



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA**

“Propuesta de balance de carga en los paneles eléctricos principales por centros de transformación del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería”

Autores:

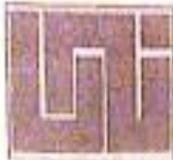
Br. Alip Alejandro Reyes Briceño

Br. Yassnher Israel Mejía Sanarrusia

Tutor:

Ing. Marlon Antonio Gutiérrez Granja

Managua, 27 de junio de 2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

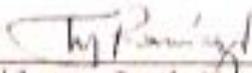
El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

REYES BRICEÑO ALIP ALEJANDRO

Carne: **2016-0870U** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de febrero del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,



Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

MEJIA SANARRUSIA YASSNHER ISRAEL

Carne: 2015-1309U Turno Nocturno Plan de Estudios 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y siete días del mes de enero del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





95.1

DECANATURA

Managua, 09 de septiembre de 2021

Brs. Yassnher Israel Mejía Sanarrusia
Alip Alejandro Reyes Briceño

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Propuesta de balance de carga en los paneles eléctricos principales por centros de transformación del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería**, para obtener el título de Ingeniero Mecánico y que contará con el Ing. Marlon Antonio Gutiérrez Granja como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


04/09/2021

MSc. César Antonio Arce Chavarría
Decano



Managua, 20 de mayo de 2022

Msc. Lester Artola Chavarria,

Decano de la FTI,

Sus manos.

Estimado Ingeniero Artola:

El motivo de la presente es hacer de su conocimiento que la tesis titulada: "Propuesta de balance de carga en los paneles eléctricos principales por centros de transformación del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería", esta lista para ser expuesta y defendida por los bachilleres:

Br. Alip Alejandro Reyes Briceño.

Br. Yassnher Israel Mejia Sanarrusia.

Sin mas que hacer referencia me despido de usted

Atentamente:



Ing. Marlon Antonio Gutiérrez Granja.

Docente UNI-CENTRAL



Universidad Nacional de Ingeniería

Managua, Nicaragua

Managua 23 de mayo 2022

Msc. Ing. Lester Artola Chavarria,
Decano de Facultad de Tecnología de la industria(FTI).
Su oficina.

Estimado Ing. Artola, reciba un cordial saludo.

Por este medio me dirijo a usted para hacer constar que los bachilleres, **Yassnher Israel Mejía Sanarrusia** con número de carnet 2015-1309U y **Alip Alejandro Reyes Briceño** con número de carnet 2016-0870U de la carrera de ingeniería mecánica de la facultad que usted dirige han culminado de manera exitosa el levantamiento de censo de carga, mediciones en bancos de transformadores y paneles eléctricos en la UNI-RUPAP. Con el fin de poder llevar acabo su estudio monográfico que lleva por tema: **Propuesta de balance de carga en los paneles eléctricos principales por centros de transformación del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería.**

Sin más que agregar me despido deseándole éxitos en sus labores.

Atentamente.



Ing. Donald Pérez Palma
Responsable de Servicios Generales RUPAP

DEDICATORIA

Primeramente, a **Dios** por habernos permitido llegar a este punto tan importante en nuestras vidas y habernos dado sabiduría para lograr nuestros objetivos.

A **nuestros padres** por brindarnos su amor, su apoyo incondicional, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido alcanzar este gran logro.

Al **personal de mantenimiento** del recinto Pedro Arauz Palacios por habernos ayudado a obtener los datos necesarios para realizar nuestro estudio.

A todas las personas que conocimos a lo largo de estos años que brindaron su apoyo y nos ayudaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Esto es por cada uno de ustedes y por las personas que hoy no están!

Alip Alejandro Reyes Briceño.

Yassnher Israel Mejía Sanarrusia.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por habernos permitido realizar este trabajo, dándonos vida, salud e inteligencia para culminar esta etapa tan importante en nuestras vidas.

A nuestros padres y familiares quienes han sido un ejemplo de superación y lucha durante nuestra vida, quienes nos han alentado a perseguir nuestros sueños para convertirlos en logros, realidades y nunca darnos por vencidos.

A todas y cada una de las personas que nos ayudaron directa e indirectamente en la realización de nuestro estudio monográfico.

Alip Alejandro Reyes Briceño.

Yassnher Israel Mejía Sanarrusia.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar un nuevo balance de carga energético en el recinto universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería, en el cual se realizaron mediciones y se recopiló información para plantear nuevas propuestas para un uso eficiente de la energía eléctrica en este recinto.

El presente documento contiene los resultados del diagnóstico energético desarrollado durante el segundo semestre del año 2021. Para ello, se tomó como base de recopilación de datos (demanda de potencia y consumo eléctrico) por medio de un analizador de calidad de energía (FLUKE 1437) que se instaló y registró datos de monitoreo durante 24 horas.

Se evaluaron las actuales condiciones de los centros de transformación donde se detectaron fallas en el sistema eléctrico donde muchos equipos ya dieron su vida útil, dando a conocer el déficit de las instalaciones del sistema eléctrico.

El desarrollo de dicho estudio en todo momento se verá enfocado por la regulación de normas internacionales, en base de las diversas mediciones efectuadas en los puntos de interés, se planteará las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio que evite el deterioro de los sistemas eléctricos y disminuya la facturación eléctrica provocada por los desbalances de corriente en los paneles eléctricos principales.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES	3
III.	OBJETIVOS	5
IV.	JUSTIFICACIÓN	6
V.	MARCO TEÓRICO.....	7
4.1.	PARÁMETROS ELÉCTRICOS	7
4.1.1.	DIFERENCIA DE POTENCIAL ELÉCTRICO	7
4.1.2.	CORRIENTE ELÉCTRICA	7
4.1.3.	POTENCIA ELÉCTRICA	8
4.2.	FACTOR DE POTENCIA	8
4.2.1.	POTENCIA ACTIVA	9
4.2.2.	POTENCIA APARENTE	9
4.3.	PROBLEMAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA	10
4.4.	FACTOR DE CARGA	10
4.5.	PLIEGOS TARIFARIOS	11
4.5.1.	TARIFA ELÉCTRICA	13
4.5.2.	FACTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	13
4.6.	RED ELÉCTRICA	16
4.7.	ELEMENTOS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO	16
4.7.1.	CONDUCTORES ELÉCTRICOS	16
4.7.2.	BREAKERS ELÉCTRICOS	16
4.7.3.	PUESTA A TIERRA	17
4.8.	TRANSFORMADORES	17
4.8.1.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUIRIR UN TRANSFORMADOR	18
4.9.	TIPOS DE TRANSFORMADORES	19
4.10.	CONEXIÓN EN LOS TRANSFORMADORES	20
4.10.1.	CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA	20
4.10.2.	CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA	20
4.10.3.	CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA	21
4.10.4.	CONEXIÓN DELTA-DELTA	21
4.11.	TIPOS DE CARGA	21
4.11.1.	CARGAS LINEALES	21
4.11.2.	CARGAS NO LINEALES	21
4.12.	DESBALANCE DE VOLTAJE	22
4.13.	DESBALANCE DE FASE POR CORRIENTE	22
4.14.	DISTORSIÓN ARMÓNICA	23
4.15.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL	24
4.16.	NORMATIVA NICARAGÜENSE E INTERNACIONAL RELACIONADA AL DESBALANCE DE CARGA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS	24
4.17.	NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	24
4.18.	ESTRUCTURA DE LA NORMATIVA DE LA CALIDAD EN NICARAGUA	25

4.19.	NORMATIVA DE CALIDAD DE ENERGÍA	26
4.19.1.	NORMA EN50160	26
4.19.2.	ESTÁNDAR IEEE 519-1992	27
4.20.	INSTRUMENTACIÓN POR UTILIZAR	29
4.20.1.	ANALIZADOR DE REDES	29
4.20.2.	PINZAS AMPERIMÉTRICAS	30
4.20.3.	LUXÓMETROS	31
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
5.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #1 DE 50 KVA	32
5.1.1.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	33
5.1.2.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	34
5.1.3.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA DEL CNEG	35
5.1.4.	CONSUMO DE ENERGÍA	35
5.1.5.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	36
5.2.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #1 DE 75KVA MONOFÁSICO	37
5.2.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #01 DE 75KVA.	37
5.2.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	37
5.2.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	38
5.2.4.	CÁLCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	39
5.2.5.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA	40
5.2.6.	CONSUMO DE ENERGÍA	41
5.2.7.	ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #01	41
5.3.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #2 DE 225kVA TRIFÁSICO	42
5.3.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #02	42
5.3.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	42
5.3.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	43
5.3.4.	CÁLCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	44
5.3.5.	CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO	46
5.3.6.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA	48
5.3.7.	CONSUMO DE ENERGÍA	48
5.3.8.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	49
5.4.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #3 DE 500kVA TRIFÁSICO	50
5.4.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #03	50
5.4.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	51
5.4.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	51
5.4.4.	CÁLCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL DEL COMEDOR	52
5.4.5.	AHORRO ENERGÉTICO	54
5.4.6.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA	56
5.4.7.	CONSUMO DE ENERGÍA	56
5.4.8.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	57

5.5.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #4 DE 175kVA MONOFÁSICO	58
5.5.1.	EDIFICIO JULIO GUEVARA	58
5.5.1.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04	58
5.5.1.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	59
5.5.1.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	59
5.5.1.4.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA	60
5.5.1.5.	CONSUMO DE ENERGÍA	61
5.5.1.6.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	61
5.5.2.	EDIFICIO COMEDOR	62
5.5.2.1.	POTENCIA ACTIVA KW DE SUMINISTRO DEL COMEDOR CORRESPONDIENTE AL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04	62
5.5.2.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	63
5.5.2.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	63
5.5.2.4.	CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	64
5.5.2.5.	AHORRO ENERGÉTICO	65
5.5.2.6.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA.	67
5.5.2.7.	CONSUMO DE ENERGÍA	68
5.5.2.8.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	68
5.5.3.	ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04	69
5.6.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #5 DE 3X75kVA TRIFÁSICO	70
5.6.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA A BIBLIOTECA	70
5.6.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	70
5.6.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	71
5.6.4.	CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	72
5.6.5.	AHORRO ENERGÉTICO	73
5.6.6.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA.	75
5.6.7.	CONSUMO DE ENERGÍA	76
5.6.8.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	76
5.7.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #6 DE 3X100kVA TRIFÁSICO	77
5.7.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA (FTI)	77
5.7.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	78
5.7.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	78
5.7.4.	CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	79
5.7.5.	AHORRO ENERGÉTICO	81
5.7.6.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA	83
5.7.7.	CONSUMO DE ENERGÍA	84
5.7.8.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	84
5.8.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #7 DE 3X37.5kVA TRIFÁSICO	85
5.8.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO JULIO PADILLA	85
5.8.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	85
5.8.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	86
5.8.4.	AHORRO ENERGÉTICO	87

5.8.5.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA	89
5.8.6.	CONSUMO DE ENERGÍA	90
5.8.7.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	90
5.9.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #8 DE 3X75KVA TRIFÁSICO	91
5.9.1.	MARLON ZELAYA LADO NORTE	91
5.9.1.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO NORTE	91
5.9.1.2.	VOLTAJE DE SUMINISTRO	92
5.9.1.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA	92
5.9.1.4.	CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL	93
5.9.1.5.	AHORRO ENERGÉTICO	95
5.9.1.6.	CONSUMO DE ENERGÍA	97
5.9.1.7.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL	97
5.9.2.	MARLON ZELAYA LADO SUR	98
5.9.2.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO SUR	98
5.9.2.2.	VOLTAJE DE SUMINISTRO	98
5.9.2.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA	99
5.9.2.4.	AHORRO ENERGÉTICO	100
5.9.2.5.	CONSUMO DE ENERGÍA	102
5.9.2.6.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL	102
5.9.3.	MARLON ZELAYA LADO #3	103
5.9.3.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO #3	103
5.9.3.2.	VOLTAJE DE SUMINISTRO	103
5.9.3.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA	104
5.9.3.4.	CONSUMO DE ENERGÍA	104
5.9.3.5.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL	105
5.9.4.	ESTADO GENERAL DEL BANCO DE TRANSFORMADOR DEL MARLON ZELAYA.	105
5.10.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #9 DE 3X75KVA TRIFÁSICO	106
5.10.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA A LABORATORIOS DE BIOMASA	106
5.10.2.	ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #9	106
5.11.	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #10 DE 3X25KVA TRIFÁSICO	108
5.11.1.	POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL ÁREA DE BIOMASA, BLOQUERA Y POZO	108
5.11.2.	VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES	108
5.11.3.	ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS	109
5.11.4.	AHORRO ENERGÉTICO	110
5.11.5.	ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA	112
5.11.6.	CONSUMO DE ENERGÍA	113
5.11.7.	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)	113
VI.	CONCLUSIONES.....	115
VII.	RECOMENDACIONES	117
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
	ANEXOS.....	120

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva de carga del centro de transformación #01, 50 kVA	41
Gráfico 2. Voltaje de fase del panel principal del centro de transformación #01, 50 kVA	42
Gráfico 3. Corrientes de línea en el panel principal del centro de transformación #01, 50 kVA	43
Gráfico 4. Curva de carga resultado de la medición al panel principal del centro de transformación #01, 50 kVA	45
Gráfico 5. Curva de carga de centro de transformación #01, 75 kVA	47
Gráfico 6. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #01, 75 kVA	48
Gráfico 7. Corrientes de línea en panel principal del centro de transformación #01, 75 kVA	49
Gráfico 8. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #01, 75 kVA	50
Gráfico 9. Curva de carga de potencia de centro de transformación #02	52
Gráfico 10. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #02	53
Gráfico 11. Corrientes de línea en el panel principal del centro de transformación #02	54
Gráfico 12. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #02	58
Gráfico 13. Curva de factor de potencia del centro de transformación #02	59
Gráfico 14. Curva de carga de potencia del centro de transformación #03	61
Gráfico 15. Voltajes de fase del centro de transformación #03	62
Gráfico 16. Corrientes de línea en panel principal del centro de transformación #03	63
Gráfico 17. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #03	67
Gráfico 18. Curva de factor de potencia del centro de transformación #03	68
Gráfico 19. Curva de carga del centro de transformación #04	70
Gráfico 20. Voltajes de fase de panel principal, Julio Guevara, centro de transformación #04	71
Gráfico 21. Corriente de línea en el panel principal edificio Julio Guevara, centro de transformación #04	72
Gráfico 22. Curva de Carga del panel principal Julio Guevara, centro de transformación #04	73
Gráfico 23. Curva de factor de potencia del panel principal edificio Julio Guevara	74
Gráfico 24. Curva de carga del comedor, centro de transformación #04	76
Gráfico 25. Voltajes de fase del panel principal del comedor, centro de transformación #04	77
Gráfico 26. Corriente de línea en el panel principal del comedor	78
Gráfico 27. Curva de carga del panel principal del comedor	81
Gráfico 28. Curva de factor del panel principal del comedor	82
Gráfico 29. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #05	84
Gráfico 30. Voltajes de fase de panel principal de la biblioteca	85
Gráfico 31. Corriente de línea del panel principal del centro de transformación #05	86
Gráfico 32. Curva de carga del panel principal centro de transformación #05	90
Gráfico 33. Curva de factor de potencia del panel principal del centro de transformación #05	91
Gráfico 34. Curva de carga en el panel principal del centro de transformación #06	93
Gráfico 35. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #06	94
Gráfico 36. Corriente de línea del centro de transformación #06	95
Gráfico 37. Curva de carga del centro de transformación #06	99
Gráfico 38. Curva de factor de potencia del centro de transformación #06	100

Gráfico 39. Curva de carga de potencia en el centro de transformación #07	101
Gráfico 40. Voltajes de fase del centro de transformación #07	102
Gráfico 41. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #07	103
Gráfico 42. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #07	106
Gráfico 43. Curva de factor de potencia del panel principal del centro de transformación #07	107
Gráfico 44. Curva de carga en el panel principal del centro de transformación #08 Norte	109
Gráfico 45. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #07	110
Gráfico 46. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #08 Norte	111
Gráfico 47. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #08, Sur	116
Gráfico 48. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #08 Sur	117
Gráfico 49. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #08 Sur	118
Gráfico 50. Curva de carga de panel principal del centro de transformación #8	122
Gráfico 51. Voltajes de fase del panel principal #3 del edificio Marlon Zelaya	123
Gráfico 52. Corriente de línea en el panel principal #3 del Marlon Zelaya	124
Gráfico 53. Curva de carga de potencia del centro de transformación #09	126
Gráfico 54. Curva de factor de potencia del panel principal del centro de transformación #09	127
Gráfico 55. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #10	129
Gráfico 56. Voltajes de fase de alimentación del panel principal del centro de transformación #10	130
Gráfico 57. Corriente de línea en el panel principal del edificio #10	131
Gráfico 58. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #10	134
Gráfico 59. Curva de factor de potencia del centro de transformación #10	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los transformadores	28
Tabla 2. Límites de voltajes armónicos para sistemas de alimentación de BT y MT, EN50160	36
Tabla 3. Límites de distorsión armónica de corriente IEEE 519-1992	37
Tabla 4. Límites de distorsión armónica de tensión, IEEE 519-1992	37
Tabla 5. Consumo de energía del centro de transformación #01, 50 kVA	46
Tabla 6. Tasas de distorsión armónicas, centro de transformación #01, 50 kVA	46
Tabla 7. Consumo de energía del centro de transformación #01, 75 kVA	51
Tabla 8. Estado General del centro de transformación #01	51
Tabla 9. Consumo de energía del centro de transformación #02	59
Tabla 10. Tasas de distorsión armónicas, centro de transformación #02	60
Tabla 11. Consumo de energía del centro de transformación #03	68
Tabla 12. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #03	69
Tabla 13. Consumo de energía centro de transformación #04, Julio Guevara	74
Tabla 14. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #04	75
Tabla 15. Consumo de energía del comedor, centro de transformación #04	82
Tabla 16. Tasas de distorsión armónica del comedor, centro de transformación #04	83
Tabla 17. Estado General del centro de transformación #04	84

Tabla 18. Consumo de energía, centro de transformación #05	91
Tabla 19. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #05	92
Tabla 20. Consumo de energía centro de transformación #06	99
Tabla 21. Tasas de distorsión armónicas centro de transformación #06	100
Tabla 22. Consumo de energía del centro de transformación #07	106
Tabla 23. Tasas de distorsión armónicas del centro de transformación #07	107
Tabla 24. Consumo de energía del centro de transformación #08 Norte	114
Tabla 25. Tasa de distorsión armónica del centro de transformación #08	115
Tabla 26. Consumo de energía del centro de transformación #08, Sur	120
Tabla 27. Tabla de distorsión armónica del centro de transformación #08 Sur	121
Tabla 28. Consumo de energía del centro de transformación #08, panel principal #3	124
Tabla 29. Tasas de distorsión armónica del panel principal #3, edificio Marlon Zelaya	125
Tabla 30. Estado General del centro de transformación #08	126
Tabla 31. Estado General del centro de transformación #09	127
Tabla 32. Consumo de energía, centro de transformación #10	134
Tabla 33. Tasas de distorsión armónica del centro de transformación #10	136

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo monográfico expone los hallazgos, análisis y propuestas de mejoras del balance de carga en los paneles eléctricos por centros de transformación en base al estudio realizado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP).

Este estudio consiste en realizar un análisis completo de las instalaciones eléctricas de una institución pública, para obtener información objetiva sobre la carga instalada y consumo de energía eléctrica, de manera que contemple la valoración tanto de aspectos técnicos como económicos que influyen en el consumo eléctrico de toda la instalación y de cualquier otro equipo consumidor de energía, siendo su objetivo principal detectar deficiencias por desbalance de carga y proponer medidas de mejoras que reduzcan el desbalance y mejoren la eficiencia energética.

El Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios está dividido en tres facultades las cuales son: Facultad de Tecnología de la Industria (FTI), Facultad de Ciencias y Sistema (FCYS) y la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC).

Cada facultad cuenta con sus aulas de clase en sus respectivos edificios y en estos se encuentran distintos equipos consumidores de energía eléctrica como equipos de iluminación, equipos frigoríficos, equipos electrónicos, etc. De igual manera, este recinto tiene laboratorios en donde la demanda de potencia aumenta mucho en comparación con las aulas de clases ya que en estos se encuentran equipos industriales eléctricos cuya demanda de potencia es alta.

Para poder satisfacer la demanda de potencia se necesitan centros de transformación y el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP) cuenta con dos tipos de bancos de transformadores: monofásicos y trifásicos de diversas capacidades. Cada centro de transformación está designado a una cierta área de distribución.

La potencia eléctrica necesaria para cumplir con las demandas es abastecida por los distintos centros de transformación, los cuales están interconectados en las líneas de distribución de los recintos para abastecer la demanda de potencia de todos los consumidores.

Mediante la distribución correcta de la potencia de la carga suministrada por los bancos de transformadores se puede aprovechar de manera eficiente la potencia suministrada por estos. Es importante saber que toda mala distribución de los consumidores puede sobrecargar los centros de transformación de su diseño de fábrica o pueden estar sobredimensionados si alimentan a pocos consumidores desperdiciando toda la potencia instalada.

Para que cada centro de transformación cumpla con sus funciones de diseño de manera eficiente, además de una buena distribución de sus consumidores instalados, se necesita de una red de distribución que cumpla con todos los requerimientos debidos tales como: el material adecuado de acuerdo con el tipo de condición del clima en que estará instalado, el calibre recomendado para soportar los distintos bloques de energía desde el centro de transformación a los consumidores.

II. ANTECEDENTES

La Universidad Nacional de Ingeniería fue fundada un 07 de febrero de 1983, con el objetivo de ser una casa de estudios superiores especializada en la enseñanza de las Ingenierías y Arquitectura en Nicaragua, siendo heredera de la tradición ingenieril (1941) y arquitectónica (1964) de nuestro país.

Cuenta con cinco recintos a nivel nacional, entre ellos se encuentra el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios en la ciudad de Managua, el cual cuenta con tres facultades las cuales son: Facultad de Tecnología de la Industria (FTI), Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC) y Facultad de Ciencias y Sistemas (FCYS).

Cada una de las facultades, aulas de clases, laboratorios, oficinas administrativas, comedores y bibliotecas tienen destinados centros de transformación con un rango entre 25 kVA y 500 kVA, los cuales, si su carga no está correctamente balanceada, podría crear un desbalance energético lo que se traduce a un incremento en la factura eléctrica y también contaminación ambiental.

En el año 2010, el Centro de Producción Más Limpia (CPML) realizó un estudio en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios en donde se determinó que el 38% de las unidades de climatización se encontraban en mal estado, las cuales representaban el 70% del consumo de energía total.

El estudio determinó que el 10% de los bancos de transformadores se encuentran sobrecargados de su capacidad de diseño. Por consiguiente, este estudio incluyó propuestas de mejoras para garantizar un uso eficiente de la energía entre las cuales está: realizar planes de mantenimiento para las unidades y planes de mantenimiento para los equipos eléctricos, haciendo mayor énfasis en los equipos de climatización.

Luego de realizar este estudio, el Centro de Producción Más Limpia propuso ciertas recomendaciones de un plan de mejora continua y de esta forma lograr la mejora de la eficiencia energética. Entre estas recomendaciones estaba capacitar a los empleados y estudiantes de los recintos sobre temas de ahorro de energía,

ubicar rótulos a lo largo de los pasillos con recomendaciones de ahorro de energía, desconexión de los equipos al finalizar la jornada laboral y los fines de semana.

Este estudio del CPML determinaba que implementando estas recomendaciones los gastos de consumo energético se podrían reducir en un 56%.

Al realizar este estudio, se pretende obtener los resultados del consumo actual del recinto y proponer oportunidades de mejora.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

1. Presentar una propuesta de balance de carga por corriente eléctrica en el panel principal de cada centro de transformación existente en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería, para disminuir las pérdidas energéticas o eléctricas por desbalance reflejadas en la factura eléctrica del recinto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Verificar los centros de transformación existentes en las instalaciones con sus características correspondientes para la identificación de las áreas que alimenta cada banco de transformador y sus respectivas modificaciones hasta la fecha.
2. Efectuar las mediciones en los paneles generales por cada centro de transformación para la actualización del balance general de carga actual.
3. Mostrar la propuesta de balance de carga por corriente en cada centro de transformación evaluada de forma técnica, económica y ambiental.

IV. JUSTIFICACIÓN

Desde su punto de vista físico, la energía eléctrica es la manifestación de una corriente eléctrica causada por una diferencia de potencial eléctrico. Este tipo de energía se ha vuelto una pieza fundamental para el desarrollo de un país desde el punto de vista social, económico y tecnológico.

El uso eficiente de la energía eléctrica significa realizar las mismas actividades aprovechando al máximo la energía eléctrica. Ser eficientes energéticamente ayuda a que un país y/o sus inversores ahorren significativamente al reducir el consumo energético debido a que se gasta menos en la obtención de la energía.

El presente estudio tiene un enfoque cualitativo, y la finalidad de este es analizar el desbalance de carga en los paneles eléctricos principales en cada centro de transformación, del cual se busca la obtención de datos como el voltaje, la intensidad, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, pérdidas energéticas, entre otros.

Además, se pretende elaborar una propuesta de balance de carga por corriente eléctrica en cada centro de transformación evaluada de forma técnica, económica y ambiental, para disminuir las pérdidas energéticas por desbalance reflejadas en la factura eléctrica del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP)

Este estudio nos permitirá conocer la situación energética actual del Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP), y al proponer la mejora de la eficiencia en la potencia consumida, disminuirá el consumo de esta, lo cual beneficia económicamente a la institución consumidora.

V. MARCO TEÓRICO

El Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) cuenta con 11 centros de transformación que alimentan distintos tipos de consumidores, entre estos están aquellos dispositivos que trabajan con 110 V como computadoras, cafeteras, lámparas, entre otros. De igual manera se encuentran dispositivos que trabajan con 220 V como aires acondicionados y equipos de laboratorio.

