

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN
PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
CAMPUS EL GIRÓN BLOQUE B BASADO EN UNA CAMPAÑA
DE MEDIDAS PARA LA EJECUCIÓN DE UN PLAN DE
MEJORAS

AUTOR:
LOZANO GUAMÁN SANDRO LUIS

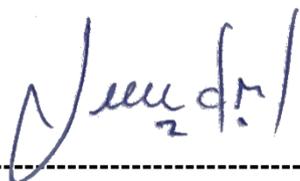
TUTOR:
ING. MILTON GONZALO RUIZ MALDONADO

Quito, julio 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Sandro Luis Lozano Guamán, con documento de identificación N°1104672686, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS EL GIRÓN BLOQUE B BASADO EN UNA CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA LA EJECUCIÓN DE UN PLAN DE MEJORAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Sandro Luis Lozano Guamán
CI. 1104672686

Quito, julio del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico: “Rediseño del sistema eléctrico en baja tensión para la Universidad Politécnica Salesiana campus el Girón bloque b basado en una campaña de medidas para la ejecución de un plan de mejoras”, realizado por Sandro Luis Lozano Guamán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.



Milton Gonzalo Ruiz Maldonado
CI. 1714409065

Quito, julio del 2020

DEDICATORIA

A mis padres Luis Antonio Lozano y Rosa Vicenta Guamán quienes, con su amor, paciencia y sobre todo esfuerzo me han permitido alcanzar una meta más, gracias por inculcar en mí, desde niño el esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.

A mis hermanos Kury y Sisa por su cariño y apoyo incondicional, durante todos estos años, por estar conmigo en todo momento gracias. A mi Esposa María Vitoria Medina a mis hijos Wind y Karime porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron que este camino sea más fácil y gracias por acompañarme en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigas, por apoyarme cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por esa amistad brindada cada día, de verdad mil gracias.

Sandro Luis Lozano Guamán

AGRADECIMIENTOS

Quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres por su apoyo y ejemplo de trabajo, a mis jefes y compañeros de trabajo quienes me han apoyado durante todo este proceso de culminación de la carrera y a mi esposa María Victoria por su apoyo y paciencia en este proyecto de estudio.

También quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, directivos y profesores, de manera especial al Ing. Milton Gonzalo Ruiz principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Sandro Luis Lozano Guamán

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	I
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Elementos principales del sistema eléctrico de la Universidad.....	1
1.2.1 Transformadores	1
1.2.2 Grupo electrógeno.....	3
1.2.3 Sistema de transferencia automática ATS.....	5
1.2.4 Tableros de distribución.....	6
1.3 Puesta a tierra	7
1.3.1 Conceptos básicos de puesta a tierra.....	7
1.3.2 Mediciones de tierras	8
1.3.3 La tierra y la resistividad del terreno.....	9
1.3.4 Medición de la resistividad del terreno	10
1.4 Métodos para la medición de la resistencia a tierra.....	10
1.4.1 Caída de potencial	10

1.4.2	De dos puntos	11
1.4.3	De cuatro terminales	12
1.5	Calidad de energía	13
1.5.1	Voltaje y corriente.....	13
1.5.2	Frecuencia	14
1.5.3	Distorsión armónica	14
1.5.4	Energía y potencia.....	15
1.5.5	Factor de potencia	16
1.5.6	Balance y desbalance de carga.....	16
1.6	Equipos de medición	17
1.6.1	Analizador de calidad eléctrica	17
1.6.2	Secuencímetro	17
1.6.3	Cámara termográfica.....	18
1.6.4	Telurómetro.....	19
1.7	Normas relacionadas	20
1.7.1	Calidad de servicio CONELEC 004/01	20
1.7.2	Normas para puesta a tierra.....	21
1.7.3	Norma NETA/ANSI ATS-2009.....	28
CAPÍTULO II		30
SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS EL GIRÓN BLOQUE B.....		30
2.1	Generalidades	30
2.2	Situación actual	30
2.3	Diagramas unifilares existentes.....	30
CAPÍTULO III.....		36
ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL		36
3.1	Equipos utilizados	36

3.1.1	Analizador de red Fluke 435	36
3.1.2	Secuencímetro Pro'skit 8PK-ST850	37
3.1.3	Cámara termográfica Fluke Ti450	37
3.1.4	Probador de resistencia a tierra Extech 382252	38
3.2	Inspecciones realizadas en el campus Girón del bloque B.....	38
3.3	Calidad de energía eléctrica en los tableros de transmisión automática	39
3.3.1	Medición de voltajes de línea en el Ala Sur.....	39
3.3.2	Medición de voltajes de línea en el Ala Norte	41
3.3.3	Medición de factor de potencia en el Ala Sur	43
3.3.4	Medición de factor de potencia en el Ala Norte	45
3.3.5	Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Sur	47
3.3.6	Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Norte.....	49
3.3.7	Medición de los desbalances de voltaje y corriente en el Ala Sur	51
3.3.8	Medición de los desbalances de voltaje y corriente en el Ala Norte ...	53
3.4	Medición de la puesta a tierra.....	54
3.5	Mediciones termográficas	56
3.5.1	Termografía del tablero de transmisión automática TTA-PB-B-2	56
3.5.2	Termografía del sub-tablero principal STP-PP-B-1.....	58
3.5.3	Termografía del tablero de distribución principal TDP-PB-B-1	60
3.5.4	Termografía del tablero de transferencia automática TTA-PB-B-1	62
3.5.5	Termografía del tablero de transferencia de distribución TDP-SS-B-263	
3.5.6	Termografía del tablero de transferencia de distribución TDP-SS-B-366	
3.5.7	Termografía del sub-tablero principal STP-SP-B-1.....	68
3.6	Comprobación de secuencia de fases	70
3.7	Potencia aparente del Bloque B.....	70
3.8	Análisis comparativo en base a normas.....	73
3.8.1	Análisis de calidad eléctrica en el Ala Sur.....	73

3.8.2	Análisis de calidad eléctrica en el Ala Norte	76
3.8.3	Análisis de puesta a tierra	79
3.8.4	Análisis de termografía	80
CAPÍTULO IV		83
PLAN DE MEJORAS AL SISTEMA ELÉCTRICO DEL BLOQUE B.....		83
4.1	Introducción.....	83
4.2	Plan de mejora para puestas a tierra	83
4.3	Plan de mejora para el breaker principal del Laboratorio de Biotecnología	87
4.3.1	Mantenimiento preventivo de breakers	87
4.3.2	Balance de corriente en el circuito 1 Ala Norte	88
4.4	Plan de mejora para el balance de corriente en el Ala Sur	90
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		94
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXOS		98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transformador eléctrico simple	2
Figura 2. Sistema de suministro eléctrico	2
Figura 3. Partes principales del grupo electrógeno	4
Figura 4. Sistema de transferencia automática ATS	5
Figura 5. Tablero de distribución	6
Figura 6. Puesta a tierra.....	7
Figura 7. Método de caída de potencial o de tres puntos	11
Figura 8. Método de dos puntos o directo.....	12
Figura 9. Método de cuatro terminales	12
Figura 10. Corriente eléctrica.....	13
Figura 11. Líneas de alimentación del sistema trifásico	14
Figura 12. Distorsión armónica.....	15
Figura 13. Potencias activa, reactiva y aparente	15
Figura 14. Analizadores de calidad eléctrica Fluke	17
Figura 15. Secuencímetro.....	18
Figura 16. Cámara termográfica de marca Fluke.....	18
Figura 17. Termo grama.....	18
Figura 18. Telurómetro Extech	20
Figura 19. Ubicación del Bloque B de la UPS Campus el Girón	30
Figura 20. Diagrama unifilar circuito 1 Ala Sur	31
Figura 21. Diagrama unifilar circuito 2 Ala Norte.....	32
Figura 22. Reporte del voltaje de línea 1 del TTA Ala Sur del 7 y 14 de enero.....	39
Figura 23. Reporte del voltaje de línea L1N Ala Sur.....	40
Figura 24. Reporte del voltaje de línea L2N Ala Sur.....	41
Figura 25. Reporte del voltaje de línea L3N Ala Sur.....	41
Figura 26. Reporte del voltaje de línea L1N Ala Norte	42
Figura 27. Reporte del voltaje de línea L2N Ala Norte	42
Figura 28. Reporte del voltaje de línea L3N Ala Norte	43
Figura 29. Factor de potencia en la línea L1N Ala Sur.....	44
Figura 30. Factor de potencia en la línea L2N Ala Sur.....	44
Figura 31. Factor de potencia en la línea L3N Ala Sur.....	45
Figura 32. Factor de potencia en la línea L1N Ala Norte	46

