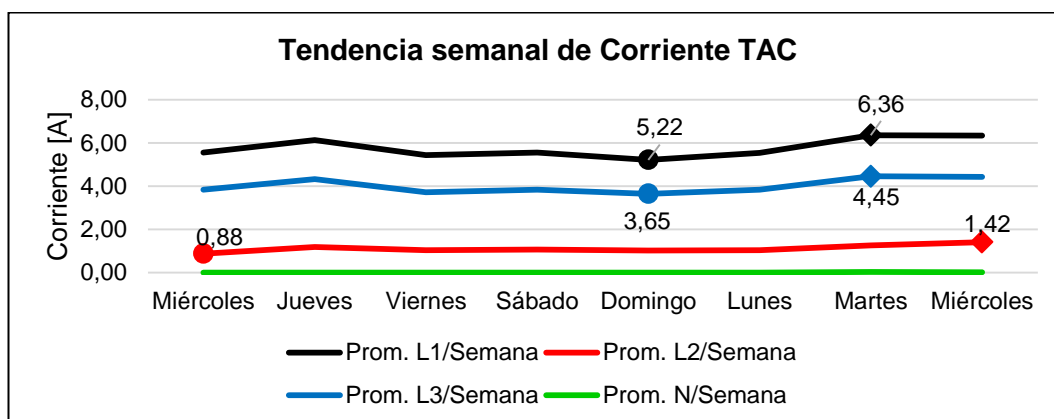


Figura 120. Tendencia semanal de corriente total TAC.

El tomógrafo atiende principalmente en horario diurno por lo que los valores máximos se encuentran desde las 06:00 hasta las 23:00, disminuyendo en horas de la madrugada.

4.7.4.3 Diagnóstico de armónicos de corriente área de tomografía (TAC)

De acuerdo con la norma IEEE std 519-2014 los valores porcentuales de los armónicos de orden impar menores de 11 no deben ser superiores al 15%, de acuerdo con esto, la línea 1 y 3 se mantienen dentro del rango permitido. Por otra parte, la línea 2 presenta el armónico de orden 3 y 5 con valores superiores al límite, siendo la línea 3 la que presenta los porcentajes menores con respecto a este límite.

4.7.4.4 Diagnóstico de frecuencia del tablero TAC.

Tendencia semanal de frecuencia.

El comportamiento de la frecuencia en las mediciones realizadas presenta un comportamiento estable cuyo valor promedio en el periodo semanal es 59,9Hz.

4.7.4.5 Diagnóstico de potencia del tablero TAC.

Registro de potencia total en tiempo real.

Al igual que en el área de rayos X, la tomografía axial computarizada TAC produce picos de muy corta duración en la potencia consumida, que se produce en el momento de crear las imágenes. La utilización del equipo de tomografía se utiliza mayoritariamente en horario diurno.

Tendencia semanal de consumo de Potencia Total del Tablero TAC.

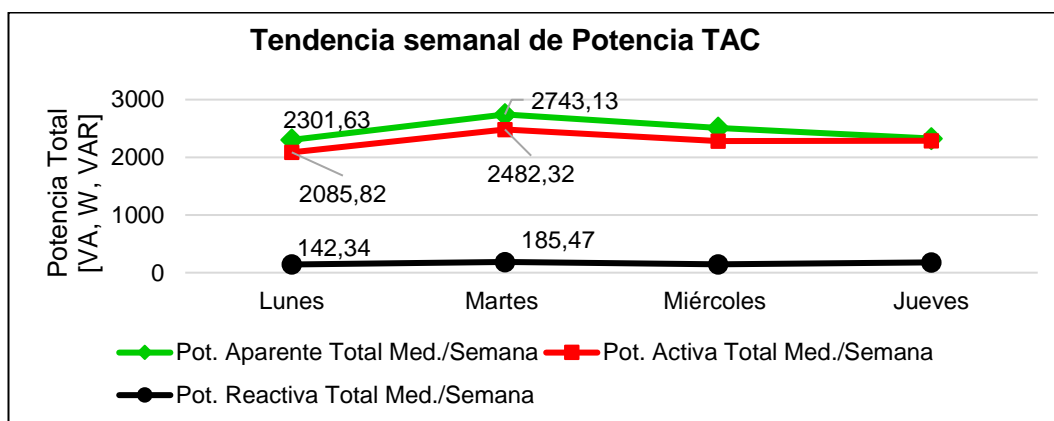


Figura 121. Tendencia semanal de consumo de Potencia Total TAC.

El consumo de energía en esta área depende de la frecuencia de utilización del equipo de tomografía, por lo que el área mantiene una tendencia constante sin mayores cambios bruscos, tal como se observa en la Figura

121, de igual manera en el horario de 07:00 a 17:00 la utilización de esta equipo es más frecuente y por lo tanto los valores de potencia aumentan.

4.7.4.6 Diagnóstico del factor de potencia del tablero TAC.

La línea 2 de este tablero presenta un factor de potencia de 0,74 en el 95% de las mediciones, mientras que las dos líneas restantes mantienen un factor de potencia aceptable.

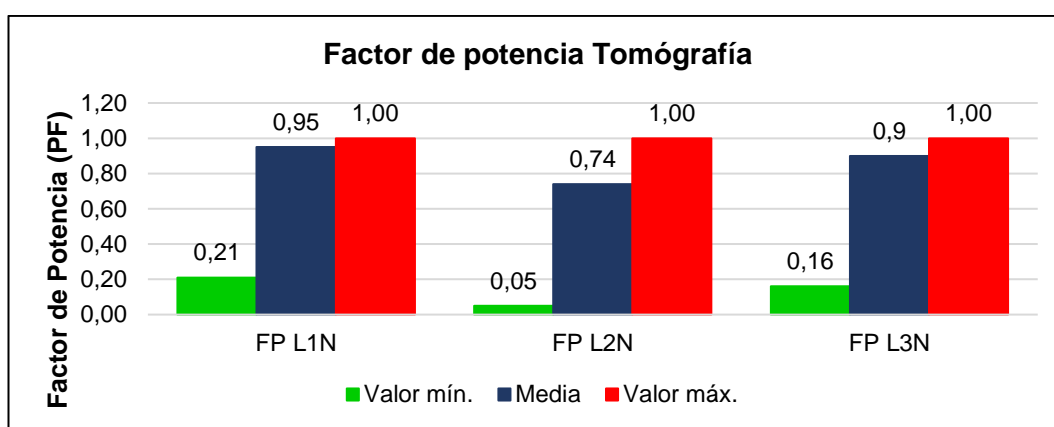


Figura 122. Factor de potencia TAC.

Tendencia semanal del Factor de Potencia del Tablero TES1-1.

El factor de potencia como se observa en la Figura 123 mantiene un comportamiento estable sin cambios bruscos, destacando que la línea mantiene un valor inferior al aceptable durante el periodo de medición.

La tendencia diaria del factor de potencia es uniforme con leves fluctuaciones que no llegan a afectar mayormente el comportamiento ni la tendencia del mismo.

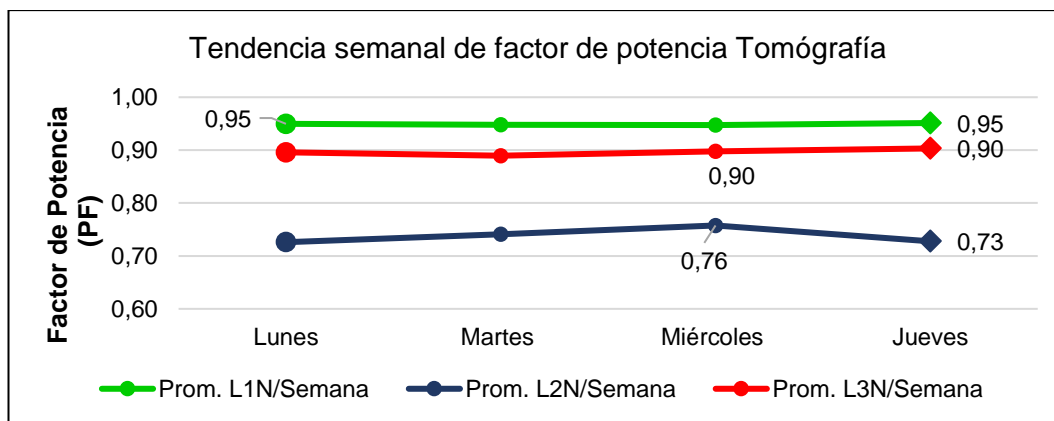


Figura 123. Tendencia semanal de Factor de Potencia TAC.

4.7.4.7 THD del tablero TAC.

El porcentaje máximo de THD de voltaje medido en las tres líneas que alimentan el área del tomógrafo, es de 6,30%, y que corresponde al valor alcanzado en la línea 2, y que de acuerdo con la regulación del CONELEC 004/01, se encuentra dentro del rango aceptable ya que es inferior al 8%.

El porcentaje de THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas alcanza valores promedios inferiores al 20% de la fundamental en las líneas 1 y 3, mientras que la línea 2 está fuera del rango recomendado por la norma IEEE std 519-2014.

Tendencia de THD de Corriente en una semana promedio del Tablero TAC.

El THD de corriente durante el periodo de mediciones, presenta en sus valores medios, porcentajes superiores al límite establecido por la norma que llegan al 100% del total de mediciones en el caso de la línea 2, mientras tanto en la línea 1 este porcentaje llega al 3.35%, y en la línea 3 alcanza el 2,20%. El THD de corriente no varía significativamente durante el fin de semana, como se observa en la Figura 124.

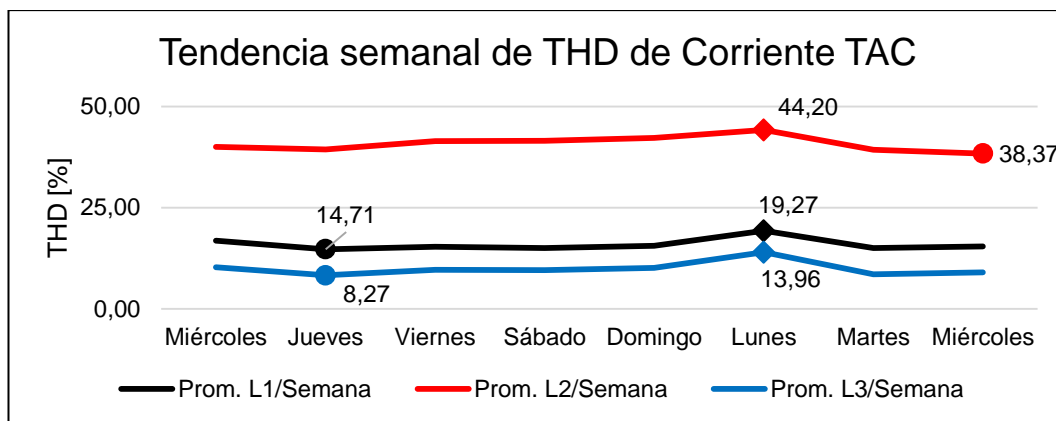


Figura 124. Tendencia semanal del THD de corriente TAC.

4.7.5 Cuarto de bombas de agua

4.7.5.1 Diagnóstico de tensión bombas de agua.

Voltaje, máximo, promedio y mínimo de L1, L2, L3 de Cuarto de Bombas de agua.

Con los valores mínimo, máximo y medio de cada una de las tres líneas que alimentan a las bombas de agua, se determinó que el desbalance de voltaje presente alcanza el 0,98%, cumpliendo con la norma IEEE std 1159.

Índice de calidad de voltaje del cuarto de bombas de agua.

La variación de voltaje fuera del rango $\pm 8\%$ con respecto al voltaje nominal encontrada no supera el 5% de total de mediciones, en las líneas 1 y 2, en cambio en el valor mínimo de la línea 3 superan el 5% del total de mediciones efectuadas y que superan el límite del $\pm 8\%$ de acuerdo con la Regulación No. CONELEC 004-001, como se indica en la Tabla 56.

Y en la Figura 125 se observa el comportamiento de las tensiones promedio de las 3 líneas que suministran la energía al área de Tomografía, y comprobar que ninguna línea presenta valores superiores al 8% del voltaje nominal.

Tabla 56:
Índice de calidad de voltaje Tablero de bombas de agua.

	Valores Mín.	Valores Media	Valores Máx.
	Variación > ±8% (%)	Variación > ±8% (%)	Variación > ±8% (%)
L1N	1,64	0,00	0,00
L2N	0,05	0,00	0,00
L3N	18,98	0,00	0,00

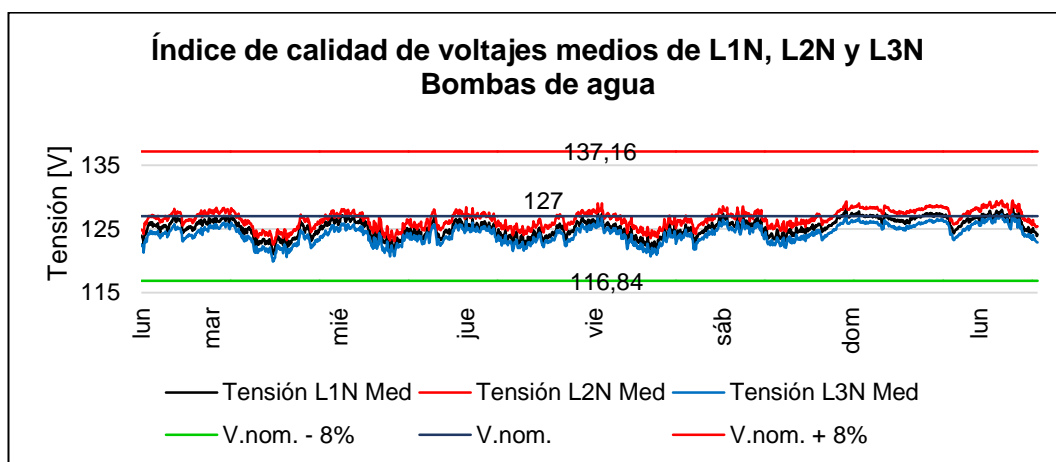


Figura 125. Índice de calidad de voltajes en tablero Bombas de agua.