Muchos de estos dispositivos consumidores tienen toda la información que se requiere en su ficha técnica y aquellos que no tienen esta información disponible muestran su potencia. Con la información de la ficha técnica, se requiere el uso de los parámetros eléctricos indicados en esta para calcular su consumo nominal. A continuación, se detallarán cuáles son los parámetros por utilizar:

4.1. PARÁMETROS ELÉCTRICOS

4.1.1. DIFERENCIA DE POTENCIAL ELÉCTRICO

El voltaje o diferencia de potencial eléctrico (V) es la magnitud que se encarga de mantener la diferencia de cargas positivas y negativas entre dos puntos de un circuito. (Macmillan, 2018).

Cuando dos puntos, entre los que existe una diferencia de cargas, se unen con un medio conductor, se produce un movimiento de electrones desde el punto con mayor carga negativa al punto con carga positiva. Esta corriente cesa cuando ambos puntos igualan sus cargas o cuando se interrumpe el circuito. (Macmillan, 2018).

4.1.2. CORRIENTE ELÉCTRICA

La intensidad o corriente eléctrica (I) es la velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo, medida en amperes (A). (Alexander, C. K., & O., S. M., 2018).

También se le conoce como corriente eléctrica a la circulación de electrones por unidad de tiempo que recorren a través de un material siempre del polo negativo al polo positivo de una fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM).

4.1.3. POTENCIA ELÉCTRICA

Potencia es la variación respecto del tiempo de entrega o absorción de la energía, medida en watts (W). (Alexander, C. K., & O., S. M., 2018).

El valor del watt dependerá del voltaje al que está sometido un consumo y de la intensidad que lo atraviesa. Su fórmula es:

$$P = V * I \quad (1)$$

4.2. FACTOR DE POTENCIA

De acuerdo con el Diccionario de Términos Eléctricos y Electrónicos del IEEE (1977) y como se puede apreciar en la ecuación 2 e ilustración 1, "el factor de potencia es el cociente de la relación del total de watts entre el total de volt-amperes RMS (root-mean-square, valor medio cuadrático o valor efectivo), es decir, la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. Cuando la corriente y el voltaje son funciones sinodales y Φ es el ángulo de desfaseamiento entre ellos, el coseno de Φ es el factor de potencia (f.p.)". Entonces el factor de potencia depende del desfaseamiento entre el voltaje y la corriente, que a su vez depende de la carga conectada al circuito. (Bratu, N. & Campero. E., 1995).

Su ecuación es la siguiente:

$$f.p = \frac{\text{Potencia Activa (P)}}{\text{Potencia Aparente (S)}} = \frac{V * I * \cos\Phi}{V * I} = \cos\Phi \quad (2)$$

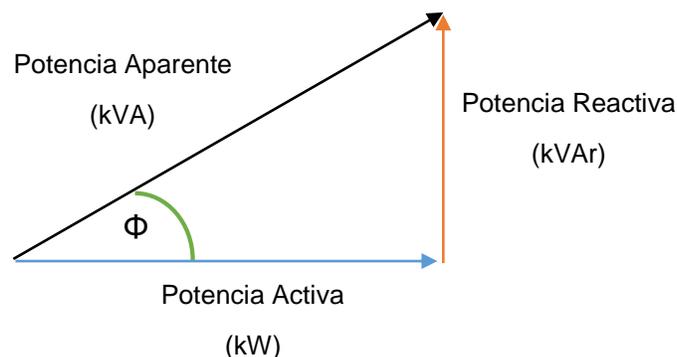


Ilustración 1. Interpretación gráfica del factor de potencia

Fuente: Elaboración Propia

La importancia del factor de potencia es que evita el desperdicio de energía en las instalaciones eléctricas, esto se logra eliminando el efecto de las corrientes reactivas por las instalaciones, que provocan pérdidas de energía en los conductores eléctricos por calor y caídas de tensión. Para poder calcular el factor de potencia se requiere dos conceptos que se derivan de potencia eléctrica descritos a continuación:

4.2.1. POTENCIA ACTIVA

La potencia en un circuito eléctrico se define como la velocidad de transferencia de energía desde el generador a la resistencia. Esta es unidireccional, o sea, que no se devuelve de la resistencia hacia el generador, sino que se disipa en la resistencia en forma de energía calorífica. (Ruiz, 1991).

La potencia activa (P) representa la “potencia útil” que realmente se aprovecha cuando ponemos a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo, convirtiendo la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química.

La potencia activa se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$P = S * \text{Cos}\varphi = V * I * \text{Cos}\Phi$$

(3)

V: Valor eficaz de la tensión.

I: Valor eficaz de la corriente

CosΦ: Factor de potencia (comprendido entre 0 y 1).

S: Potencia Aparente.

4.2.2. POTENCIA APARENTE

Como se puede observar en la ilustración 1, la potencia aparente (S) es la suma de la potencia activa y la potencia reactiva. Estas dos potencias representan la potencia que se toma de la red de distribución eléctrica, que es igual a toda la potencia que entregan los generadores de las plantas eléctricas. Su fórmula es:

$$S = V * I \quad (4)$$

4.3. PROBLEMAS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

En Nicaragua toda empresa con un factor de potencia inferior a 0.85 recibe un recargo en su facturación. Tener un valor inferior a este produce los siguientes problemas:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
- Incremento de la facturación eléctrica producto de las multas.

Para el cálculo de bajo factor de potencia se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Recargo } F. = (\text{Importe de Energía Activa (Punta + Valle)} + \text{Importe de Demanda}) * (f.p \text{ permitido} - f.p \text{ registrado}) \quad (5)$$

4.4. FACTOR DE CARGA

Factor de carga corresponde a la relación entre la demanda promedio de un período establecido con respecto a la demanda máxima del mismo período de análisis. (Aillón, 2010; Ramírez, 2000). Su ecuación es la siguiente:

$$f.c = \frac{D(t) \text{ prom}}{D(t) \text{ max}} \quad (6)$$

Donde:

f.c: Factor de Carga.

D (t) Prom: Demanda promedio.

D (t) Max: Demanda máxima.

El factor de carga tiene valores comprendidos entre 0 y 1, considerando el valor de 1 como el factor de carga ideal, esto se da cuando la demanda máxima y la demanda promedio son iguales por ejemplo, si se tiene un factor de carga de 0.2, este mostrará una curva de la demanda diaria con un gran número en variaciones con respecto a la demanda pico, por lo contrario, si los valores que se aproximan a 1 por ejemplo, se tiene un factor de carga de 0.9, este mostrará una curva de la demanda diaria con menor número de variaciones con respecto a la demanda pico. (Quezada & Reyes, 2015; Ramírez, 2000).

4.5. PLIEGOS TARIFARIOS

En Nicaragua la entidad que se encarga del mercado eléctrico nacional es el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), el cual es quien da a conocer las tarifas aplicables a los componentes de consumo de energía eléctrica o la demanda de potencia activa, de acuerdo con la modalidad de facturación de cada empresa, industria, irrigación, etc.

Actualmente en Nicaragua, el pliego tarifario se encuentra segmentado según el tipo de aplicación y el nivel de tensión, existen en total 27 pliegos diferentes para Baja Tensión (ver ilustración 1) y 22 pliegos diferentes para Media Tensión (ver ilustración 2). Dependiendo de la tarifa a la cuál es sujeta el cliente y la ubicación geográfica se le asignará el valor para el cobro de algunos rubros como: alumbrado público, comercialización y financiamiento.

Las siguientes ilustraciones muestran los diferentes pliegos tarifarios vigentes en nuestro país, su clasificación y aplicación, y los cargos que se cobran.

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE FEBRERO DE 2022
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

BAJA TENSION (120,249 y 480 V)					
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CARGO POR	
				ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.4136	
			Sigüientes 25 kWh	5.7734	
			Sigüientes 50 kWh	6.0531	
			Sigüientes 50 kWh	8.0459	
			Sigüientes 350 kWh	8.1629	
			Sigüientes 500 kWh Adicionales a 1000 kWh	12.9652 14.7719	
GENERAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Centros de Recreación, etc.)	T-1	TARIFA MONOMIA 0-150 kWh	5.4375	
			> 150 kWh	8.4871	
		T-1A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	6.1522	733.0692
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Hospitales, etc.)	T-2	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	6.3620	
			kW de Demanda Máxima		758.3377
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-3	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	7.4126	
			TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	5.2285	
		T-3A	kW de Demanda Máxima		696.4079
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 kW y hasta 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	5.7646	
			kW de Demanda Máxima		687.1674
INDUSTRIAL MAYOR	Carga contratada mayor de 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-5	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	5.9523	655.6520

Ilustración 2. Pliego tarifario baja tensión

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía (INE)

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE FEBRERO DE 2022
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

MEDIA TENSION (VOLTAJE PRIMARIO EN 13.8 Y 24.9 kV)					
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CARGO POR	
				ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas Centro de Salud, Hospitales, etc)	T-2D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	6.2159	913.2742
			TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Verano Punta Invierno Punta Verano Fuera de Punta Invierno Fuera de Punta	10.1182 9.7957 6.9919 6.7574	1,016.9041
		T-2E	Verano Punta		0.0000
			Invierno Punta		635.0727
			Verano Fuera de Punta		0.0000
			Invierno Fuera de Punta		0.0000
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 y hasta 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	5.1415	585.3610
			TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Verano Punta Invierno Punta Verano Fuera de Punta Invierno Fuera de Punta	7.5384 7.2923 5.0111 4.8446	757.3881
		T-4E	Verano Punta		473.0063
			Invierno Punta		0.0000
			Verano Fuera de Punta		0.0000
			Invierno Fuera de Punta		0.0000
INDUSTRIAL MAYOR	Carga contratada mayor de 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc)	T-5D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	5.2745	609.4915
			TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Verano Punta Invierno Punta Verano Fuera de Punta Invierno Fuera de Punta	7.7967 7.5426 5.1517 4.9827	789.3447
		T-5E	Verano Punta		492.9568
			Invierno Punta		0.0000
			Verano Fuera de Punta		0.0000
			Invierno Fuera de Punta		0.0000
PEQUEÑAS CONCESIONARIAS	Para uso exclusivo de pequeñas distribuidoras de energía eléctrica	TPC	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	4.2762	

Ilustración 3. Pliego tarifario media tensión

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía (INE)

4.5.1. TARIFA ELÉCTRICA

Son los precios que se aplican al consumo de energía eléctrica, se da a través de un contrato de la empresa eléctrica y el consumidor. Existen diferentes factores que influyen en la tarifa eléctrica, entre los principales se encuentran:

- Demanda eléctrica
- Oferta de generación.
- Los precios de los combustibles.
- Los derechos arancelarios.

4.5.2. FACTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Documento utilizado por la empresa de distribución para el cobro de consumo de energía eléctrica y pago de este por parte del cliente o consumidor. Según el capítulo 6.3: Contenido de la Factura, de la Resolución N° 006-2000, Normativa de Servicio Eléctrico (NSE 6.3.2). La factura debe incluir como mínimo la siguiente información:

1. Nombre o razón social de la empresa de distribución.
2. Nombre o razón social del cliente y número de identificación.
3. Número de medidor y su factor multiplicador.
4. Número de la factura.
5. Fecha de emisión de la factura.
6. Fecha de entrega (por medio de sello al dorso).
7. Fecha de vencimiento de la factura.
8. Código y nombre de la tarifa aplicada.
9. Lectura anterior y actual de los medidores de energía y demanda máxima, según corresponda. Si la medición es estimada, deberá ponerse una nota en la factura indicando "ESTIMADO".
10. Mes de consumo.

11. Periodo de consumo.
12. Carga contratada.
13. Carga demandada.
14. Factor de potencia y recargo en córdobas, de corresponder.
15. Cargo fijo y su valor en córdobas.
16. Cargos por capacidad contratada y su valor en córdobas, de corresponder.
17. Cargos variables por consumo, consumo facturado (en kWh) y su valor en córdobas.
18. Recargos, tasas o impuestos aplicados.
19. Débitos o créditos.
20. Cargo de Alumbrado Público.
21. Valor total de la factura.
22. Histórico de consumo (promedio 6 meses).
23. Cargo por regulación.
24. Cargo por impuesto municipal.
25. Cargo por comercialización.
26. Ajuste por uso de combustibles (si lo hubiera).

A continuación, se detallarán y explicarán los principales componentes de la factura:

- **Energía:** Importe en córdobas correspondiente al consumo de energía del periodo.
- **Demanda:** Importe en córdobas correspondiente a la potencia máxima demandada en el periodo de facturación (solo aplicable a tarifas binomiales).
- **Factor de potencia:** Cargo por factor de potencia. Se aplica solo a servicios con medición de reactiva cuando el factor de potencia registrado es menor

de 0.85. Para el cálculo de bajo factor de potencia se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Recargo F.P.} =$$

$$\frac{(\text{Importe Energía Activa (punta + valle)} + \text{Importe de demanda})}{365}$$

$$* (\text{F.P permitido} - \text{F.P registrado}) \quad (7)$$

- **Cargo por comercialización:** Costo fijo asociado a los servicios de lectura de medidores, facturación y cobro.
- **Alumbrado público:** Importe correspondiente al servicio de alumbrado público que esté ubicado a 100 metros a la redonda de la ubicación del suministro.
- **Regulación INE:** Cargo del 1% sobre los conceptos de: energía activa demanda (si aplica), bajo factor de potencia (si aplica). alumbrado público, comercialización.
- **Impuesto general al valor (IVA):** Retención del 15% aplicable a todas las tarifas, sobre los siguientes conceptos. energía activa, demanda (si aplica), bajo factor de potencia (si aplica), alumbrado público, comercialización, regulación INE.
- **Interés por financiamiento:** Interés sobre cuota de acuerdo que se aplica después del segundo pago. El interés de aplicación será del 12 % anual. Adicionalmente se cobra un 5% de cargo por deslizamiento cuya ecuación es la siguiente:

$$\text{Interés por financiamiento} =$$

$$\frac{(\text{monto de cuota cancelada}) * (\% \text{ interes} + \text{cargo}) * (\text{DTEFP\&AC})}{365} \quad (8)$$

Donde DTEFP&AC: Días transcurridos entre la fecha de pago y alta del acuerdo.

- **Recargo por mora:** Son los cargos correspondientes a los intereses generados por el pago retrasado de facturas vencidas. Se calcula sobre el importe de la factura en mora que se va a pagar, por el interés anual (18%)

entre 365 días y por los días que tiene de mora desde la fecha de vencimiento hasta la fecha de cancelación. Su ecuación es la siguiente:

$$\text{Cargo por mora} = \frac{(\text{importe a cancelar}) * (\% \text{ interes anual}) * \text{días de mora}}{365} \quad (9)$$

4.6. RED ELÉCTRICA

Una red eléctrica es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores. Consiste de tres componentes principales, las plantas generadoras que producen electricidad de combustibles fósiles (carbón, gas natural, biomasa) o combustibles no fósiles (eólica, solar, nuclear, hidráulica), las líneas de transmisión que llevan la electricidad de las plantas generadoras a los centros de demanda y los transformadores que reducen el voltaje para que las líneas de distribución puedan entregarle energía al consumidor final.

4.7. ELEMENTOS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

4.7.1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos son normalmente hilos metálicos de cobre blando o endurecido, de aluminio u otro material metálico. Se encuentran en forma de alambre o de cable, los cuales se usan para conducir la corriente eléctrica desde la fuente de energía hasta la carga. (Ramírez José Leonardo 2008)

Los conductores normalmente son de baja resistencia eléctrica y deben ser fuertes y flexibles; se emplean en instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales.

4.7.2. BREAKERS ELÉCTRICOS

Los breakers eléctricos son interruptores automáticos que cortan el paso de la corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones, tales como altibajos de tensión.

Al contrario de los fusibles, que son de un solo uso, un disyuntor o breaker eléctrico se puede reconectar siempre que las causas que lo activaron se hayan resuelto.

Características de los breakers eléctricos:

- Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásicos o trifásicos
- Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo
- Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir
- Poder de cierre: Intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños
- Número de polos: La cantidad de conectores que podemos conectar al dispositivo

4.7.3. PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra es una parte básica de cualquier instalación eléctrica, y tiene como objetivo:

- Limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra.
- Asegurar la actuación de las protecciones.
- Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

4.8. TRANSFORMADORES

Según (Ivanov-Smolenski) se llama transformador al convertidor inductivo estático que consta de dos o más devanados mutuamente fijos y acoplados inductivamente entre sí y destinados para transformar los parámetros de energía eléctrica alterna (tensión, corriente, frecuencia, número de fases) mediante la inducción electromagnética.

El transformador es un conjunto de bobinas (mínimo dos) acopladas por un campo magnético que fluye en un núcleo (acero con pequeños porcentajes de silicio). Se utilizan para: cambiar los valores de voltaje y corriente entre un circuito y otro, aislar eléctricamente un circuito de otro, adaptar impedancias entre la salida de un circuito y la entrada de otro.

Generalmente entre los devanados no existe ninguna conexión eléctrica y la energía se transfiere de un devanado a otro mediante el acoplamiento magnético existente entre ellos.

Según el número de fases los transformadores se clasifican en monofásicos, trifásicos y polifásicos. El transformador como convertidor de energía eléctrica tiene un empleo bastante amplio. Con ayuda de los transformadores se efectúa la transformación de energía eléctrica desde las centrales eléctricas hasta sus consumidores. En dichas transmisiones el nivel de las tensiones debe cambiar repetidamente. Por esta razón, la potencia total instalada de los transformadores en los sistemas eléctricos modernos, sobrepasan entre 5 a 7 veces la potencia instalada de los generadores.

Los transformadores se construyen de acuerdo con las especificaciones técnicas o en correspondencia con los requerimientos de los estándares y están destinados por la fábrica productora para ejecutar completamente determinadas funciones en la transformación de la energía eléctrica.

La frecuencia, las corrientes, tensiones, potencias y otros parámetros, referentes al régimen de funcionamiento para el cual el transformador ha sido destinado por el constructor se llaman nominales.

La frecuencia nominal (f_{nom}) de las magnitudes armónicamente variables (corriente y tensiones) para los transformadores de empleo usual es de 50 Hz en la URSS, en algunos otros países 60 Hz, como, por ejemplo, Nicaragua.

Las corrientes nominales se determinan de acuerdo a la potencia y a la tensión nominal del devanado, para un transformador monofásico, para la corriente de línea del transformador, para la corriente de fase de un transformador trifásico.

4.8.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ADQUIRIR UN TRANSFORMADOR

Cuando llega el momento de adquirir un transformador se debe acudir a las especificaciones técnicas del fabricante para verificar cual es el equipo que se adecúa a nuestras necesidades, estas especificaciones son las siguientes:

- Tipo de transformador.
- Tipo de Instalación (Exterior o Intemperie).
- Condiciones ambientales de servicio (temperatura ambiente, humedad relativa, altitud máxima sobre el nivel del mar, velocidad del viento, polución del aire).
- Frecuencia nominal
- Potencia nominal (kVA) del transformador
- Tensión nominal en vacío
- Corriente en vacío
- Tensiones de cortocircuito

4.9. TIPOS DE TRANSFORMADORES

Existe una diversidad de maneras de clasificar los transformadores eléctricos, estos pueden clasificarse de la siguiente manera según la tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de los transformadores

Según su tipo de aplicación	Transformadores de potencia
	Transformadores de distribución
	Autotransformadores
	Transformadores de corriente
	Transformadores de voltaje
Según su tipo de núcleo	Acorazado
	Columna
Según tipo de tensión	Monofásico
	Trifásico
Según tipo de instalación	Interior
	Intemperie

Según elemento refrigerante	En seco
	Húmedo
	Convección Natural
	Convección Forzada
Según tipo de tensión en el secundario	Elevadores
	Reductores

Fuente: Máquinas Eléctricas (Martínez López José Raúl)

4.10. CONEXIÓN EN LOS TRANSFORMADORES

4.10.1. CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA

Se considera ventajosa cuando han de enlazarse dos sistemas de tensiones relativamente altas. No existe desplazamiento de fase entre las tensiones del primario y el secundario.

La desventaja que existe si la carga está desbalanceada, es que los voltajes de las fases del transformador pueden llegar a desbalancearse severamente y los voltajes de terceros armónicos pueden ser grandes.

4.10.2. CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA

Esta conexión no presenta problemas con los componentes de terceros armónicos de tensión, puesto que estos dan lugar a una corriente circulante en el lado conectado delta. La conexión se comporta razonablemente bien bajo cargas desequilibradas, ya que el triángulo redistribuye parcialmente el desequilibrio que se presente.

Este tipo de conexión se adapta particularmente bien a transformadores en sistemas de alta tensión en el extremo reductor de tensión de línea.

4.10.3. CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

Esta conexión se utiliza como transformador elevador en las redes de alta tensión, el empleo de la conexión Y en la parte de alta tensión, permite poner a tierra el punto neutro, con lo que queda limitado el potencial sobre cualquiera de las fases a la tensión simple, reduciendo costos de los devanados de alta tensión.

Esta conexión es también muy utilizada en los transformadores de distribución, correspondiendo a la Y a baja tensión. De modo de alimentar cargas trifásicas y monofásicas. La conexión Delta en alta tensión compensa los desequilibrios en cargas monofásicas.

4.10.4. CONEXIÓN DELTA-DELTA

Esta se utiliza en transformadores de baja tensión, ya que se necesita más espiras/fase de menor sección. Se comporta bien frente a cargas desequilibradas.

La ausencia de un neutro puede ser a veces una desventaja.

4.11. TIPOS DE CARGA

4.11.1. CARGAS LINEALES

Cuando se aplica un voltaje senoidal directamente a cargas tales como resistencias, inductancias, capacitores o una combinación de ellos, se produce una corriente proporcional que también es senoidal, por lo que se les denominan cargas lineales. (Téllez, 2000).

Una carga lineal es aquella que demanda corriente en forma sinusoidal, también se puede denominar como aquella carga que al aplicarle un voltaje sinusoidal demanda corriente de la misma manera (sinusoidal).

4.11.2. CARGAS NO LINEALES

Una carga no-lineal es aquella que demanda corriente en forma de onda no sinusoidal. También se podría considerar como aquella carga que al aplicarle un voltaje sinusoidal demanda corriente de forma sinusoidal.

La curva característica corriente – voltaje de la carga define si es o no lineal su comportamiento y no se debe pensar que todos los equipos que tienen semiconductores por definición son no lineales. (Téllez, 2000).

4.12. DESBALANCE DE VOLTAJE

Un desbalance en el voltaje es definido algunas veces como la máxima desviación del promedio de los voltajes o de las corrientes trifásicas, dividida por el promedio de los voltajes o de las corrientes trifásicas y expresado en por ciento.

En un sistema, lo ideal es tener un balance del 0%, es decir que no exista desbalance, pero dado a que esto es prácticamente imposible de lograr, se tiene algunas normas en consideración que dan lugar a un rango máximo. La IEEE 1159-2014 capítulo 1, Fundamentos de la calidad de energía, tabla 2, inciso 4, menciona los rangos de desbalances permitidos para voltaje (2%).

La fuente principal de desbalances mayores al 2% en el voltaje, es tener cargas monofásicas en un circuito trifásico. El desbalance en el voltaje puede también ser el resultado de que se fundan fusibles en una base de bancos de capacitores trifásicos. Desbalances mayores al 5% (desbalance severo) pueden resultar de operación monofásica.

4.13. DESBALANCE DE FASE POR CORRIENTE

Se producen cuando por las tres fases de un sistema trifásico no circulan las mismas intensidades. Este tipo de desequilibrio provoca: sobrecalentamiento en los receptores, en cables de alimentación y protecciones que incluso podrían llegar a disparar, circulación de corriente por el conductor neutro. En la ilustración 4 se muestra un sistema eléctrico con desbalance de corrientes en sus fases.

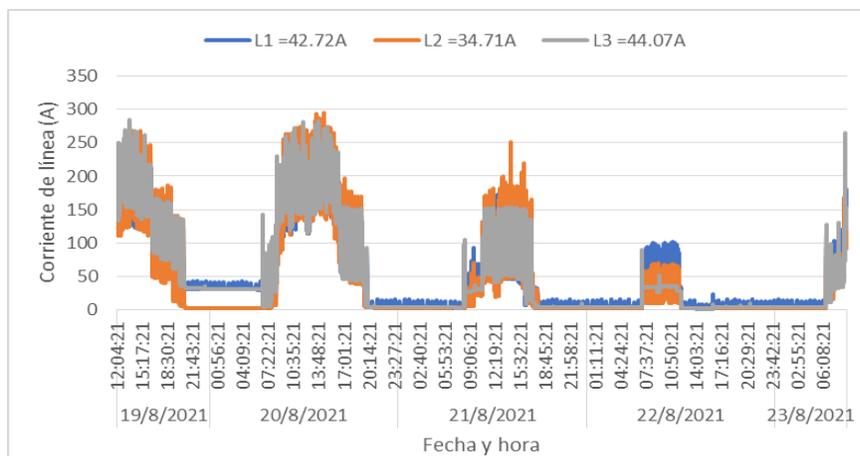


Ilustración 4. Corrientes de línea

Fuente: Elaboración propia

En la IEEE 1159-2014 Capítulo 1, Fundamentos de la calidad de la energía, tabla 2, se mencionan los rangos permitidos de desequilibrio de corriente hasta un 30%.

4.14. DISTORSIÓN ARMÓNICA

Representación cuantitativa de la distorsión a partir de una forma de onda sinusoidal pura. La distorsión armónica es debida a cargas no lineales, o a cargas en las que la forma de onda de la corriente no conforma a la forma de onda del voltaje de alimentación. En la siguiente ilustración se aprecia un ejemplo de distorsión armónica.

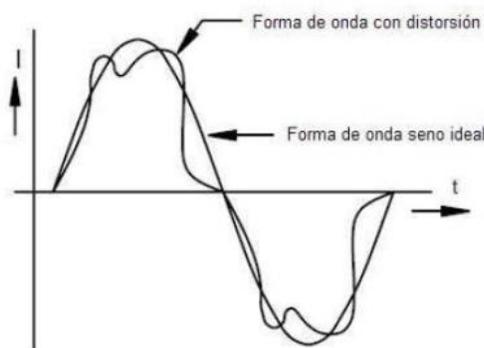


Ilustración 5. Formas de onda con distorsión

Fuente: Cortez, M. A. (2009, febrero). Calidad de la energía eléctrica. (1.a ed., p. 10).