Figura 33. Factor de potencia en la línea L2N Ala Norte	46
Figura 34. Factor de potencia en la línea L3N Ala Norte	47
Figura 35. Reporte de distorsión armónica de voltaje en L1N del Ala Sur	47
Figura 36. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Sur.....	48
Figura 37. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Sur.....	49
Figura 38. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Sur.....	49
Figura 39. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Norte	50
Figura 40. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Norte	51
Figura 41. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Norte	51
Figura 42. Desbalance de voltaje en el Ala Sur	52
Figura 43. Desbalance de corriente en el Ala Sur.....	52
Figura 44. Desbalance de voltaje en el Ala Norte.....	53
Figura 45. Desbalance de corriente en el Ala Norte	54
Figura 46. Resistencia medida de la data center	54
Figura 47. Resistencia medida del generador 1	55
Figura 48. Resistencia medida del generador 2	55
Figura 49. Resistencia medida del tablero TDP-PB-B-1	55
Figura 50. Resistencia medida del tablero TDP-PB-B-2	56
Figura 51. Inspección termográfica del tablero TTA-PB-B-2 número 1	57
Figura 52. Inspección termográfica de las borneras de ingreso y salida principal EEQ	57
Figura 53. Inspección termográfica de las borneras de ingreso al Generador 2	58
Figura 54. Inspección termográfica de la data center	59
Figura 55. Inspección termográfica del bypass.....	59
Figura 56. Inspección termográfica de las barras.....	59
Figura 57. Inspección termográfica de los breakers de distribución principal	60
Figura 58. Inspección termográfica de los breakers de cargas.....	60
Figura 59. Inspección termográfica de los breakers del tablero TDP-PB-B-1	61
Figura 60. Inspección termográfica de borneras del tablero TTA-PB-B-1.....	62
Figura 61. Inspección termográfica del tablero TTA-PB-B-1	63
Figura 62. Inspección termográfica del breaker principal del TDP-SS-B-2.....	64
Figura 63. Inspección termográfica del breaker del coliseo	64
Figura 64. Inspección termográfica del CIVABI.....	65

Figura 65. Inspección termográfica del breaker CESASIG Fuerza	65
Figura 66. Inspección termográfica del breaker aula magna	66
Figura 67. Inspección termográfica del breaker principal del TDP-SS-B-3	67
Figura 68. Inspección termográfica del breaker CECASIG (STD-SS-B-3)	67
Figura 69. Inspección termográfica del breaker pasillo COWORKING	67
Figura 70. Inspección termográfica del breaker aulas tercer piso.....	68
Figura 71. Inspección termográfica del breaker (laboratorio de biotecnología).....	68
Figura 72. Inspección termográfica del breaker microbiología y química instrumental	69
Figura 73. Inspección termográfica del breaker microbiología 2	69
Figura 74. Inspección termográfica STP-SP-B-1	69
Figura 75. Secuencia de fases del ATS suministrado por la EEQ	70
Figura 76. Potencia aparente de cada línea del Ala Sur	71
Figura 77. Capacidad de uso del transformador del Ala Sur	72
Figura 78. Potencia aparente de cada línea del Ala Norte	72
Figura 79. Capacidad de uso del transformador del Ala Norte.....	73
Figura 80. Diseño y dimensiones para la puesta a tierra del Generador 1	85
Figura 81. Diseño y dimensiones para la puesta a tierra del Generador 2	86
Figura 82. Malla de puesta a tierra del Generador 1	87
Figura 83. Malla de puesta a tierra del Generador 2	87
Figura 84. Desbalance de corriente por línea en el Ala Norte	88
Figura 85. Breakers en el tablero de biotecnología Ala Norte.....	89
Figura 86. Desbalance de corriente estimado por línea en el Ala Norte.....	90
Figura 87. Desbalance de corriente por línea en el Ala Sur.....	91
Figura 88. Distribución de breakers en el tablero TDP-PB-B-1 Ala Sur.....	91
Figura 89. Desbalance de corriente estimado por línea en el Ala Sur	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo y ubicación del transformador	3
Tabla 2. Resistividad en función del tipo de terreno.....	8
Tabla 3. Efecto de la humedad en la resistividad del terreno.....	9
Tabla 4. Efecto de la sal agregada en la resistividad del terreno	10
Tabla 5. Niveles de Voltaje.....	20
Tabla 6. Distorsión armónica de voltaje	21
Tabla 7. Valores máximos de resistencia de puesta a tierra.....	22
Tabla 8. Constantes de materiales	23
Tabla 9. Valores típicos de Df.....	26
Tabla 10. Criterio de Severidad	29
Tabla 11. Elementos del circuito 1 Ala Sur	33
Tabla 12. Áreas del tablero TDP-PB-B-1	33
Tabla 13. Elementos del circuito 2 Ala Norte.....	34
Tabla 14. Áreas del tablero TDP-PB-B-4	34
Tabla 15. Áreas del tablero TDP-SS-B-4.....	34
Tabla 16. Áreas del laboratorio STP-SP-B-1	35
Tabla 17. Especificaciones técnicas del Fluke 435	36
Tabla 18. Características técnicas del secuencímetro Pro'skit 8PK-ST850	37
Tabla 19. Características de la cámara termográfica Fluke Ti450.....	37
Tabla 20. Características del telurómetro Extech 382252	38
Tabla 21. Medición del voltaje de línea en el Ala Sur.....	40
Tabla 22. Medición del voltaje de línea en el Ala Norte	42
Tabla 23. Medición del factor de potencia en el Ala Sur.....	43
Tabla 24. Medición del factor de potencia en el Ala Norte	45
Tabla 25. Medición de la distorsión en el Ala Sur.....	48
Tabla 26. Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Norte.....	50
Tabla 27. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Sur	52
Tabla 28. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Norte.....	53
Tabla 29. Mediciones termográficas del tablero TTA-PB-B-2.....	56
Tabla 30. Mediciones termográficas del sub-tablero STP-PP-B-1	58
Tabla 31. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-PB-B-1.....	61
Tabla 32. Mediciones termográficas del tablero TTA-PB-B-1.....	62

Tabla 33. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-SS-B-2	63
Tabla 34. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-SS-B-3	66
Tabla 35. Mediciones termográficas del sub-tablero principal STP-SP-B-1	68
Tabla 36. Porcentaje de uso del transformador en el Ala Sur	70
Tabla 37. Porcentaje de uso del transformador en el Ala Norte	71
Tabla 38. Niveles de voltaje en el Ala Sur	73
Tabla 39. Factor de potencia en el Ala Sur	74
Tabla 40. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Sur	74
Tabla 41. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Sur	75
Tabla 42. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Sur	75
Tabla 43. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Sur	76
Tabla 44. Niveles de voltaje en el Ala Norte	76
Tabla 45. Factor de potencia en el Ala Norte.....	77
Tabla 46. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Norte.....	77
Tabla 47. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Norte.....	78
Tabla 48. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Norte.....	78
Tabla 49. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Norte.....	79
Tabla 50. Análisis de resistencia de puesta a tierra.....	79
Tabla 51. Análisis termográfico en el tablero TTA-PB-B-2.....	80
Tabla 52. Análisis termográfico en el sub-tablero STP-PB-B-1	80
Tabla 53. Análisis termográfico en el tablero TDP-PB-B-1	80
Tabla 54. Análisis termográfico en el tablero TTA-PB-B-1	81
Tabla 55. Análisis termográfico en el tablero TDP-SS-B-2	81
Tabla 56. Análisis termográfico en el tablero TDP-SS-B-3	82
Tabla 57. Análisis termográfico en el sub-tablero STP-SP-B-1	82
Tabla 58. Parámetros iniciales para la malla de puesta a tierra	84
Tabla 59. Desbalance de corriente medido por cada línea en el Ala Norte	88
Tabla 60. Desbalance de corriente estimado por cada línea en el Ala Norte.....	89
Tabla 61. Desbalance de corriente medido por cada línea en el Ala Sur.....	90
Tabla 62. Desbalance de corriente estimado por cada línea en el Ala Sur	92