Tendencia semanal del Voltaje del Tablero Bombas de Agua.

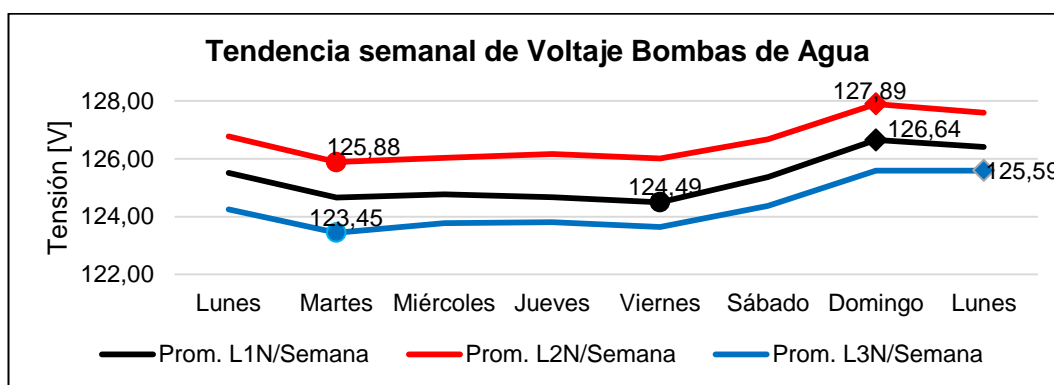


Figura 126. Tendencia semanal del voltaje en tablero Bombas de agua.

Las bombas de agua funcionan esencialmente de lunes a viernes, de ahí que la mayor caída de tensión se observa en estos días, tal como se muestra en la figura siguiente.

En un día normal, la mayor caída de tensión se da desde las 04:00 hasta las 21:00, que coincide con el periodo de atención a pacientes y por lo tanto es mayor el consumo de agua, con lo que, las bombas se encienden con mayor frecuencia.

4.7.5.2 Diagnóstico de corriente bombas de agua

Corriente máxima, promedio y mínima de L1, L2, L3 del Cuarto de bombas de agua.

Se observa el comportamiento de la corriente durante siete días consecutivos, donde, los valores máximos de corriente se producen durante el funcionamiento de los motores de las bombas de agua, eliminándose estos picos cuando las bombas dejan de funcionar.

Los desbalances de corriente encontrados en son los siguientes:

- Desbalance entre líneas (1-2) = 6,64%
- Desbalance entre líneas (2-3) = 21,33%
- Desbalance entre líneas (1-3) = 26,55%

Según los resultados obtenidos, el desbalance de corriente encontrado se encuentra fuera del rango del 20% proporcionado por la norma, ya que la línea 2 y 3 tienen un mayor consumo de corriente.

Tendencia semanal de Corriente en bombas de agua.

El fin de semana, al disminuir el número de pacientes y personal del hospital, el consumo de agua también disminuye, por lo tanto, las bombas funcionan menos tiempo, por esta razón los valores de corriente disminuyen en estos días tal como se observa en la Figura 127.

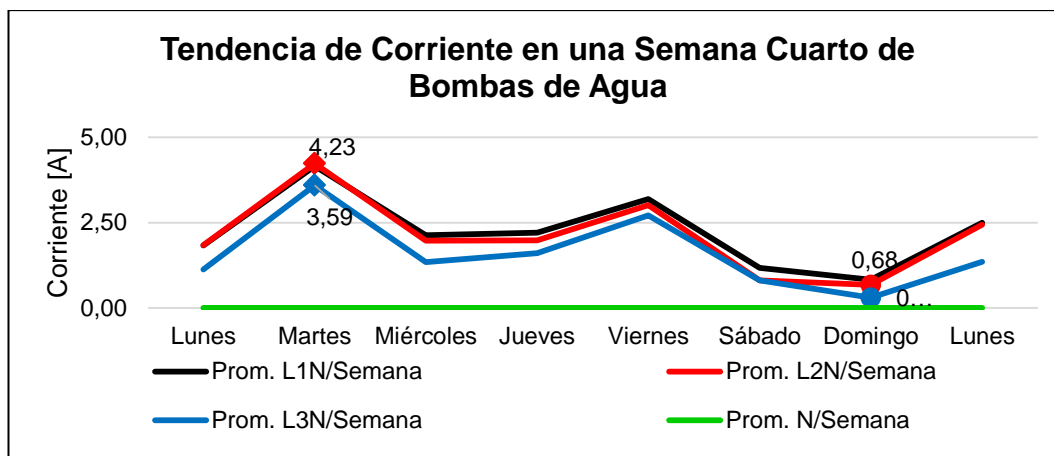


Figura 127. Tendencia semanal de corriente en Bombas de agua.

Durante el día, el mayor consume se produce a partir de las 06:00 hasta 16:00, donde existe mayor afluencia de personas al hospital.

4.7.5.3 Diagnóstico de armónicos bombas de agua.

De acuerdo con la norma IEEE std 519-2014 los valores porcentuales de los armónicos de orden impar menores de 11 no deben ser superiores al 15%, en este caso se encuentran las líneas 1 y 2, mientras que la línea 3 presenta el armónico de orden 3 con un valor superior al recomendado por la norma que es necesario atenuar.

4.7.5.4 Diagnóstico de frecuencia bombas de agua.

Registro en tiempo real de frecuencia.

La frecuencia promedio de acuerdo con las mediciones realizadas en el periodo semanal tiene un valor de 59,99Hz por lo que se llega a la conclusión que el comportamiento es estable.

4.7.5.5 Diagnóstico de potencia del área de bombas de agua.

Registro de potencia total en tiempo real.

Como ya se indicó anteriormente los valores más altos de potencia se producen durante días laborables en los que el consumo de agua se incrementa y por lo tanto los motores de las bombas funcionan con más frecuencia por cortos periodos de tiempo. La potencia total presenta valores picos debido a la necesidad de la corriente necesaria para arrancar los motores. Dos de las 6 bombas son activadas durante ciertos periodos en el día y van variando mediante un control manual del operario.

Tendencia semanal de consumo de Potencia Total del Tablero Bombas de agua.

El sábado y domingo se encuentran los valores más bajos de potencia debido a que las bombas funcionan menos veces que un día normal, tal cual se indica en la Figura 128.

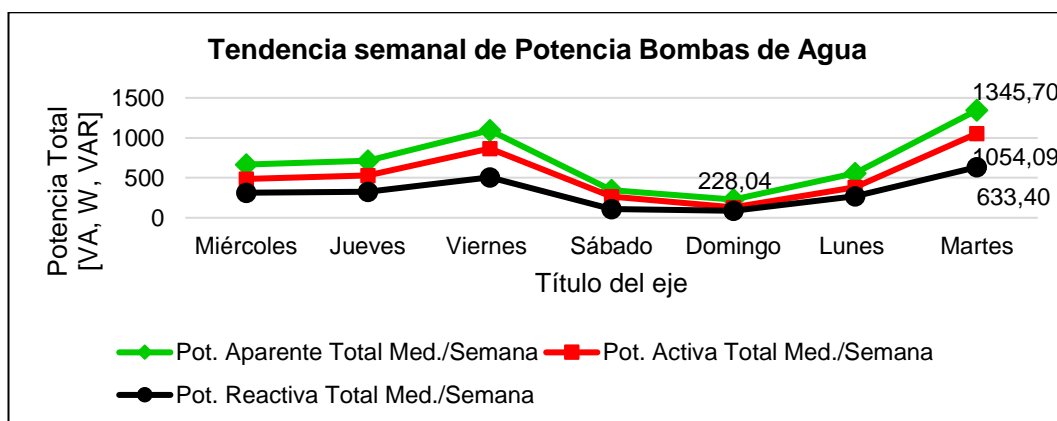


Figura 128. Tendencia semanal de Potencia Total en Bombas de agua.

Durante el día los valores más altos se dan desde la 06:00 hasta las 16:00, debido a la mayor afluencia de personas al hospital. El valor mínimo representa el uso de las bombas en horario nocturno donde no son muy necesarias.

4.7.5.6 Diagnóstico del factor de potencia del área de bombas de agua.

El factor de potencia promedio en las líneas 1 y 3 presentan un valor aceptable de factor de potencia mientras que la línea 2 necesita atención, ya que el 91% de mediciones tienen valores inferiores a 0,68.

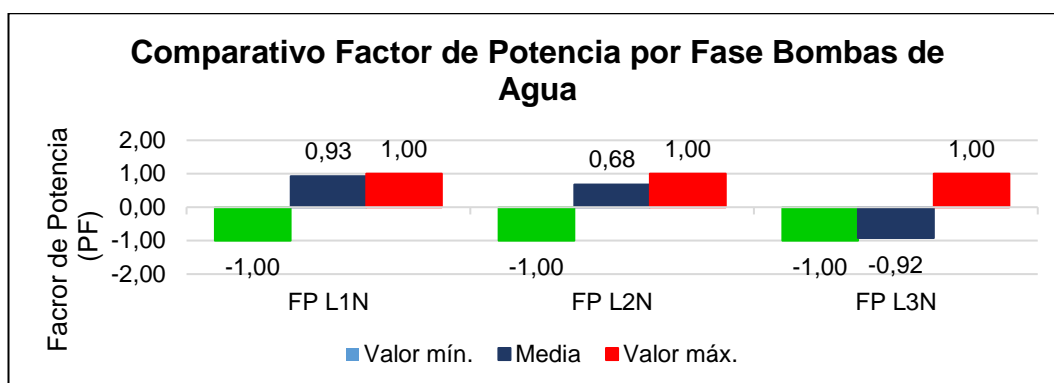


Figura 129. Factor de potencia por fase Bombas de agua.

Tendencia semanal del Factor de Potencia del Tablero Bombas de agua.

El factor de potencia permanece con valores superiores al establecido por la regulación No. CONELEC 004/001 sin grandes variaciones tanto en la línea 1 y 3 a lo largo del periodo de mediciones. La línea 3 presenta un factor de potencia atrasado lo cual se explica debido a la presencia de una carga netamente inductiva proveniente de los motores que utilizan las bombas. En el caso de la línea 2 el factor de potencia presenta grandes variaciones desde un factor de potencia adelantado a un factor de potencia retrasado y con valores inferiores al deseado.

Durante el día la línea 2, presenta grandes variaciones a partir de las 05:00 hasta las 23:00, la línea 1 se mantiene sin variaciones importantes a lo largo de las 24 horas y la línea 3 varía levemente de 07:00 a 17:00.

4.7.5.7 THD del área de bombas de agua.

El porcentaje máximo de THD de voltaje medido en las tres líneas que alimentan el área de bombas de agua, es de 2,40%, y que corresponde al valor alcanzado en la línea 3, y que de acuerdo con la Regulación No. CONELEC 004/01, se encuentra dentro del rango aceptable ya que es inferior al 8%.

El porcentaje de THD de corriente obtenido en las mediciones de cada una de las líneas alcanza valores promedios inferiores al 20% en las líneas 1 y 3, no sí en la línea 2 que supera el recomendado por la norma IEEE std 519-2014 y es necesario corregir.

Tendencia de THD de Corriente en una semana promedio del Cuarto de Bombas de Agua.

El THD de corriente durante el periodo de mediciones, presenta en sus valores medios, porcentajes inferiores al 20% en las líneas 1 y 3, en cambio la línea 2 mantiene valores superiores a 30% y es necesario atenuarlo.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA DE PLAN DE MEJORAS:

MEJORAMIENTO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS MEDIANTE EL USO DE FILTROS PASIVOS EN ÁREAS CRÍTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO, Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL HOSPITAL DEL IESS GENERAL-LATACUNGA

5.1 Justificación

En la actualidad la preocupación por el deterioro que sufre el medio ambiente por la explotación de recursos naturales para satisfacer un consumo energético ineficiente e insostenible ha hecho que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, como institución rectora de la eficiencia energética, en conjunto con el Comité Intersectorial de Eficiencia Energética, promueven la implementación de medidas de eficiencia energética en todos los sectores del país como parte de la Agenda Nacional de Energía del Ecuador 2016-2040, con el fin de evitar perjuicios económicos al país al reducir el uso inadecuado de la energía, mitigando además daños medioambientales. Esta investigación analiza el consumo energético de un hospital emblemático en la ciudad de Latacunga y que atiende a una gran cantidad de usuarios de toda la provincia, con la finalidad de establecer las medidas preventivas y correctivas que permitan alcanzar una optimización del consumo energético dentro de las instalaciones hospitalarias. La importancia de este trabajo radica en el impacto social que este tipo de actuaciones genera, en el desarrollo de Latacunga y por ende de la provincia y país, ya que cuentan con múltiples ventajas.

5.2 Objetivo de la propuesta

5.2.1 Objetivo General

- Proponer soluciones para optimizar el consumo energético de áreas críticas del Hospital del IESS Básico-Latacunga, de acuerdo con las

mediciones efectuadas e información recogida, para obtener mejores índices de calidad energética en conformidad con la norma vigente.

5.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar filtros pasivos para mejorar el factor de potencia y reducir el porcentaje de THD de corriente en las áreas críticas seleccionadas de acuerdo con la Regulación CONELEC 004/01
- Simular los Filtros Pasivos Paralelos Sintonizado (FPPS) diseñados, mediante el software PSCAD (Power System CAD), para evaluar su funcionamiento.
- Analizar y optimizar varias propuestas para encontrar la solución a los problemas de iluminación, tomar en cuenta la relación calidad-precio y las normas de garantía.
- Adecuar las instalaciones existentes y mediante la adaptación de las áreas implementar la nueva propuesta, realizar un análisis del costo total de inversión.
- Llegar a la eficiencia energética esperada y comprobar mediante un análisis comparativo las ventajas que proporciona la nueva propuesta y los resultados que puede brindar.
- Establecer las posibles actuaciones en el sistema generador de vapor del hospital para mejorar su eficiencia energética.