4.15. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

Es un término utilizado para definir el factor de distorsión del voltaje o de la corriente. Según la ecuación 10, esta se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores RMS de los voltajes armónicos o de las corrientes armónicas, dividida por el valor RMS del voltaje o de la corriente fundamental:

$$THD = \sqrt{100 * \frac{\text{suma de los cuadros de las amplitudes de todas las armónicas}}{\text{cuadrado de a amplitud de la componente fundamental}}} \quad (10)$$

4.16. NORMATIVA NICARAGÜENSE E INTERNACIONAL RELACIONADA AL DESBALANCE DE CARGA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

El sector electricidad está compuesto por los operadores y usuarios finales. Un operador es cualquier unidad generadora, transmisora, distribuidora o comercializadora de energía eléctrica y usuario es quien compra la energía eléctrica para uso propio (comercial, industrial o residencial).

La generación de energía eléctrica en nuestro país se ve beneficiada por los recursos naturales que tenemos a nuestra disposición siendo las generadoras con recursos naturales (eólica, solar, hidráulica, biomasa y geotérmicas) las que mayor aportan en total. Nicaragua importa luz de los demás países centroamericanos para suplir sus necesidades según la matriz de generación de energía Enatrel 2021. La demanda máxima de Nicaragua para el año 2021 fue de 727.51 Megavatios, mientras que ese mismo año produjo un total de 3013.09 GWh.

El ente encargado de la regulación del servicio eléctrico en Nicaragua es el Instituto Nicaragüense de Energía (INE). La función de este es regular el servicio de energía eléctrica que brinda Disnorte-Dissur, que es la compañía distribuidora del servicio eléctrico de Nicaragua, de forma adecuada y eficiente, cuidando su continuidad, calidad y cobertura.

4.17. NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las distribuidoras tienen como base la normativa de calidad del servicio eléctrico “Ley de la industria eléctrica No. 272”, la cual tiene como principal objetivo regular

los índices e indicadores de referencia para calificar la calidad con que las empresas distribuidoras de energía eléctrica suministran los servicios de energía eléctrica a los usuarios de la red de distribución, tolerancias permisibles, métodos de control y compensaciones respecto a los parámetros de la calidad de energía.

4.18. ESTRUCTURA DE LA NORMATIVA DE LA CALIDAD EN NICARAGUA

La norma de calidad se divide en tres áreas:

- Calidad del producto técnico: Se refiere al control de los niveles de tensión, perturbaciones y el factor de potencia, siendo el distribuidor el responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago al mismo.
- Calidad del servicio técnico: La calidad del servicio técnico se evalúa en función de la frecuencia y duración total de las interrupciones. Se subdivide en dos etapas:
 - ✓ La primera es el control de los índices globales para el distribuidor, el levantamiento de la información y el cálculo representarán la cantidad y el tiempo total de las interrupciones que afectan a los consumidores.
 - ✓ La segunda parte consiste en calcular los indicadores a nivel del consumidor de forma tal de determinar la cantidad de interrupciones y la duración total de cada una de ellas que afectan a cada consumidor.
- Calidad del servicio comercial: Se refiere al conjunto de servicios comerciales que la empresa distribuidora de energía eléctrica necesarios para mantener un nivel adecuado de satisfacción a los consumidores y que responde a los siguientes parámetros:
 - ✓ Niveles individuales de calidad comercial: son los vinculados a las prestaciones garantizadas a cada consumidor.
 - ✓ Niveles globales de calidad comercial: se corresponden con metas de calidad para todo el distribuidor.

4.19. NORMATIVA DE CALIDAD DE ENERGÍA

4.19.1. NORMA EN50160

Esta norma describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales y en el punto de entrega al cliente. Como dice su primer apartado: “esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no los valores típicos en la red general de distribución”.

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

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

Estándar europeo que establece los límites de distorsión armónicos de voltaje y son en su mayoría los mismos valores del estándar IEC 61000-3-6.

En la tabla 2 se podrá apreciar los límites de voltajes armónicos para sistemas de alimentación en baja y media tensión según la norma EN 50160.

Tabla 2. Límites de voltajes armónicos para sistemas de alimentación de BT y MT, EN50160

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

Fuente: Asociación Española de Normalización (UNE). Normalización Española

4.19.2. ESTÁNDAR IEEE 519-1992

Establece los límites de distorsión armónica de corriente, tomando en cuenta la relación de la máxima corriente de cortocircuito y la máxima corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de suministro o punto de acople común del sistema de distribución.

Este estándar establece que los armónicos pares están limitados al 25% de los límites de armónicos impares. Además, establece que todos los equipos de generación de potencia están limitados al valor de distorsión de corriente $I_{sc}/I_L < 20$, sin importar el valor real de la relación I_{sc}/I_L .

En la tabla 3 se puede observar los límites de distorsión armónica de corriente según la normativa IEEE 519-1992.

Tabla 3. Límites de distorsión armónica de corriente IEEE 519-1992

V=69kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<20	4.00	2.00	1.50	0.60	0.30	5.00
20-50	7.00	3.50	2.50	1.00	0.50	8.00
50-100	10.00	4.50	4.00	1.50	0.70	12.00
100-1000	12.00	5.50	5.00	2.00	1.00	15.00
>1000	15.00	7.00	6.00	2.50	1.40	20.00
69kV < V =161kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<20	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
20-50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00
50-100	5.00	2.25	2.00	1.25	0.35	6.00
100-1000	6.00	2.75	2.50	1.00	0.50	7.50
>1000	7.50	3.50	3.00	1.25	0.70	10.00
V >161kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<50	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
=50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00

Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Tabla 4. Límites de distorsión armónica de tensión, IEEE 519-1992

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Tensión (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 KV	3.0	5.0
De 69 KV a 137.9 KV	1.5	2.5
138 KV y mas	1.0	1.5
Nota: Los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0% en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminal DC, el cual podría ser atenuado.		

Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

La tabla 4, establecida por la IEEE 519 se refiere a los límites de distorsión de la tensión. Los límites armónicos de tensión recomendados se basan en niveles lo suficientemente pequeños como para garantizar que el equipo de los suscriptores opere satisfactoriamente.

4.20. INSTRUMENTACIÓN POR UTILIZAR

En la correcta ejecución de un balance de carga, la toma de datos reales de la instalación es absolutamente imprescindible. Pues solo así se puede llegar a tener un conocimiento fiable y verdadero, tanto de los parámetros técnicos, como de los de confort de la instalación.

El grupo auditor debe de llevar consigo una serie de equipos técnicos específicos para la realización de esta recolección de datos. A continuación, se muestran los datos más relevantes, pudiéndose incluir otros en la lista si las necesidades lo permiten.

4.20.1. ANALIZADOR DE REDES

El analizador de redes es un aparato utilizado para medir, consignar y usualmente, conservar, registros de los parámetros eléctricos más significativos de una instalación. Para un correcto funcionamiento del equipo y para obtener un conjunto global de mediciones de la instalación, será necesario disponer de las sondas voltímetros y amperimétricas del equipo analizador que se esté utilizando, en nuestro caso es un FLUKE 435 (Ver ilustración 6).



Ilustración 6. Analizador de redes Fluke-435

Fuente: Fluke Corporation

Dentro de los parámetros de medida más significativos que se obtienen con el analizador de redes se resaltan los siguientes:

- Tensión (V).
- Intensidad (A).
- Potencia Activa (kW).
- Potencia Aparente (KvA).
- Potencia Reactiva (KvAr).
- Factor de potencia ($\cos \varphi$).
- Ángulo de fase (φ).
- Frecuencia (Hz).

4.20.2. PINZAS AMPERIMÉTRICAS

La pinza amperimétrica es una herramienta de medición eléctrica que combina un multímetro digital básico con un sensor de corriente. Este instrumento permite medir la corriente eléctrica en cualquier punto de un circuito eléctrico sin tener la necesidad de interrumpir el funcionamiento de este.

Las pinzas amperimétricas actuales incluyen la mayoría de las funciones básicas de un multímetro digital, como la capacidad para medir tensión, continuidad y resistencia. (Ver ilustración 7).



Ilustración 7. Pinza amperimétrica Fluke-376

Fuente: Fluke Corporation

4.20.3. LUXÓMETROS

El luxómetro es un aparato de medida utilizado para la medición de los niveles de iluminación en una zona determinada. Trabajan a través de una célula fotoeléctrica que recibe la intensidad lumínica y, tras transformarla en electricidad, muestra el resultado expresado en lux. Puede utilizarse tanto para mediciones de niveles de iluminación en espacios interiores como en el alumbrado de las zonas exteriores de los complejos empresariales. (Ver ilustración 8).



Ilustración 8. Luxómetro Amprobe LM200

Fuente: Importación, Proyectos y Suministros Eléctricos (Improselec S.A)

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este estudio energético se realizó en tiempos de COVID-19 y debido a que no todos los estudiantes llegaban porque estaban recibiendo clases desde su hogar, las cargas registradas por los equipos analizadores no fue la que normalmente debería ser.

A continuación, se presentará el resultado obtenido de los bancos transformadores desde el banco #1, hasta el banco #10. Los datos posteriormente mostrados se obtuvieron de una memoria de cálculo en Excel, la cual se presentará mediante tablas y gráficos.

De acuerdo con los resultados obtenidos por las tablas, se determinó el siguiente estado de los bancos de transformadores:

5.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #1 DE 50 kVA

En el recinto universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), el centro de transformación #01 se encuentra situado detrás del edificio denominado como CNEG (Ver Anexo 1). Este banco se encarga de distribuir energía a los aires acondicionados en las distintas aulas de clases del CNEG. Para una mayor visualización de su consumo de energía se presenta la siguiente medición realizada en su acometida.

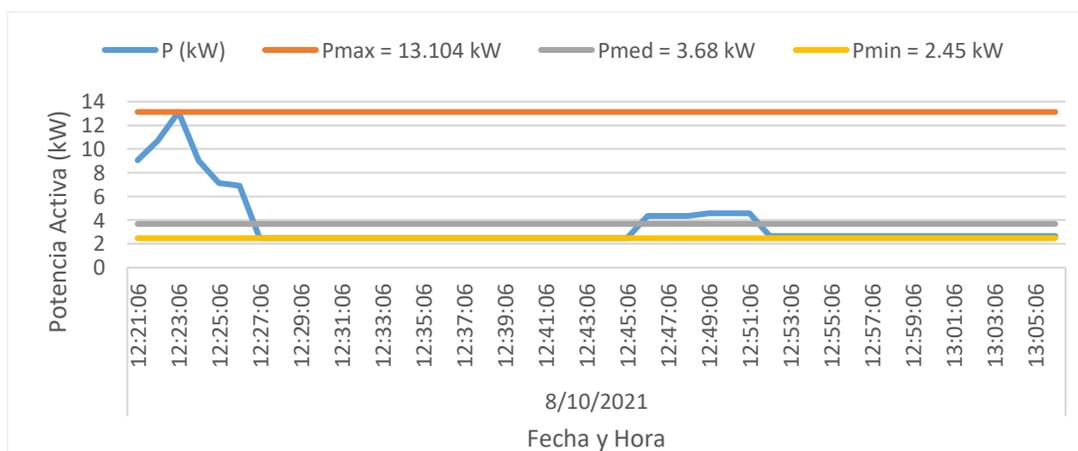


Gráfico 1. Curva de carga del centro de transformación #01, 50 kVA

Como se puede observar en el gráfico 1, se midió durante un corto período de tiempo debido a condiciones climáticas y a que los centros de carga están a la intemperie expuestos a la lluvia, por ende, los equipos analizadores también estaban expuestos lo que podría causar daños a estos.

En este período, se logró ver el momento en que los aires acondicionados dejaron de trabajar debido a que se detuvieron las clases por hora de almuerzo hasta que posteriormente se regresó a las 12:40 pm, momento en el que reactivaron estos equipos, lo cual dio lugar a un incremento de corriente por un período aproximado de 5 minutos debido al arranque del compresor de los aires. Pasados los 5 minutos de encendido de los equipos la energía se estabilizó y se redujo en un 40% con respecto al arranque.

5.1.1. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformadores:

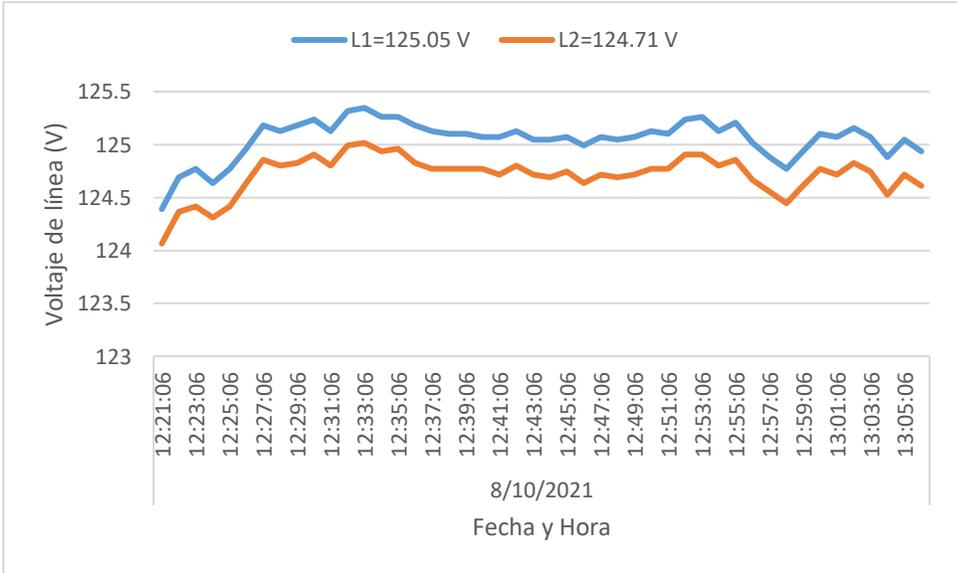


Gráfico 2. Voltaje de fase del panel principal del centro de transformación #01, 50 kVA

Según la gráfica 2, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.13%, dicho valor es bueno para el sistema ya que según normas el desbalance tiende que ser menor del 3%. Cabe mencionar que, según la conexión del alimentador, el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia

$\pm 10\%$, es decir que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (125.05 a 124.71V) encontrados están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.1.2. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas las áreas del mismo, A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

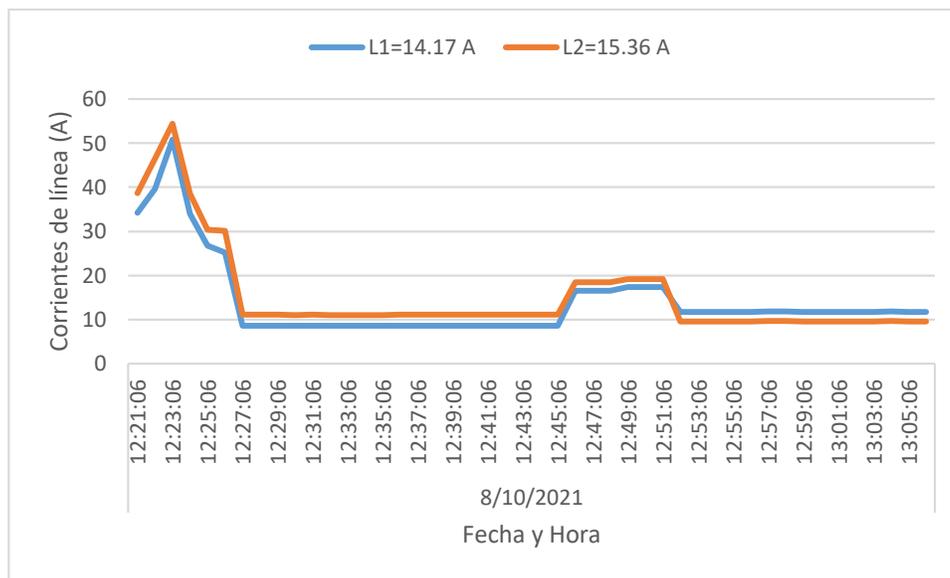


Gráfico 3. Corrientes de línea en el panel principal del centro de transformación #01, 50 kVA

Según cálculos en Excel, el porcentaje de desbalance de corrientes máximo es de 4.03%. Cabe mencionar que el desequilibrio de corriente no debe exceder de 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga, es decir que el panel principal del edificio posee un valor de desbalance por debajo del 5% y 10%, esto quiere decir que este centro de carga no tiene desbalances de corrientes y opera en excelentes condiciones.

5.1.3. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA DEL CNEG

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga correspondiente al centro de transformación de 50 kVA en el área el CNEG.

Tabla 5. Factor de carga centro de transformación #01, 50 kVA.

	P(kW)	S(kVA)	FC
Máx	13.10	6.03	12.1%
Prom	3.69	1.11	2.2%
Mín	2.46	0.37	0.7%

Según la tabla 5, el factor de carga registrado para este centro de transformación es el siguiente:

- El factor de carga máximo registrado es **12.1%** con 6.03 kVA, que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 50 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **2.2%** con 1.11 kVA.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **0.7%** con 0.37 kVA.

Esto quiere decir que el centro de transformación de 50kVA no está operando a su máxima capacidad, por lo que se puede considerar como sobredimensionado.

5.1.4. CONSUMO DE ENERGÍA

Según tabla 6, durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de **24.68 kWh/día**, para un mes típico con este comportamiento de 750.69 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 6. Consumo de energía del centro de transformación #01, 50 kVA

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	0.77	0.03	24.68	750.69	9,008.25

5.1.5. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje) tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 7. Tasas de distorsión armónicas, centro de transformación #01, 50 kVA

THD V L1	THD V L2	Promedio	THD A L1 Med	THD A L2 Med	Promedio
2.40	2.40	2.40 %	13.60	13.60	13.60 %
2.37	2.36	2.36 %	3.93	4.40	4.17 %
2.30	2.20	2.25 %	2.20	3.00	2.60 %

En la tabla anterior, se muestran los valores en porcentaje registrados por el equipo analizador Fluke de la tasa de distorsión armónica de voltaje (THD V) y de la tasa de distorsión armónica de corriente (THD A) por cada una de las líneas del sistema trifásico que alimenta a todos los equipos de la empresa. Los valores de interés son los valores promedio (en negrita), y con respecto a la THD de voltaje se encuentra dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **2.36%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía los equipos en su totalidad, este valor está dentro del *rango admisible permitido*¹.

Con respecto a los armónicos de corriente, para cada una de las dos fases están por debajo del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos², registrando un valor de **4.17%**, por lo tanto, no excede el porcentaje admisible y no se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

¹ Según norma IEC -55}

² Según instituto catalán de energía, ver en <http://icaen.gencat.cat/ca>

5.2. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #1 DE 75kVA MONOFÁSICO

5.2.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #01 DE 75KVA.

En el recinto universitario Pedro Arauz Palacios, el centro de transformación #01 se encuentra situado detrás del edificio denominado como CNEG (Ver Anexo 1). Este banco se encarga de distribuir en distintas áreas como lo son las mismas aulas de clase del edificio CNEG, el edificio 01 y el cafetín de doña gloria.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de consumo energético del centro de transformación #01, 75 kVA.

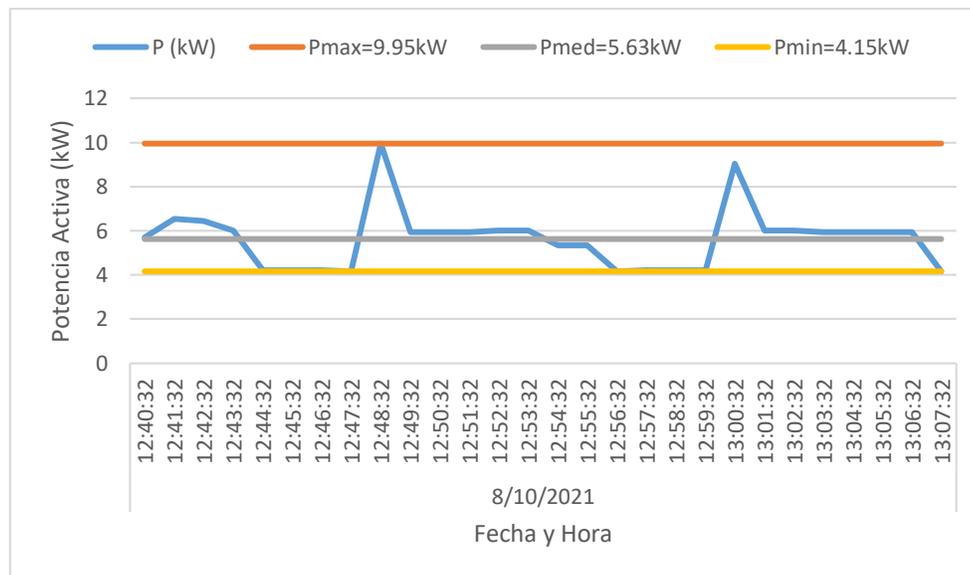


Gráfico 4. Curva de carga de centro de transformación #01, 75 kVA

Como se puede observar en el gráfico 4, el consumo de este panel principal es alto debido a que alimenta equipos 120V como refrigeradora, luces, tomacorrientes, cámaras de seguridad, entre otros. Estos equipos se encuentran divididos en los edificios del CNEG, el edificio 01 y el cafetín de doña Gloria que contiene muchos equipos mantenedores y exhibidores.

5.2.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación.

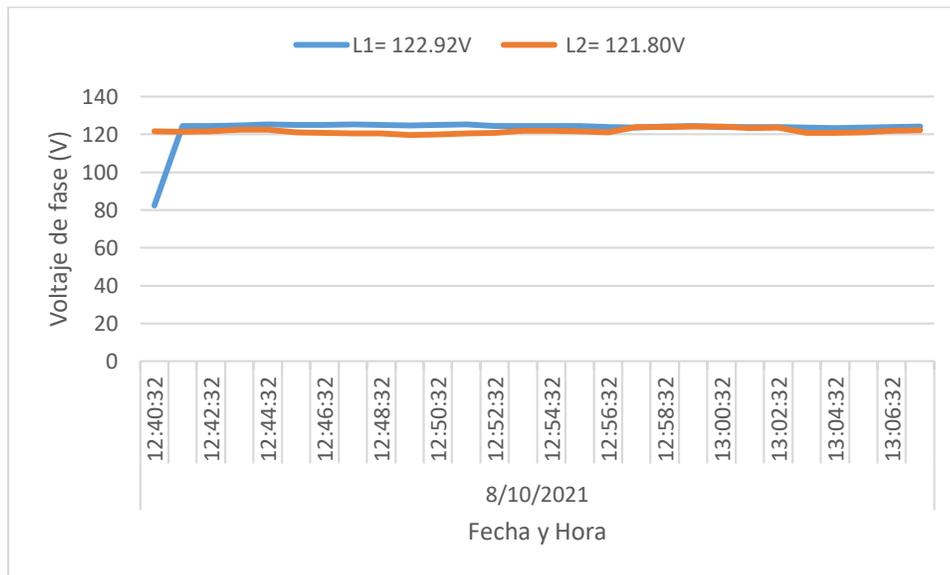


Gráfico 5. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #01, 75 kVA

Según la gráfica 5, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.46% dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3% cabe mencionar que según la conexión del alimentador el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia $\pm 10\%$, es decir que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (117 a 127V) encontrados están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.2.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas las áreas del mismo. A continuación, en el gráfico 6, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

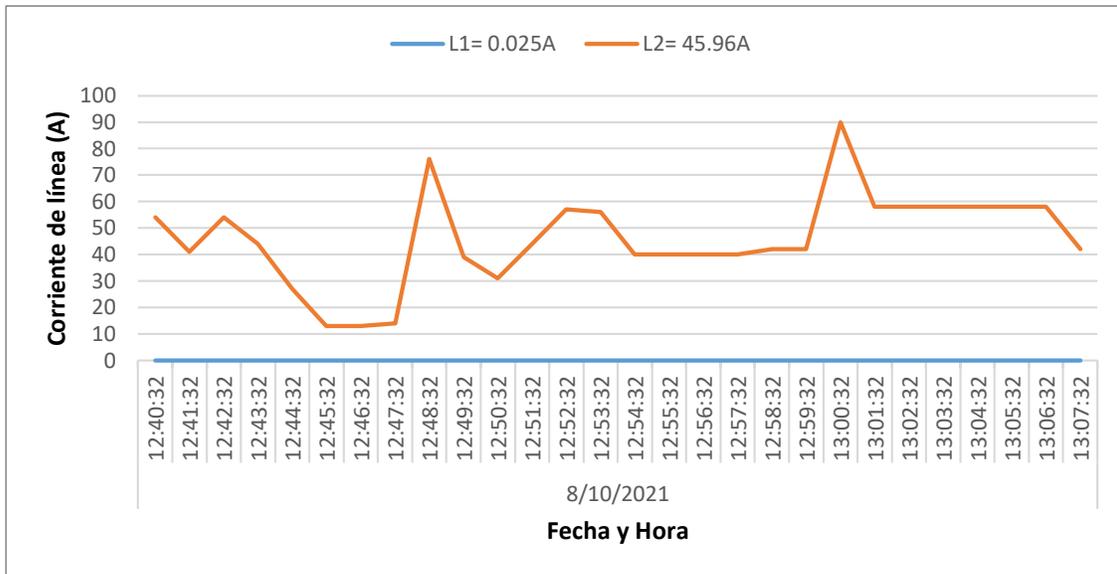


Gráfico 6. Corrientes de línea en panel principal del centro de transformación #01, 75 kVA

El porcentaje de desbalance de corrientes máximo es de 99.9% que corresponde a la línea 2 con mucha más carga que la línea 1. Cabe mencionar que el desequilibrio de corriente no debe exceder de 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga, es decir que el panel principal del edificio posee un valor de desbalance por encima del 10%, por lo cual se recomienda realizar un balance de cargas de los subpaneles que posean más carga en la línea o fase 2 para dejar las dos fases lo más equitativas posible, y así el sistema eléctrico en general pueda encontrarse dentro del margen tolerable según las normas menor del 5 % admisible, según el NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.2.4. CÁLCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke

L1=0.025 A

L2= 45.69 A

$$Promedio\ amp = \frac{L1 + L2}{2} = \frac{0.025A + 45.96A}{2} = 22.99\ A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - Prom. Amp}{prom. amp} = \frac{0.025A - 22.99 A}{22.99 A} \times 100 = 99.7 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - Prom. Amp}{prom. amp} = \frac{45.96 - 22.99 amp}{22.99 amp} \times 100 = 99.1 \%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 0.025A + 22A = 21.97 A$$

$$L2 = 45.96A - 22A = 23.96 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - Prom. Amp}{Prom. Amp} = \frac{21.97 - 22.99 amp}{22.99 amp} \times 100 = 4.4 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - Prom. Amp}{Prom. amp} = \frac{23.96 - 22.99 amp}{22.99 amp} \times 100 = 4.21 \%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área del CNEG tenemos que trasladar 22 amperios de la línea 2 a la línea 1. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 4.4% y 4.21%.