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el estudio del sistema eléctrico en baja tensión del Bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón, gracias a la ayuda de una campaña de medidas eléctricas y el levantamiento de los planos eléctricos existentes. Primero, se realiza una toma de mediciones para la verificación de la calidad de energía eléctrica con respecto a la Regulación CONELEC 004/01. Segundo, se analiza los sistemas de puesta a tierra en el centro de datos, generadores y tableros de distribución principales; luego se determina la resistencia y se compara con la norma IEEE 142-2007. Como tercer punto, se realiza la captura de las diferencias de temperatura de los elementos colocados en los tableros y sub-tableros, estos datos son comparados con la norma NETA/ANSI ATS-2009 a fin de establecer el grado de relevancia. Además, se analiza mediante el instrumento Pro'skit 8PK-ST850 la secuencia de fases en el ATS suministrado por la Empresa Eléctrica Quito. Por último, se realiza mediciones de la potencia a fin de lograr determinar el porcentaje de uso con respecto a los transformadores de 150 KVA instalados en el Bloque B de la Universidad. Con respecto al análisis de calidad de energía, todos los elementos cumplen con la norma, es decir, que el voltaje no supere el $\pm 10\%$ del índice de calidad, el factor de potencia sea igual o superior a 0.92 y que los THD no superen el 5 y 6 % en el tercer, quinto y séptimo armónico. Se realiza un diseño de puesta a tierra sobre el generador 1, para que su resistencia sea menor a 5 ohmios. Luego, se propone realizar un mantenimiento de limpieza en el breaker principal del laboratorio de biotecnología y el análisis para una mejor distribución de carga sobre el sub-tablero STP-SP-B-1. Por último, se propone hacer el mismo análisis de carga en el tablero de distribución principal TDP-PB-B-1 del Ala Sur.

ABSTRACT

This research analyzes the low-voltage electrical system of Block B of the Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón, thanks to the help of an electrical measures campaign and the survey of existing electrical plans. First, a taking measurement is done to verify the quality of electrical energy in relation to the CONELEC 004/01 Regulation. Second, earthing systems in data center, generators and main switchboards are analyzed; then, the resistance is determined and it is compared with the IEEE 142-2007 standard. Third, the capture of the temperature differences of the elements placed on the boards and sub-boards is done; these data are compared with the NETA / ANSI ATS-2009 standard in order to establish the degree of relevance. Furthermore, the phase sequence in the ATS supplied by the Empresa Eléctrica Quito is analyzed using the Pro'skit 8PK-ST850 instrument. Finally, power measurements are made in order to determine the percentage of use with respect to the 150 KVA transformers installed in Block B of the University. Regarding the energy quality analysis, all the elements comply with the standard, that means, that the voltage does not exceed $\pm 10\%$ of the quality index, the power factor is equal to or greater than 0.92 and that THDs do not exceed 5 and 6% in the third, fifth and seventh harmonic. A grounding design is carried out on the generator 1, so that its resistance is less than 5 ohms. Then, it is proposed to perform cleaning maintenance on the main breaker of the biotechnology laboratory and the analysis for better load distribution on the STP-SP-B-1 sub-board. Finally, it is proposed to do the same load analysis on the main distribution panel TDP-PB-B-1 of the South Zone.

INTRODUCCIÓN

Descripción del problema

En un sistema eléctrico que forma parte de la institución educativa “Campus el Girón de la Universidad Politécnica Salesiana” es importante la presencia de un sistema de puesta a tierra, que garantice la protección de equipos y precautelar la salud de las personas que se encuentre cerca a instalaciones con conexiones a tierra y no estén en peligro de una descarga eléctrica.

Los sistemas de puesta a tierra existentes con el pasar del tiempo se corroen, debido a las condiciones de humedad, sales y minerales del suelo, variaciones de temperatura, en las cuales deben operar, todo esto hace que el funcionamiento y la efectividad disminuya paulatinamente si no se tiene en cuenta un plan de mantenimiento adecuado.

Es por estas razones que un proyecto de este tipo puede ser ejecutado, para de esta manera poder solventar varios problemas que pueden estar sucediendo en el sistema eléctrico principal o de fuerza, problemas como la falta de aterrizaje a tierra de los tableros de distribución, puntos calientes en las conexiones y dispositivos de protección (Breakers), como también la saturación de los tableros de distribución o la mala distribución de estos.

Objetivo general

Realizar el estudio técnico y análisis de calidad de energía, mediante una campaña de medidas, para la ejecución de un plan de mejoras, del sistema eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón Bloque B

Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información de los planos eléctricos existentes y toma de mediciones eléctricas.
- Analizar el sistema de puesta a tierra existente, eso incluye, la toma de medidas de resistividad del sistema y comprobación de la existencia de la puesta a tierra en cada uno de los tableros de distribución principal.

- Realizar el análisis térmico de tableros principales y recopilación de datos mediante cámara térmica en cada uno de los tableros, a fin de determinar puntos calientes en el sistema eléctrico principal.
- Comprobar la secuencia de fases de la energía normal suministrada por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), como el suministrado por el grupo electrógeno (Generador) de la Universidad Salesiana Campus el Girón Bloque B.
- Realizar una propuesta de mejora del sistema eléctrico del Bloque B del campus el Girón.

Alcance

El alcance del proyecto consiste en el análisis del sistema eléctrico actual de la Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón Bloque B., en los circuitos de distribución principal tomando como normativa la Regulación No. CONELEC-004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución” y la propuesta de correctivos en el caso de existir anomalías en el sistema.

La metodología por emplear será el levantamiento de información del sistema eléctrico actual instalado, mediante una campaña de mediciones de parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, armónicos, transitorios, secuencia de fases, mediciones termográficas y mediciones del sistema de puesta a tierra (resistencia). Estas mediciones se realizarán con equipos dedicados tales como: analizador de red, telurómetro, cámara termográfica, pinza amperométrica, multímetro de precisión, secuencímetro. Luego de adquirir todos los datos, la evaluación de sistema eléctrico se basará en la Regulación No. CONELEC-004/01, “Calidad del servicio eléctrico de distribución” y para el sistema de puesta a tierra se tomará como base los valores recomendados por el STD IEEE 142-2007. Posterior a la evaluación y de acuerdo con los resultados encontrados, se realizará una propuesta de acciones, correctivas y preventivas con la finalidad de cumplir las normativas antes mencionadas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

El uso de energía eléctrica ha abarcado gran terreno a nivel mundial, ya que la energía eléctrica brinda al ser humano una vida más placentera y confortable, simplificando tareas del hogar, así como también trabajos a nivel industrial. Cabe mencionar que las personas utilizan la electricidad para los medios de comunicación ya sea por medio de la radio, televisión o internet. Gracias a la energía eléctrica el mundo ha evolucionado hacia nuevas tecnologías y eso ha permitido tener un mejor estilo de vida y confort [1].

La prestación de los servicios eléctricos por parte de las distribuidoras brinda a los consumidores un suministro eléctrico confiable y continuo, es decir, la energía eléctrica hasta el medidor. Además, las empresas distribuidoras cuentan con regulaciones con estándares mínimos de calidad, procedimientos técnicos de medición y evaluación [2].

1.2 Elementos principales del sistema eléctrico de la Universidad

1.2.1 Transformadores

El transformador es un dispositivo capaz de convertir un nivel de voltaje alterno en otro mediante la acción de un campo eléctrico y sin afectar la potencia que se suministra. En la Figura 1 se observa que el transformador consta de bobinados de alambre conductor alrededor de un núcleo ferromagnético común. Por lo general, uno de los devanados del transformador se conecta a la fuente de energía eléctrica, mientras que el segundo y/o tercer devanado se conecta hacia las cargas; en ese orden se denomina devanado primario a la entrada y devanado secundario a la salida (conectado a la carga), respectivamente. En caso de tener un tercer devanado, se denominaría terciario [3].

Si se eleva cierta cantidad de voltaje en un circuito, se debe disminuir esa misma cantidad con respecto a la corriente para mantener la potencia de entrada y salida por igual. De esta manera, se eleva el voltaje para transmitir la energía a grandes distancias

y luego reducirlo para la utilización deseada; con ello, se reduce las pérdidas de transmisión en “n” veces la relación de voltaje [3].