5.3 Estructura de la propuesta

La elaboración de la propuesta está basada en los datos recopilados en la auditoría de nivel uno, así como en las mediciones efectuadas en la auditoría de nivel dos en áreas consideradas críticas sobre todo por la presencia de equipos médicos relevantes.

Esta propuesta presenta tres aspectos fundamentales, que se enumeran a continuación:

- Corrección del factor de potencia y reducción de contaminación por armónicos de corriente en las áreas correspondientes al Centro Quirúrgico, Neonatología, Rayos X y Mamografía, Tomografía y el cuarto de bombas de agua.
- Reemplazo de lámparas poco eficientes en calidad y precio por lámparas led y aplicación de sensores en áreas poco frecuentadas.
- Recomendar correcciones por efectuar en el sistema de generación de vapor del hospital

5.4 Diseño de la propuesta

5.4.1 Corrección del factor de potencia y reducción de contaminación por armónicos de corriente.

La solución propuesta se basa en el diseño de filtros pasivos debido a su bajo costo, que proveen a la vez potencia reactiva a la frecuencia fundamental para compensar el factor de potencia hasta valores aceptados por la Regulación CONELEC 004/01, así como permite la mitigación de una armónica determinada y reducir el THD de corriente de acuerdo con las recomendaciones dadas por el estándar IEEE 519-2014.

La ubicación recomendada para el filtro es el punto donde la carga que requiere compensación se conecta al sistema lo que de acuerdo a Barcón, Guerrero, & Martínez (2012), es lo más conveniente ya que la compensación individual permite aportar la potencia reactiva en el mismo nodo al que se conecta la carga a compensar, con lo cual se consigue una menor cantidad de corriente circulando por el sistema ya que reduce la circulación de la perturbación que genera la carga no-lineal en dirección de la fuente, lo que representa menores pérdidas en los conductores y transformadores, además existe una menor caída de tensión en los mismos y sobre todo logra liberar capacidad en el transformador principal.

La configuración de filtro seleccionado es el llamado Filtro Pasivo Paralelo Sintonizado (FPPS), ya que presenta una trayectoria de baja impedancia a la corriente armónica por mitigar, lo que evita que este tipo de perturbación se

propague al resto del sistema. Esta impedancia baja se logra porque el capacitor y la bobina del filtro entran en resonancia serie, con lo que el filtro opone una impedancia mucho menor a la armónica particular que la que presenta la red de suministro. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012).

La metodología empleada para el diseño de los filtros son los recomendados por la norma IEEE1531-2003 para sistemas de baja tensión, cuyo primer paso consiste en encontrar la ubicación del filtro, que puede ser según sugerencia de esta norma una directa e individual en paralelo con cada carga no lineal, o puede estar ubicada en un punto de distribución del que se alimentan varias cargas.

Se asume que el filtro y la carga no lineal constituyen un solo bloque, por lo que, si se da la circunstancia de que la carga sale de servicio, el filtro también quedará desconectado. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012). La presente propuesta considera la ubicación más cercana a las cargas no lineales por lo que se toma como posible ubicación los subtableros TES-1, TE1-1, Rayos X, Bombas de agua y TAC.

El segundo paso consiste en conocer el valor del banco de capacitores que permitan compensar la potencia reactiva que demanda la carga y mejorar el factor de potencia para lo cual empleamos la Ecuación (10). (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012).

$$Q_{ef} = P[\tan(\cos^{-1} FP_{Encontrado}) - \tan(\cos^{-1} FP_{Deseado})] \quad (10)$$

Donde:

Q_{ef} = Potencia reactiva efectiva [VAR]

P = Potencia activa [W]

FP = Factor de potencia

El uso de capacitores permite compensar la potencia reactiva en ambientes con distorsión, sin embargo, si esta es considerable, la aportación

a la corrección del factor de potencia total es prácticamente nula. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012)

Por tal motivo el cálculo del capacitor en paralelo óptimo que ayuda a mejorar el factor de potencia en presencia de distorsión armónica es (Shepherd & Zand, 1979).

$$C_{op} = \frac{I_{L1} \sin \Phi}{\omega E} \quad (11)$$

Donde:

I_{L1} = Valor eficaz de la corriente fundamental que demanda la carga no lineal.

Φ = Ángulo de desfasamiento entre corriente y tensión a frecuencia fundamental de la carga.

E = Tensión sin distorsión aplicada a la carga.

ω = Frecuencia angular de la componente fundamental.

La potencia de del capacitor se obtiene mediante la Ecuación (12).

$$Q_{C_{op}} = \omega C_{op} E^2 \quad (12)$$

De acuerdo con Barcón, Guerrero, & Martínez (2012) el capacitor por emplear en el FPPS requiere que su tensión nominal sea superior a la del nodo donde se conectará el filtro, debido a que la tensión en el capacitor puede llegar a superar la tensión del sistema. Con estas consideraciones el valor de la reactancia a frecuencia fundamental del capacitor se encuentra mediante la Ecuación (13)

$$X_{C1} = \frac{V_{CN}^2}{Q_{ef}} \quad (13)$$

Donde:

V_{CN} = Voltaje nominal del capacitor

Q_{ef} = Potencia reactiva efectiva [VAR]

$$C = \frac{1}{2\pi \times f_1 \times X_{C1}} \quad (14)$$

Donde:

C = Valor de capacitor [F]

f_1 = Frecuencia fundamental [Hz]

X_{C1} = Reactancia a frecuencia fundamental del capacitor [Ω]

El tercer paso consiste en determinar el valor de la inductancia, que junto al capacitor configurará el filtro. El valor de las reactancias de estos dos elementos a la frecuencia sintonía debe ser iguales para que se presente la resonancia serie en el FPPS. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012). Es decir

$$X_{Ch} = X_{Lh} \quad (15)$$

Donde:

X_{Ch} = Reactancia capacitiva del filtro a la armónica h.

X_{Lh} = Reactancia inductiva del filtro a la armónica h.

Además, se cumple la siguiente condición

$$X_{Ch} = \frac{X_{C1}}{h} \quad (16)$$

$$X_{Ch} = \frac{X_{C1}}{h} \quad (17)$$

Donde:

X_{C1} = Reactancia capacitiva del filtro a la frecuencia fundamental [Ω]

X_{L1} = Reactancia inductiva del filtro a la frecuencia fundamental [Ω]

Por medio de las Ecuaciones (16)(17) Se obtiene la ecuación que permite determinar el valor de la reactancia inductiva del filtro a la armónica h.

$$X_{Lh} = \frac{1}{h^2} \times X_{C1} \quad (18)$$

Donde:

h = Armónico de orden h

Para obtener el valor de la bobina empleamos la siguiente Ecuación (19)

$$L = \frac{X_{Lh}}{2\pi \times f_1} \quad (19)$$

Según Barcón, Guerrero, & Martínez (2012), para utilizar este tipo de filtros es importante considerar un parámetro conocido como factor de calidad, que de manera indirecta define el ancho de banda y que determina cual es el rango de armónicas cercanas a la de sintonía que drena el filtro. Su ecuación es la siguiente:

$$Q = \frac{X_{Ls}}{R} = \frac{X_{Cs}}{R} \quad (20)$$

Donde:

Q = Factor de calidad.

X_{Ls} = Reactancia inductiva a la frecuencia de sintonía [Ω]

X_{Cs} = Reactancia capacitiva a la frecuencia de sintonía [Ω]

R = Resistencia [Ω].

El cuarto paso consiste en verificar que los componentes del filtro operen correctamente y de forma segura sin sobrepasar los rangos permitidos, ya sea por medio de un análisis computacional (simulación) o a través de un análisis del circuito equivalente. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012).

El estándar IEEE 1531 recomienda unos rangos de tensión, corriente y potencia en los que debe funcionar el capacitor del filtro en condiciones normales, estos son:

- 1) 135% de su corriente eficaz basada en su potencia y tensión eficaz nominales.
- 2) 110% de su tensión eficaz nominal.
- 3) 135% de su potencia nominal.

4) 120% del valor de pico de su tensión nominal.

5.4.2 Iluminación

5.4.2.1 Sistemas de iluminación en hospitales

De acuerdo con normas y estándares, la iluminación debe ser específicamente por áreas, debido a ello, los sistemas de alumbrado que se utilizan en hospitales y centros de salud se consideran detalladamente importantes e influyentes para el especialista a cargo y el confort y bienestar del paciente, a continuación, se marcan los más relevantes e importantes.

Alumbrado general: Es el alumbrado para lugares en donde no se toma en cuenta alguna necesidad en particular. Según (IDAE-CEI, 2001) se utiliza en lugares como:

- Unidades de hospitalización
- Quirófanos y salas de reconocimiento
- Salas de espera, descanso y visitas
- Salas de partos y autopsia
- Oficinas y zonas administrativas
- Salas de terapia y rehabilitación
- Pasillos, halls y vestíbulos

Alumbrado localizado: De acuerdo con (IDAE-CEI, 2001) se utiliza para una tarea en específico, en conjunto con el alumbrado general en áreas como:

- Quirófanos y Urgencias
- Salas de curas y salas de parto
- Zonas de diagnóstico e inspección visual

Alumbrado general + localizado: Se ocupa en lugares de alto riesgo y que el especialista requiere un alto grado de flujo luminoso para no llegar a

cometer ningún tipo de error. Eventualmente los quirófanos cuentan con los dos tipos de alumbrado.

Alumbrado directo en el que la iluminación alcanza directamente por lo menos el 90% del plano de trabajo. Y alumbrado indirecto en el que la iluminación alcanza directamente solo el 10 % del flujo luminoso el plano de trabajo. Este alumbrado es el de menor eficiencia energética. (IDAE-CEI, 2001)

5.5 Desarrollo de la propuesta

5.5.1 Diseño de filtros pasivo paralelo sintonizado (FPPS)

5.5.2 Cálculo de filtros para área de neonatología Tablero TE1-1.

En el área de Neonatología la línea 2 y la línea 3 del tablero TE1-1, que alimenta dicha área, presentan un factor de potencia inferior al permitido, y contaminación armónica.

5.5.2.1 Filtro línea 2 (TE1-1)

Cálculo para mejorar el factor de potencia

Primero se procede a calcular la corriente fundamental que demanda la carga (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012)

$$fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{(THD_i)^2 + 1}} \quad (21)$$

$$fp_{desp} = \frac{fp}{fp_{dist}} \quad (22)$$

$$S_1 = \frac{P}{fp_{desp}} \quad (23)$$

Donde:

fp_{dist} = Factor de distorsión.

fp_{desp} = Factor de potencia de desplazamiento

$$fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{(0,28)^2 + 1}} = 0,965$$

$$fp_{desp} = \frac{0,84}{0,965} = 0,86$$

$$S_1 = \frac{558,37}{0,86}$$

$$S_1 = 649,27 \text{ [VA]}$$

$$I_1 = \frac{S_1}{V}$$

$$I_1 = \frac{649,27}{127}$$

$$I_1 = 5,11 \text{ [A]}$$

En el caso de la línea 2, el cálculo de la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia de 0,84 se realiza mediante el empleo de las Ecuaciones (11) y (12).

$$C_{op} = \frac{5,11 \sin(\cos^{-1} 0,84)}{2\pi \times 60 \times 127}$$

$$C_{op} = 5,79 \times 10^{-5} \text{ [F]}$$

$$Q_{C_{op}} = 2\pi \times 60 \times (5,79 \times 10^{-5})(127)^2$$

$$Q_{C_{op}} = 352,12 \text{ [VAR]}$$

Con las Ecuaciones (13) y (14) se obtiene la reactancia y la capacidad del capacitor del filtro. La tensión nominal del capacitor es de 250 [V].

$$X_{C1} = \frac{250^2}{352,12}$$

$$X_{C1} = 177,50 [\Omega]$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 177,50}$$

$$C = 1,49 \times 10^{-5} [F]$$

La Ecuación (18) permite obtener el valor de la reactancia inductiva del filtro, en el caso de la línea 2, el filtro se diseña para mitigar la tercera armónica, que se encuentra por encima de lo permitido por la Regulación No. CONELEC 004/01.

$$X_{L1} = \frac{1}{3^2} \times 177,50$$

$$X_{L1} = 19,72 [\Omega]$$

$$L = \frac{19,72}{2\pi \times 60}$$

$$L = 0.052 [H]$$

Cálculo de resistencia para un factor de calidad de 100

$$R = \frac{59,16}{100}$$

$$R = 0,5916 [\Omega]$$

De acuerdo con (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012), el máximo factor de potencia que se alcanza es:

$$fp = fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{(THD_i)^2 + 1}} \quad (24)$$

Debido a que el capacitor calculado aporta la potencia reactiva suficiente para elevar el factor de desplazamiento a la unidad. Para comprobar el valor del factor de potencia alcanzado con la utilización del filtro empleamos la Ecuación (24) con THD de corriente obtenido anteriormente.

$$fp = \frac{1}{\sqrt{(0.1635)^2 + 1}} = 0.99$$

Finalmente se procede a verificar que los elementos calculados (L y C) operen dentro de los rangos establecidos por el estándar IEEE 1531 en condiciones normales de funcionamiento del sistema. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012).