5.2.5. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga correspondiente al centro de transformación de 50 kVA en el área el CNEG.

Tabla 8. Factor de carga, centro de transformación #01, 75 kVA

	P(kW)	S(kVA)	FC
Máx	9.95	10.80	14.4%
Prom	5.63	4.76	6.4%
Mín	4.15	2.65	3.5%

Basado en la tabla 8, se tienen los siguientes comentarios.

- El factor de carga máximo es **14.4%** con 10.80 kVA que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 75 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **6.4%** con 6.2 kVA.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **3.5%** con 4.76 kVA.

Esto quiere decir que el centro de transformación de 50kVA no está operando a su máxima capacidad, por lo que se puede considerar como sobredimensionado.

5.2.6. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de **30.65 kWh/día**, para un mes típico con este comportamiento de 932.27 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 9. Consumo de energía del centro de transformación #01, 75 kVA

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.	0.77	0.02	3.71	112.84	1,354.19

5.2.7. ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #01

Debido a que el centro de transformación del área del Julio Guevara y comedor está compuesto por dos paneles principales, se tuvo que realizar dos mediciones distintas, por lo que se resumirá los datos para obtener el factor de carga total del centro de transformación y sus consumos totales.

Tabla 10. Estado General del centro de transformación #01

	P (kW)	S (kVA)	FC
Máx	23.05	16.83	22.44%
Prom	9.32	5.87	7.7%
Min	6.75	3.02	4.02%

De la tabla 8, se puede concluir que en los tres valores del factor de carga (máximo, promedio y mínimo) siempre se encuentran muy por debajo de la capacidad del centro de transformación, lo que quiere decir que está sobredimensionado en un 77.5%.

5.3. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #2 DE 225KVA TRIFÁSICO

5.3.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #02

En el recinto universitario Pedro Arauz Palacios para el área del edificio 02, DBE, edificio de administración entre otros, se cuenta con un centro de transformación trifásico de 225kVA (ver Anexo 2) para el suministro de estas áreas. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en la acometida.

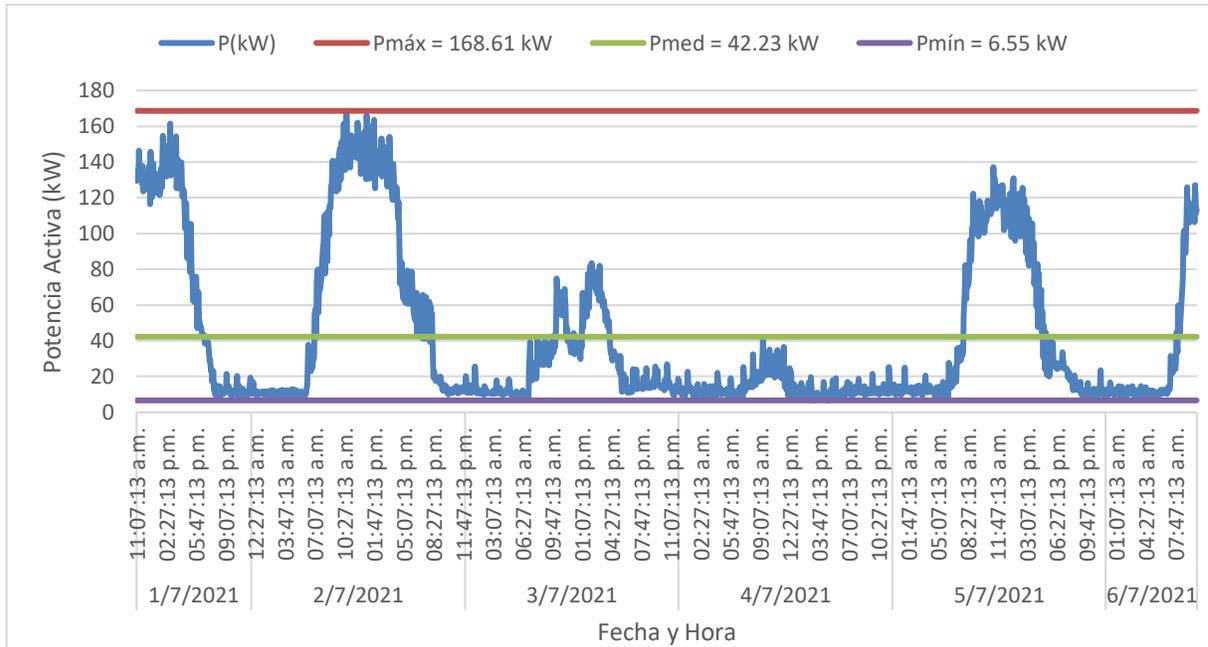


Gráfico 7. Curva de carga de potencia de centro de transformación #02

En el gráfico 7, se puede observar el comportamiento energético del centro de transformación #02 durante un período de 6 días, 23 horas y 5 minutos. En este se puede observar en momento en que empiezan a operar las instalaciones, esto es aproximadamente de las 7:00 am – 7:30 pm. En las fechas 3/7/21 y 4/7/21 la demanda disminuyó debido a que fue sábado y domingo, día de trabajo parcial y día de descanso, respectivamente.

5.3.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

El desbalance trifásico es el fenómeno en donde las tensiones y ángulos entre fases consecutivas no son iguales. El balance perfecto entre fases es inalcanzable, sin embargo, se puede realizar una aproximación dentro de rangos aceptables como el 3% dentro de las instalaciones eléctricas de la industria después del medidor en

baja tensión o 5% incluyendo la medición en media tensión³. A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación.

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación:

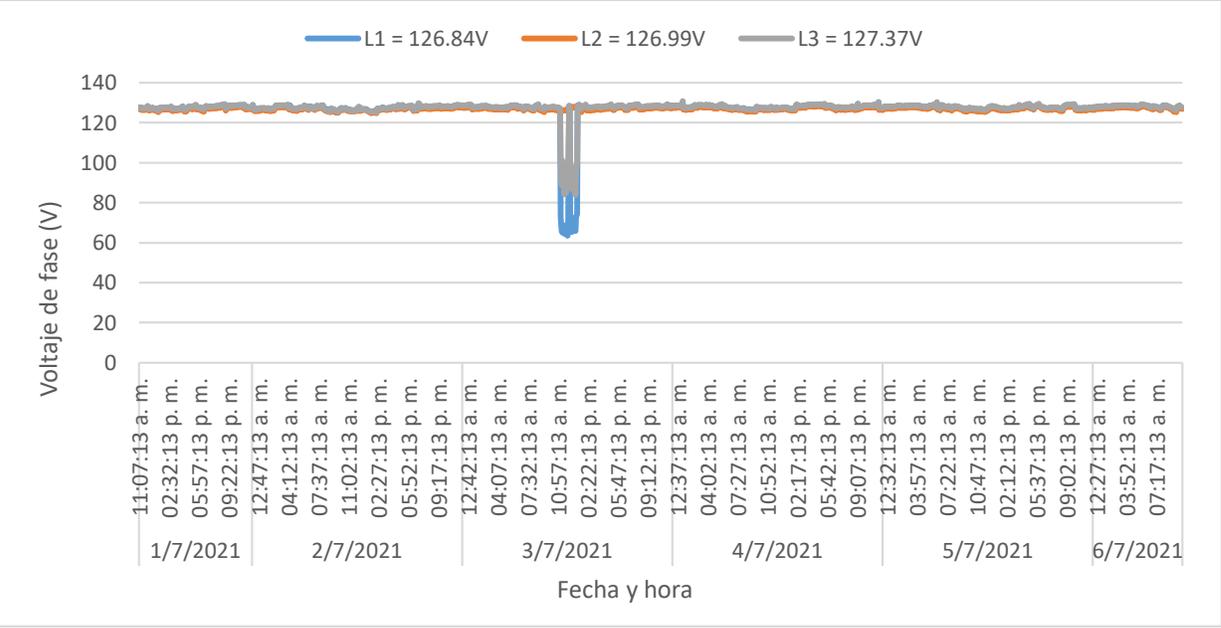


Gráfico 8. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #02

Según la gráfica anterior, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.24% dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3% cabe mencionar que según la conexión del alimentador el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia $\pm 10\%$, es decir que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (126.84 a 127.37V) encontrados están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.3.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas

³ Ver código de instalaciones eléctricas de Nicaragua (CIEN)

las áreas del mismo, A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

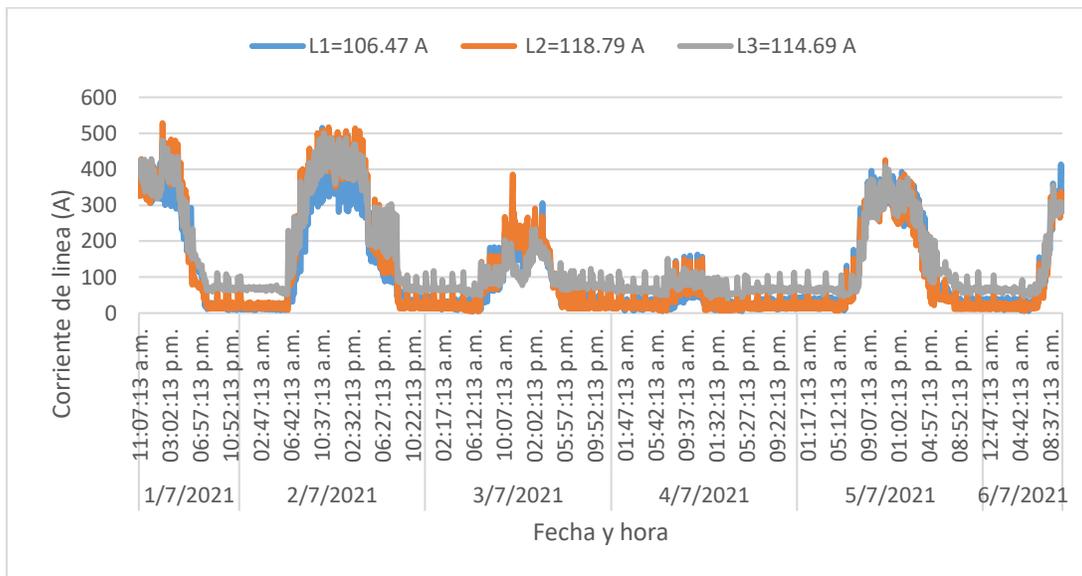


Gráfico 9. Corrientes de línea en el panel principal del centro de transformación #02

En el gráfico anterior, el porcentaje de desbalance de corrientes máximo es de 17.3% que corresponde a la línea 3 con mucha menos carga que la línea 1 y 2. Cabe mencionar que el desequilibrio de corriente no debe exceder de 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga, es decir que el panel principal del edificio posee un valor de desbalance por encima del 10%, por lo cual se recomienda realizar un balance de cargas de los subpaneles que posean más carga en la línea o fase 1 y 2 para dejar las dos fases lo más equitativas posible, y así el sistema eléctrico en general pueda encontrarse dentro del margen tolerable según las normas menor del 5 % admisible, según el NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.3.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke

L1=106.47 A

L2= 118.79 A

L3= 144.69 A

$$\text{Promedio amp} = \frac{L1 + L2 + L3}{3} = \frac{106.47 + 118.8A + 144.69}{3} = 123.32 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom amp}} = \frac{123.32 - 106.47 \text{ amp}}{106.47 \text{ amp}} \times 100 = 13.7 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.32 - 118.79 \text{ amp}}{118.79 \text{ amp}} \times 100 = 3.7 \%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.32 - 144.69 \text{ amp}}{144.69 \text{ amp}} \times 100 = -17.3 \%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 106.47A + 15A = 121.47 A$$

$$L2 = 118.79A + 4A = 122 A$$

$$L3 = 144.69A - 19A = 125.69 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.32 - 121.47 \text{ amp}}{121.47 \text{ amp}} \times 100 = 1.5 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.32 - 122 \text{ amp}}{122 \text{ amp}} \times 100 = 1\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.32 - 125.69 \text{ amp}}{125.69 \text{ amp}} \times 100 = 1.8\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área del CNEG tenemos que trasladar 19 amperios de la línea 3 a la línea 1 y 2. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 1.5% en la línea 1, 1% para la línea 2 y 1.8% para la línea 3.

5.3.5. CALCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO

AMPERAJE PREVIO MEDIDO: 77.72 AMP.

AMPERAJE ACTUAL (AMPERAJE PROMEDIO SEGÚN MEDICIONES): 45.91 AMP.

$$A. DISMINUIDO = A. PREVIO - A. ACTUAL PROM$$

$$A. DISMINUIDO = 77.72 \text{ AMP} - 45.91 \text{ AMP}$$

$$A. DISMINUIDO = 31.80 \text{ AMP}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(\text{voltaje}) * (A. \text{dism}) * F. \text{pot}_{\text{prom}} / 1000 * \text{horas dia}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120v) * (31.80A) * \frac{0.92}{1000} * 10 \frac{\text{hrs}}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 60.94 \text{ kWh}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{60.94 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 3 \text{ kW}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 60.94 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 1,828.2 \text{ kWh}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 3 \text{ kW demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = C\$19.2123kW / \text{mes}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 1,828.2 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.4041$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 11,707.97$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 19.2123 + 11,707.97 = 11,727.11$$

$$USD / \text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$11,727.11}{\frac{1 USD}{36.25 C\$}} = US\$323.51$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 323.51 \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \$3,882.08$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$3,882.08 anuales.

5.3.6. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga correspondiente al centro de transformación #02 de 225 kVA.

Tabla 11. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #02, 225 kVA.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	168.61	183.51	0.92	81.6%
Prom	42.24	46.48	0.91	20.7%
Mín	6.56	7.81	0.84	3.5%

En la tabla anterior, se muestra el resultado real que el equipo analizador ha indicado a diferentes consumos durante los 6 días, 23 horas y 5 minutos en los que se realizó la medición, se tienen los siguientes comentarios.

- El factor de carga máximo es **81.6%** con 183.51 kVA (con FP=0.92) que representa 168.61 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 225 kVA excelente y aceptable evitando posibles pérdidas en el sistema de transformación que son asumidas por la distribuidora de energía, debido a que la empresa posee una tarifa en baja tensión.
- El factor de carga promedio es **20.7%** con 46.48 kVA (con FP=0.91) que representa 42.24 kW.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **3.5%** con 7.81kVA (con FP=0.84) que representa 6.56 kW.

Debido a que el factor de carga máximo es de 81.6%, se concluye que este centro de transformador está operando en excelentes condiciones y tiene un buen factor de potencia máximo y promedio (0.92 y 0.91), lo que indica que no hay problemas de multas por bajo factor de potencia.

5.3.7. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de **821.50 kWh/día**, para un mes típico con este comportamiento de 24,987.37 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 12. Consumo de energía del centro de transformación #02

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.	3,999.12	4.96	805.98	24,515.25	294,182.95

5.3.8. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje) tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 13. Tasas de distorsión armónicas, centro de transformación #02

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1 Med	THD A L2 Med	THD A L3 Med	Promedio
12.90	4.50	12.10	9.83	72.60	78.30	14.10	55.00
1.77	1.74	1.82	1.78	18.47	29.83	8.07	18.79
1.00	0.90	1.00	0.97	5.00	5.60	3.40	4.67

En la tabla anterior, se muestran los valores en porcentaje registrados por el equipo analizador Fluke de la tasa de distorsión armónica de voltaje (THD V) y de la tasa de distorsión armónica de corriente (THD A) por cada una de las líneas del sistema trifásico que alimenta a todos los equipos de la empresa. Los valores de interés son los valores promedio (en negrita), y con respecto a la THD de voltaje se encuentra dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.78%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad, este valor está dentro del *rango admisible permitido*⁴.

⁴ Según norma IEC -55}

Con respecto a los armónicos de corriente, para cada una de las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos⁵, registrando un valor de **18.79%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.4. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #3 DE 500kVA TRIFÁSICO

5.4.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #03

En el recinto universitario Pedro Arauz Palacios para el área del edificio #05, edificio de máquinas y herramientas, plantas térmicas, entre otros, se cuenta con el centro de transformación #03 (ver anexo 3) que se encarga de abastecer de energía eléctrica a los distintos talleres y laboratorios de la FTC y FTI y también al edificio

Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en la acometida.

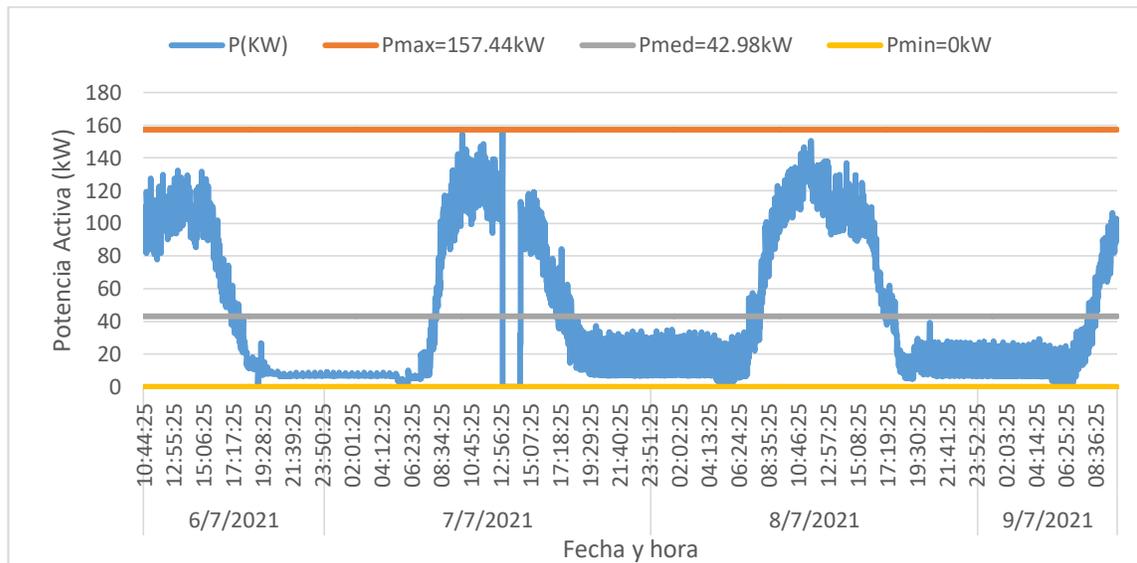


Gráfico 10. Curva de carga de potencia del centro de transformación #03

Según el gráfico 10, se realizó la medición de este centro de transformación durante 3 días, 23 horas y 30 minutos, de los cuales el día 7 de junio del 2021 desde

⁵ Según instituto catalán de energía, ver en <http://icaen.gencat.cat/ca>

la 1:00 pm hasta aproximadamente las 2:30 pm no se registró consumo debido a que la energía de la red comercial falló.

5.4.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación:

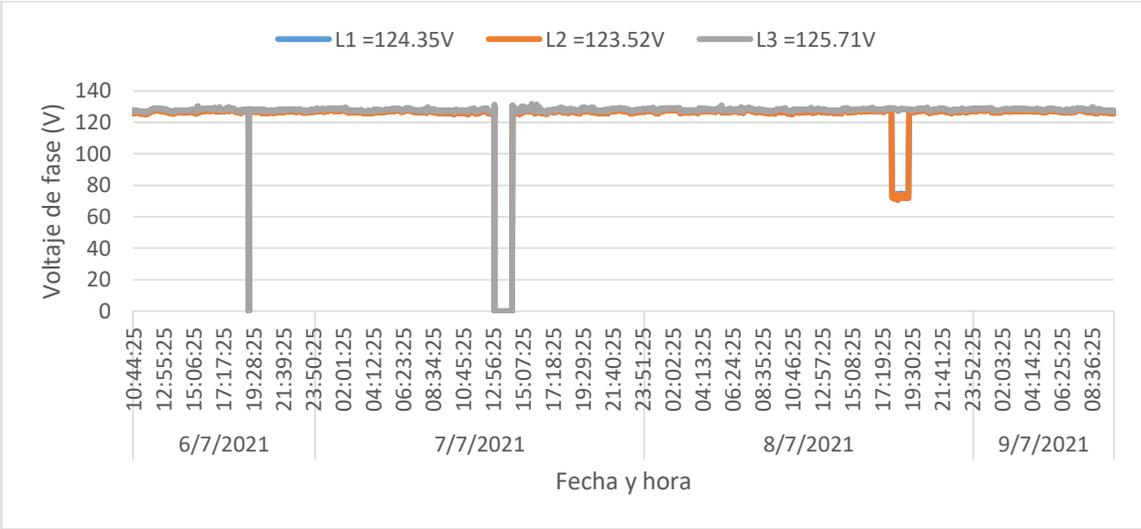


Gráfico 11. Voltajes de fase del centro de transformación #03

Según la gráfica 11 y cálculo hechos en Excel, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.95% dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3% cabe mencionar que según la conexión del alimentador el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia $\pm 10\%$, es decir que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (124.35 a 125.71V) encontrados están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.4.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas las áreas de este. A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

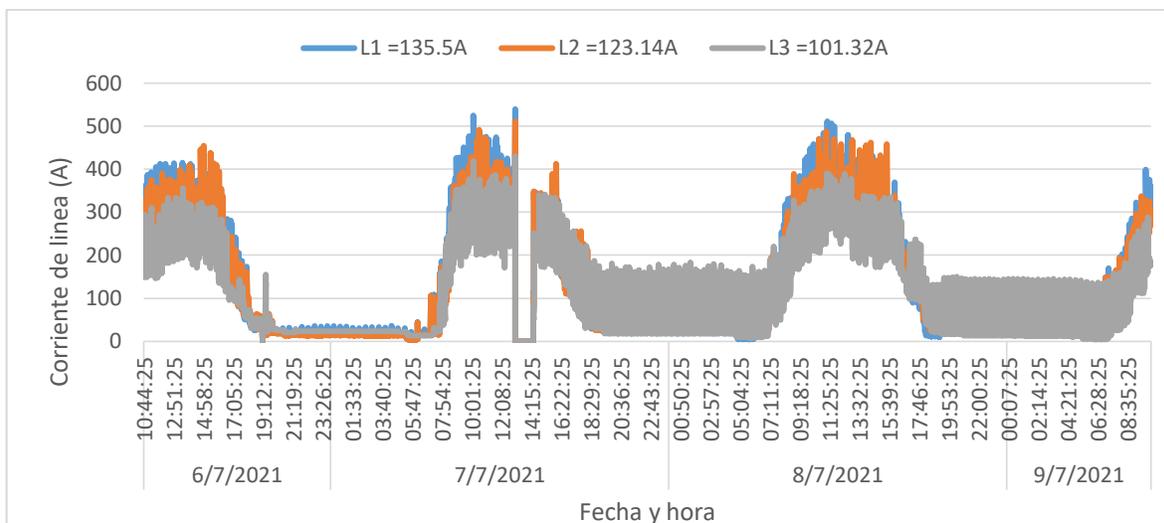


Gráfico 12. Corrientes de línea en panel principal del centro de transformación #03

Según tablas de Excel y el gráfico 12, el porcentaje de desbalance de corrientes máximo registrado es de 15.6% que corresponde a la línea 3 con mucha menos carga que la línea 1 y 2. Cabe mencionar que el desequilibrio de corriente no debe exceder de 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga⁶, es decir que el panel principal del edificio posee un valor de desbalance por encima del 10%, por lo cual se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles que posean más carga en la línea o fase 1 y 2 para dejar las dos fases lo más equitativas posible, y así el sistema eléctrico en general pueda encontrarse dentro del margen tolerable según las normas menor del 5 % admisible, según el NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.4.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL DEL COMEDOR

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke.

L1=135.5 A

L2= 123.14 A

L3= 101.32 A

⁶ Ver NEC 2014, Porcentaje de desbalance por corriente.

$$\text{Promedio amp} = \frac{L1 + L2 + L3}{3} = \frac{135.5A + 123.14A + 101.32}{3} = 120A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom amp}} = \frac{135.5A - 120 A}{120 A} \times 100 = 12.91 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.14 A - 120 A}{120 A} \times 100 = 2.61 \%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{101.32A - 120 A}{120A} \times 100 = -15.56 \%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 135.5A - 15A = 120.5 A$$

$$L2 = 123.14 A$$

$$L3 = 101.31A + 15A = 116.31 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{120.5A - 120A}{120A \text{ amp}} \times 100 = 0.41 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{123.14A - 120 A}{120 \text{ amp}} \times 100 = 2.61\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{116.31A - 120 A}{120 A} \times 100 = 3\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área del CNEG tenemos que trasladar 15 amperios de la línea 1 a la línea 3. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 0.41% en la línea 1, 2.61% para la línea 2 y 3% para la línea 3.

5.4.5. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 66 AMP.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 21 AMP.

$A. disminuido = A. previo - A. actual prom.$

$$A. disminuido = 66 A. - 21 A.$$

$$A. disminuido = 45 A.$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(voltaje) * (A. dism) * F.pot_{prom}/1000 * horas dia}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(120v) * (45A) * \frac{0.95}{1000} * 10 \frac{hrs}{dia}}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = 89.75$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{\frac{kWh}{dia ahorrado}}{horas dia}$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{89.75 \frac{kWh}{dia ahorrado}}{24 horas dia} = 4 kW$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = \frac{kWh}{dia ahorrado} * dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 89.75 \frac{kWh}{dia ahorrado} * 30 dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 2692.36 kWh$$

$$C\$ por \frac{kW}{mes} = 6.4041 * kW demandado ahorrado$$

$$C\$ por \frac{kW}{mes} = 6.4041 * 4 kW demandado ahorrado$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 25.62$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 2692.36 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.4041$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 17,242.14$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 25.62 + 17,242.14 = 17,267.77$$

$$USD/\text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$17,267.77}{\frac{1 USD}{36.25 C\$}} = US\$476.35$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 476.35 \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 5,716.23$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$5,716.23 anuales.