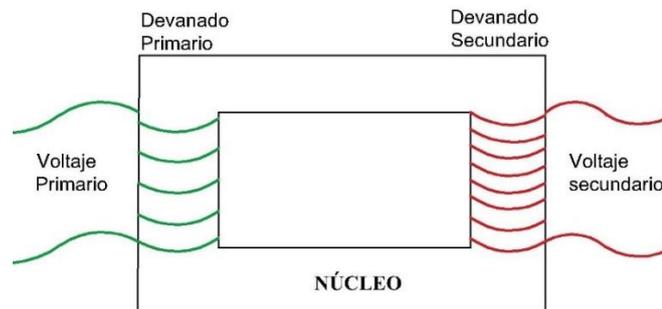


Figura 1. Transformador eléctrico simple

Fuente: [4]

Por ejemplo, en la Figura 2 se tiene una estación elevadora de voltaje entre 110 kV a 380 kV capaz de transmitir a grandes distancias la energía hacia una subestación de transformación, para luego convertir voltajes entre 25 kV a 132 kV, posteriormente se reducen a niveles de voltaje entre 3 kV a 30 kV para la distribución local hacia los consumidores [5].

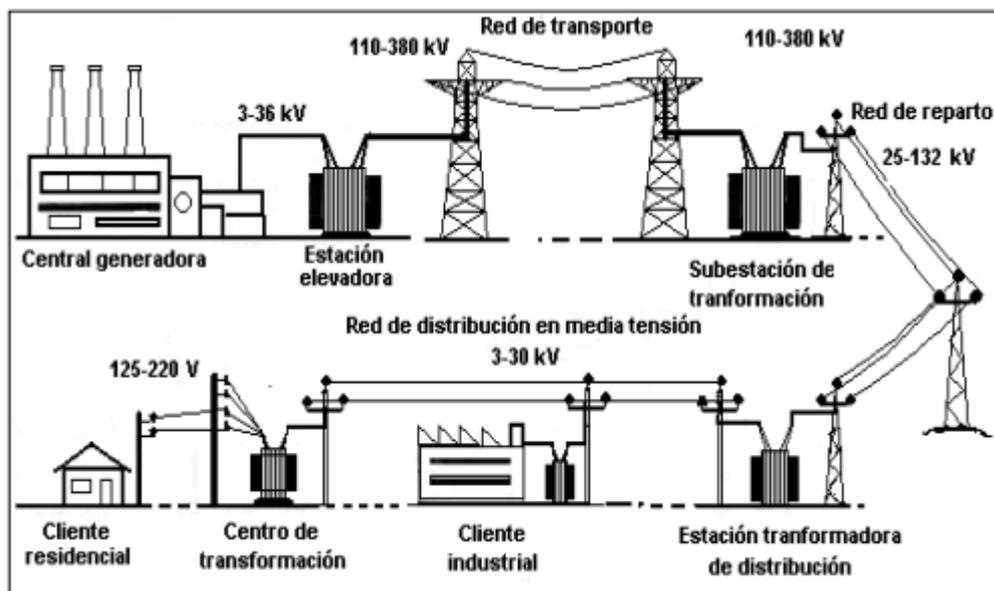


Figura 2. Sistema de suministro eléctrico

Fuente: [5]

Existen varios tipos de transformadores empleados en el sector eléctrico, tales como: autotransformador monofásico, sumergibles, transformadores monofásicos y trifásicos. Para definir las características que posee un transformador en redes de distribución eléctrica, se define bajo los siguientes campos [6]:

- Primer campo: “TR” indicando que es un transformador.
- Segundo campo: indica el nivel de voltaje de operación del sistema de distribución.
- Tercer campo: número de fases (1, 2 o 3), indicando si es monofásico, bifásico o trifásico, respectivamente.
- Cuarto campo: indica el tipo y ubicación del transformador; las equivalencias se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipo y ubicación del transformador

Nomenclatura	Tipo	Instalación	Ubicación
C	Convencional	Exterior	En poste
O	Convencional	Interior	En cabina o cámara
A	Autoprotegido	Exterior	En poste
U	Autoprotegido	Interior	En cabina o cámara
B	Convencional	Exterior	En poste
N	Convencional	Exterior	En poste
V	Convencional	Interior	En cabina o cámara
I	Convencional	Interior	En cabina o cámara
P	Convencional	Exterior o interior	Pedestal o padmounted
E	Autoprotegido	Exterior o interior	Pedestal o padmounted
S	Sumergible	Interior	En cabina o cámara

Fuente: [6]

- Quinto campo: indica la capacidad de potencia del transformador expresado en KVA, tales como: 3, 5, 10, 15, 25, 30, 37.5, 45, 50, 75, 100, 112.5, 125, 150, 167, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 750 y 1000 [6].

1.2.2 Grupo electrógeno

Es un equipo que realiza dos tipos de conversión: capacidad calorífica a mecánica y luego se convierte a energía eléctrica. Además, se utilizan como fuentes de energía principal o auxiliar y lograr atender cualquier aplicación deseada. Por último, internamente cuentan con un motor térmico, acoplado a un generador y componentes complementarios visto en la Figura 3 [4].

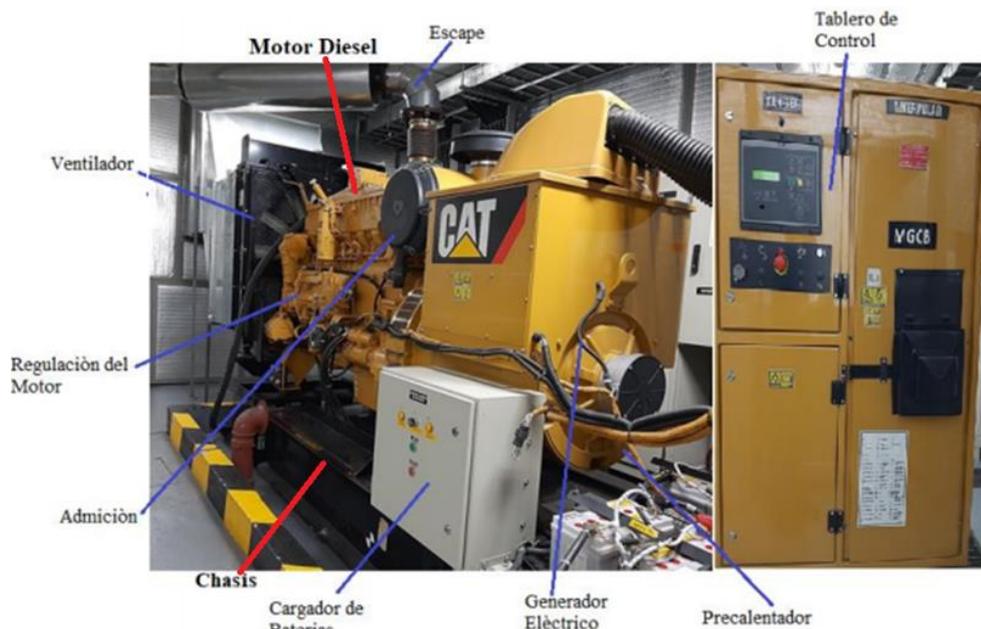


Figura 3. Partes principales del grupo electrógeno

Fuente: Autor

A continuación, se detallan los siguientes componentes del generador o grupo electrógeno [4]:

- Dispone de un motor que tiene como función convertir la energía mecánica en eléctrica a través del alternador, donde el motor es de combustión ya sea de gasolina o diesel. Posee un regulador para mantener la velocidad constante del motor según los requisitos de la carga. Además, cabe recalcar que la velocidad del motor es directamente proporcional a la frecuencia de salida del alternador.
- Como se ha mencionado el alternador es un componente que genera una salida eléctrica. Por lo general, es autorregulado, sin escobillas, cuenta con protección contra salpicaduras y posee un acople preciso al motor. Sin embargo, cuando se requiere trabajos mayores, el alternador posee escobillas.
- El sistema eléctrico del motor incluye un arranque, baterías, sensores y dispositivos de alarma.
- El sistema de refrigeración puede contener aceite, aire o agua. En caso de que sea por aire, posee un ventilador donde hace circular aire frío a todo el motor para enfriarlo. En cambio, si es por aceite o agua contienen un radiador y ventilador interno para enfriar los elementos.

- El sistema de control realiza un seguimiento y control al generador.
- Posee una resistencia de precaldeo con la finalidad de mantener una temperatura adecuada al generador.
- Existen otros elementos complementarios como tanque de combustible, aislamientos de vibración, silenciadores para minimizar el ruido y protecciones al generador y alternador.