Para el transformador de 630 kVA que alimenta al tablero eléctrico TE1_1 que suministra energía eléctrica al área de Neonatología las reactancias se calculan a continuación:

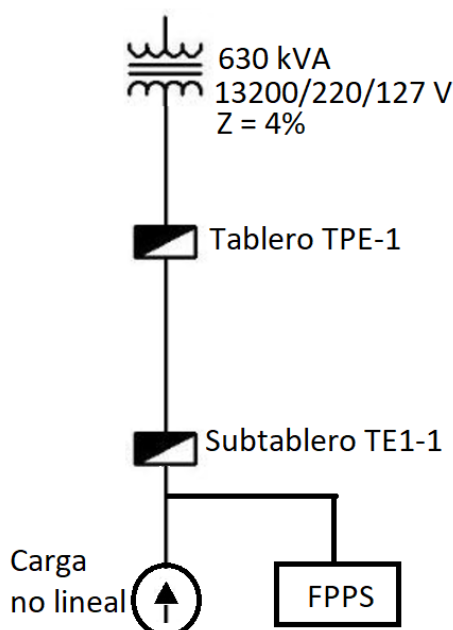


Figura 130. Diagrama unifilar Área de Neonatología.

$$X_{base} = \frac{(V_{Secundario\ Trafo})^2}{S_T} \quad (25)$$

$$X_{base} = \frac{220^2}{630 \times 10^3}$$

$$X_{base} = 0,077 [\Omega]$$

$$X_{pu} = \frac{4\%}{100\%} = 0.04$$

Donde:

X_{pu} = Impedancia por unidad del transformador.

$$X_{T1} = X_{pu} \times X_{base} \quad (26)$$

$$X_{T1} = 0,04 \times 0,077$$

$$X_{T1} = 3,08 \times 10^{-3} [\Omega]$$

Donde:

X_{T1} = Reactancia del transformador a frecuencia fundamental.

El procedimiento empleado para verificar la operación dentro de los rangos establecidos por la norma IEEE 1531 de acuerdo (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012) es el siguiente:

1) 135% de su corriente eficaz basada en su potencia y tensión eficaz nominales.

Para calcular la máxima corriente a frecuencia fundamental que circula por el filtro se toma en cuenta el caso en el que la tensión llegue a 1,05 pu para definir la situación máxima en condiciones normales:

$$I_{C1_{max}} = \frac{1,05 \times E}{X_{F1}} \quad (27)$$

$$I_{C1_{max}} = \frac{1,05 \times 127}{158,37} = 0.84 [A]$$

$$I_{C_{max}} = \sqrt{I_{C1_{max}}^2 + I_{C2}^2 + \dots \dots I_{C9}^2} \quad (28)$$

La corriente que circula por el capacitor es la misma que la corriente que circula por el filtro.

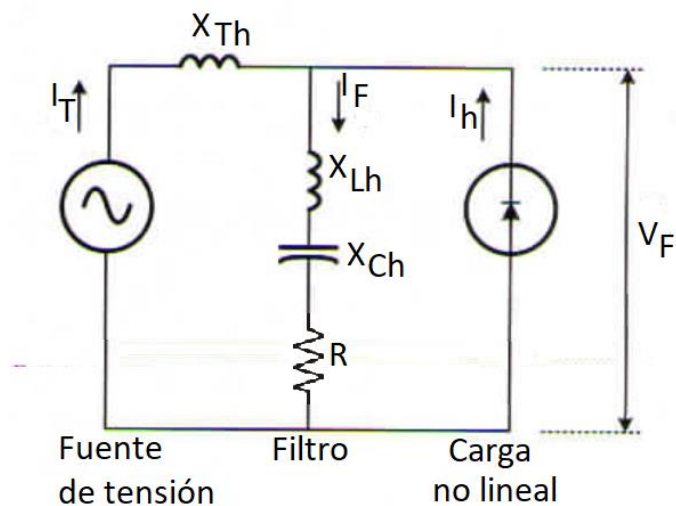


Figura 131. Circuito equivalente del arreglo (Transformador-filtro-carga no lineal)

Fuente: (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012)

Tabla 57:

Cálculo de elementos descritos en el circuito de la Figura 131

h	$X_{Ch}[\Omega] = \frac{X_{C1}}{h}$	$X_{Lh}[\Omega] = hX_{L1}$	$X_{Fh}[\Omega] = R + (X_{Lh} - X_{Ch})$	$X_{Th} = h \times X_{T1}$
1	177,50	19,72	158,37	3,08E-03
2	88,75	39,44	49,90	6,16E-03
3	59,17	59,16	0,60	9,24E-03
4	44,38	78,88	35,10	1,23E-02
5	35,50	98,60	63,69	1,54E-02
7	25,36	138,04	113,27	2,16E-02
9	19,72	177,48	158,35	2,77E-02

Tabla 58:

Cálculo de corriente en el filtro del circuito de la Figura 131

h	I_h [%]	I_h [A]	$I_{Fh} = \frac{X_{Th} \times I_h}{X_{Th} + X_{Fh}}$
1	100	5,11	0,8
2	5,24	0,27	3,33E-05
3	26,36	1,35	2,05E-02
4	1,39	0,07	2,46E-05
5	7,92	0,4	9,67E-05
7	2,14	0,11	2,09E-05
9	0,43	0,02	3,50E-06

Mediante la Ecuación (28) y los valores de la Tabla 58 se obtiene la corriente máxima que circula por el capacitor

$$I_{C_{max}} = 0,84 [A]$$

$$I_{CN} = \frac{352,12 [VAR]}{250} = 1,41 [A]$$

Con lo anterior se puede calcular la relación entre el valor eficaz de la corriente máxima y el valor eficaz de la corriente nominal del capacitor.

$$\frac{I_{C_{max}}}{I_{CN}} \times 100 = \frac{0,84}{1,41} \times 100 = 60\%$$

El resultado obtenido es inferior al 135%, ya que el valor eficaz de la máxima corriente que circula por el capacitor llega solo al 60% en condiciones normales de funcionamiento.

2) 110% de su tensión eficaz nominal.

El valor máximo de la tensión eficaz se calcula de la siguiente forma:

$$V_{C_{max}} = \sqrt{(X_{C1}I_{C1_{max}})^2 + (X_{C3}I_{C3})^2 + \dots \dots (X_{C9}I_{C9})^2} \quad (29)$$

Para comprobar que la tensión en el capacitor no supera el límite la ecuación (29) permite obtener el valor máximo de la tensión eficaz en el capacitor utilizando los valores de la reactancia capacitiva y la corriente que circula por el filtro indicados en la Tabla 57 y la Tabla 58.

$$V_{C_{max}} = 149,10 [V]$$

El voltaje nominal del capacitor es de 250 [V].

$$V_{CN} = 250 [V]$$

$$\frac{V_{C_{max}}}{V_{CN}} \times 100 = \frac{149,10}{250} \times 100 = 59,64\%$$

Como se observa no supera el límite.

3) 135% de su potencia nominal.

La máxima potencia que entrega el filtro es:

$$Q_{C_{max}} = V_{C_{max}} \times I_{C_{max}} \quad (30)$$

$$Q_{C_{max}} = 149,10 \times 0,84 = 125,2 \text{ [VAR]}$$

Con este valor y la potencia reactiva calculada para el filtro la relación entre la máxima potencia reactiva del filtro y su potencia nominal es la siguiente

$$\frac{Q_{C_{max}}}{Q_C} \times 100 = \frac{125,2}{352,12} \times 100 = 35,55\%$$

Y como puede observarse no supera el límite establecido.

4) 120% del valor de pico de su tensión nominal.

Se considera que todos los valores picos coinciden para calcular del valor pico de la tensión, asumiendo esto como el peor de los casos posibles, con lo que la ecuación empleada es la siguiente.

$$V_{pC_{max}} = \sqrt{2}(X_{C1}I_{C1_{max}} + X_{C3}I_{C3} + \dots \dots + X_{C9}I_{C9}) \quad (31)$$

$$V_{pC_{max}} = \sqrt{2} \times (149,10) = 211 \text{ [V]}$$

Entonces la relación es la siguiente:

$$\frac{V_{pC_{max}}}{V_{CN}} \times 100 = \frac{211}{250} \times 100 = 84\%$$

Y como se puede ver, se encuentra dentro del rango sugerido.

Los 4 pasos realizados anteriormente permiten comprobar que el filtro diseñado cumple con los parámetros establecidos por la norma IEEE 1531.

Para terminar, es necesario determinar la frecuencia con la cual se presenta resonancia paralela por la interacción del filtro con la impedancia del sistema. (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012) emplea la Ecuación (32) para realizar dicha comprobación.

$$f_{res.par} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L + L_S)C}} \quad (32)$$

Donde:

$f_{res.par}$ = Frecuencia de resonancia paralelo [Hz]

L_S = Inductancia de la fuente [H]

$$f_{res.par} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{19,72}{2\pi \times 60} + \frac{3,08 \times 10^{-3}}{2\pi \times 60}\right) 5,79 \times 10^{-5}}}$$

$$f_{res.par} = 91,72 \text{ [Hz]}$$

Como se puede observar, la frecuencia para la cual se presenta resonancia paralela por la interacción del filtro con la impedancia del sistema, no coincide con ninguna de las frecuencias de los armónicos presentes.

Para el cálculo de los elementos que conforman el resto de filtros requeridos para la atenuación de la distorsión armónica y mejorar el factor de potencia, se procederá de idéntica manera a lo explicado anteriormente.

5.5.2.2 Filtro línea 3 (TE1-1)

En el caso de la línea 3 el THD de corriente medido, alcanza el 21,47%, y la armónica que va a ser atenuada es la de tercer orden.

El valor de los elementos calculados para la conformación del filtro necesario para atenuar el armónico de tercer orden se muestran en la Tabla 59.

Tabla 59:
Valores calculados para FPPS para línea 3 (TE1-1)

h	C [uF]	L [H]	R [ohms]
3	17,3	0.045	0,51

5.5.3 Cálculo de filtros para el cuarto de bombas

Para el tablero eléctrico que provee de energía eléctrica al cuarto de bombas de agua del hospital, los cálculos realizados para el filtro recomendado se realizaron con valores promedios durante el tiempo de funcionamiento, ya que como se observa en las gráficas del comportamiento en tiempo real de la corriente, y que se obtuvieron a través del analizador de redes FLUKE 1735, el consumo de corriente no es continuo.

5.5.3.1 Filtro línea 2 (cuarto de bombas de agua)

La solución propuesta se aplica para la línea 2 de este tablero eléctrico, ya que, el THD de corriente encontrado es superior al 34% y la amplitud relativa del armónico de tercer orden alcanza el 29%; mientras que para las dos líneas restantes el valor de THD de corriente y amplitud relativa de los armónicos presentes no superan los límites establecidos.

El valor de los elementos calculados para la conformación del filtro necesario para atenuar el armónico de tercer orden se muestran en la Tabla 60.

Tabla 60:
Valores calculados para FPPS para línea 2 (Cuarto de bombas)

h	C [uF]	L [H]	R [ohms]
3	13,0	0.06	0,7

5.5.4 Cálculo de filtros para el área de tomografía (TAC).

Según los valores medidos de THD de corriente y factor de potencia, se determina que la línea 2 de este tablero eléctrico presenta valores fuera de los límites, por lo que sería necesario colocar un filtro, pero debido a que el consumo de corriente medido es muy bajo no es necesario implementar el FPPS.

5.5.5 Cálculo de filtros para el centro quirúrgico (TES1-1).

Las mediciones efectuadas en el Tablero eléctrico TES1-1, permiten observar que el factor de potencia de las tres líneas que alimentan al área de quirófanos se encuentra dentro del rango aceptable, siendo necesario atenuar la amplitud relativa del armónico de tercer orden de las tres líneas.

5.5.5.1 Filtro línea 1 (TES1-1)

La solución propuesta aplicada para la línea 1 de este tablero eléctrico, ya que, que el THD de corriente encontrado es superior al 28% y la amplitud relativa del armónico de tercer orden alcanza el 22,9%, se indica a continuación.

El valor de los elementos calculados para la conformación del filtro necesario para atenuar el armónico de tercer orden se muestran en la Tabla 61

Tabla 61:
Valores calculados para FPPS para línea 1 (TES1-1)

h	C [uF]	L [H]	R [ohms]
3	20	0.04	0,5

5.5.5.2 Filtro línea 2 (TES1-1)

El valor de los elementos calculados para la conformación del filtro necesario para atenuar el armónico de tercer orden se muestran en la Tabla 62.

Tabla 62:
Valores calculados para FPPS para línea 2 (TES1-1)

h	C [uF]	L [H]	R [ohms]
3	14	0.055	0,6

5.5.6 Cálculo de filtros para el área de rayos x.

Las mediciones efectuadas en este tablero permiten observar el alto valor alcanzado por el THD de corriente en la línea 2 y 3, así como también un factor de potencia muy bajo. Para el diseño no se toma en cuenta los valores pico alcanzado debido a su corta duración.

5.5.6.1 Filtro línea 2 y línea 3 (Rayos x)

En este tablero, las líneas utilizadas son la 2 y la 3, y ambas presentan valores similares de THD de corriente y factor de potencia

El valor de los elementos calculados para la conformación del filtro necesario para atenuar el armónico de tercer, quinto y séptimo orden se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63:
Valores calculados para FPPS para línea 2 y 3 (RAYOS X)

h	C [uF]	L [H]	R [ohms]
3	2,16	0,36	2,44 e-5
5	2,16	0,13	4,076 e-5
7	2,16	0,066	5,72 e-5

La solución propuesta aplicada para la línea 2 y línea 3 de este tablero eléctrico, ya que, el THD de corriente encontrado es superior al 85% y la amplitud relativa del armónico de tercer orden alcanza el 59,87%, el del quinto orden 41,38% y el de séptimo orden 23,09%.

5.5.7 Iluminación

5.5.7.1 Luminarias existentes en las instalaciones del hospital

De acuerdo con la valoración de varias opciones se realiza una comparación de las principales características entre los tubos fluorescentes y focos incandescentes que se encuentran instalados con el posible cambio de tubos LED y focos ahorradores respectivamente, planteando así la propuesta de cambio de 1742 tubos fluorescentes y 102 focos incandescentes que se encuentran distribuidos en todas las áreas del hospital.