5.4.6. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #03 de 500 kVA.

Tabla 14. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #03, 500kVA

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	157.45	178.55	0.88	35.7%
Prom	42.99	45.57	0.94	9.1%
Mín	-	-	-	-

En la tabla, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante los 3 días, 23 horas y 30 minutos en los que se realizó la medición, se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **35.7%** con 178.55 kVA (con FP=0.88) que representa 157.45 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del centro de transformación de 500 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **9.1%** con 45.57 kVA (con FP=0.94) que representa 42.99 kW.

Se puede concluir que este centro de carga está sobredimensionado, o también en el período que se realizaron las mediciones no se llegó al consumo real de este. Por otra parte, el factor de potencia registrado en este centro de transformación está en el rango adecuado de 0.85 a 1, por lo que no hay problemas de multa por bajo factor de potencia.

5.4.7. CONSUMO DE ENERGÍA

Según tabla 15, obtenida por cálculos realizados en Excel, durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de **52.85 kWh/día**, para un mes típico con este comportamiento de 1607.49 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 15. Consumo de energía del centro de transformación #03

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30	2,711.44	2.98	910.13	27,683.21	332,198.5

5.4.8. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje) tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 16. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #03

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1 Med	THD A L2 Med	THD A L3 Med	Promedio
99.90	99.90	99.90	99.90	99.90	99.90	99.90	99.90
3.46	3.50	3.53	3.49	19.00	12.69	15.20	15.63
0.50	0.30	0.50	0.43	3.00	5.20	5.30	4.50

En la tabla anterior, se muestran los valores en porcentaje registrados por el equipo analizador Fluke de la tasa de distorsión armónica de voltaje (THD V) y de la tasa de distorsión armónica de corriente (THD A) por cada una de las líneas del sistema trifásico que alimenta a todos los equipos de la empresa. Los valores de interés son los valores promedio (en negrita), y con respecto a la THD de voltaje se encuentra dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **3.49%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad, este valor está dentro del *rango admisible permitido*⁷.

Con respecto a los armónicos de corriente, para cada una de las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos⁸, registrando un valor de **15.63%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

⁷ Según norma IEC -555

⁸ Según instituto catalán de energía, ver en <http://icaen.gencat.cat/ca/>

5.5. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #4 DE 175kVA MONOFÁSICO

5.5.1. EDIFICIO JULIO GUEVARA

5.5.1.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA EN EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04

El centro de transformación #04, se encuentra ubicado detrás del comedor y está destinado para la alimentación de las siguientes áreas: Comedor, edificio Julio Guevara, Cafetín doña Xiomara y el cafetín “el aula” este banco está conformado por un transformador de 25 kVA y dos transformadores de 75 kVA.

Para visualizar el consumo de energía eléctrica tuvimos que realizar dos mediciones una propiamente en el área de comedor y el otro propiamente en la acometida del edificio Julio Guevara que se encarga de distribuir al cafetín de doña Xiomara y el cafetín “el aula”.

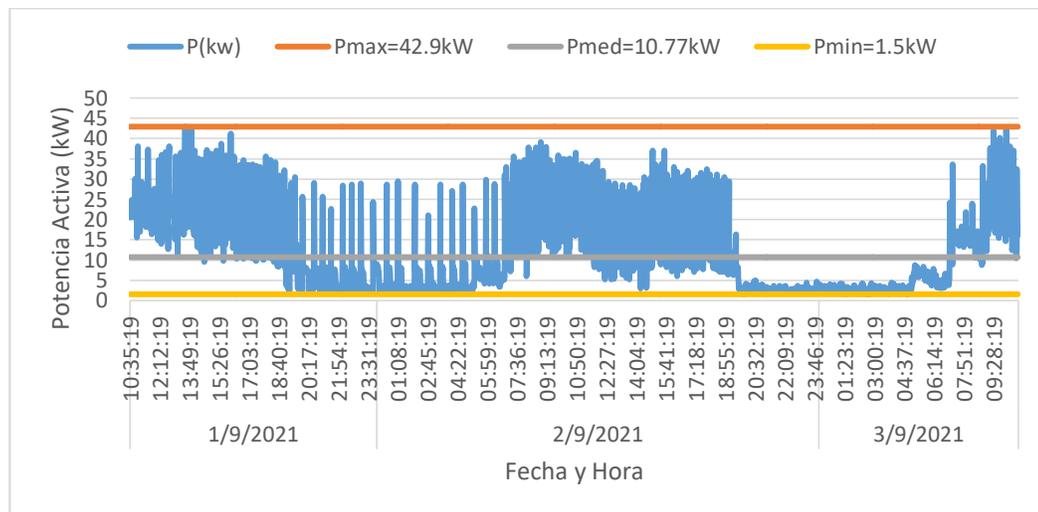


Gráfico 13. Curva de carga del centro de transformación #04, Julio Guevara.

Como podemos observar en el gráfico anteriormente presentado, en el centro de transformación #04 del edificio Julio Guevara, su consumo máximo registrado de 42.9 kW las únicas horas donde su consumo es mínimo es a partir de las 7:00 pm donde su menor consumo fue de 1.5 kW y a partir de las 7:00 am comienza la mayor demanda de energía eléctrica.

5.5.1.2. *VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES*

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformadores:

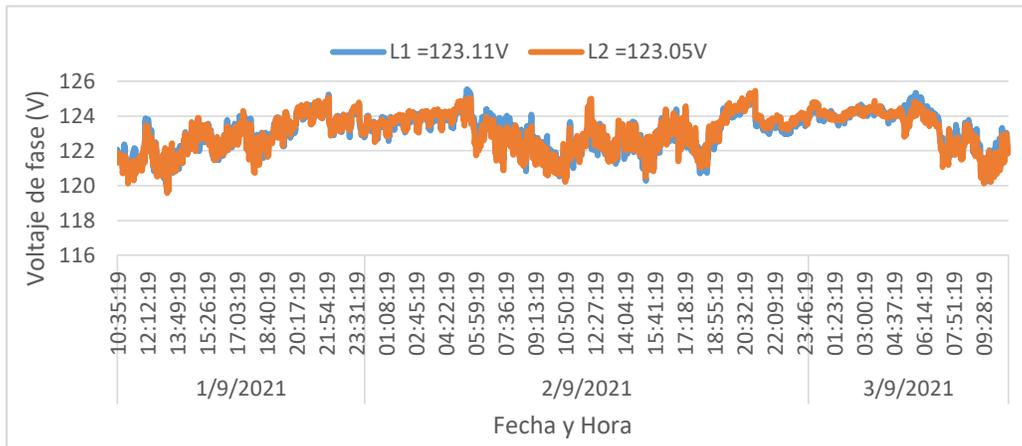


Gráfico 14. Voltajes de fase de panel principal, centro de transformación #04, Julio Guevara.

Según la gráfica anterior y cálculos de Excel, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.02%, dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3%. Cabe mencionar que, según la conexión del alimentador, el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, es decir, que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (123.11 V a 123.05 V) encontrados en este panel principal, están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.5.1.3. *ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS*

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas las áreas de este. A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

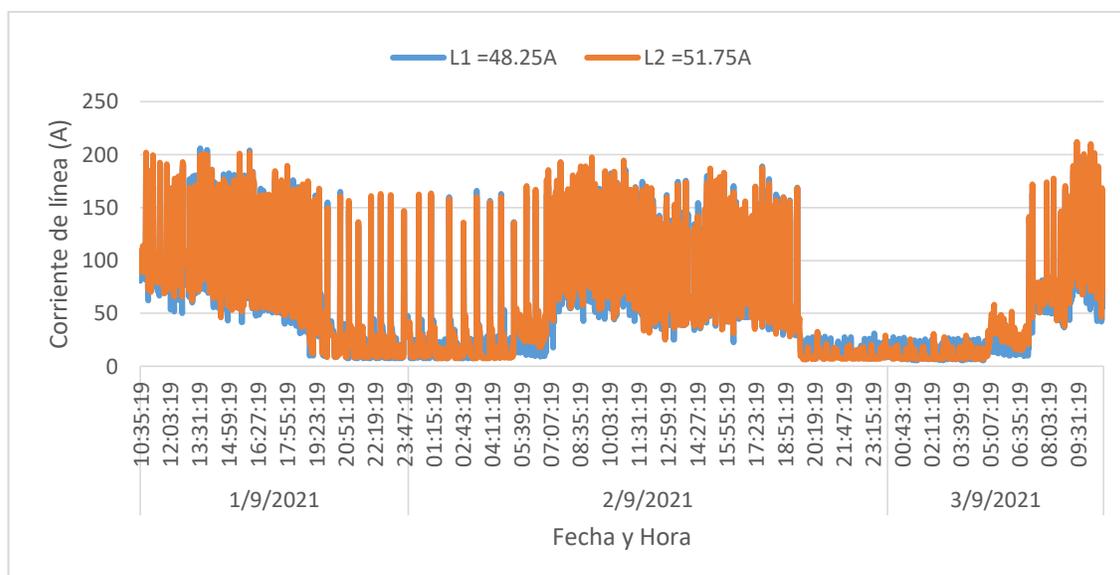


Gráfico 15. Corriente de línea en el panel principal edificio Julio Guevara, centro de transformación #04

El desbalance de corrientes máximo es de 3.5%, que corresponde a la línea 2 con mayor carga que la línea 1. Es decir, que el panel principal del edificio no posee un valor de desbalance por encima del 10%, por lo cual no se recomienda realizar un balance de cargas, el sistema eléctrico en general se encuentra dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.5.1.4. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #04 de 175 kVA.

Tabla 17. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #04, Julio Guevara.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	42.90	47.70	0.90	31.8%
Prom	10.78	11.98	0.90	8.0%
Mín	1.50	1.50	1.00	1.0%

En la tabla anterior, se muestra el resultado real que el equipo de analizador ha indicado a diferentes consumos durante los 3 días y 14 minutos en los que se realizó la medición. Se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **31.8%** con 47.70 kVA (con FP=0.90) que representa 42.90 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 175 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **8%** con 11.98 kVA (con FP=0.90) que representa 10.78 kW.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **1%** con 1.50 kVA (con FP=1.00) que representa 1.50 kW.

Se concluye que el este centro de transformación está sobredimensionado debido a que su factor de cara máximo es del 31.8% en el edificio Julio Guevara. Por otro lado, el uso de la energía en este edificio es excelente debido a que no hay bajo factor de potencia.

5.5.1.5. CONSUMO DE ENERGÍA

Según la tabla 18, durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 140.36 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 4269.24 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 18. Consumo de energía centro de transformación #04, Julio Guevara

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	422.44	3.01	140.36	4,269.24	51,230.84

5.5.1.6. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje), tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 19. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #04

THD V L1	THD V L2	Promedio	THD A L1 Med	THD A L2 Med	Promedio
3.79	3.87	3.83	40.30	68.46	54.38
2.53	2.62	2.57	17.68	16.82	17.25
1.45	1.41	1.43	6.08	5.35	5.72

En la tabla anterior, se muestran los valores en porcentaje registrados por el equipo analizador Fluke de la tasa de distorsión armónica de voltaje (THD V) y de

la tasa de distorsión armónica de corriente (THD A) por cada una de las líneas del sistema trifásico que alimenta a todos los equipos de la empresa. Los valores de interés son los valores promedio (en negrita), y con respecto a la THD de voltaje se encuentra dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **2.57%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **17.25%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.5.2. EDIFICIO COMEDOR

5.5.2.1. POTENCIA ACTIVA KW DE SUMINISTRO DEL COMEDOR CORRESPONDIENTE AL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04

Para visualizar el consumo de energía eléctrica del edificio del comedor, se presenta la medición realizada en la acometida.

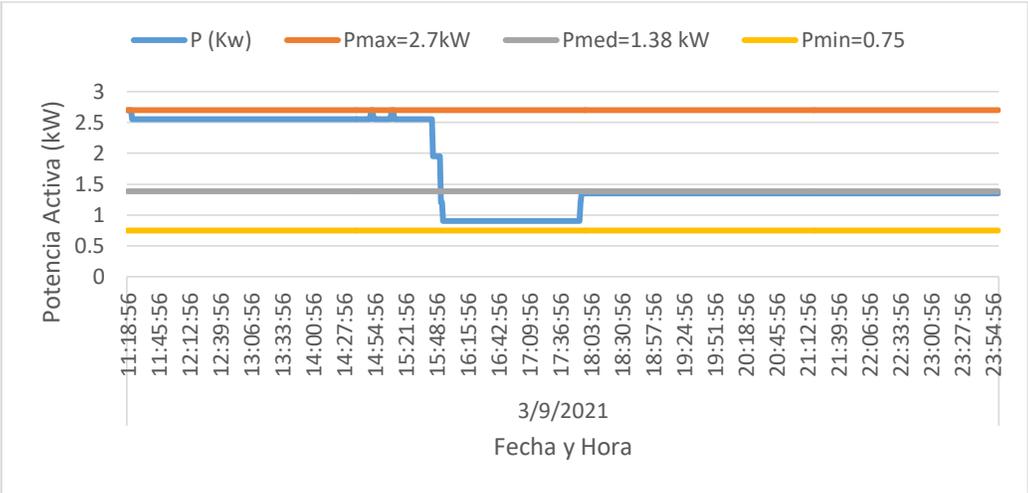


Gráfico 16. Curva de carga del comedor, centro de transformación #04

Según el gráfico 16, el mayor consumo registrado en el comedor fue a partir de las 6 am con 2.7 kWh, finalizando a las 4 pm con 0.75 kWh. El consumo de este

edificio se mantiene estable a través del tiempo debido a que en su mayoría sus equipos consumidores son iluminación.

5.5.2.2. *VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES*

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformadores:

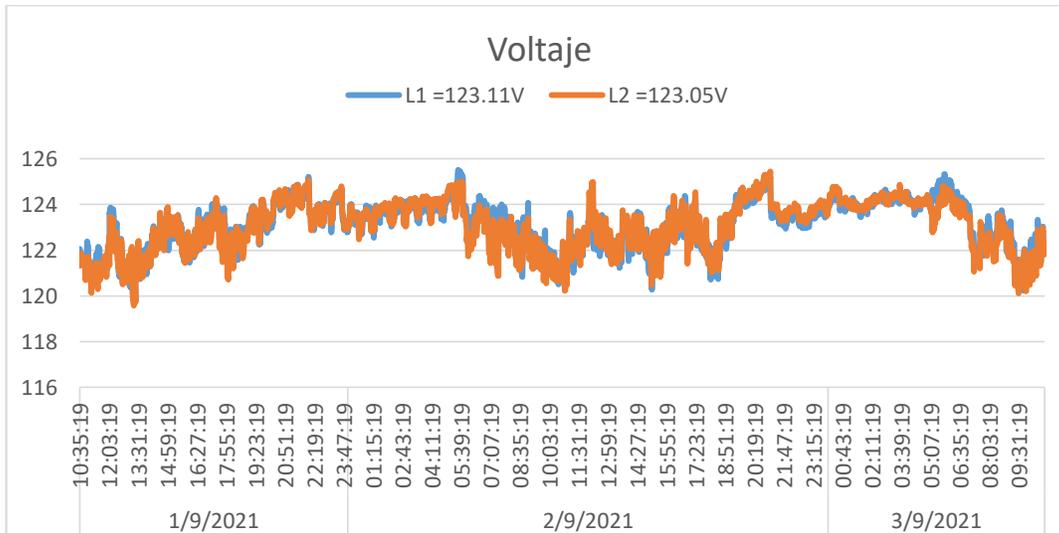


Gráfico 17. Voltajes de fase del panel principal del comedor, centro de transformación #04

Según la gráfica 17, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.24%, dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3%. Cabe mencionar que, según la conexión del alimentador, el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, es decir, que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (126.73 V a 127.83 V) encontrados en este panel principal, están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación.

5.5.2.3. *ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS*

Para analizar los desbalances en las mediciones realizadas, se analizó la situación de la carga de cada una de las fases que alimentan todos los equipos de las instalaciones, que trabajan con voltajes de 120V/240V, que comprende todas las áreas de este. A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

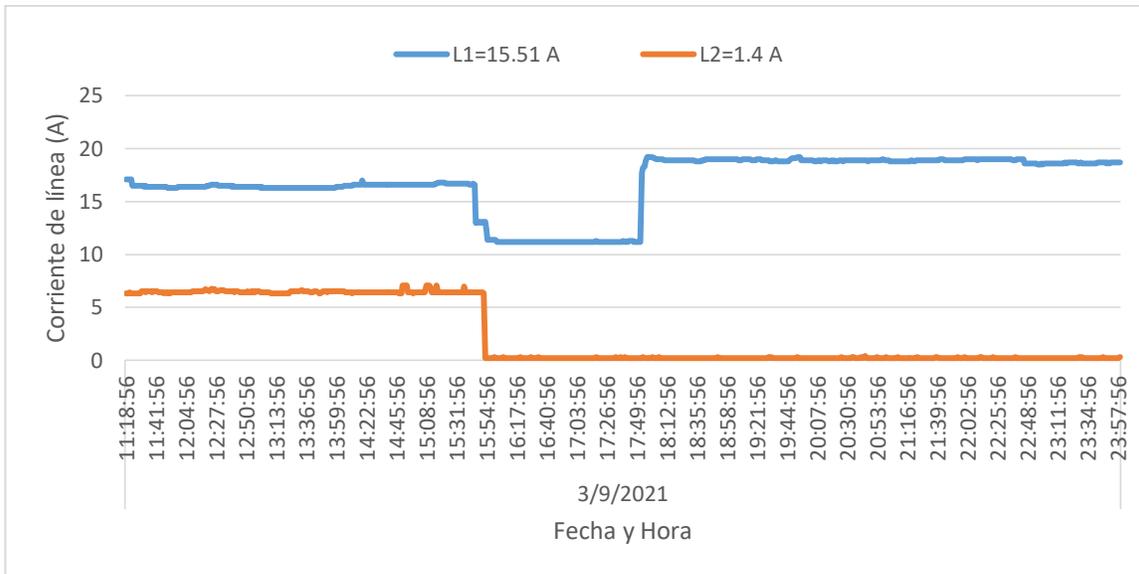


Gráfico 18. Corriente de línea en el panel principal del comedor

El desbalance de corrientes máximo es de 83.5%, que corresponde a la línea 1 con mucha mayor carga que la línea 2. Cabe mencionar que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga, es decir, que el panel principal del edificio posee un valor de desbalance por encima del 10%, por lo cual se recomienda realizar un balance de cargas, el sistema eléctrico en general no se encuentra dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.5.2.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke

L1= 15.51 A.

L2= 1.4 A.

$$Promedio\ amp = \frac{L1 + L2}{2} = \frac{15.51A + 1.4A}{2} = 8.45A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - Prom.\ Amp}{prom\ amp} = \frac{15.51A - 8.45A}{8.45A} \times 100 = 83.55\%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{1.4A - 8.45 A}{8.45 A} \times 100 = -83.55 \%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 15.51A - 7.5A = 8.01 A$$

$$L2 = 1.4A + 7.5A = 8.9 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{8.01A - 8.45A}{8.45 A} \times 100 = 4.14 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{8.9A - 8.45 A}{8.45 \text{ amp}} \times 100 = 5.32\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área del CNEG tenemos que trasladar 7.5 amperios de la línea 1 a la línea 2. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 4.14% en la línea 1, 5.32% para la línea 2.

5.5.2.5. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 18.8 A.

Amperaje actual (Amperaje previo según mediciones): 15.20 A.

A. Disminuido = A. previo - A. actual prom.

$$A. \text{Disminuido} = 18.80 A. - 15.20 A.$$

$$A. \text{Disminuido} = 3.59 A.$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(\text{voltaje}) * (A. \text{dism}) * F. \text{pot}_{\text{prom}} / 1000 * \text{horas dia}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120v) * (3.59 \text{ amp}) * \frac{0.64}{1000} * 10 \frac{\text{hrs}}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 8.31 kWh$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{8.31 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 1 kW$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 8.31 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 249.36 kWh$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 1 kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 249.36 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.26$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 1,596.95$$

$$Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{mes} + \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado por kWh}}$$

$$Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}} = 6.40 + 1546.06 = 1,603.36$$

$$USD/mes \text{ ahorrado} = \frac{Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}}}{Precio \text{ del dolar}}$$

$$\frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} = \frac{C\$1,603.36}{\frac{1 USD}{36.25 C\$}} = U\$44.23$$

$$\frac{USD}{año} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{año} \text{ ahorrado} = 65.79 \frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 530.77$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$530.77 anuales.

5.5.2.6. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA.

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #04 de 175 kVA.

Tabla 20. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #04, Julio Guevara.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	2.70	3.00	0.90	12.0%
Prom	1.39	2.11	0.66	8.4%
Mín	0.75	1.35	0.56	5.4%

En la gráfica tabla anterior, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante 23 horas y 59 minutos en los que se realizó la medición. Se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **12%** con 3 kVA (con FP=0.90) que representa 2.70 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 175 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **8.4%** con 2.11 kVA (con FP=0.66) que representa 1.39kW.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **5.4%** con 1.35 kVA (con FP=0.56) que representa 0.75 kW.

Como se puede observar el factor de carga es bajo, por lo que se concluye que este centro de carga está sobredimensionado, y según el factor de potencia que es bajo, se puede concluir que un 34% de la energía consumida por el edificio es transformada a energía lumínica, entre otros tipos de pérdidas.

5.5.2.7. CONSUMO DE ENERGÍA

Según tabla 21, durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 33.29 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 1020.55 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 21. Consumo de energía del comedor, centro de transformación #04

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30	33.296	1	33.32	1,013.46	12,161.48

5.5.2.8. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje), tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 22. Tasas de distorsión armónica del comedor, centro de transformación #04

THD V L1	THD V L2	Promedio	THD A L1 Med	THD A L2 Med	Promedio
3.70	3.73	3.72	11.54	327.67	169.61
2.39	2.41	2.40	8.28	104.34	56.31
1.49	1.52	1.51	5.73	1.69	3.71

En la tabla anterior, se muestran los valores en porcentaje registrados por el equipo analizador Fluke de la tasa de distorsión armónica de voltaje (THD V) y de la tasa de distorsión armónica de corriente (THD A) por cada una de las líneas del sistema trifásico que alimenta a todos los equipos de la empresa. Los valores de interés son los valores promedio (en negrita), y con respecto a la THD de voltaje se encuentra dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **2.40%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a los equipos en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **56.31%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.5.3. ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #04

Debido a que el centro de transformación del Julio Guevara y comedor está compuesto por dos paneles principales, se tuvo que realizar dos mediciones distintas, por lo que se resumirá los datos para obtener el factor de carga total del centro de transformación y sus consumos totales.

Tabla 23. Estado General del centro de transformación #04

	P (kW)	S (kVA)	FP	FC
Max	45.6	50.7	0.89	28.97%
Prom	12.17	14.09	0.86	8.05%
Min	2.25	2.85	0.78	1.63

De la tabla 23 se puede observar el estado general del centro de transformación #04, se concluye que el factor de carga es muy bajo para la capacidad instalada y su factor de potencia promedio se encuentra por encima de 0.85, por lo que no recibirá multas por bajo factor de potencia.

5.6. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #5 DE 3X75kVA TRIFÁSICO

5.6.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA A BIBLIOTECA

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el área del edificio de la Biblioteca se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x75 kVA (ver Anexo 4) en conexión estrella para el suministro de energía de estas áreas. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en el panel eléctrico principal ubicado en la planta baja, específicamente en hemeroteca.

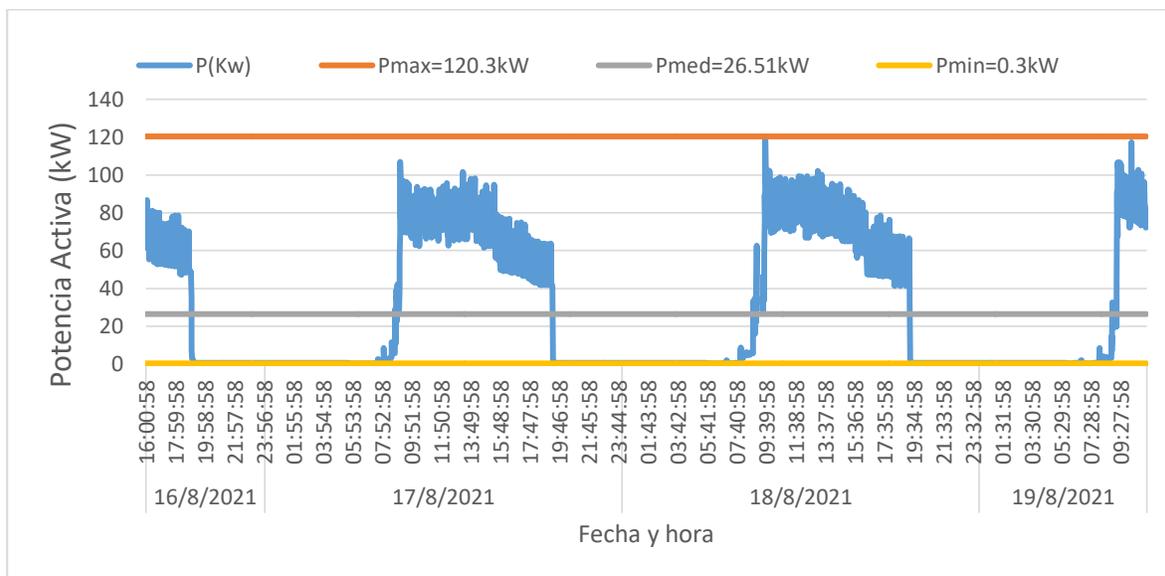


Gráfico 19. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #05

Como se puede observar en la gráfica 19, la Biblioteca empieza a trabajar desde las 8:00 am hasta aproximadamente 7:30 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 120.3 kWh. Los espacios donde el consumo es cero son debido a las horas de la noche, donde la biblioteca ya cerró.