1.2.3 Sistema de transferencia automática ATS

En la Figura 4 se observa el sistema ATS cuya función consiste en determinar el momento donde se debe cambiar la energía principal o de la red eléctrica por el sistema de emergencia producida por el generador eléctrico; ese proceso de transferencia se realiza a través de un set de parámetros en el controlador. Cabe mencionar que cuando el generador se enciende, pasa un tiempo de calentamiento hasta estabilizarse; una vez que la energía eléctrica haya vuelto, el sistema de transferencia automática regresa a la conexión primario y ordena apagar el generador. Por lo tanto, el sistema ATS monitorea y analiza constantemente el voltaje del suministro primario que llega al consumidor [7].



Figura 4. Sistema de transferencia automática ATS

Fuente: Autor

1.2.4 Tableros de distribución

El tablero de distribución (Figura 5) en una instalación eléctrica consta de elementos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, donde cada uno posee una función especial dentro del sistema eléctrico. Además, protege los diferentes circuitos de la instalación y soporta los valores de corriente de cortocircuito. Existen varios tipos de tableros [8]:

- Principal de distribución que está conectado a la red principal de energía eléctrica y a sus circuitos secundarios.
- Secundarios de distribución, alimentados por el tablero principal, auxiliares en la protección y operación de los sub alimentadores.
- Existen tableros de paso cuyo propósito es la protección de las derivaciones.
- Por último, los tableros de comando contienen elementos de seguridad y maniobra.



Figura 5. Tablero de distribución

Fuente: Autor

1.3 Puesta a tierra

La puesta a tierra se define como una conexión directa de todas las partes metálicas de una instalación eléctrica, esta contiene uno o varios electrodos enterrados en el terreno (Figura 6) con el propósito de que no existan diferencias de potencial peligrosas y permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o descarga de origen atmosférico [9].

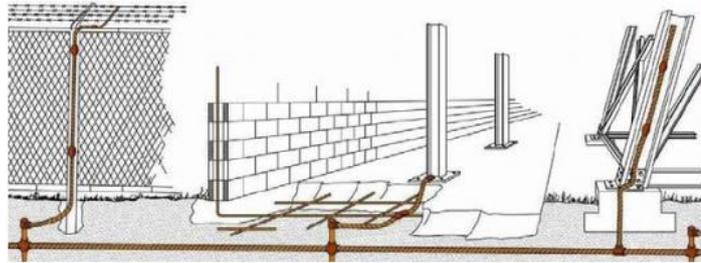


Figura 6. Puesta a tierra

Fuente: [10]

1.3.1 Conceptos básicos de puesta a tierra

A continuación, se detallan algunas definiciones y conceptos básicos [10]:

- Tierra de protección: se conectan a tierra para limitar el voltaje producido por descargas atmosféricas, interconexión de fallas con sistemas.
- Tierra de servicio: es la conexión a tierra en equipos eléctricos a fin de evitar que la cubierta metálica represente una diferencia de potencial con respecto a tierra.
- Tierra de referencia: es la tierra donde se le asigna un voltaje.
- Electrodo de tierra: es un cable conductor enterrado o sumergido en agua pero que está en contacto directo con la tierra.
- Mallas de tierra: se refiere a un conjunto de electrodos conectados de forma eléctrica entre sí.
- Conexión a tierra: se refiere a la conexión eléctrica entre un electrodo o malla en tierra y una parte exterior.

- Resistividad de un terreno: es la relación que existe entre el voltaje de la malla con respecto a una tierra de referencia y la corriente que circula a través de la malla.
- Gradiente superficial: es el voltaje existente entre dos puntos de la superficie del terreno a una distancia de 1 metro.

1.3.2 Mediciones de tierras

En el estudio para la instalación de la puesta a tierra no solo se basan en las características eléctricas del electrodo, sino también de la naturaleza química como la humedad, temperatura, entre otras causas. La calidad y cantidad de las sales minerales puede influenciar en forma notable en la resistividad del terreno. A continuación, en la Tabla 2 se detalla algunos valores de resistividad en base a algunos tipos de materiales del terreno utilizados en las instalaciones eléctricas [10]:

Tabla 2. Resistividad en función del tipo de terreno

Terreno	Resistencia Ω (5/8 x 1.5 m)			Resistividad $\Omega \times \text{cm}^3$		
	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.
Tipo 1	14	3.5	42	2370	590	7000
Tipo 2	24	2	98	4060	340	16300
Tipo 3	93	6	800	15800	1000	135000
Tipo 4	554	35	2700	94000	59000	458000

Fuente: [10]

Donde:

- Tipo 1 compuesto de rellenos de ceniza, partículas de madera quemadas y desperdicios de agua salada.
- Tipo 2, contiene arcilla, pizarra, suelo pedregoso y materia orgánica.
- Tipo 3 compuesto de FUEDEM con proporciones variables de arena y ripio.
- Tipo 4, contiene ripio, arena, piedras con pequeñas cantidades de arcilla y materia orgánica.

Los materiales que poseen un alto valor de resistividad se consideran como aislante mientras que los de más bajo valor se denominan conductores, estos últimos pueden originar problemas de protección [10].

1.3.3 La tierra y la resistividad del terreno

Como se ha mencionado anteriormente la resistividad del terreno es una medida que afecta la resistencia a tierra de un sistema de electrodos. Estas mediciones pueden emplearse para prospecto geofísico, determinar la profundidad de la roca o encontrar la mejor ubicación y profundidad para la instalación de electrodos de baja resistencia. A continuación, se detallan algunos parámetros que son efectos sobre la resistividad del terreno [10]:

- La resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y temperatura. Para efecto práctico se puede omitir el valor de temperatura y basarse de forma simple en la humedad.
- La resistividad puede variar de acuerdo con la profundidad y a los estados de humedad del terreno. Además, los factores como el clima, la naturaleza del subsuelo y la cantidad de agua, afectan a la resistividad. Por tanto, la humedad y sales minerales afectan dicho valor sobre el terreno.

En las Tablas 3 y 4, se observa este cambio de resistividad del terreno ante un cambio de humedad y sales minerales, respectivamente.

Tabla 3. Efecto de la humedad en la resistividad del terreno

% Humedad por peso	Terreno superficial	Arcilla arenosa
resistividad Ω x cm		
0.0	1000×10^6	1000×10^6
2.5	250×10^3	150×10^3
5.0	165×10^3	43×10^3
10.0	53×10^3	22×10^3
15.0	21×10^3	13×10^3
20.0	12×10^3	10×10^3
30.0	10×10^3	8×10^3

Fuente: [10]

Tabla 4. Efecto de la sal agregada en la resistividad del terreno

% Sal por peso de humedad	Resistividad Ω x cm
0.0	10700
0.1	1800
1.0	460
5.0	190
10.0	130
20.0	130

Fuente: [10]

- El tipo de suelo afecta a la resistividad del terreno, tal como se observó en la Tabla 2.
- En donde existe variaciones extremas de temperatura, lluvia, temporadas secas y otros factores estacionales pueden afectar al valor de resistividad del terreno.

1.3.4 Medición de la resistividad del terreno

La medición de resistividad del terreno en base a electrodos no solo utiliza el método de medición, sino también otros factores que pueden afectar el resultado de las mediciones, tales como [10]:

- Tipo de prueba mediante los métodos de caída de potencial, de 2 o 4 terminales.
- Tipo de aparato: no todos trabajan de la misma forma ya que radica en el tipo de corriente empleada, además de otros factores como resistencia patrón, impedancias a diferentes frecuencias.
- Lugar físico de los electrodos de prueba, ya que pueden ser colocados en todas direcciones a cierta distancia entre ellas.

1.4 Métodos para la medición de la resistencia a tierra

1.4.1 Caída de potencial

Este método consiste en colocar tres puntos o terminales de prueba separados a cierta distancia, tal como se indica en la Figura 7. Además, los puntos terminales son conectados al equipo de medición a fin de poder determinar la resistencia a tierra [10].