5.5.7.2 Tablas comparativas de tipos de lámparas

Tabla 64:
Características Fluorescente T10 vs tubo Led

Características		
Tipo	Fluorescente + balasto	Led
Potencia [W]	(2x40W) + 16W	2x18 W
Índice de reproducción cromático (CRI) [%]	70	80
Flujo Luminoso [lm]	2500	1600
Vida Promedio [horas]	10000	25000
Temperatura de color [°K]	6500	6500
Frecuencia (Hz)	50/60	50/60

Nota. Fuente: (Sylvania, 2016)

Al realizar la comparación de las características del tubo fluorescente T10 que se encuentra actualmente en funcionamiento en el hospital con la nueva propuesta que es el tubo LED T8 se llega a la conclusión que las prestaciones de la nueva propuesta ayudarán enormemente a mejorar el consumo

energético del hospital, proporcionando así resultados inmediatos que se verá reflejados a medida que pase el tiempo y que podrán ser corroborados mediante la comparación de planillas de consumo.

Tabla 65:
Tabla comparativa foco incandescente vs ahorrador

Lumens	Consumo	
	Incandescente	Ahorrador
450	40W	9W
800	60W	14W
1100	75W	19W
1600	100W	23W
Vida Útil	1 año	6-10 años
Ahorro	-	>75%
Eficiencia	13 lúmenes/watt	70 lúmenes/watt

Nota. Fuente: (Pud, 2016)

La propuesta se basa en la sustitución de focos incandescentes, los cuales no proporcionan ahorro alguno en el consumo en comparación con los focos ahorradores, los cuales proporcionan un ahorro de más del 75%, los mismos que reducirán notablemente el consumo energético del hospital en lo que a iluminación se refiere. Este cambio proporcionará mayores prestaciones en cuanto a iluminación y tiempo de vida útil, a pesar de que el costo de los focos ahorradores es más elevado, estos gastan menos energía que un foco convencional ayudando así a la reducción de consumo.

5.5.7.3 Esquema eléctrico de conexión

Es necesario realizar la adecuación de las instalaciones existentes ya que el tubo LED T8 es compatible en dimensiones y encaja perfectamente en los armazones de cielo raso montados en toda la iluminación del hospital, se necesita eliminar los componentes que son indispensables para el funcionamiento del tubo fluorescente y efectuar ligeras modificaciones en la conexión, ya que el tubo LED muestra un circuito sencillo por lo que lo hace más eficaz energéticamente como indica la Figura 133, es recomendable

realizar el cambio por áreas para corroborar los resultados una vez que la iluminación sea utilizada en horario normal (cotidiano) y así obtener conclusiones de consumo, funcionamiento y vida útil.

- **Tubo fluorescente T10**

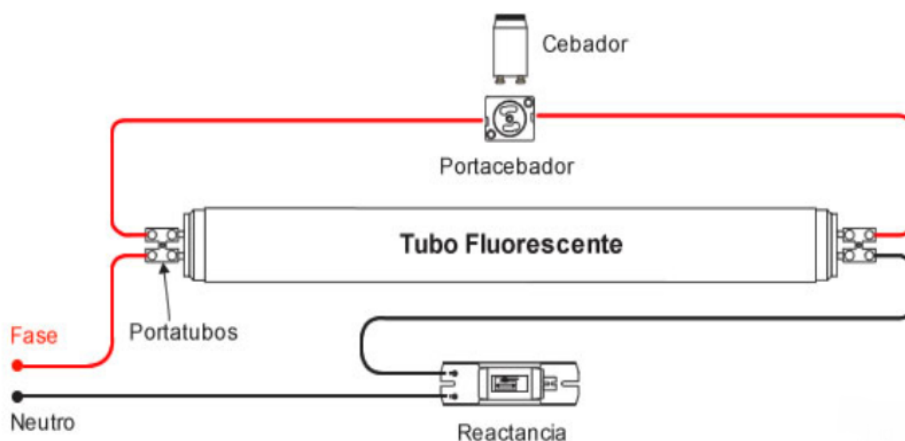


Figura 132. Conexión tubo fluorescente T10
Fuente: (LEDBOX, s.f.)

- **Tubo LED T8**

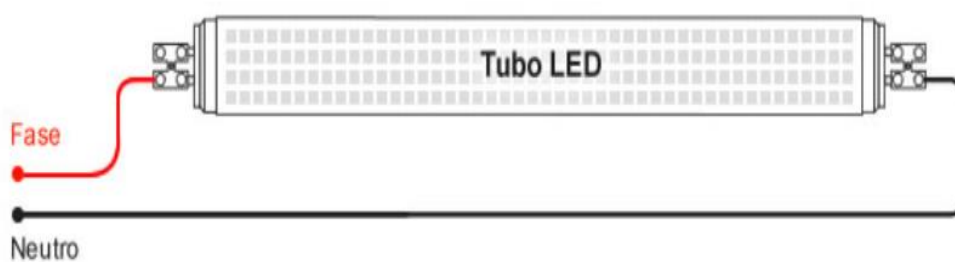


Figura 133. Conexión tubo LED T8
Fuente: (LEDBOX, s.f.)

5.5.7.4 Instalación, adecuación y colocación de nuevos tubos led para mejorar la eficiencia energética.

1. Comprobar que el área que se vaya a manipular no se encuentre alimentada para realizar el cambio de tubos de iluminación.

2. Retirar el tubo fluorescente y el balasto electrónico, este componente no es necesario para la conexión del tubo LED ya que consumen energía eléctrica por sí mismo y afecta al consumo energético.
3. Conectar directamente fase y neutro al extremo del tubo tal como lo indica el diagrama de conexión.
4. Comprobar si los tubos led encienden y no presentan flícker.

Ventajas del cambio a tubo LED

- Ahorro energético mayor al 50%.
- Ahorro en mantenimiento.
- Mayor vida útil.
- Mayor resistencia de los tubos.
- Reducción de consumo energético.
- Protección del medio ambiente (no está fabricado con productos químicos altamente peligrosos). (LEDBOX, s.f.)

5.5.7.5 Control de iluminación en zonas de uso poco frecuente.

La propuesta se plantea para solucionar el innecesario uso de luz eléctrica en iluminación de zonas poco frecuentadas en todas las instalaciones del hospital, mediante un estudio pormenorizado de opciones se opta por colocar sensores de movimiento infrarrojo automáticos en sectores ya analizados en la auditoría de primer orden lo cual trae un beneficio enorme en ahorro energético cumpliendo así la propuesta total de iluminación.

Los lugares específicos donde se debe colocar los sensores se encuentran entre los pasillos del subsuelo 1 y 2 así como los baños de dichas áreas que son lugares poco frecuentados por los trabajadores del área de mantenimiento y mínimamente por el área administrativa esto debido a que por lo general estos sectores se encuentran encendidos las 24 horas del día, dejando así un desperdicio total de iluminación que se ve reflejado en el consumo energético mensual y anual del hospital.

Tabla 66:
Características del sensor

Marca	Sensky
Modelo	ET033
Frecuencia	50-60 Hz
Voltaje de entrada	110-240 V/AC
Temperatura de trabajo	-20 a 40 °C
Tiempo de retardo	min: 10 sec+/-3sec, máx: 30min+/-2min
Carga nominal	1200W (lámpara incandescente) 300W (foco ahorrador)
Rango de detección	180 grados
Distancia de detección	9m máximo (<20 grados)
Velocidad de movimiento de detección:	0.6 - 1.5m / s
Luz ambiental	<3-2000 lux (ajustable)

Diagrama de conexión

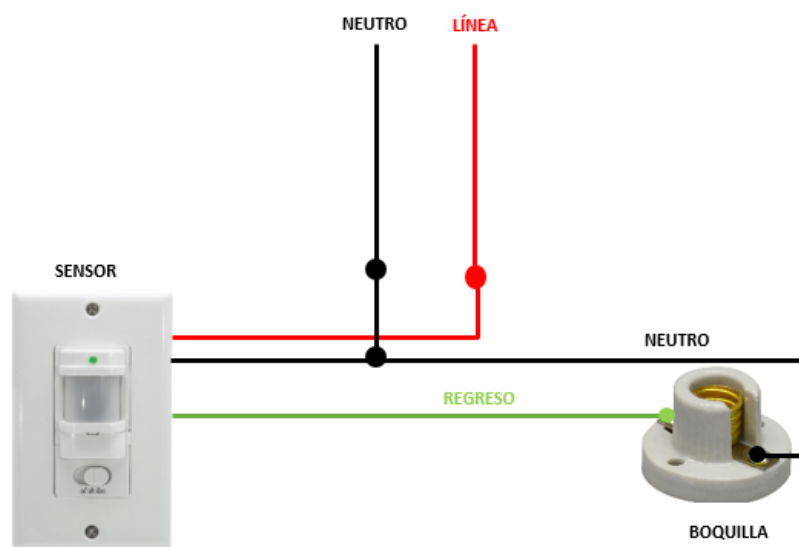


Figura 134. Conexión para iluminación en zonas de uso poco frecuente

Beneficios

Economía: Se consigue un importante ahorro en el consumo eléctrico ya que con estos sensores las lámparas se encienden únicamente en presencia de movimiento en el lugar instalado y cuando se requiere iluminación.

Ahorro de energía: Se obtiene un gran ahorro ya que la iluminación se enciende y se apaga mediante el sensor automáticamente evitando el desperdicio de electricidad e iluminación innecesaria en lugares poco frecuentados.

Seguridad: El sensor de movimiento al momento que una persona ingrese encenderá la luz, alarmando al personal de seguridad del ingreso indebido.

Practicidad: No es necesario una persona para manipular o controlar el funcionamiento de las luces, ya que funciona autónomamente mediante el sensor.

5.6 Alcances y limitaciones de la propuesta

5.6.1 Alcance

La propuesta planteada tiene como alcance contribuir a un consumo energético más eficiente de las instalaciones del Hospital del IEES General - Latacunga, al aplicar las soluciones planteadas para mejorar parámetros eléctricos y de consumo energético sin disminuir el confort de los usuarios del centro hospitalario.

Los aspectos puntuales que comprende la propuesta están referidas a la corrección de factor de potencia y atenuación de la contaminación armónica en los tableros de distribución secundarios que reciben energía eléctrica de los Tableros Principales de Emergencia (TPE-1 y TPE-2), y que corresponden a las siguientes áreas: Centro Quirúrgico, Neonatología, Rayos X-Mamografía, Tomografía y Bombas de agua.

La propuesta más valorada de iluminación tiene como fin la reducción del consumo eléctrico en zonas de uso poco frecuente y mediante el cambio total de lámparas ayudar a la reducción del consumo energético del hospital, se debe implementar una solución de alta eficiencia, pues la calidad no tiene costo, se trata de una inversión a largo plazo si se habla de la vida y salud de las personas.

En cuanto a la parte térmica se emitirá una serie de recomendaciones que permitan corregir y evitar desperdicios de acuerdo con el estado de las instalaciones encontrado al realizarse la auditoría de primer nivel.

5.6.2 Limitaciones

La carencia de un diagrama unifilar actualizado de las instalaciones eléctricas del Hospital dificulta identificar la ubicación de las posibles cargas que generen una mayor distorsión de la señal eléctrica, y que han sido añadidos en los últimos años.

La principal limitación de la propuesta radica que el estudio se particularizó en cinco áreas consideradas críticas dentro del funcionamiento del hospital, correspondiente a los tableros principales de emergencia anteriormente mencionados, ya que además existen los Tableros Principales (TP1 y TP2) que alimentan cargas que pueden ocasionar también algún tipo de distorsión de la señal eléctrica en los que solo se tomaron mediciones puntuales.

La limitación más grande en lo que a iluminación se refiere, es que en el hospital no existe un tipo exacto de iluminación por áreas, es decir, el cambio de lámparas defectuosas se lo realiza con lo que se encuentre a la vista, no hay un inventario bien planteado ni pormenorizado para el cambio que se requiere saliéndose así completamente de contexto.

La principal limitación en el sistema térmico es los años de servicio con los que cuenta el sistema generador de vapor ya que emplea tecnología poco

eficiente limitándonos a sugerir el mejoramiento de la calidad del aislamiento de las instalaciones para evitar fugas.

5.7 Evaluación socio-económica-ambiental de la propuesta

5.7.1 Corrección del factor de potencia y reducción de contaminación por armónicos de corriente.

Tabla 67:
Presupuesto de propuesta planteada

CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIT. [\$]	VALOR TOTAL [\$]
8	Condensadores de n uF	13,52	108,16
8	Inductor de n mH	5,32	42,56
10	Resistores de potencia	0,81	8,1
4	Gabinete de 30x20x15	25,46	101,84
6	Breakers monofásico	9,28	55,68
6	Luces piloto	1,75	10,5
1	Varios	150	150
3	Gastos de envío	35	105
TOTAL			581,84

5.7.2 Corrección de iluminación.

El costo promedio de los sensores de movimiento ET033 tiene un valor de \$7,64 y mediante el análisis realizado previamente se pretende instalar alrededor de 20 sensores comprendidos en todas las áreas del hospital.

$$\text{Valor sensores} = \# \text{sensores} * \text{precio}$$

$$\text{Valor sensores} = 20 * \$7,64$$

$$\text{Valor sensores} = \$152,8$$

La sustitución de 1742 lámparas fluorescentes y 102 focos incandescentes por tubos LED y focos ahorradores muestra un ahorro e inversión de:

Valor unitario tubo LED: \$5,38

Valor por centena tubo LED: \$4,84

*Valor inversión tubo LED : $1700 * \$4,84 + 42 * \$5,38$*

Valor inversión tubo LED : \$8453,96

Valor unitario ahorrador 20W: \$3

*Valor inversión ahorrador 20W : $102 * \$3$*

Valor inversión ahorrador 20W: \$306

Inversión total: \$8912,76

Tabla 68:
Ahorro energético y económico de la propuesta

Tipo de bombilla	Potencia bombilla	# bombillas	Potencia instalada	Precio Kw	Gasto económico	Ahorro
Tubo Fluorescente	96W	871	83,62kw	\$9,01	753,38	0%
Tubo LED	36W	871	31,36kw	\$9,01	282,52	62,5%
Foco Incandescente	75W	102	7,65kw	\$9,01	68,92	0%
Foco Ahorrador	20W	102	2,04kw	\$9,01	18,38	73,3%

5.7.3 Corrección Sistema Térmico

El hospital al contar en sus bodegas con material aislante de las tuberías del sistema generador de vapor, así como con el personal de mantenimiento capacitado el costo económico sería muy reducido siendo tan solo necesario la decisión de efectuar los cambios.