5.6.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al área de la Biblioteca:

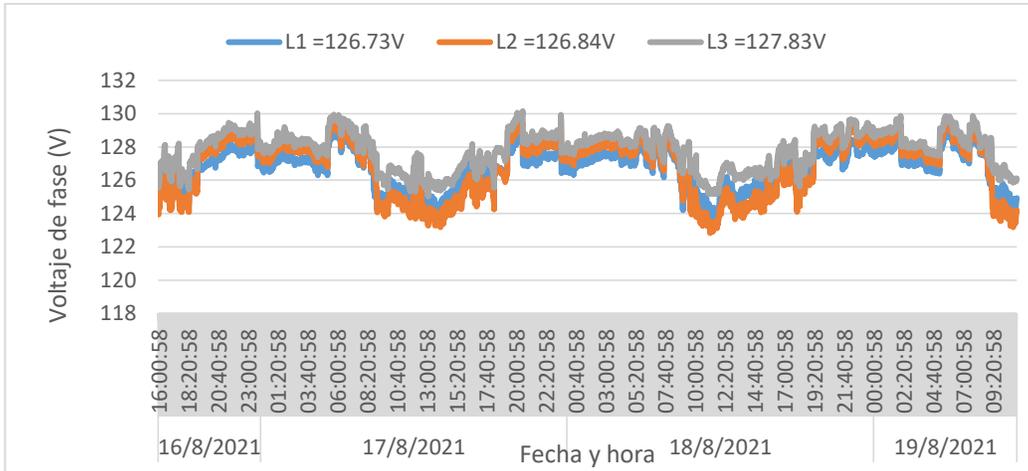


Gráfico 20. Voltajes de fase de panel principal de la biblioteca

Según la gráfica anterior, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.55%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 126.73V y 127.83V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían de ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.6.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

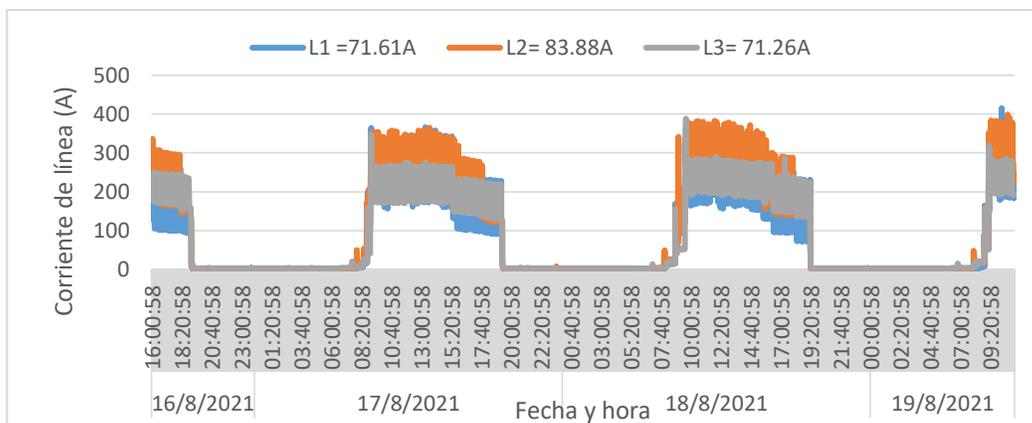


Gráfico 21. Corriente de línea del panel principal del centro de transformación #05

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 11%, que corresponde a la línea 2 con mucha mayor carga que la línea 1 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles, reduciendo la carga en la línea 2 y distribuyéndolas en las líneas 1 y 3, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible y así el sistema eléctrico en general puede encontrarse dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.6.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke.

$$L1=71.60 \text{ A}$$

$$L2= 83.80 \text{ A}$$

$$L3= 71.26 \text{ A}$$

$$\text{Promedio amp} = \frac{L1 + L2 + L3}{3} = \frac{71.6A + 83.80A + 71.26}{3} = 75.59A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom amp}} = \frac{71.6A - 75.59 A}{75.59A} \times 100 = 5.3 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{83.80 A - 75.59 A}{75.59 A} \times 100 = -11 \%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{71.26A - 75.59 A}{75.59A} \times 100 = 5.7 \%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 71.6A + 5A = 76.5 A$$

$$L2 = 83.80A - 5A = 78.8$$

$$L3 = 71.26$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - Prom. Amp}{prom. amp} = \frac{76.5A - 75.59A}{75.59A amp} \times 100 = 1.20 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - Prom. Amp}{prom. amp} = \frac{78.80A - 75.59 A}{75.59 A} \times 100 = 4.24\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - Prom. Amp}{prom. amp} = \frac{71.26 - 75.59 A}{75.59 A} \times 100 = 5.7\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área de biblioteca tenemos que trasladar 5 amperios de la línea 2 a la línea 1. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 1.2% en la línea 1, 4.24% para la línea 2 y 5.7% para la línea 3.

5.6.5. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 27.6 A.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 15 A.

$A. disminuido = A. previo - A. actual promedio$

$$A. disminuido = 27.6 A. - 15 A.$$

$$A. disminuido = 12.6 A.$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(voltaje) * (A. dism) * F. pot_{prom} / 1000 * horas dia}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120v) * (12.6 A) * \frac{0.77}{1000} * 10 \frac{hrs}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 20.20 kWh$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{20.20 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 1 kW$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 20.20 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 605.97 kWh$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 1 kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 605.97 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.4041$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 3880.69$$

$$Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{mes} + \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado por kWh}}$$

$$Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}} = 6.40 + 3880.69 = 3,887.09$$

$$USD/mes \text{ ahorrado} = \frac{Total \frac{C\$}{mes \text{ ahorrado}}}{Precio \text{ del dolar}}$$

$$\frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} = \frac{C\$3,887.09}{\frac{1 USD}{36.25 C\$}} = U\$107.38$$

$$\frac{USD}{año} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{año} \text{ ahorrado} = 107.38 \frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 1,288.54$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$1,288.54 anuales.

5.6.6. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA.

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #05 de 225 kVA.

Tabla 24. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #05.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	120.30	133.95	0.90	59.5%
Prom	26.51	28.63	0.93	12.7%
Mín	0.30	0.30	1.00	0.1%

En la tabla anterior, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante los 2 días, 7 horas y 59 minutos en los que se realizó la medición. Se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **59.5%** con 133.95 kVA (con FP=0.90) que representa 120.30 kW, que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 225 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **12.7 %** con 28.63 kVA (con FP=0.93) que representa 26.51 kW.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **0.1%** con 0.3 kVA (con FP=1.00) que representa 0.3 kW.

5.6.7. CONSUMO DE ENERGÍA

Según la tabla 25, durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 594.69 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 18,088.53 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 25. Consumo de energía, centro de transformación #05

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30	1665.55	2.80	594.69	18,088.53	217,062.37

5.6.8. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 26. Tasas de distorsión armónica, centro de transformación #05

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
3.05	3.34	3.53	3.31	150.91	113.22	159.83	141.32
1.83	2.10	2.27	2.07	20.61	54.07	28.97	34.55
0.96	1.03	1.02	1.00	5.45	9.20	11.89	8.85

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **2.07%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **34.55%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.7. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #6 DE 3X100kVA TRIFÁSICO

5.7.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA (FTI)

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el área del edificio FTI se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x100 kVA (ver anexo 5) en conexión estrella, para el suministro de energía a esta área. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en el panel eléctrico principal ubicado en la planta baja.

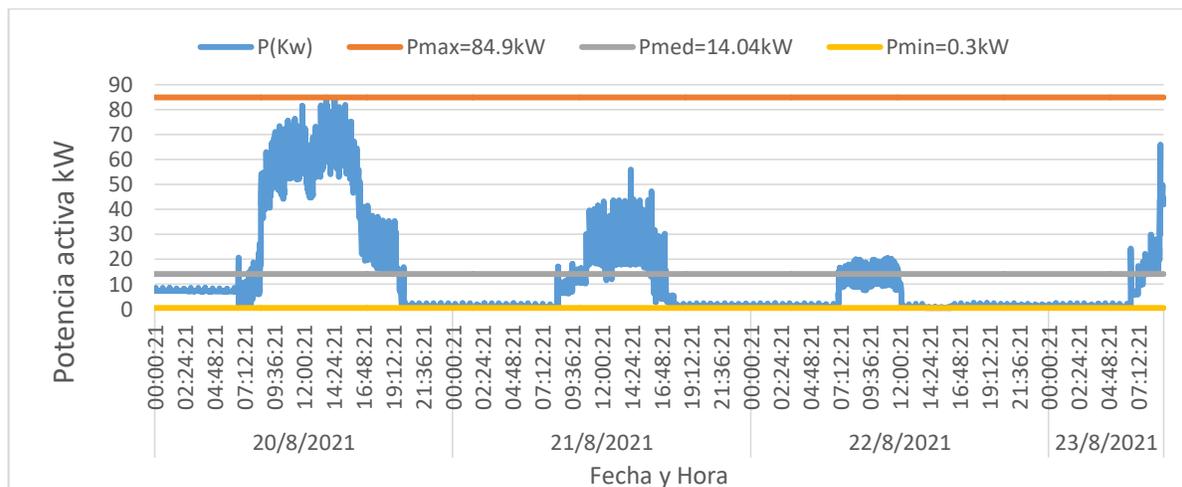


Gráfico 22. Curva de carga en el panel principal del centro de transformación #06

Como se puede observar en el gráfico 22, el edificio FTI empieza a trabajar desde las 7:00 am hasta aproximadamente 8:00 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 84.90 kW.

5.7.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al área del edificio FTI.

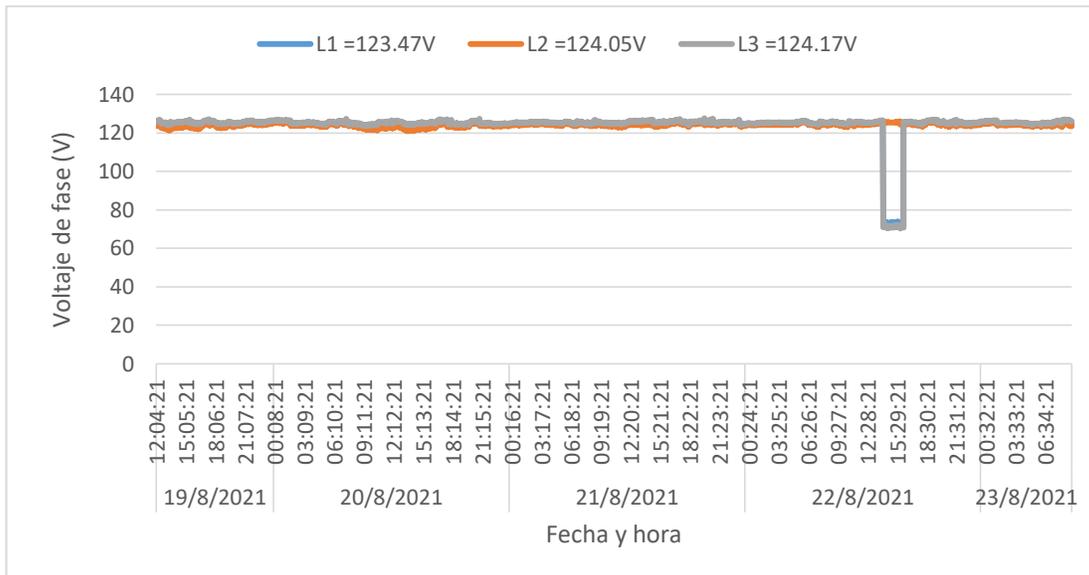


Gráfico 23. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #06

Según el gráfico 23, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.34%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 123.47V y 124.17V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.7.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

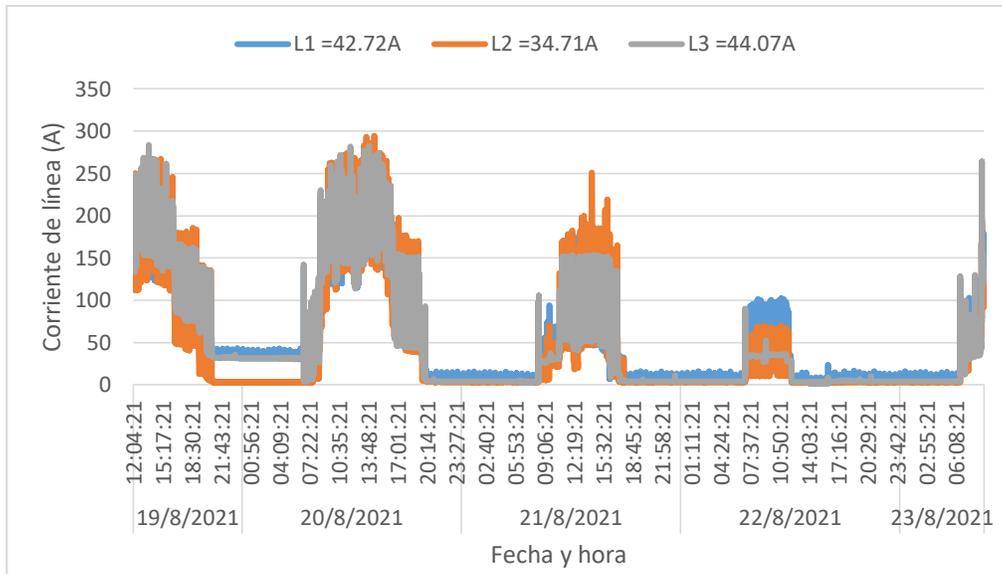


Gráfico 24. Corriente de línea del centro de transformación #06

Según los datos analizados en una tabla de Excel y la tabla 24, el desbalance de corrientes máximo es de 14.3%, que corresponde a la línea 2 con mucha menor carga que la línea 1 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles, aumentando la carga de la línea 2 y reduciendo la carga de las líneas 1 y 3, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible.

5.7.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke

L1=42.72 A

L2= 34.71 A

L3= 44.07 A

$$Promedio amp = \frac{L1 + L2 + L3}{3} = \frac{44.72A + 34.71A + 44.07}{3} = 40.50A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{42.72A - 40.50 A}{40.50A} \times 100 = -5.3 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{34.71 A - 40.50 A}{40.50 A} \times 100 = 14.3 \%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{44.07A - 34.71 A}{40.50A} \times 100 = -8.8\%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 42.72 A$$

$$L2 = 34.7A + 4A = 38.7 A$$

$$L3 = 40.07 A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{42.72A - 40.50 A}{40.50A} \times 100 = -5.3 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{38.7 A - 40.50 A}{40.50 A} \times 100 = 4.4\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{40.07A - 40.50 A}{40.50A} \times 100 = 1.06\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área de la FTI tenemos que trasladar 4 amperios de la línea 3 a la línea 2. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 5.3% en la línea 1, 4.4% para la línea 2 y 1.06% para la línea 3.

5.7.5. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo: 41.5 AMP.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 8.17 AMP.

$$A. \text{ disminuido} = A. \text{ previo} - A. \text{ actual promedio}$$

$$A. \text{ disminuido} = 41.5 A. - 8.17 A.$$

$$A. \text{ Disminuido} = 33.33 A.$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(\text{voltaje}) * (A. \text{dism}) * F. \text{pot}_{\text{prom}} / 1000 * \text{horas dia}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120v) * (33.33 A) * \frac{0.82}{1000} * 10 \frac{hrs}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 57.39 kWh$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{57.39 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 3 kW$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 57.39 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 1721.70 kWh$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 3 \text{ kW demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 19.21$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 19.21 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.4041$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 11,025.92$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 19.21 + 11,025.92 = 11,045.13$$

$$USD/\text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$11,045.13}{\frac{1 \text{ USD}}{36.25 \text{ C\$}}} = U\$305.11$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 305.11 \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 3661.37$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$3,661.37 anuales

5.7.6. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #06 de 300 kVA.

Tabla 27. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #06.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	84.90	91.35	0.93	30.5%
Prom	14.05	15.35	0.92	5.1%
Mín	0.30	0.45	0.67	0.2%

En la gráfica anterior, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante los 2 días, 21 horas y 11 minutos en los que se realizó la medición. Se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **30.5%** con 91.35 kVA (con FP=0.93) que representa 84.90 kW, que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 225 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **5.1 %** con 15.35 kVA (con FP=0.92) que representa 14.05 kW.
- El factor de carga mínimo que representa el consumo base de la universidad cuando ésta no está operando es **0.2%** con 0.45 kVA (con FP=0.67) que representa 0.3 kW.

Según la tabla 26, se puede concluir este centro de transformación no está operando ni al 50% de su capacidad máxima, lo que quiere decir que esta sobredimensionado. Por otro lado, el factor de potencia registrado en este centro de transformación es de 0.92 en promedio, por lo que no hay problemas de multas por bajo factor de potencia.

5.7.7. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 416.2 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 12,659.45 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 28. Consumo de energía centro de transformación #06

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	1,199.76	2.88	416.20	12,659.45	151,913.34

5.7.8. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 29. Tasas de distorsión armónicas centro de transformación #06

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
9.30	6.09	6.05	7.15	132.85	102.89	106.49	114.08
1.88	1.89	1.93	1.90	43.20	42.66	45.70	43.85
1.18	1.03	1.12	1.11	5.72	7.05	4.85	5.87

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.90%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango permisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **43.85%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.8. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #7 DE 3X37.5kVA TRIFÁSICO

5.8.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO JULIO PADILLA

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el área del edificio Julio Padilla se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x37.5 kVA en conexión estrella, para el suministro de energía a estas áreas. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en el panel eléctrico principal.

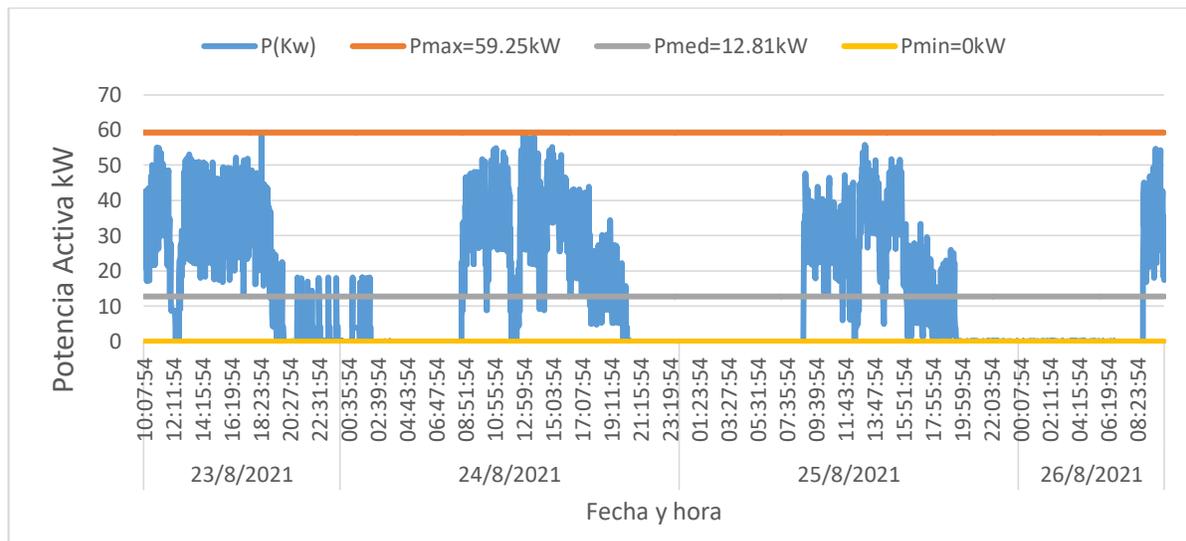


Gráfico 25. Curva de carga de potencia en el centro de transformación #07

Como se puede observar en la gráfica 25, el edificio Julio Padilla empieza a trabajar desde las 8:00 am hasta aproximadamente 8:00 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 59.25 kW. Este edificio se midió durante 3 días y 11 minutos.

5.8.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al edificio del Julio Padilla:

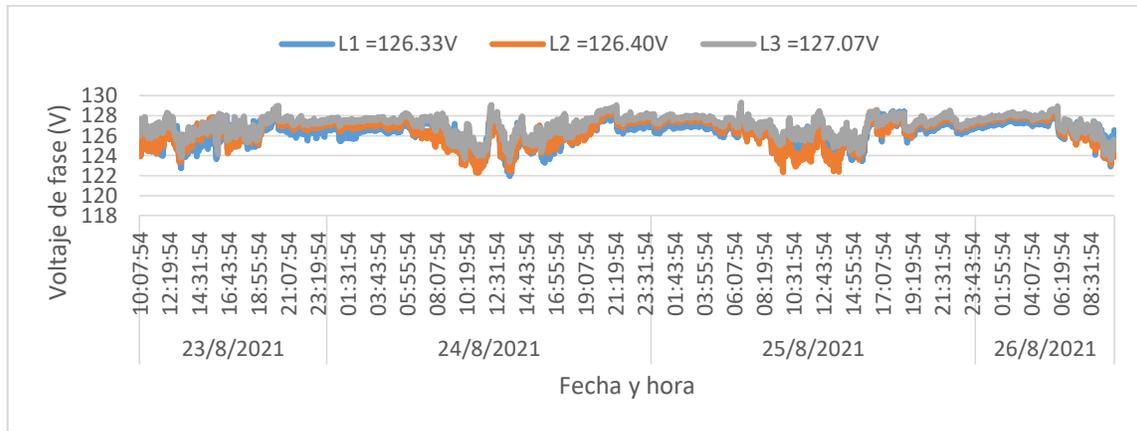


Gráfico 26. Voltajes de fase del centro de transformación #07

Según la gráfica anterior, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.37%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 126.33V y 127.07V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.8.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

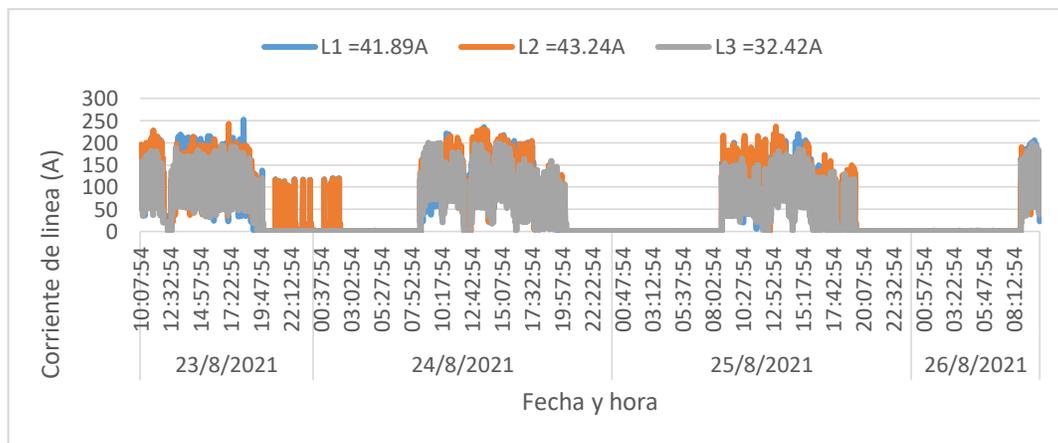


Gráfico 27. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #07

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 17.3%, que corresponde a la línea 3 con mucha menor carga que la línea 1 y 2. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles, reduciendo la carga en la línea 1 y 2 y distribuyéndolas en la línea 3, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible y así el sistema eléctrico en general puede encontrarse dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.8.4. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 21.4 A.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 6.75 A.

$$A. \text{disminuido} = A. \text{Previo} - A. \text{actual prom.}$$

$$A. \text{disminuido} = 21.4 \text{ A.} - 6.75 \text{ A.}$$

$$A. \text{disminuido} = 14.65 \text{ A.}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(\text{voltaje}) * (A. \text{dism}) * F. \text{pot}_{\text{prom}} / 1000 * \text{horas dia}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120v) * (14.65 \text{ amp}) * \frac{0.52}{1000} * 10 \frac{\text{hrs}}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 16.12 \text{ kWh}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{16.12 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 1 \text{ kW}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 16.12 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 483.66 \text{ kWh}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 1 \text{ kW demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 483.66 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 3,097.38$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 6.40 + 3,097.38 = 3,103.78$$

$$U\$D/\text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{U\$D}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$3,103.78}{\frac{1 \text{ U\$D}}{36.25 \text{ C\$}}} = U\$85.74$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{año} \text{ ahorrado} = 85.74 \frac{USD}{mes} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 1,028.88$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$1,028.88 anuales.

5.8.5. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA Y FACTOR DE POTENCIA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #07 de 112.5 kVA.

Tabla 30. Factor de carga y factor de potencia, centro de transformación #07.

	P(kW)	S(kVA)	FP	FC
Máx	59.25	72.45	0.82	64.4%
Prom	12.81	14.93	0.86	13.3%
Mín	-	-	-	-

En la gráfica anterior, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante los 3 días, 0 horas y 11 minutos en los que se realizó la medición, dibujando una línea azul que permite comparar esos consumos y determinar el grado de utilización del equipo. A ese valor se le conoce como factor de carga. Basado en la ilustración, se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **64.4%** con 72.45 kVA (con FP=0.93) que representa 59.25 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 225 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **13.3%** con 14.93 kVA (con FP=0.93) que representa 12.81 kW.

Según la tabla 26, se concluye que este centro de transformación está operando en buenas condiciones, siendo esta mayor al 50%. El factor de potencia promedio de este centro de transformación es de 0.86, el cual se encuentra dentro del rango permisible y con esto se evitan multas por bajo factor de potencia.

5.8.6. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 244.76 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 7,444.87 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 31. Consumo de energía del centro de transformación #07

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	736.16	3.01	244.76	7,444.87	89,338.41

5.8.7. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 32. Tasas de distorsión armónicas del centro de transformación #07

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
2.99	3.64	3.76	3.46	125.53	327.67	77.16	176.79
1.73	1.75	1.82	1.77	27.30	40.36	25.13	30.93
0.98	1.15	1.13	1.09	2.07	2.61	2.73	2.47

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.77%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **30.93%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.9. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #8 DE 3X75kVA TRIFÁSICO

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el área del Edificio Marlon Zelaya, se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x75kVA (ver anexo 6) para el suministro de energía a estas áreas. En este edificio se realizó tres mediciones: panel principal Marlon Zelaya Lado Norte, panel principal Marlon Zelaya lado Sur y Panel principal #3 que se encuentra al lado de los baños para damas.

Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta las mediciones realizadas en los paneles eléctricos principales.

5.9.1. MARLON ZELAYA LADO NORTE

5.9.1.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMNINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO NORTE

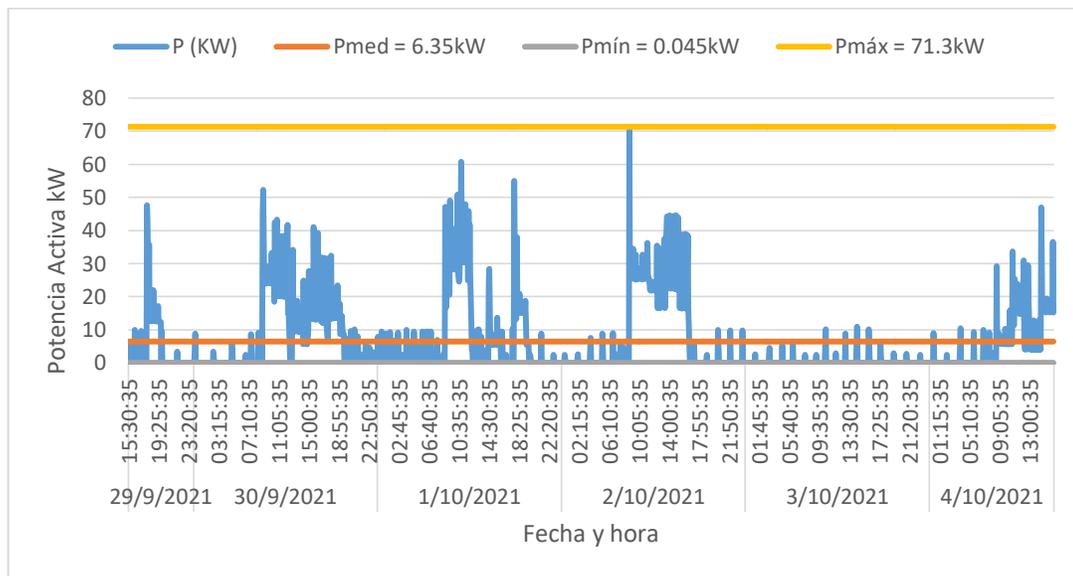


Gráfico 28. Curva de carga en el panel principal del centro de transformación #08 Norte

Como se puede observar en la gráfica 28, el edificio Marlon Zelaya norte empieza a tener altos consumo debido a los aires a partir de las 9:00 am hasta aproximadamente las 7:30 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 71.3 kW.

5.9.1.2. VOLTAJE DE SUMINISTRO

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al edificio del Marlon Zelaya Norte:

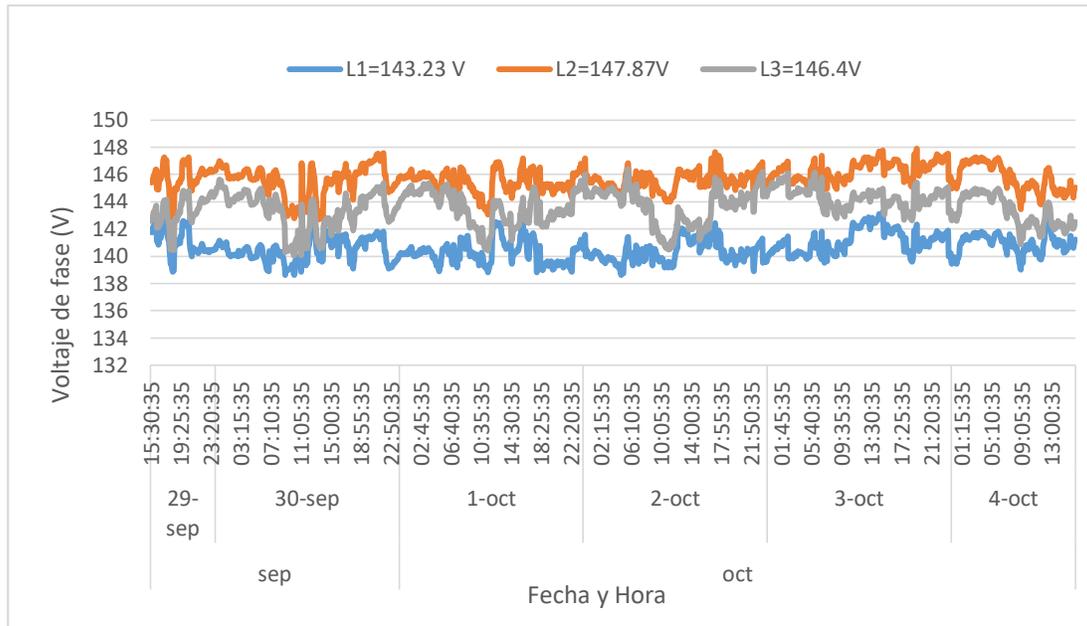


Gráfico 29. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #08

Según la gráfica 29 y cálculos de Excel, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 1.88%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 143.23V y 147.87V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.9.1.3. ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

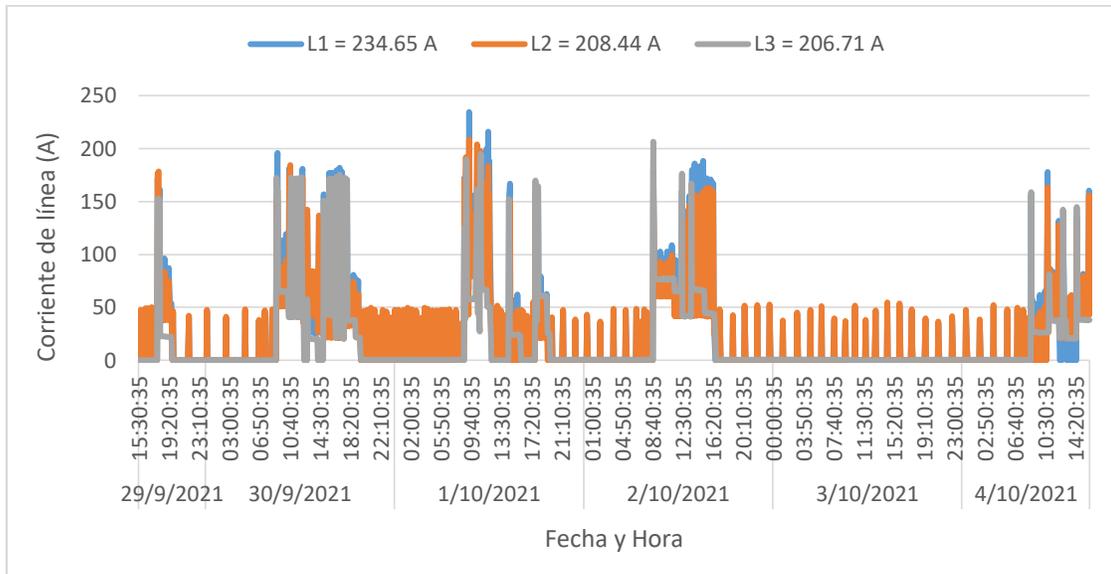


Gráfico 30. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #08 Norte

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 22.2%, que corresponde a la línea 1 con mucha mayor carga que la línea 2 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles, reduciendo la carga en la línea 1 y 2 y distribuyéndolas en la línea 3, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible y así el sistema eléctrico en general puede encontrarse dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.9.1.4. CALCULO DE BALANCE DE CARGA EN EL PANEL PRINCIPAL

Datos obtenidos por el equipo de medición Fluke

L1=24.65 A

L2= 20.11 A

L3= 15.76 A

$$Promedio amp = \frac{L1 + L2 + L3}{3} = \frac{24.65A + 20.11A + 15.76A}{3} = 20.18A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas actuales.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom amp}} = \frac{24.65A - 20.18 A}{20.18} \times 100 = -22.2 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{20.11 A - 20.18 A}{20.18 A} \times 100 = 0.3\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{15.76A - 20.18 A}{20.18 A} \times 100 = 21.9\%$$

Propuesta de Balance de Línea.

$$L1 = 24.65A - 4A = 20.65A$$

$$L2 = 20.11 A$$

$$L3 = 15.76 + 4A = 19.76A$$

Porcentaje de desbalance entre líneas.

$$D1\% = \frac{L1 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom amp}} = \frac{20,65A - 20.18 A}{20.18} \times 100 = -2.3 \%$$

$$D2\% = \frac{L2 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{20.11 A - 20.18 A}{20.18 A} \times 100 = 0.3\%$$

$$D3\% = \frac{L3 - \text{Prom. Amp}}{\text{prom. amp}} = \frac{19.76A - 20.18 A}{20.18 A} \times 100 = 2.1\%$$

Según los cálculos, para que exista un desbalance menor al 5% en el área del CNEG tenemos que trasladar 4 amperios de la línea 1 a la línea 3. De esta forma nos quedamos con valores de desbalance de 2.3% en la línea 1, 0.3% para la línea 2 y 2.1% para la línea 3.

5.9.1.5. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 0.6 A.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 0.23 A.

$A. disminuido = A. previo - A. actual prom.$

$$A. disminuido = 0.6 A. - 0.23 A.$$

$$A. disminuido = 0.37 A.$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(voltaje) * (A. dism) * F. pot_{prom} / 1000 * 10 hrs / dia}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(120v) * (0.37 amp) * \frac{0.98}{1000} * 10 \frac{hrs}{dia}}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = 0.77 kWh$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{\frac{kWh}{dia ahorrado}}{horas dia}$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{0.37 \frac{kWh}{dia ahorrado}}{24 horas dia} = 1 kW$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = \frac{kWh}{dia ahorrado} * dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 0.77 \frac{kWh}{dia ahorrado} * 30 dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 23.23 kWh$$

$$C\$ por \frac{kW}{mes} = 6.4041 * kW demandado ahorrado$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.4041 * 1 \text{ kW demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 23.23 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.40$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 148.80$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 148.80 + 6.40 = 155.20$$

$$USD/\text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$155.20}{\frac{1 \text{ USD}}{36.25 \text{ C\$}}} = U\$4.89$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 4.89 \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 58.68$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$58.68 anuales.

5.9.1.6. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 99.75 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 3,033.96 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 33. Consumo de energía del centro de transformación #08 Norte

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	501.50	5.03	99.75	3,033.96	36,407.46

5.9.1.7. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 34. Tasa de distorsión armónica del centro de transformación #08

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
3.60	4.30	3.90	3.93	99.90	41.30	22.40	54.53
1.75	1.66	1.75	1.72	6.42	5.42	4.53	5.46
0.90	0.90	1.00	0.93	-	-	-	-

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.72%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por debajo del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **5.46%**, por lo tanto, no excede el porcentaje admisible y se no se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.9.2. MARLON ZELAYA LADO SUR

5.9.2.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO SUR

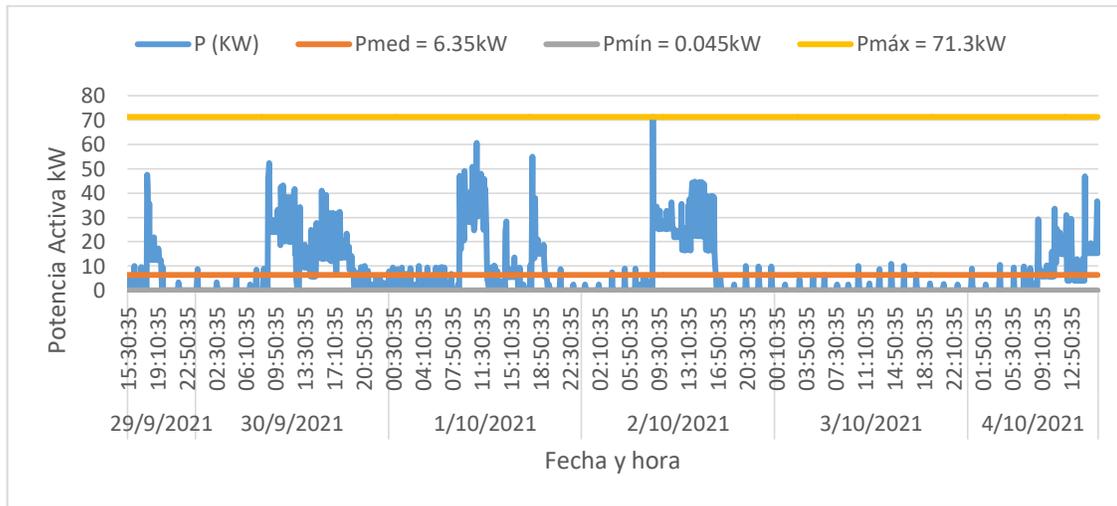


Gráfico 31. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #08, Sur

Como se puede observar en la gráfica 31, el edificio Marlon Zelaya norte empieza a tener altos consumo debido a los aires a partir de las 9:00 am hasta aproximadamente las 7:30 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 71.3 kW.

5.9.2.2. VOLTAJE DE SUMINISTRO

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al edificio del Marlon Zelaya Norte:

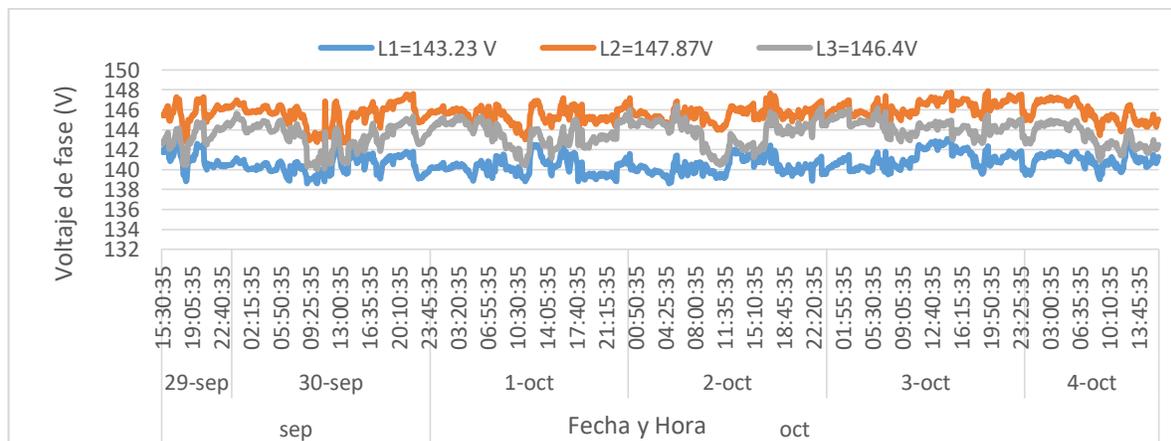


Gráfico 32. Voltajes de fase del panel principal del centro de transformación #08 Sur

Según la gráfica 32, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 1.88%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 126.33V y 127.07V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.9.2.3. ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

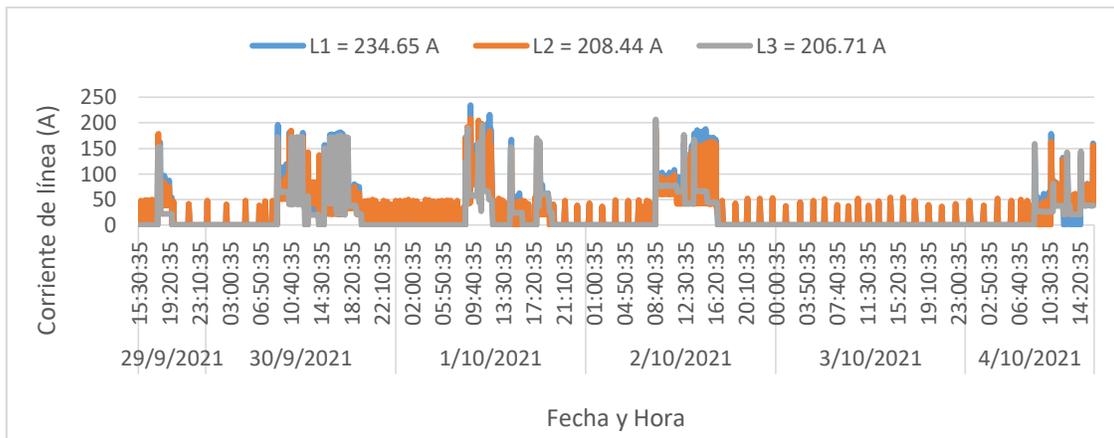


Gráfico 33. Corriente de línea en el panel principal del centro de transformación #08 Sur

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 22.2%, que corresponde a la línea 1 con mucha mayor carga que la línea 2 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los subpaneles, reduciendo la carga en la línea 1 y 2 y distribuyéndolas en la línea 3, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible y así el sistema eléctrico en general puede encontrarse dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.9.2.4. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje promedio: 77.72 A.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 45.91 A.

$A. disminuido = A. previo - A. actual prom.$

$$A. disminuido = 77.72 A - 45.91 A$$

$$A. disminuido = 31.80 A$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(voltaje) * (A. dism) * F.pot_{prom}/1000 * horas dia}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = \sqrt[3]{(120V) * (31.80A) * \frac{0.92}{1000} * 10 \frac{hrs}{dia}}$$

$$\frac{kWh}{dia ahorrado} = 105.63 kWh$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{\frac{kWh}{dia ahorrado}}{horas dia}$$

$$kW demandado ahorrado = \frac{105.63 \frac{kWh}{dia ahorrado}}{24 horas dia} = 5 kW$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = \frac{kWh}{dia ahorrado} * dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 105.63 \frac{kWh}{dia ahorrado} * 30 dias del mes$$

$$\frac{kWh}{mes ahorrado} = 3168.86 kWh$$

$$C\$ por \frac{kW}{mes} = Costo kW por tarifa * kW demandado ahorrado$$

$$C\$ por \frac{kW}{mes} = C\$6.1652 * 5 kW demandado ahorrado$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 30.826$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 3168.86 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.1652$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 19,536.65$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 30.826 + 19,536.65 = 19,567.47$$

$$U\$D/\text{mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{U\$D}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$19,567.47}{\frac{36.25 C\$}{1 U\$D}} = U\$539.79$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{U\$D}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 539.79 \frac{U\$D}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 6,477.48$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$6,477.48 anuales.

5.9.2.5. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 99.75 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 3,033.96 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 35. Consumo de energía del centro de transformación #08, Sur

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30	501.50	5.03	99.75	3,033.96	36,407.46

5.9.2.6. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 36. Tabla de distorsión armónica del centro de transformación #08 Sur

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
3.60	4.30	3.90	3.93	99.90	41.30	22.40	54.53
1.75	1.66	1.75	1.72	6.42	5.42	4.53	5.46
0.90	0.90	1.00	0.93	-	-	-	-

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.72%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por debajo del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **5.46%**, por lo tanto, no excede el porcentaje admisible y se no se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

5.9.3. MARLON ZELAYA LADO #3

5.9.3.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMNINISTRADA AL EDIFICIO MARLON ZELAYA LADO #3

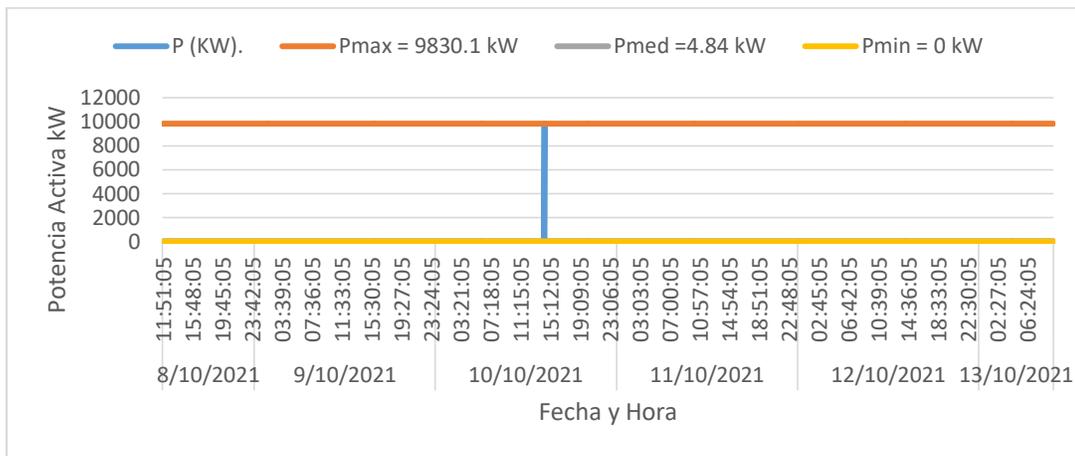


Gráfico 34. Curva de carga de panel principal del centro de transformación #8

Como se puede observar en la gráfica 34, el panel principal #3 del Marlon Zelaya empieza a trabajar a partir de las 7:00 am hasta aproximadamente las 5:30 am del siguiente día para volver a reanudar sus operaciones a las 7:00 am, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 9830.1kW.

5.9.3.2. VOLTAJE DE SUMINISTRO

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al edificio del Marlon Zelaya #3:

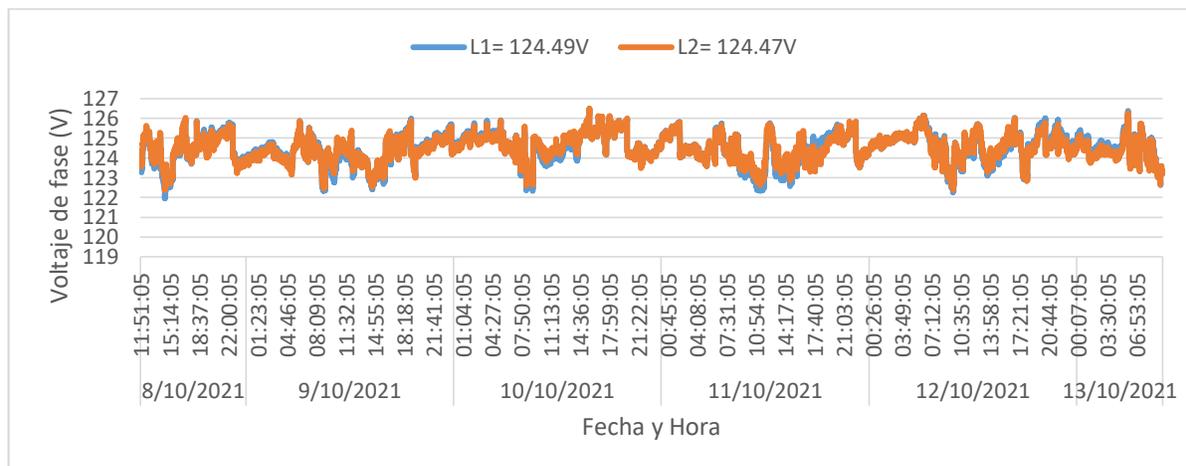


Gráfico 35. Voltajes de fase del panel principal #3 del edificio Marlon Zelaya

Según la gráfica 35, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.00%, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de desbalance de voltaje permisible. Los valores de voltaje en el secundario se encuentran en un rango entre 126.33V y 127.07V. Según la conexión del alimentador, los voltajes de fase de alimentación deberían ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, por lo que estos valores registrados durante el tiempo de medición están comprendidos como nominales y son completamente normal para su operación.

5.9.3.3. ANÁLISIS DE DESBALANCE DE FASES POR CORRIENTE ELÉCTRICA

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

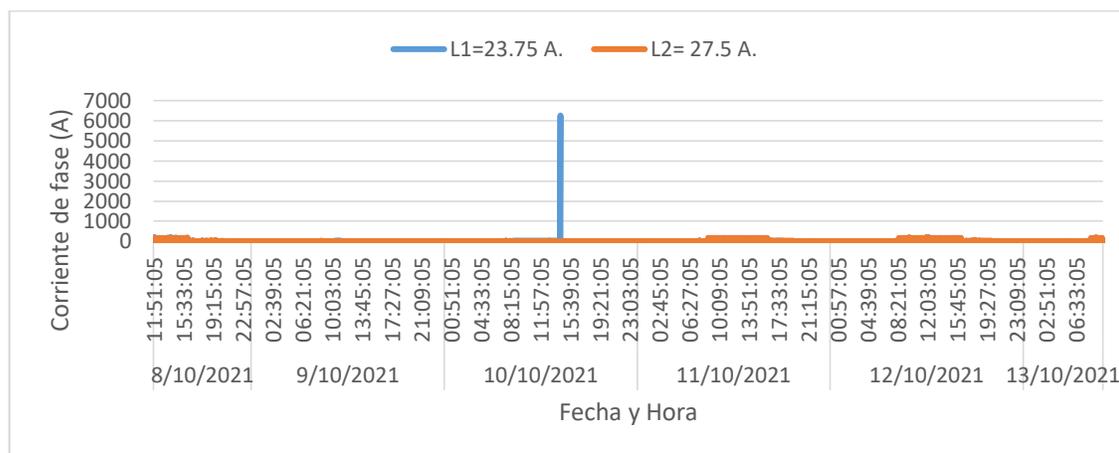


Gráfico 36. Corriente de línea en el panel principal #3 del Marlon Zelaya

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 4.1%, que corresponde a la línea 1 con mucha mayor carga que la línea 2 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de mediciones registradas y analizadas en Excel que nos muestran que el desbalance es menor del 10%, por lo que no se recomienda realizar balances de cargas.

5.9.3.4. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 70.92 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 2,157.09 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 37. Consumo de energía del centro de transformación #08, panel principal #3

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30	348.83	4.92	70.92	2,157.09	25,885.08

5.9.3.5. *DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL*

A continuación, se muestra una tabla que representa los valores de la tasa de distorsión armónica (en porcentaje) de las líneas tanto de corriente como de voltaje:

Tabla 38. Tasas de distorsión armónica del panel principal #3, edificio Marlon Zelaya

THD V L1	THD V L2	Promedio	THD A L1	THD A L2	Promedio
5.02	4.99	5.01	327.67	88.36	208.02
1.99	1.90	1.94	56.98	34.77	45.88
1.08	1.10	1.09	5.07	2.23	3.65

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.94%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **45.88%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible.