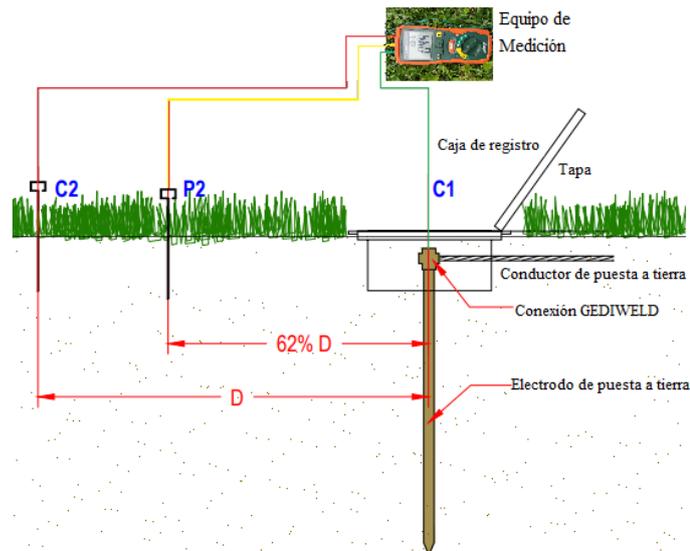


Figura 7. Método de caída de potencial o de tres puntos

Fuente: Autor

1.4.2 De dos puntos

El método directo o de dos puntos consiste en la conexión al electrodo colocado en la tierra y a un sistema de tubos de agua metálico para determinar el valor de resistencia de tierra, tal como se indica en la Figura 8. Si el sistema de agua es amplio, la resistencia debe ser de una fracción de 1Ω , como se observa es un método sencillo, pero a la vez posee limitaciones como [10]:

- El sistema de tubos de agua debe ser extenso como para tener una resistencia despreciable.
- El sistema de tubo de agua debe ser metálico, sin ningún tipo de aislamiento.
- El electrodo de tierra debe estar lejos del sistema de tubos de agua.

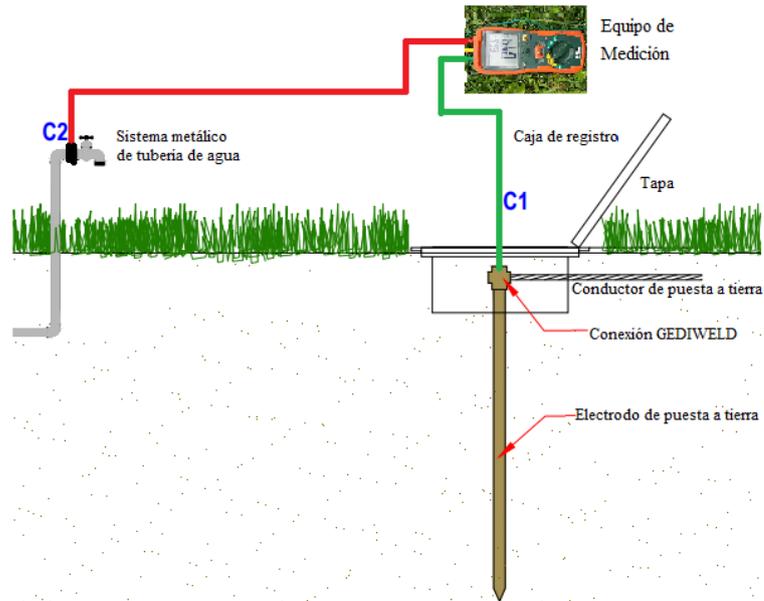


Figura 8. Método de dos puntos o directo

Fuente: Autor

1.4.3 De cuatro terminales

En la Figura 9 se observa cuatro terminales o electrodos separados a una misma distancia y se conectan a un equipo de medición a fin de determinar la resistencia a tierra [10].

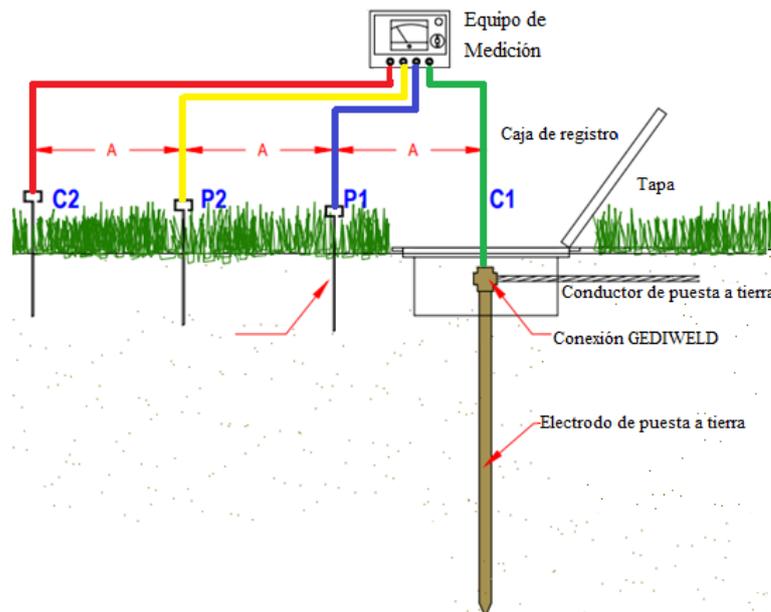


Figura 9. Método de cuatro terminales

Fuente: Autor

La resistencia a tierra puede ser calculada bajo la siguiente ecuación [10]:

$$\rho = 2\pi * A * R \quad (1)$$

Donde:

- ρ : representa la resistencia promedio del suelo a la profundidad expresada en ohmios por centímetro.
- A : representa la distancia entre electrodos expresado en centímetros.
- R : es igual a la lectura del instrumento expresada en ohmios.

1.5 Calidad de energía

En la actualidad, crece de forma considerable el consumo de energía eléctrica debido al desarrollo de nuevas tecnologías. La calidad de energía se refiere al análisis de las variaciones en la forma de onda que existen en los procesos de producción, transporte y distribución, así como en algunos receptores que provocan perturbaciones. Por lo general, las empresas de generación y distribución de energía eléctrica deben afrontar dos grandes hechos: aumento de la capacidad de energía y asegurar la calidad de energía suministrada. La calidad de energía eléctrica tiene que ver con la continuidad del servicio y las variaciones en la forma de onda, frecuencia, balance de las fases, amplitudes de voltaje y corriente [11].

1.5.1 Voltaje y corriente

Se denomina voltaje o tensión a la diferencia en la energía potencial por carga, también puede ser definido como a la diferencia de potencial expresado en Joule para mover una carga de un punto a otro. En cambio, la corriente se refiere al movimiento de electrones (Figura 10), la cual produce trabajo en el circuito eléctrico [12].

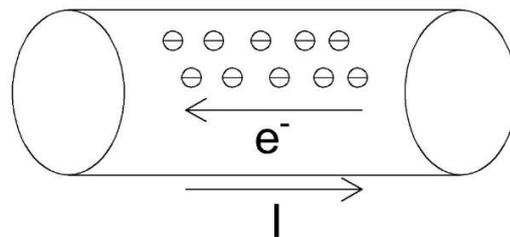


Figura 10. Corriente eléctrica

Fuente: [12]

En un sistema trifásico, existen 3 líneas de alimentación de la energía eléctrica, visto en la Figura 11 [13].

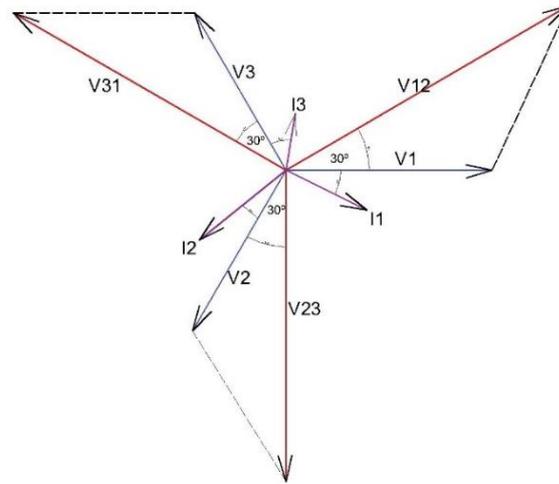


Figura 11. Líneas de alimentación del sistema trifásico

Fuente: [13]

Donde:

- Voltajes de fase: V_1 , V_2 y V_3 .
- Voltajes de línea a línea: V_{12} , V_{23} y V_{31} .
- Corrientes de fase: I_1 , I_2 y I_3 .

1.5.2 Frecuencia

La frecuencia es una magnitud de la corriente alterna del sistema eléctrico que mide un número determinado de veces en un segundo de tiempo, además la unidad de medida es el Hertz [14].