5.8 Validación de la hipótesis.

5.8.1 Simulación de filtros pasivo paralelo sintonizado (FPPS)

5.8.2 Área de neonatología (TE1-1)

5.8.2.1 Filtro línea 2 (TE1-1)

Una vez calculado los valores del filtro, se verifica su funcionamiento mediante la simulación en el programa PSCAD (Power System CAD) y que significa Diseño Asistido por Computador de Sistemas de Potencia (Carrillo González, 2004).

Para simular se emplea fuentes de corriente conectadas en paralelo, en las que cada una representa una señal armónica y la señal fundamental, el circuito empleado para las pruebas es el que se muestra en la Figura 135

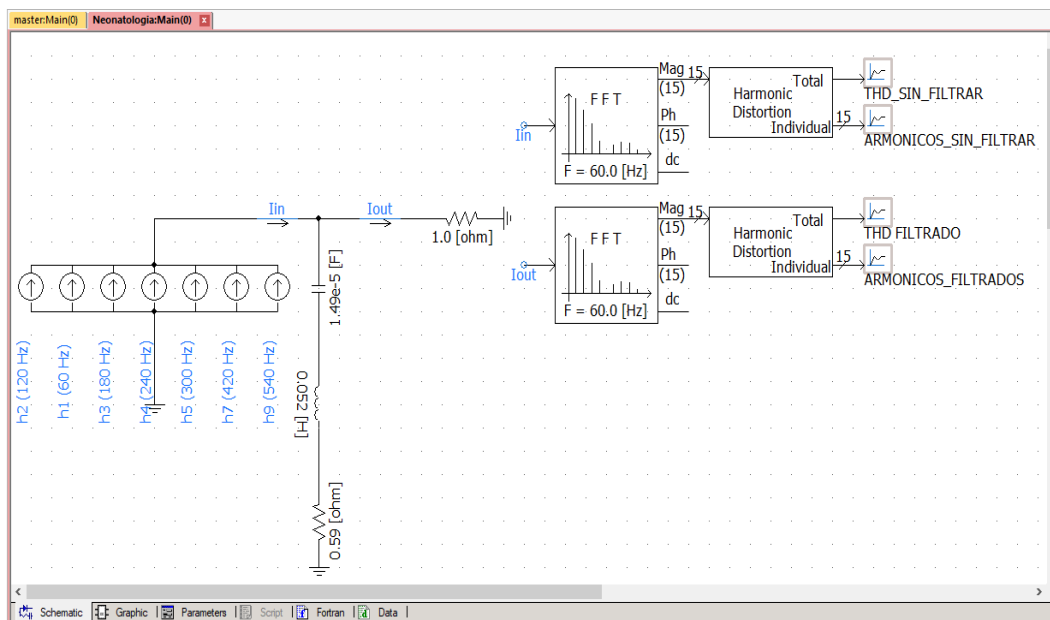


Figura 135. Simulación en PSCAD.

En la Tabla 69 se muestran los valores de la señal fundamental y las armónicas obtenidas en las mediciones con el analizador de redes FLUKE 1735 y las simuladas con el software PSCAD.

Tabla 69:
Armónicos medidos y simulados en línea 2 en área de Neonatología

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	100	100
2	5,24	5,09
3	26,36	26,28
4	1,39	1,22
5	7,92	7,68
7	2,14	1,95
9	0,43	0,29

A continuación, se muestra la gráfica de los armónicos de corriente simulados de la línea 2 del área de neonatología, antes de ser filtrada y la gráfica de los armónicos una vez aplicado el filtro pasivo paralelo sintonizado para atenuar la armónica de orden 3, que es la que se encuentra por encima del límite establecido por la norma.

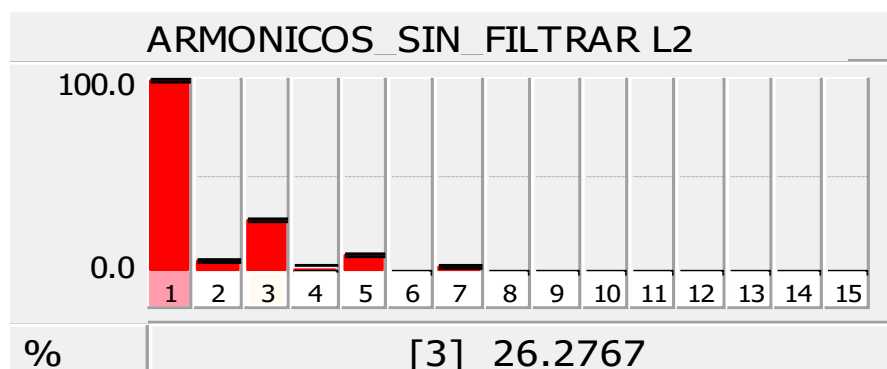


Figura 136. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. TE1-1.

En la Figura 137. Armónicos simulados filtrados Línea 2. TE1-1 se observa la atenuación alcanzada por la utilización del FPPS, reduciendo el porcentaje de amplitud relativa del tercer armónico del 26,27% al 9,30 %, mientras que el resto de armónicos mantienen sus valores iniciales.

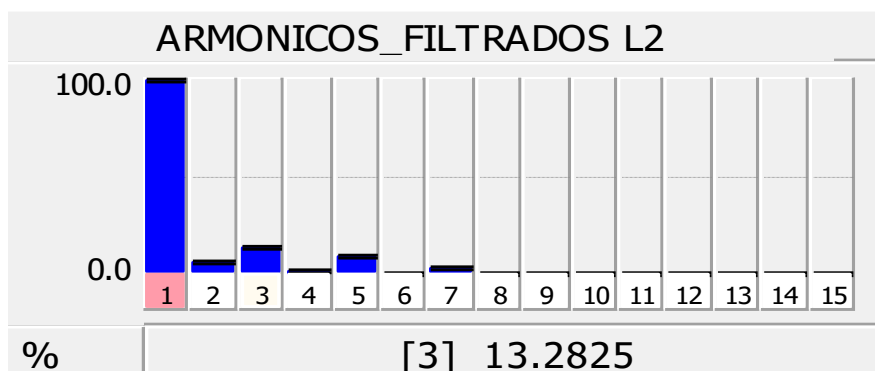


Figura 137. Armónicos simulados filtrados Línea 2. TE1-1

Con esta atenuación, el THD de corriente alcanzado es de 16,35%, lo cual está dentro del rango permitido.

La Tabla 70 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

**Tabla 70:
Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 de TE1-1**

Condición	THD Corriente	FP
Sin Filtro	28,15	0,84
Con Filtro	16,35	0,99

5.8.2.2 Filtro línea 3 (TE1-1)

En el caso de la línea 3 el THD de corriente medido, alcanza el 21,47%, y la armónica que va a ser atenuada es la de tercer orden. En la Tabla 71 se detalla la amplitud real de cada una de las armónicas medidas y las obtenidas en la simulación, para comprobar la fidelidad de la simulación y sus resultados.

Tabla 71:
Armónicos medidos y simulados en línea 3 del área de Neonatología

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	100	100
2	4,68	4,61
3	16,6	16,53
4	0,83	0,75
5	8,43	8,33
7	7,33	7,12
9	3,72	3,52
11	2,74	2,74
13	1,48	1,60
15	0,96	1,11

En la Figura 138 se indica el espectro de armónicos simulados con el valor del tercer armónico, que es el que necesita ser atenuado para reducir el THD de corriente.

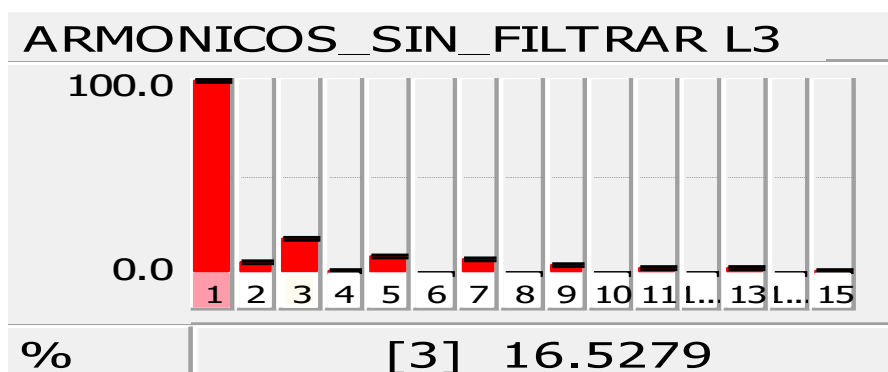


Figura 138. Armónicos simulados sin filtrar Línea 3. TE1-1

Los resultados obtenidos en la simulación con los valores calculados para el filtro se observan en la Figura 139, en la que la tercera armónica, reduce su amplitud al 7% de un 16,52% inicial.

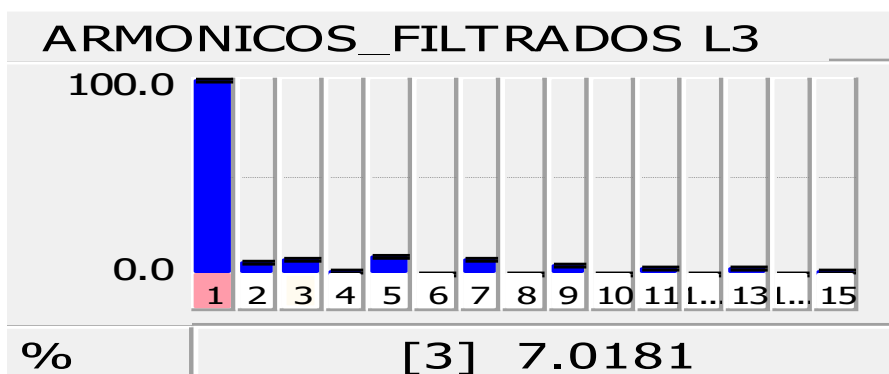


Figura 139. Armónicos simulados filtrados Línea 3. TE1-1

La Tabla 72 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

**Tabla 72:
Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 3 de TE1-1**

Condición	THD Corriente	FP
Sin Filtro	21,47	0,83
Con Filtro	14,6	0,99

5.8.3 Cuarto de bombas.

5.8.3.1 Filtro línea 2 (Cuarto de bombas de agua)

En la Tabla 73 se observa la amplitud relativa de los armónicos tanto medidos como simulados.

Mientras que en la Figura 140 se indica el espectro de armónicos simulados con el valor del tercer armónico, que debe ser atenuado para reducir el THD de corriente.

Tabla 73: Armónicos medidos y simulados en línea 2 del cuarto de bombas

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	100	100
3	29,17	29,04
5	14,09	13,89
7	8,74	8,54
9	5,45	5,30
11	2,26	2,23
13	0,84	0,92
15	0,32	0,46

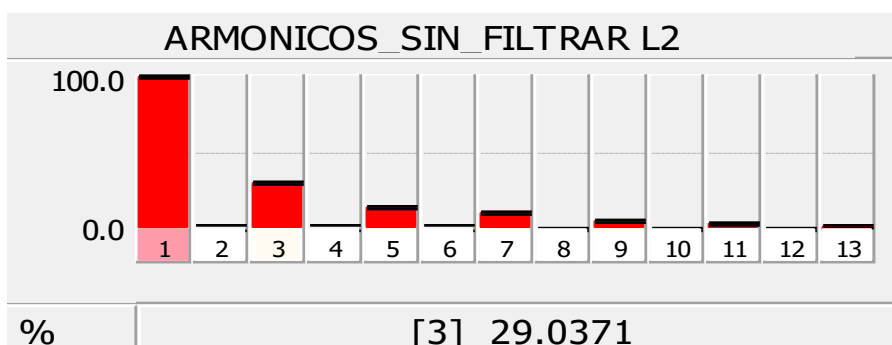


Figura 140. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. Bombas de agua.

Los resultados obtenidos en la simulación con los valores calculados para el filtro se observan en la Figura 141, en la que la tercera armónica, reduce su amplitud de 29% a un 14,4% que ya está dentro de los límites establecidos.

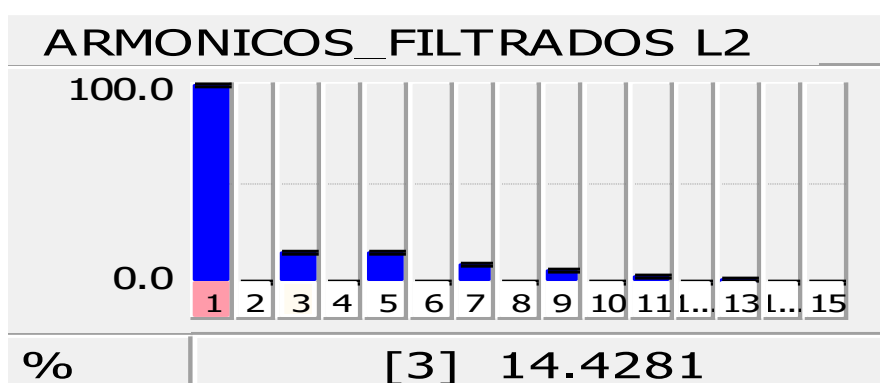


Figura 141. Armónicos simulados filtrados Línea 2. Bombas de agua.

La Tabla 74 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

Tabla 74:
Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 (Cuarto de Bombas).