5.9.4. *ESTADO GENERAL DEL BANCO DE TRANSFORMADOR DEL MARLON ZELAYA.*

Debido a que el centro de transformación del Marlon Zelaya está compuesto por tres paneles principales, se tuvo que realizar 3 mediciones distintas, por lo que se resumirá los datos para obtener el factor de carga total del centro de transformación y sus consumos totales.

Tabla 39. Estado General del centro de transformación #08

	P (kW)	S (kVA)	FP	FC
Max	175.9	206.64	0.85	91.84%
Prom	17.56	22.97	0.7644	10.21%
Min	0.1	0.16	0.625	0.07%

Según la tabla 39, se concluye que el centro de transformación se encuentra en excelentes condiciones, pero su factor de potencia es bajo, lo cual puede causar problemas de multa por bajo factor de potencia.

5.10. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #9 DE 3X75kVA TRIFÁSICO

5.10.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMNINISTRADA A LABORATORIOS DE BIOMASA

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el sector se laboratorios de biomasa se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x75 kVA (ver anexo 7) en conexión delta, para el suministro de energía a estas áreas. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en el panel eléctrico principal.

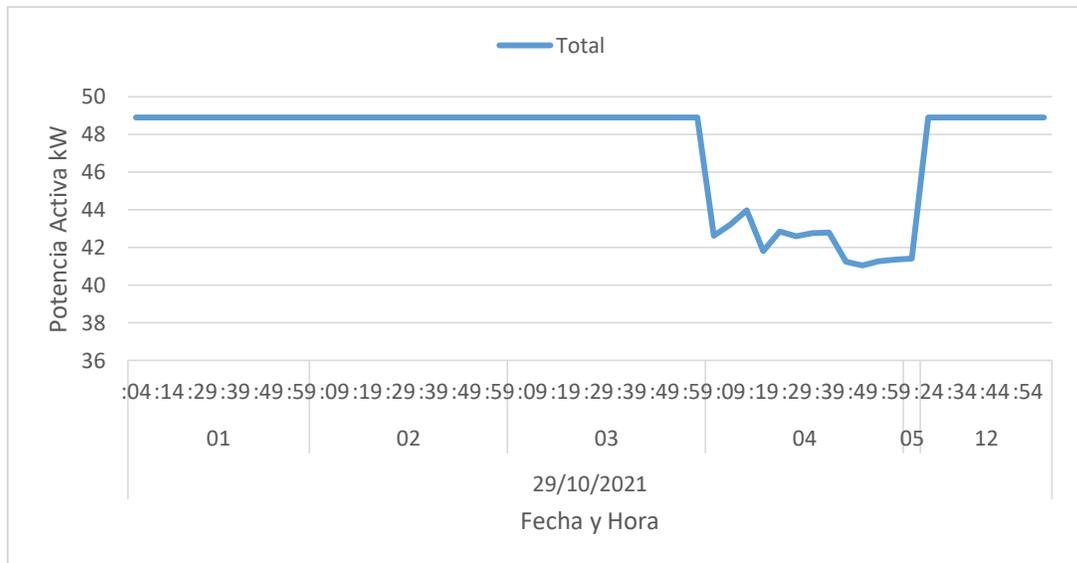


Gráfico 37. Curva de carga de potencia del centro de transformación #09

5.10.2. ESTADO GENERAL DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #9

En la siguiente tabla se muestra el consumo total del centro de transformación #9, donde se representa en las columnas los consumos en kW, kVA, el factor de potencia y el factor de carga.

Tabla 40. Estado General del centro de transformación #09

	P (kW)	S (kVA)	FP	FC
Max	48.89	53.84	0.91	23.9%
Prom	47.34	52.14	0.91	23.2%
Min	41.04	45.20	0.91	20.1%

- El factor de carga máximo es **23.9%** con 53.84 kVA (con FP=0.91) que representa 48.89 kW que se encuentra con carga de la capacidad nominal del banco de transformador de 225 kVA sobredimensionado.
- El factor de carga promedio es **23.2%** con 52.14 kVA (con FP=0.91) que representa 47.34 kW.
- El factor de carga registrado durante el día es **20.1%** con 45.20 kVA (con FP=0.91) que representa 41.04 kW.

Según tabla 40, este centro de transformación tiene un bajo factor de carga (23.9%). Por otro lado, tiene un excelente factor de potencia, por lo que no tiene que preocuparse de multas por bajo factor de potencia.

5.11. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN #10 DE 3X25kVA TRIFÁSICO

5.11.1. POTENCIA ACTIVA KW SUMINISTRADA AL ÁREA DE BIOMASA, BLOQUERA Y POZO

En el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), para el área de Biomasa, la bloquera y el pozo se cuenta con un centro de transformación trifásico de 3x25 kVA en conexión delta, para el suministro de energía a estas áreas. Para visualizar el consumo de energía eléctrica se presenta la medición realizada en el panel eléctrico principal ubicado en el pasillo de entrada de las oficinas de Biomasa.

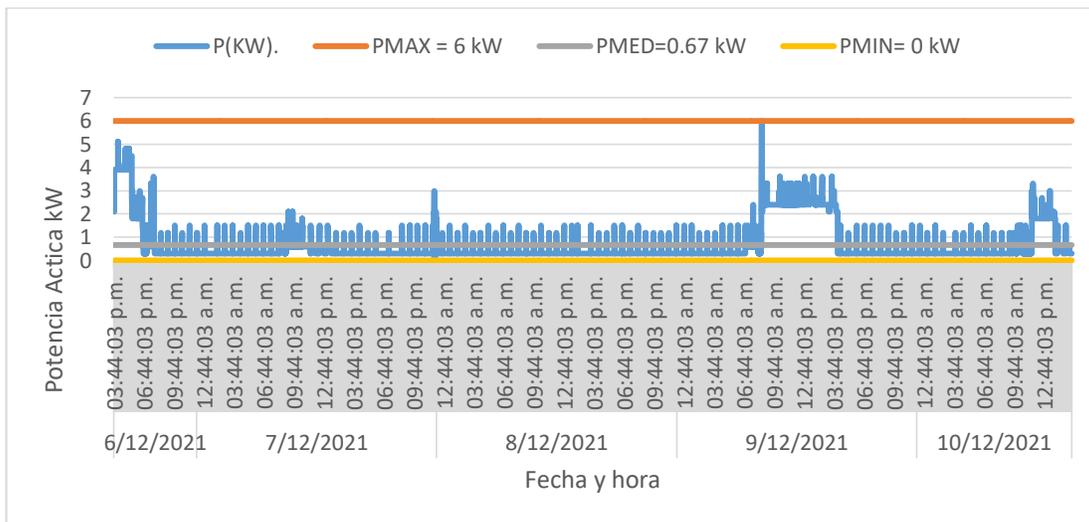


Gráfico 38. Curva de carga del panel principal del centro de transformación #10

Como se puede observar en el gráfico 38 el área de las oficinas de Biomasa empieza a trabajar desde las 8:30 am hasta aproximadamente 6:30 pm, registrando dentro del tiempo de medición un máximo de consumo de hasta 6 kW.

5.11.2. VOLTAJES DE SUMINISTRO PARA LAS INSTALACIONES

A continuación, se detalla el comportamiento del voltaje de fase registrado en el panel principal del centro de transformación correspondiente al área de la Biomasa:

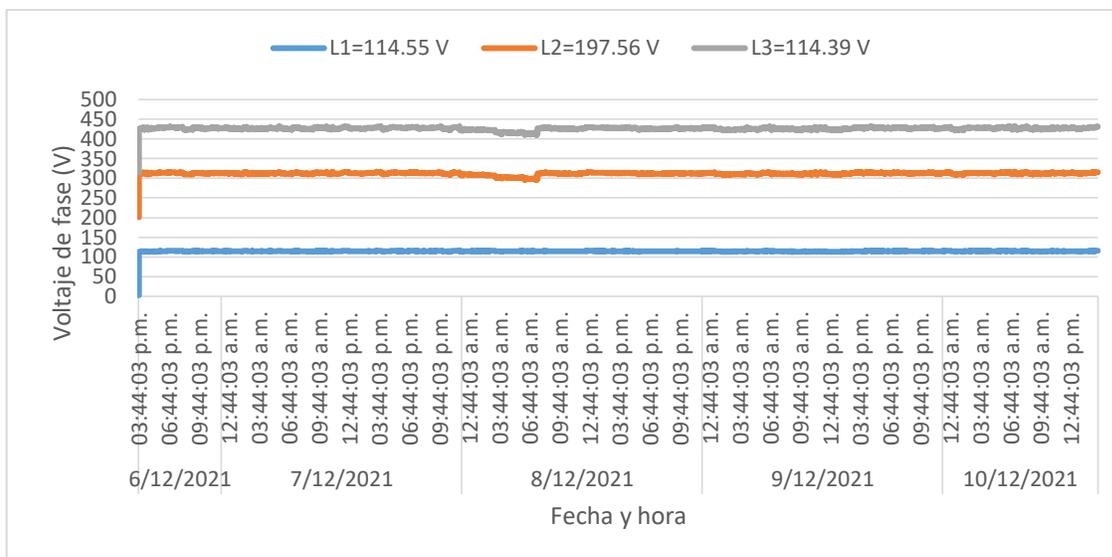


Gráfico 39. Voltajes de fase de alimentación del panel principal del centro de transformación #10

Según la gráfica 39 y cálculos de excel, el porcentaje de desbalance entre cada una de las fases es del 0.05%, dicho valor es bueno para el sistema ya que es menor del 3%. Cabe mencionar que, según la conexión del alimentador, el voltaje en el secundario debería ser de 120V con una tolerancia del $\pm 10\%$, es decir, que el voltaje debería mantenerse entre 108 V y 132 V, por lo que los valores (114.55 V y 114.39 V) encontrados en este panel principal, están comprendidos como nominales y es completamente normal para su operación. El voltaje de la línea 2 se debe a que en este centro de carga existe la línea Y, esta se encuentra en su rango permisible de operación.

5.11.3. ANÁLISIS DE DESBALANCES DE FASES POR CORRIENTES ELÉCTRICAS

A continuación, se presenta la carga (en amperios) para cada una de las fases que alimenta.

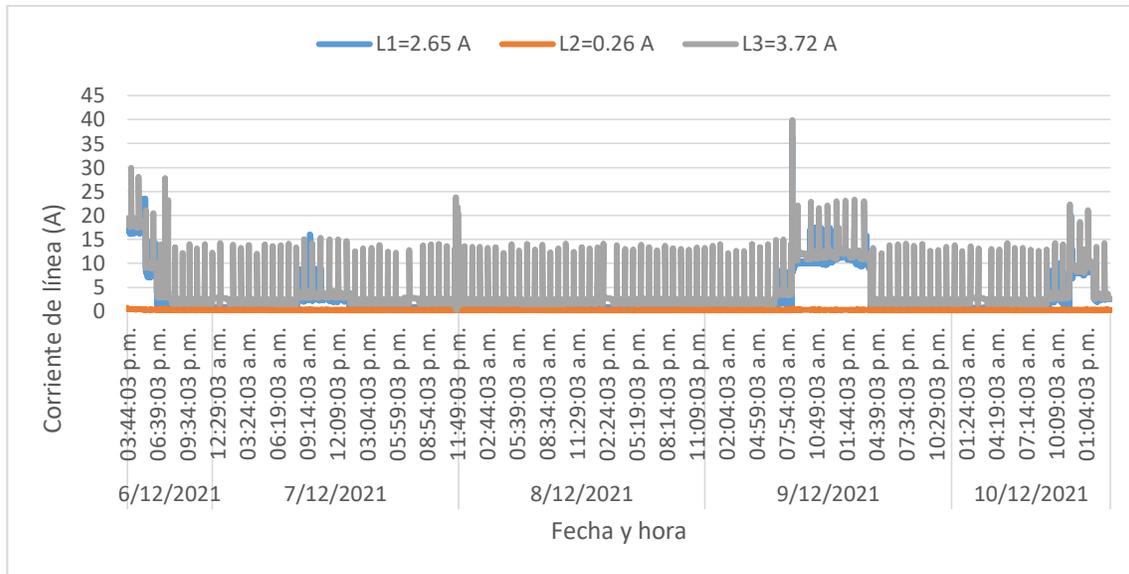


Gráfico 40. Corriente de línea en el panel principal del edificio #10

Según los datos analizados en una tabla de Excel, el desbalance de corrientes máximo es de 88.4%, que corresponde a la línea 2 con mucha menor carga que la línea 1 y 3. Debido a que el desequilibrio de corriente no debe exceder el 5% de la carga del factor de servicio o de 10% a plena carga y según datos de medición registrados y analizados en Excel que nos muestran que el desbalance es mayor del 10%, se recomienda realizar un balance de cargas de los sub-paneles, reduciendo la carga en la línea 3 y 1 y distribuyéndolas en la línea 2, con el objetivo de dejar las fases lo más equitativamente posible y así el sistema eléctrico en general puede encontrarse dentro del margen tolerable (según normas), menor del 5% admisible, según NEC 2014 y otras normas internacionales como IEC.

5.11.4. AHORRO ENERGÉTICO

Amperaje previo medido: 77.72 A.

Amperaje actual (Amperaje promedio según mediciones): 45.91 A.

$$A. \text{disminuido} = A. \text{previo} - A. \text{actual prom.}$$

$$A. \text{disminuido} = 77.72 \text{ A.} - 45.91 \text{ A.}$$

$$A. \text{disminuido} = 31.80 \text{ A.}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(\text{voltaje}) * (A. \text{dism}) * F. \text{pot}_{\text{prom}} / 1000 * \text{horas dia}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = \sqrt[3]{(120V) * (31.80A) * \frac{0.92}{1000} * 10 \frac{\text{hrs}}{\text{dia}}}$$

$$\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} = 105.63 kWh$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{\frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{\text{horas dia}}$$

$$kW \text{ demandado ahorrado} = \frac{105.63 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}}}{24 \text{ horas dia}} = 5 kW$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * \text{dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 105.63 \frac{kWh}{\text{dia ahorrado}} * 30 \text{ dias del mes}$$

$$\frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} = 3168.86 kWh$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = \text{Costo kW por tarifa} * kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = C\$6.1652 * 5 kW \text{ demandado ahorrado}$$

$$C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} = 30.826$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * \text{Costo del kW por tarifa}$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = 3168.86 \frac{kWh}{\text{mes ahorrado}} * C\$ 6.1652$$

$$\frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}} = C\$ 19,536.65$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = C\$ \text{ por } \frac{kW}{\text{mes}} + \frac{C\$}{\text{mes ahorrado por kWh}}$$

$$\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}} = 30.826 + 19,536.65 = 19,567.47$$

$$\text{USD/mes ahorrado} = \frac{\text{Total } \frac{C\$}{\text{mes ahorrado}}}{\text{Precio del dolar}}$$

$$\frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} = \frac{C\$19,567.47}{\frac{36.25 C\$}{1 USD}} = U\$539.79$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\frac{USD}{\text{año}} \text{ ahorrado} = 539.79 \frac{USD}{\text{mes}} \text{ ahorrado} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 6,477.48$$

Realizando un balance de cargas en este centro de transformación, se calcula un ahorro de energía posteriormente reflejado monetariamente con un valor de \$6,477.48 anuales.

5.11.5. ANÁLISIS DE FACTOR DE CARGA

A continuación, se presenta la tabla que refleja el factor de carga y el factor de potencia correspondiente al centro de transformación #10 de 112.5 kVA.

Tabla 41. Factor de carga, centro de transformación #10.

	S(kVA)	FC
Máx	13.80	18.4%
Prom	1.17	1.6%

En la tabla anterior, se muestra el resultado real que el equipo de medida ha indicado a diferentes consumos durante los 3 días, 23 horas y 45 minutos en los que se realizó la medición. Se tienen los siguientes comentarios:

- El factor de carga máximo es **18.4%** con 13.8 kVA.
- El factor de carga promedio es **1.6%** con 1.17 kVA.

5.11.6. CONSUMO DE ENERGÍA

Durante el período de medición se obtuvo un consumo promedio por día de 13.95 kWh/día, para un mes típico con este comportamiento de 424.19 kWh/mes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 42. Consumo de energía, centro de transformación #10

Días/Mes	kWh/medición	Días/medición	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
30.42	55.64	3.99	13.95	424.19	5,090.31

5.11.7. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico, crea problemas tales como el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

La tasa de distorsión armónica (en porcentaje), tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 43. Tasas de distorsión armónica del centro de transformación #10

THD V L1	THD V L2	THD V L3	Promedio	THD A L1	THD A L2	THD A L3	Promedio
327.67	270.05	327.67	308.46	139.35	163.87	200.40	167.87
1.77	1.89	1.78	1.81	79.09	68.53	9.98	52.53
0.98	0.83	1.00	0.94	9.01	14.58	3.97	9.19

Según la tabla anterior, se observan los valores de distorsión armónica, cuyos valores de interés son los valores promedio (en negrita). Con respecto a la THD de voltaje, los valores se encuentran dentro del rango aceptable menor al 5% con un promedio global de **1.81%**, lo cual es muy bueno para la onda senoidal de voltaje que suministra energía a la máquina en su totalidad. Este valor está dentro del rango admisible permitido.

Con respecto a los armónicos de corriente, las tres fases están por encima del 15%, valor mínimo admisible para realizar inversión en filtros de armónicos, registrando un valor de **52.53%**, por lo tanto, excede el porcentaje admisible y se hace necesario invertir en filtros de armónicos activos para las armónicas de corriente.

VI. CONCLUSIONES

Los objetivos propuestos para la elaboración y desarrollo del presente tema monográfico se cumplieron a plenitud. Según los datos obtenidos del estudio realizado al Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios se llegó a las siguientes conclusiones:

- Durante el censo de carga que se realizó en el recinto universitario obtuvimos un total de 11 centros de transformación ubicados en distintas locaciones de esta, de los cuales se lograron efectuar en solamente en 9 de ellos las mediciones con el equipo analizador de redes, esto debido a que los otros 2 centros de transformación no presentaban condiciones para poder colocar el equipo, siendo estos el centro de transformación No.9 y el No.11 que actualmente no está operando siendo este conocido por ser el banco donde iba a funcionar la zona franca, mientras que en los otros 9 bancos se alcanzó a medir sin ningún problema en los centros de carga principales de estos, donde nos encontramos que el 80% de los paneles principales estudiados demostraron estar en buenas condiciones, el restante 20% necesita mantenimiento correctivo o reemplazarlos para evitar mayores pérdidas energéticas
- De acuerdo con las mediciones eléctricas se logró determinar que el 70% de los paneles analizados presentan un desbalance de corriente fuera de la norma, solo un 30% de los paneles analizados cumplen la norma.
- Después de evaluar cada banco se detectó que hay equipos que aportan el mayor consumo de la carga instalada tales como sistemas de climatización, sistema de iluminación, y las computadoras, los cuales no operan en óptimas condiciones de debido a fallas de instalación, vida útil caducada, mal uso de estos, falta de un plan de mantenimiento preventivo. Producto de todos estos eventos se genera ganancia de carga para los bancos de transformadores los cuales se convierten en un

incremento considerable al consumo energético. Dado que los sistemas de distribución eléctrica tales como cable, Breaker, centros de cargas se encuentran en muy mal estado provoca un consumo ineficiente de la energía en los recintos debido a que esta energía no es aprovechada.

- Finalmente, se logró cuantificar que el ahorro que supondría realizar esta propuesta de balance de carga en el recinto universitario Pedro Arauz Palacios, sería de \$22,642.72 dólares de manera anual. Tomando como punto de referencia de la facturación histórica de la UNI del año 2021, este representaría un ahorro del 8% del total que se facturo en ese año.

VII. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en esta monografía, en el caso de que la institución planifique implementar esta propuesta de balance de carga por corriente, se recomienda lo siguiente:

- Realizar una correcta distribución de cargas, de tal modo que estas estén dentro del rango de tolerancias permitidas por las normas.
- Realizar mantenimiento correctivo en los paneles eléctricos principales, a fin de eliminar los problemas relacionados a las malas instalaciones.
- Llevar un control de la distribución de las cargas de los bancos de transformación para tomar mejores decisiones al momento de realizar nuevas conexiones eléctricas. Esto dará como resultado un transformador trabajando en condiciones óptimas.
- Reemplazar los centros de carga viejos por unos en mejores condiciones, como es en el caso del centro de carga ubicado en las oficinas de biomasa.
- Construir una caseta para aquellos centros de carga que se encuentran a la intemperie y que no tienen ningún tipo de tapa que proteja el sistema de las condiciones ambientales.
- Utilizar el tipo de cable adecuado para las distintas distribuciones eléctricas para evitar recalentamientos.
- Sustituir lámparas fluorescentes por lámparas LED ahorrativas y también luminaria solar pública y asegurar que los niveles de iluminación de pasillos y oficinas se mantengan dentro de los estándares de confort.
- Reemplazar o verificar el estado del centro de transformación 05 que actualmente se encuentra botando aceite.
- Realizar un diagnóstico en los transformadores para conocer la condición real de operación en la que se encuentran actualmente

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexander, C. K., & O., S. M. (2018). Fundamentos de circuitos eléctricos (3rd ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Gussow, M. (2000). Fundamentos de electricidad. México: McGraw-Hill.

Müller, W. (1991). Electrotecnia de potencia: Curso superior. España: Reverte.

Bratu, N. & Campero. E. (1995). Instalaciones eléctricas: Conceptos básicos y diseño (2da ed.). México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A.

Sevilla, M.A. (2001), Corrientes en circuitos monofásicas y trifásicas para sistemas de Energía y Electrónicas. Argentina.

Téllez, Ramírez, E. (2000). Automatización, Productividad y calidad, México: Programa de Distorsión Armónica.

Martínez Sarmiento, F. H., & Gómez Molano. Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales. (2004). Mexico D.F: Tecnura.

Martínez Sarmiento, F. H. (2001). El fenómeno de distorsión armónica en redes eléctricas. Mexico : Tecnura

Harper, E. (2004). El libro practico de los generadores, transformadores y motores electricos. Mexico: Limusa S.A.

Enatrel.gob.ni. (15 de marzo de 2020). Obtenido de Enatrel:

<https://www.enatrel.gob.ni/category/servicios-electricos/transformadores/>
eenergy-shop.es. (18 de febrero de 2020). Obtenido de eenergie-shop.es:

<https://www.eenergie-shop.es/blog/transformador-electrico-que-es-comofunciona/>
electro industria. (2015 de abril). Obtenido de electro industria. (Abril de 2015). Obtenido de soluciones tecnologicas para la mineria y la industria:
[http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2507&ni=transformador es-electricos-un-elemento-esencial-de-cualquier-sistema-electrico](http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2507&ni=transformador-es-electricos-un-elemento-esencial-de-cualquier-sistema-electrico)

MacMillan. (2018). Electricidad Básica.

Ruiz, I. F. (1991). Análisis de Circuitos Eléctricos I. Colombia.

Arriola, F.J. (1989). Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico, Bilbao España: Jornada sobre perturbaciones eléctricas, Análisis y prevención.

Ramírez, José Leonardo (2008). "Electricidad básica" Unidad de extensión académica – Instituto tecnológico Metropolitano. Medellín.

Ivanov-Smolenski, A. V. (1984). Máquinas Eléctricas. Mir Moscú

Aillón, C., (2010). "Desarrollo de metodología EEQ S.A. para el cálculo de pérdidas técnicas en alimentadores primarios, y la aplicación al primario 04D de la subestación Chimbacalle" Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Quezada, A., Reyes, A., (2015). "Estudio de carga y reconfiguración de las redes de distribución eléctrica de las cabeceras urbanas de las parroquias de Vilcabamba y Malacatos del Cantón Loja". Universidad de Cuenca, Cuenca.

ANEXOS



Anexo 1. Centro de transformación #01, 50 kVA y 75 kVA



Anexo 2. Centro de transformación #02, 225 kVA



Anexo 3. Centro de transformación #03, 500 kVA



Anexo 4. Centro de transformación #05, 3x75 kVA



Anexo 5. Centro de transformación #06, 3x100 kVA



Anexo 6. Centro de transformación #08, 3x75 kVA



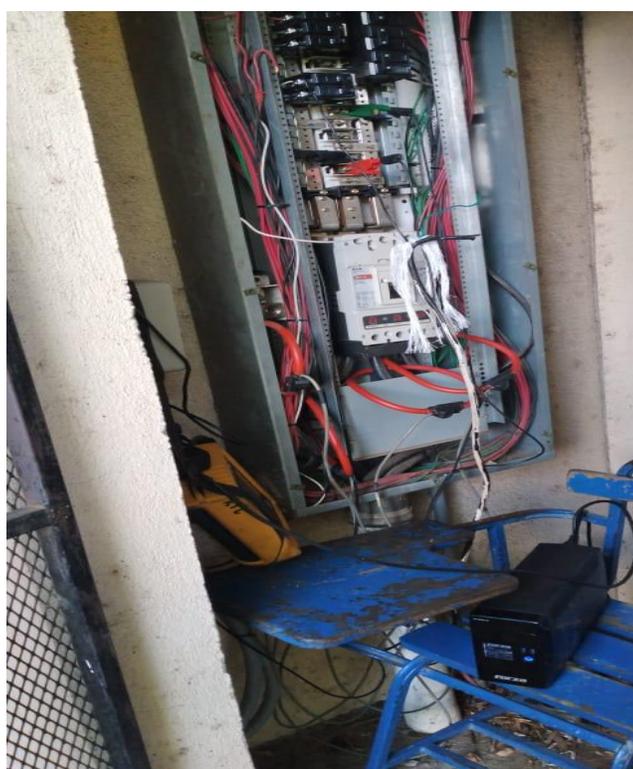
Anexo 7. Centro de transformación #09, 3x75 kVA



Anexo 8. Panel eléctrico principal biblioteca.



Anexo 9. Panel eléctrico principal CNEG



Anexo 10. Panel eléctrico principal Marlon Zelaya



Anexo 11. Fluke