1.5.3 Distorsión armónica

La distorsión armónica se la puede definir como al ruido eléctrico, usualmente encontrado en los sistemas eléctricos que poseen elementos no lineales de equipos y cargas que forman diferentes frecuencias de la red eléctrica. Este fenómeno es conocido como generación de armónicos de las ondas de voltaje y/o corriente, cuyo

resultado es igual a la relación de los valores eficaces de todos los armónicos sobre la fundamental de orden 1, visto en la Figura 12 [15].

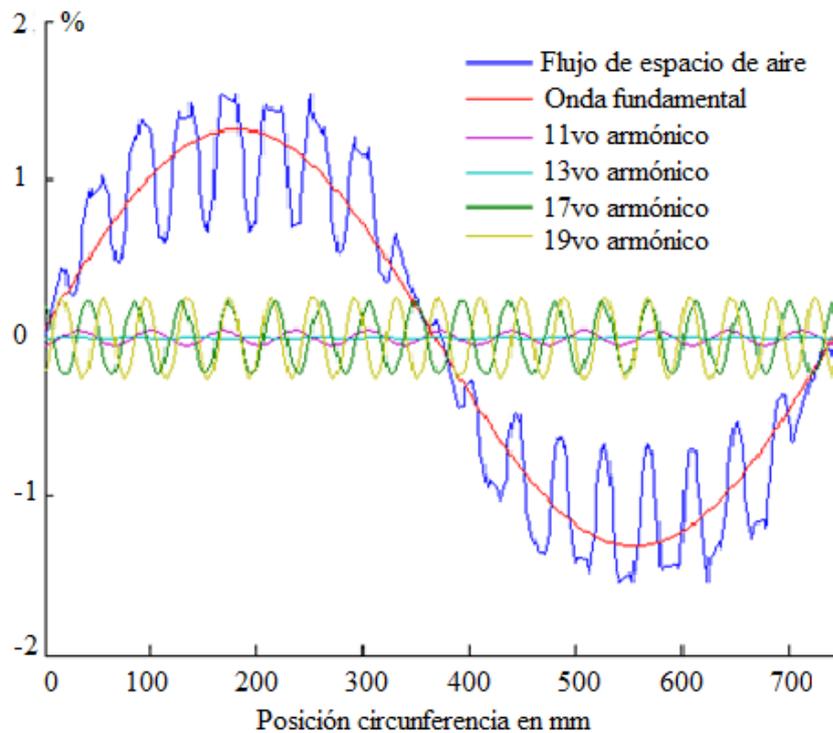


Figura 12. Distorsión armónica

Fuente: [16]

1.5.4 Energía y potencia

La energía se define como la capacidad de realizar un trabajo, mientras que la potencia se define como la razón de cierta cantidad de energía en un tiempo establecido [12]. En la Figura 13, se dispone de tres tipos de potencias detalladas a continuación [17]:

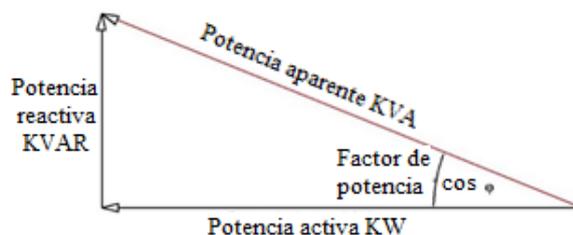


Figura 13. Potencias activa, reactiva y aparente

Fuente: [17]

- **Potencia Activa “P”.** Esta aparece cuando la corriente eléctrica pasa a través de una resistencia, también se denomina potencia útil, donde la unidad de medida es el vatio (W).

- **Potencia Reactiva “Q”**. es una energía almacenada debido a las cargas capacitivas e inductivas, esta potencia Q se mide en voltio – amperio - reactivo (VA reactivo).
- **Potencia Aparente “S”**. Es el resultado de las dos potencias anteriores, visto en la Figura 13, es decir, es la hipotenusa del triángulo. Además, la unidad de medida se expresa en voltio – amperio (VA).

1.5.5 Factor de potencia

El factor de potencia posee las siguientes características:

- Su valor se puede encontrar como la razón entre las potencias activa y aparente, tal como se observó en la Figura 13 [2].
- El rango de medida del factor de potencia está entre 0 a 1 [18].
- Si el valor del factor de potencia es bajo, se debe al desaprovechamiento de la energía a causa del calor, mal funcionamiento del sistema o deterioro de materiales [18].

1.5.6 Balance y desbalance de carga

El balance de cargas en un sistema eléctrico trifásico consiste en dividir equitativamente la energía a cada una de las fases, por lo que se obtendría un sistema equilibrado. Sin embargo, cuando existe pérdidas de potencia o mala distribución de cargas ocurre un desbalance entre las corrientes de fase. En la Ecuación 2, se presenta el cálculo para determinar el balance de corriente por cada línea [5].

$$DI = \left(\frac{I_L - I_{prom}}{I_{prom}} \right) * 100\% \quad (2)$$

Donde:

- DI: representa el balance de corriente.
- I_{prom} : es el promedio de las 3 corrientes I_{L1} , I_{L2} e I_{L3} .

1.6 Equipos de medición

1.6.1 Analizador de calidad eléctrica

Existen equipos capaces de detectar problemas de sobretensiones, caídas de tensión, armónicos, desequilibrios, entre otros; para ello, se utilizan analizadores trifásicos de calidad eléctrica, visto en la Figura 14. Estos analizadores poseen las siguientes características [19]:

- Detección e identificación de anomalías.
- Descubre la tendencia de la calidad de energía eléctrica a lo largo del tiempo.
- Visualización del sistema de forma gráfica o numérica.
- Registro de los datos analizados.



Figura 14. Analizadores de calidad eléctrica Fluke

Fuente: [19]

1.6.2 Secuencímetro

Este equipo de medición se encarga de conocer la secuencia de fases de varios factores como el sistema trifásico y giro del motor; visto en la Figura 15 [19].



Figura 15. Secuencímetro

Fuente: [20]

1.6.3 Cámara termográfica

La cámara termográfica es un equipo capaz de realizar mediciones de temperatura sin necesidad de contacto, visto en la Figura 16. Además, se basa en la detección de la energía infrarroja emitida, reflejada o transmitida por todos los materiales a temperaturas superiores a los cero grados kelvin, donde el factor de energía es convertido a un termo grama o lectura de temperatura, visto en la Figura 17 [21].



Figura 16. Cámara termográfica de marca Fluke

Fuente: [19]

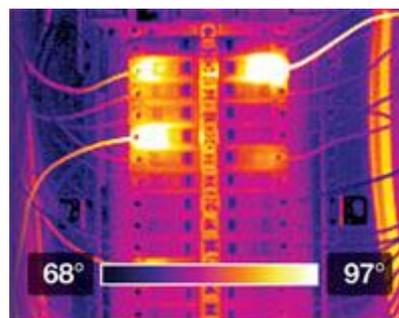


Figura 17. Termo grama

Fuente: [21]

A continuación, se indican características de la importancia de la cámara termográfica [21]:

- Se utiliza en lugares donde no puedan ser medidos por sensores convencionales.
- Puede ser utilizado en casos donde hay objetos en movimiento, como rodillos, cintas transportadoras o maquinaria móvil.
- Además, se puede utilizar en lugares donde existe contaminación o presenta ciertos riesgos como en elementos de alta tensión.
- Determina de forma inmediata los puntos calientes e indica una imagen promedio de la zona que se está midiendo.
- Puede detectar problemas bien pequeños a grandes distancias si se tiene una buena resolución de la cámara.
- La elección de una cámara depende de los siguientes factores:
 - Campo de visión, es decir, distancia y tamaño del objeto.
 - Tipo de superficie.
 - Respuesta espectral para transmisión a través de superficies o efectos atmosféricos.
 - Rango de temperatura.
 - Montaje fijo o portátil de mano.
 - Tiempo de respuesta, entorno, limitaciones de montaje, entre otros.

1.6.4 Telurómetro

El telurómetro (Figura 18) es un equipo encargado de medir la resistencia de puesta a tierra en ohmios y resistividad del terreno en ohmios metro.