Condición	THD Corriente	FP
Sin Filtro	34,08	0,68
Con Filtro	22,5	0,97

5.8.4 Centro quirúrgico (TES1-1).

5.8.4.1 Filtro línea 1 (TES1-1)

Tabla 75:
Armónicos medidos y simulados en línea 1 en TES1-1

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	100	100
2	2,22	2,15
3	22,91	22,79
5	15,40	15,22
7	5,36	5,18
9	1,75	1,63
11	1,34	1,32
13	0,45	0,54
15	0,74	0,82

La Tabla 75 permite observar la amplitud relativa de los armónicos presentes tanto medidos como simulados.

Y en la Figura 142 se indica el espectro de armónicos simulados con el valor del tercer armónico, que es el que necesita ser atenuado para reducir el THD de corriente.

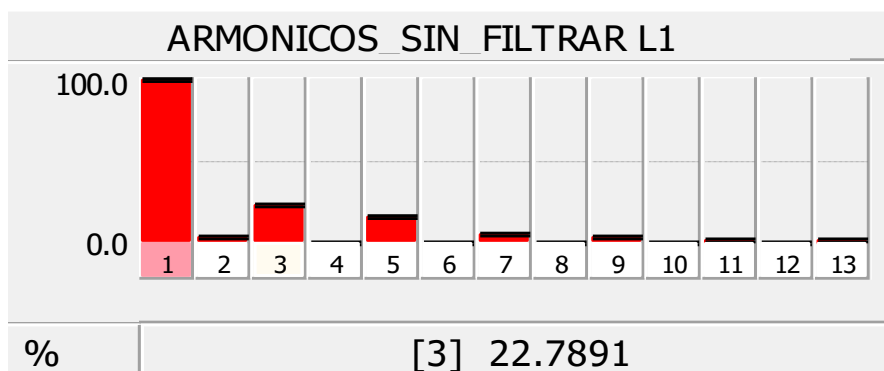


Figura 142. Armónicos simulados sin filtrar Línea 1. TES1-1.

Los resultados obtenidos en la simulación con los valores calculados para el filtro se observan en la Figura 143, en la que la tercera armónica, reduce su amplitud de 22,8% a un 14,4% que ya está dentro de los límites establecidos.

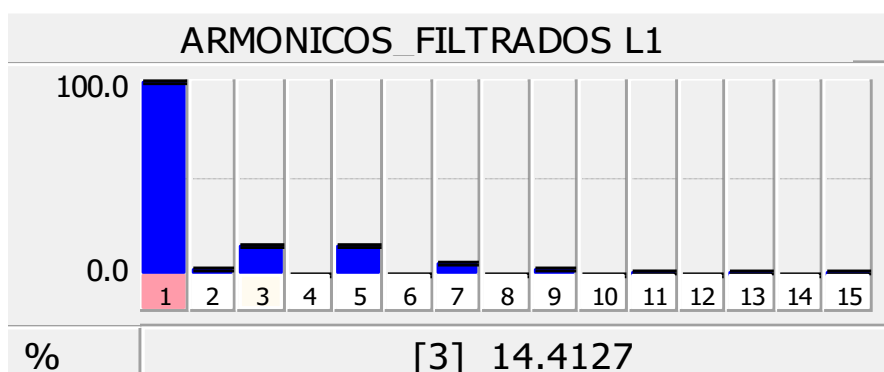


Figura 143. Armónicos simulados filtrados Línea 1. TES1-1.

La Tabla 76 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

**Tabla 76:
Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 1 de TES1-1**

Condición	THD Corriente	FP
Sin Filtro	28,54	0,96
Con Filtro	21,8	0,99

5.8.4.2 Filtro línea 2 (TES1-1)

La Tabla 77 permite observar la amplitud relativa de los armónicos presentes tanto medidos como simulados.

Tabla 77:
Armónicos medidos y simulados en línea 2 en TES1-1

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	100	100
2	2,94	2,88
3	20,19	20,09
4	1,33	1,21
5	9,90	9,75
7	2,04	1,89
9	0,42	0,33

En la Figura 144 se indica el espectro de armónicos simulados con el valor del tercer armónico, que es el que necesita ser atenuado para reducir el THD de corriente.

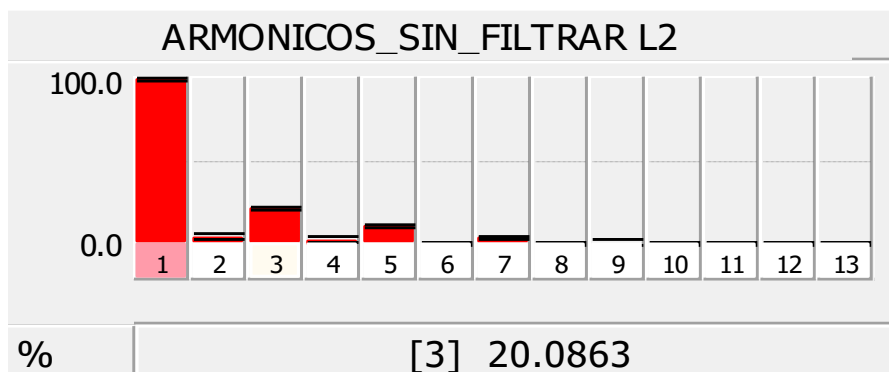


Figura 144. Armónicos simulados sin filtrar Línea 2. TES1-1.

Los resultados obtenidos en la simulación con los valores calculados para el filtro se observan en la Figura 145, en la que la tercera armónica reduce su amplitud de 20,1% a un 12% que ya está dentro de los límites establecidos.

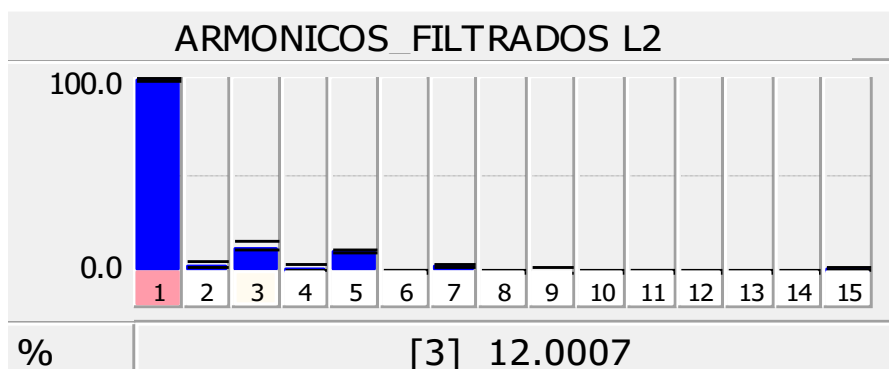


Figura 145. Armónicos simulados filtrados Línea 2. TES1-1.

La Tabla 78 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

**Tabla 78:
Mejoras obtenidas con FPPS en la línea 2 de TES1-1**

Condición	THD Corriente [%]	FP
Sin Filtro	22,8	0,96
Con Filtro	15,9	0,99

5.8.5 Área de Rayos X.

5.8.5.1 Filtro línea 2 y línea 3 (Rayos X)

La Tabla 79 permite observar la amplitud relativa de los armónicos presentes tanto medidos como simulados en el área de Rayos X y mamografía para corroborar la efectividad de la simulación.

Además en la Figura 146 se indica el espectro de armónicos simulados con el valor del tercer armónico, que es uno de los que necesita ser atenuado para reducir el THD de corriente, junto con el de quinto y séptimo orden, ya que estos armónicos superan el límite recomendado.

Tabla 79:
Armónicos medidos y simulados en líneas 2 y 3 del Área de Rayos X.

Orden Armónico h	Amplitud Relativa [%] Medida	Amplitud Relativa [%] Simulada
1	92,93	92,93
2	4,87	4,87
3	59,87	59,86
5	41,38	41,35
7	23,09	23,05
9	9,83	9,81
11	2,96	2,95
13	1,58	1,56
15	1,13	0,99
17	1,13	1,12

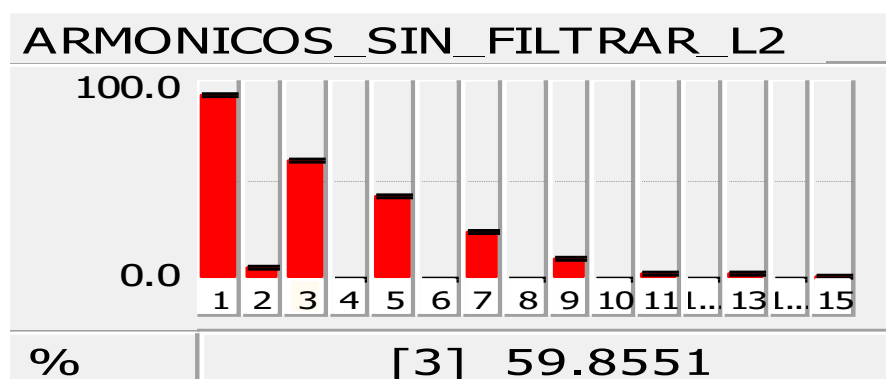


Figura 146. Armónicos simulados sin filtrar Líneas 2 y 3. Rayos X

Los resultados obtenidos en la simulación con los valores calculados para el filtro se observan en la Figura 147, en la que la tercera armónica, reduce su amplitud de 59.87% a un 43,03%, la amplitud del quinto orden se redujo de 41,38% a 9,255, y la amplitud del séptimo orden de 23,09% a 14,78%.

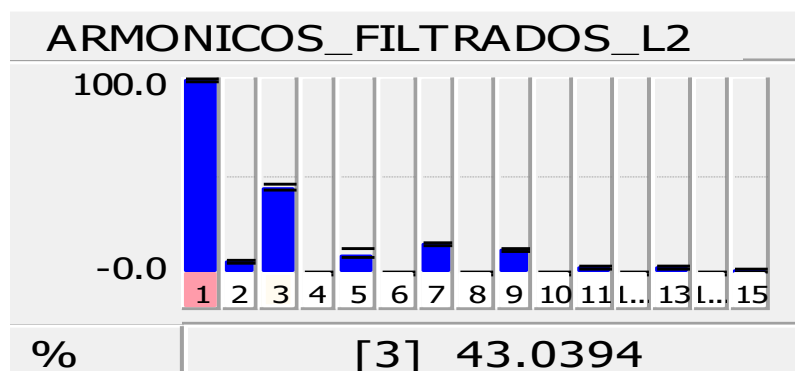


Figura 147. Armónicos simulados filtrados Líneas 2 y 3. Rayos X

La Tabla 80 permite observar la reducción alcanzada en el THD y la mejora del factor de potencia.

Tabla 80:
Mejoras obtenidas con FPPS en las líneas 2 y 3 del Área de Rayos X

Condición	THD Corriente	FP
Sin Filtro	85,33	0,66
Con Filtro	48	0,90

5.9 Conclusiones y Recomendaciones

5.9.1 Conclusiones

- Para lograr un consumo energético eficiente, la corrección del factor de potencia es un aspecto de suma importancia, y de acuerdo con los datos recogidos por la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi (ELEPCOSA), durante el periodo enero-diciembre del 2016, presenta un valor promedio de 0,94, superior al mínimo aceptado por la regulación del CONELEC 004/001; sin embargo en las mediciones efectuadas con el analizador de redes FLUKE 1735, se midió en ciertos subtableros que alimentan áreas fundamentales de las instalaciones hospitalarias, valores inferiores al establecido por la norma y que afectan a su correcto funcionamiento.
- Otro aspecto fundamental que tomar en cuenta en la obtención de la eficiencia energética, es la disminución de la contaminación armónica producidas por cargas no lineales a niveles aceptables; en el hospital la distorsión armónica de voltaje (THD V) en todos los puntos medidos se encuentran dentro del rango establecido por la regulación del CONELEC 004/001, mientras que la distorsión armónica de corriente (THD A) medida, alcanza valores superiores a los recomendados por la norma IEEE std 519-2014, y que son necesario atenuarlos.
- En las mediciones efectuadas se encontró que el armónico de tercer orden es el predominante, y principal causa de la distorsión armónica total de corriente, por lo que el filtro pasivo paralelo sintonizado se diseñó con el fin de atenuar dicho armónico, así como proporcionar la energía reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia.
- Una vez realizada la auditoría de primer orden en el área de calderas se constató que la automatización implementada en la zona de calderas permite alcanzar un consumo más eficiente del combustible a la vez que permite detectar los posibles desperfectos y variaciones de temperatura.
- Esta auditoría permitió detectar que existen fugas de vapor en el sistema debido sobre todo a la antigüedad de los equipos y las tuberías observando en ciertos casos un aislamiento deteriorado.

- La implementación de los sensores en áreas de uso poco frecuente permite obtener un ahorro energético muy grande ya que se reduce en muchas horas la iluminación innecesaria en estos sectores, esto se verá reflejado en el consumo energético mensual el cual irá bajando consecuentemente.
- En iluminación, los tubos LED es lo mejor que existe en el mercado ya sea por el ahorro en consumo de energía como en vida útil e iluminación, al realizar el cambio total de iluminación del hospital el confort no se ve afectado y el ahorro energético aumentará como un gran aporte para llegar a la eficiencia energética.
- Los tubos LED son las lámparas más seguras y recomendadas para ser utilizadas en hospitales ya que emiten una cantidad insignificante de rayos UV que son dañinos para la piel, por lo tanto, es importante distinguir que tipo de lámpara utilizar.

5.9.2 Recomendaciones

- Socializar los beneficios generados por un uso eficiente de la energía que consume el hospital, estableciendo políticas que incentiven el ahorro y el desarrollo de buenas prácticas en lo referente a la utilización sobre todo de la energía eléctrica, y recalcar que acciones tan simples como apagar las lámparas que no se utilicen, evitar dejar equipos en stand by, constituyen acciones que redundan en un eficiente consumo energético.
- Realizar una distribución más equilibrada de las cargas eléctricas en cada una de las líneas de los tableros eléctricos, para evitar desbalances en la corriente, que pueden provocar algún tipo de falla en los equipos del hospital.
- Es muy importante contar con un diagrama unifilar actualizado de las instalaciones eléctricas del hospital, que permita contar con información fidedigna de la distribución de las cargas eléctricas existentes en las instalaciones.
- Se necesita tomar en cuenta normas y estándares de iluminación para hospitales ya que existe zonas que necesitan tener un mayor grado de

luxes para que el especialista a cargo no tenga inconvenientes y se pueda preservar la salud de la persona que es el objetivo primordial.

- Realizar un inventario total de las luminarias existentes y el tiempo de vida útil de cada una de ellas para poder realizar un testeo final y así obtener valores reales de costo beneficio.
- Realizar un mantenimiento preventivo en las tuberías del sistema de calderas para evitar así las posibles fugas que influyan en el normal funcionamiento del sistema generador de vapor.
- Realizar un levantamiento actualizado del sistema térmico el cual permita identificar las posibles áreas que requieran con más necesidad un mantenimiento correctivo, así como determinar el estado actual del funcionamiento de las dos calderas al tratarse de equipos con varios años de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Barcón, S., Guerrero, R., & Martínez, I. (2012). *Calidad de la Energía. Factor de potencia y filtrado de armónicos*. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. ARCONEL. (2017). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas*. Quito. Recuperado el 16 de Enero de 2017, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>

Aguilar Romero, C. (2012). *Auditoría energética en el Hospital Julius Doepfner de la ciudad de Zamora*. Loja: Universidad Nacional de Loja. Recuperado el 23 de Septiembre de 2016, de dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12244

Aguirre Alarcón, L., & Herrera Churta, G. (2010). *Análisis de carga del Hospital San Vicente de Paúl de la ciudad de Ibarra y propuesta para el cumplimiento de la calidad de energía según Regulación No. CONELEC 004/001*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2095/1/05%20FECYT%201093%20TESIS.pdf>

American Power Conversión. (2005). *Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico*. Recuperado el 3 de Febrero de 2017, de https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/90432/mod_resource/content/1/Siete_tipos_de_problemas_en_el_suministro_electrico.pdf

Asociación de Normalización y Certificación, A.C. (2014). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. México: Conuee/GIZ. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/55467/ManualGestionEnergia_V2_1.pdf

Barriga, A. (s. f.). *Auditoría energética de un sistema de vapor*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf>

Becerra Palacios, E., & Riquetti Peralta, C. (2015). *Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas

ESPE. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10931>

Berrios Villalba, A. (Diciembre de 2016). Estudio de la calidad de la energía en el sistema eléctrico y su aplicación al sistema ferroviario. *Via libre técnica e investigación ferroviaria*(11), 104-105. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de http://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/VLTecnica11_ABerrios.pdf

Betancur Mesa, S. (2007). *e-URE*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/5/inicio.html>

Campos, J. C., Pérez, M. A., & Martínez, S. (2001). *Descripción, causas, efectos y solución de las perturbaciones en la red eléctrica*. Recuperado el 30 de Enero de 2017

Carrillo González, C. (2004). *Introducción al PSCAD*. Vigo. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de <http://carrillo.webs.uvigo.es/publicaciones/IntroduccionPSCAD.pdf>

Comunidad de Madrid. (s. f.). *Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid*. Madrid-España: Escan S.A. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-auditorias-energeticas-en-el-sector-industrial.pdf>

CONELEC. (2001). *Regulación No. CONELEC -004/01*. Quito. Recuperado el 26 de Mayo de 2017, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>

CONELEC. (2013). *CONELEC*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>

Corporación Interamericana de Inversiones (CII). (s. f.). *Reducción de facturación de combustibles fósiles a través del uso racional de la energía*. Recuperado el 2 de Abril de 2017

Deloitte. (2010). *Estudio sobre el mercado de la eficiencia energética en España*. Madrid-España: A3e. Recuperado el 16 de Enero de 2017, de <http://www.asociacion3e.org/documento/estudio-sobre-el-mercado-de-la-eficiencia-energetica-en-espana>

Endesa Energía. (2010). Medidas para la eficiencia energética. En F. d. Madrid, *Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales* (págs. 26-32). Madrid: Comunidad de Madrid. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-Ahorro-y-Eficiencia-Energetica-en-Hospitales-fenercom-2010.pdf>

España. (13 de Febrero de 2016). Relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y

auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. *Real Decreto 56/2016(38)*, 11655. Boletín Oficial del Estado. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2016-1460>

Fernández Faletto, F. J., & Toledo Arévalo, R. A. (2010). *Estado del arte en metodologías para el análisis de FLICKER y su relación con los interarmónicos*. Concepción-Chile. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2010/fernandez_f/doc/fernandez_f.pdf

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). (2010). *Asistencia Técnica y Capacitación para la Formación de Especialistas en Ahorro y Uso Eficiente de Energía Eléctrica de Guatemala*. México. Recuperado el 18 de Enero de 2017, de [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20\(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos).pdf)

FLUKE. (2006). *Manual de uso 1735 Power Logger*. Everett-EE.UU. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de http://assets.fluke.com/manuals/1735___umeng0100.pdf

García Sánchez, J. M. (2010). *La Norma UNE 216501:2009 Requisitos de las Auditorías Energéticas*. Madrid-España: AENOR. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19595/la-norma-une-2165012009-requisitos-de-las-auditorias-energeticas>

González Ortega, S. A. (2016). *Uso eficiente de energía eléctrica para el Hospital Básico de Yantzaza*. Loja: Universidad Nacional de Loja. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10814>

IDAE-CEI. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Hospitales y Centros de Atención Primaria*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Recuperado el 10 de Abril de 2017, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_hospitales_01_81a4cdee.pdf

IEEE. (2009). *IEEE Std 1159-2009. Práctica recomendada para el control de calidad de energía eléctrica*. New York-USA: IEEE-SA Standards Board. Recuperado el 28 de Enero de 2017, de <https://www.electrotek.com/wp-content/uploads/2017/03/table2.pdf>

IESS. (2016). *IESS*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <https://www.iess.gob.ec/es/web/afiliado/noticias>

Industrial Combustion. (2010). *D/LND Series. Installation, Operation, and Service Manual*. Monroe. Recuperado el 11 de Septiembre de 2017, de <http://www.ind-comb.com/documents/manuals/ServiceManuals/IC-SA-790%20D-LND%20Series%20Manual%202010-2010.pdf>

INEN. (2011). *Reglamento Técnico ecuatoriano RTE INEN 069 "Alumbrado Público"*. Quito. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/prte_069.pdf

Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

JGR Consultoría. (2016). *Evaluar la eficiencia energética: Auditoría Energética o Sistema de Gestión de la Energía*. Barcelona-España. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de *Evaluar la eficiencia energética: Auditoría Energética o Sistema de Gestión de la Energía*

LEDBOX. (s.f.). *LEDBOX news*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de www.ledbox.es

Llancamán Vidal, C. M., & Porflit Gutiérrez, D. F. (2007). *Desarrollo de un Manual de Auditorías Energéticas para Empresas y Edificios*. Valdivia-Chile. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfci1791d/doc/bmfci1791d.pdf>

Meléndez Frigola, J., Herraiz Jaramillo, S., & Colomer Llinás, J. (2005). Calidad de onda en el servicio eléctrico. *Automática e Instrumentación*(360), 93-96. Recuperado el 28 de Enero de 2017, de https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/2144/Calidad_onda_servicio.pdf?sequence=1

Mesa Mora, A. (12 de Febrero de 2015). Curso operador Calderas 2015. España. Recuperado el 28 de Junio de 2017, de <http://curso-operador-calderas-2016.blogspot.com.es/>

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). *Balance Energético Nacional*. Quito-Ecuador. Recuperado el 26 de Enero de 2017, de www.sectoresestrategicos.gob.ec

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). *Agenda Nacional de Energía 2016 - 2040*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00362.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. (2007). *Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas*. Colombia. Recuperado el 18 de Diciembre de 2016, de http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/URE/Auditorias_Energeticas.pdf

Moya, S. E., Vilar, J. N., & Kolodziej, J. E. (2013). Frequency and Total Harmonic Distortion Estimation Based on Adaptive Filters. *IEEE Latin America Transactions*, 11. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6502804/>

Núñez Salguero, F. M. (2005). *Repositorio Dspace*. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/4304>

Olivares Hernández, F. M. (2012). *El MATLAB, una herramienta para el análisis de armónicos en la calidad de la energía eléctrica*. Xalapa-Veracruz. Recuperado el 1 de Marzo de 2017, de <https://es.scribd.com/document/309884059/Analisis-de-Armonicos-en-la-Calidad-de-la-Energia-Elctrica-Por-Francisco-Miguel-Olivares-Hernandez>

P&S. Grupo de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) en Sistemas Eléctricos y Electrónicos de Potencia de la Universidad de Extremadura. (s. f.). *Calidad de servicio en un sistema eléctrico de potencia*. Badajoz-España. Recuperado el 28 de Enero de 2017, de <http://peandes.unex.es/%5Cformacion%5Cpeandes%5Ccalidad%20de%20servicio.pdf>

Pérez Miguel, Á. A., Bravo de Medina, N., & Llorente Antón, M. (2007). *La amenaza de los armónicos y sus soluciones*. Madrid-España: Paraninfo S.A. Recuperado el 10 de Febrero de 2017, de <https://es.scribd.com/document/210415193/La-Amenaza-de-los-Armonicos-y-sus-Soluciones-pdf>

Programa Nacional de mantenimiento y Equipamiento del Ministerio de Salud (PRONAME). (s. f.). *Guía de mantenimiento y redes de distribución de vapor*. Lima: Ministerio de Salud del Perú. Recuperado el 19 de Febrero de 2017, de <http://www.diresacusco.gob.pe/saludindividual/servicios/Normas/PRONIEM/Normas%20PRONIEM/Gu%C3%ADa%20Mantenimiento%20Redes%20de%20Distribuci%C3%B3n%20de%20Vapor.pdf>

Pud, F. (27 de Octubre de 2016). Obtenido de <https://www.franklinpud.com/index.php/energy-efficiency/led-lightbulbs/>

Ramírez Chávez, M. I. (2013). *Ahorro de energía por corrección del factor de potencia*. Santiago de Querétaro. Recuperado el 24 de Febrero de 2017, de <https://es.scribd.com/document/334190064/Proyecto-de-Tesis>

Rivera Orbea, E. (2016). *Informe de rendición de cuentas "HOSPITAL BÁSICO LATACUNGA"*. Latacunga. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de https://www.iess.gob.ec/es/cotopaxi2/-/document_library_display/3Enk/view/9525633/56294?_110_INSTANCE_3Enk_redirect=https%3A%2F%2Fwww.iess.gob.ec%2Fes%2Fcotopaxi2%2F-%2Fdocument_library_display%2F3Enk%2Fview%2F9525633%3F_110_INSTANCE_3Enk_redirect%3Dhttps

Sancha Gonzalo, J. L. (Septiembre-octubre de 2010). Concepto de ahorro y eficiencia energética: evolución y oportunidades. *Manuales de mecánica y electricidad*, 47. Recuperado el 17 de Junio de 2017, de https://revista-anales.icaei.es/web/n_4/pdf/seccion_9.pdf

Sankaran, C. (2002). *Power Quality*. Boca Ratón-Florida: CRC Press. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de

<https://books.google.com.ec/books?id=ePbLBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Sankaran,+C&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjEI9SqkfTXAhVhct8KHXCmCwkQ6wEIjAA#v=onepage&q=Sankaran%2C%20C&f=false>

Shepherd, W., & Zand, P. (1979). *Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits*. Cambridge University Press.

Silva, F., Freire, W., & Tirado, G. (s. f.). *Importancia de la auditoria energética en la mejora de la eficiencia en la industria PANECONS*. Latacunga: Universidad Tecnológica INDOAMÉRICA. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de http://www.uti.edu.ec/antiguo/documents/UTITallerEEresumen_Washington_Freire.pdf

Soltec. (s.f.). *Soltec. Soluciones tecnológicas de ahorro integral*. Recuperado el 7 de Agosto de 2017, de http://www.soltecasesores.com/fileadmin/redactor/LED/Que_ventajas_ofrece_el_tubo_LED.pdf

Superior Boiler Works, Inc. (2011). *Superior Boiler Works, Inc.* Hutchinson. Recuperado el 17 de Junio de 2017, de <http://www.superiorboiler.com/>

Sylvania. (2016). *Catálogo 2016 - 2017*. Recuperado el 21 de Julio de 2017, de <http://www.sylvania.com.ec/catalogos/catalogo-general-sylvania-2016-2017/>

Téllez Ramirez, E. (s. f.). *Calidad de la energía*. Puebla-México: AP & C. Recuperado el 27 de Enero de 2017, de <http://www.waterygymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Calidad%20de%20la%20Energia.pdf>

UCATEE. (s.f.). *Manual Eficiencia Energética para MYPES*. El Salvador: OEA. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de <http://portal.oas.org/LinkClick.aspx?fileticket=2DEPeTJl68k%3D&tabid=1887>

Viquez Barrantes, I. (2007). *Elaboración de una guía práctica para la evaluación de la calidad de energía dentro de C.N.F.L. (Primera parte: sistemas de aterrizamiento en Edificios)*. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Recuperado el 4 de Febrero de 2017, de <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0727t.pdf>

Zaavedra Ortiz, L. A. (2013). *Auditoría Energética en el Hospital Kokichi Otani de Vilcabamba*. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12077

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **Ronald Alexis Bonilla Silva y Wilson Bladimir Llanganate Quinatoa.**

En la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de Noviembre del 2017

ING. GALO ÁVILA

DIRECTOR DEL PROYECTO

APROBADO POR:

ING. FRANKLIN SILVA

DIRECTOR DE CARRERA

DR. RODRIGO VAÇA
SECRETARIO ACADÉMICO