Figura 18. Telurómetro Extech

Fuente: [22]

1.7 Normas relacionadas

1.7.1 Calidad de servicio CONELEC 004/01

La regulación del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC – 004/01 establece tres puntos sobre la calidad de servicio, es decir, producto, servicios técnico y comercial. La calidad del producto implica el registro de las mediciones que realiza las empresas distribuidoras es durante un período no inferior a 7 días continuos y cada punto de medición se realiza cada 10 minutos; estas mediciones abarcan los siguientes parámetros: nivel de voltaje (Tabla 5), distorsión armónica (Tabla 6) y el valor límite del factor de potencia debe ser de 0.92 [2].

Tabla 5. Niveles de Voltaje

Niveles de voltaje	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje, zona urbana	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje, zona rural	± 13,0 %	± 10,0 %

Fuente: [2]

Donde la subetapa 1 indica una duración de 24 meses; en cambio la subetapa 2, comienza a partir de la subetapa 1 terminada, durante un tiempo indefinido.

Tabla 6. Distorsión armónica de voltaje

Orden (n) de la armónica	Tolerancia THD (%)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
2	1.5	2.0
3	1.5	5.0
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
9	1.0	1.5
11	1.5	3.5
12 y >21	0.2	0.2
>12	0.2	0.5
>25	0.1+0.6*25/n	0.2+1.3*25/n

Fuente: [2]

En la Ecuación 3, se encuentra la fórmula para calcular el índice de calidad ΔV_k , donde V_k y V_n representan los voltajes medidos y nominales [2].

$$\Delta V_k[\%] = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 = \frac{V_k - 127,02}{127,02} * 100 \quad (3)$$

La calidad del servicio técnico realiza un estudio de las interrupciones en tiempo real que afecten a los consumidores con suministros en medio o alto voltaje. En esta etapa se calculan la frecuencia y duración de interrupciones a nivel de consumidor. Por último, la calidad del servicio comercial indica que la empresa distribuidora provee el suministro de la energía eléctrica, errores en medición y facturación, atención de reclamos y solicitudes para satisfacer las necesidades de los consumidores [2].

1.7.2 Normas para puesta a tierra

Los estándares IEEE 142-2007 e IEEE 80-2013 desarrollados por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica presentan una guía de la puesta a tierra. La norma IEEE 142-2007 se encarga de mencionar los problemas y dar soluciones, mientras que la norma IEEE 80-2013 es una guía recomendada en subestaciones de corriente alterna. Con relación a la puesta a tierra, la norma IEEE 142-2007 estipula lo siguiente [23]:

- Cuando hay varios electrodos conectados entre sí, se puede obtener una resistencia del sistema menor a 1 ohmio. Este valor solo es requerido en subestaciones grandes, líneas de transmisión o estaciones generadoras.
- Los valores de resistencia entre 1 a 5 ohmios se requieren subestaciones de plantas industriales, edificios y en instalaciones comerciales.
- En una varilla, tubería o placa se tiene un valor de 25 ohmios, sin embargo, este valor no representa algo satisfactorio en un sistema de puesta a tierra.

Con relación a la puesta a tierra (Tabla 7), la norma IEEE 80-2013 estipula lo siguiente [24]:

- La puesta a tierra debe instalarse para limitar los gradientes superficiales a niveles de voltaje y corriente, a fin de garantizar seguridad de las personas y equipos.

Tabla 7. Valores máximos de resistencia de puesta a tierra

Descripción	Resistencia [Ω]
Estructuras de líneas de transmisión	20
Subestaciones de alto y extra alto voltaje ($\geq 115\text{kV}$)	1
Subestaciones de medio voltaje de uso exterior en poste o interior	10
Protección contra rayos	4
Neutro de acometida en baja tensión	25
Descargas electrostáticas	25
Equipos electrónicos sensibles	5

Fuente: [24]

A continuación, se realizan los pasos recomendados por la norma IEEE 80-2013 para el diseño de una puesta a tierra [24]:

Paso 1. Área de estudio: determinar la resistividad del terreno.

Paso 2. Conductor: el material conductor apropiado para mantener un sistema de puesta a tierra íntegro, es decir, de larga vida útil; este material puede ser de cobre, acero con revestimiento de cobre, aluminio. Además, se realiza el cálculo del calibre del conductor, visto en la Ecuación 4.

$$A_{mm^2} = 0.5067 * I_F * K_f * \sqrt{t_c} \quad (4)$$

Donde: “ A_{mm^2} ” es la sección transversal del conductor en [mm²], “ I_F ” representa la corriente de falla asimétrica máxima en [kA] y “ K_f ” es la constante del material a varios valores de la temperatura máxima permisible de fusión “ T_m ” a una temperatura ambiente de 40 °C, visto en la Tabla 8.

Tabla 8. Constantes de materiales

Material	Conductividad del material %	T_m	K_F
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Varilla de acero recubierta de cobre	17	1084	14,64
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,26
Acero 1020	10,8	1510	18,39
Varilla de acero galvanizada	9,8	1400	14,72
Varilla de acero recubierta de zinc	8,6	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: [24]

Paso 3. Tensiones tolerables: en base a las Ecuaciones 5 a la 8 se calculan las tensiones de paso “ E_{paso} ” y de contacto “ $E_{contacto}$ ” para un ser humano de 50 y 70 kg sometido a peligro.

$$E_{paso50kg} = \frac{0.116(1000 + 6C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (5)$$

$$E_{paso70kg} = \frac{0.157(1000 + 6C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (6)$$

$$E_{contacto50kg} = \frac{0.116(1000 + 1.5C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (7)$$

$$E_{contacto70kg} = \frac{0.157(1000 + 1.5C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (8)$$

Donde:

- C_s : factor de decremento de la capa superficial, visto en la Ecuación 9. Si la capa superficial no es grava, entonces es igual a 1 y $\rho = \rho_s$.
- ρ_s : resistividad de la capa superficial del terreno en [Ωm].
- t_s : tiempo de despeje de la falla expresado en segundos.

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \rho/\rho_s)}{2h_s + 0.09} \quad (9)$$

Donde:

- h_s : espesor de la capa superficial en metros.
- ρ : resistividad del terreno en [Ωm].

Paso 4. Diseño básico: se rodea el área mediante conductos por donde pueda circular el cable conductor de tierra. Además, se debe prever la ubicación de varillas de tierra y separación de conductores mediante la corriente máxima de malla I_G y el área del terreno.

Paso 5. Resistencia a tierra: mediante la Ecuación 10 se puede determinar el valor de resistencia de puesta a tierra de una malla “ R_g ” con terreno uniforme.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (10)$$

Donde: “ L_T ” es la longitud total de conductores horizontales y varillas verticales enterradas y “ h ” representa la profundidad de la malla; ambas expresadas en metros. Por último, se tiene el área de la malla “ A ”, expresado en metros cuadrados.

Sin embargo, se puede emplear Ecuaciones adicionales para el cálculo de resistencia de la unión de dos y tres varillas en disposición lineal.

Ecuaciones para dos varillas $\eta_R=2$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi d} \left[\ln \left(\frac{2d}{a'} \right) + 4k_1 - k_2 \right] \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{8k_1 L_r}{d} (\sqrt{2} - 1)^2 \right] \quad (12)$$

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{\pi d} \left[\ln \left(\frac{L_r}{\sqrt{2ah}} \right) - 1 \right] \quad (13)$$

Ecuaciones para tres varillas $\eta_R=3$

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi d} \left[\ln \left(\frac{4d}{a'} \right) + 4k_1 - k_2 \right] \quad (14)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{6\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{4k_1 L_r}{d} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] \quad (15)$$

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{2\pi d} \left[\ln \left(\frac{L_r}{\sqrt{2ah}} \right) - 1 \right] \quad (16)$$

Donde:

- R_1 y R_2 : resistencias a tierra del conductor y varillas, respectivamente; en ohmios.
- d : longitud de separación entre dos varillas adyacentes en metros. Además, que “ d ” es mayor a “ L_r ”
- a : radio del conductor en metros. En cambio, “ a' ” se calcula mediante 2 formas:
 - $\sqrt{2ah}$ para el conductor enterrado a una profundidad en metros.
 - “ a ” para el conductor en la superficie del terreno en metros.
- k_1 y k_2 : coeficientes de relación de largo y ancho. Además, poseen rangos entre 0.90 – 1.40 y 4.5 – 7.0, respectivamente.
- L_r y b : longitud y radio de la varilla en metros.
- R_m : resistencia mutua entre el grupo de conductores y varillas.

Una vez obtenida la resistencia mutua, se procede a calcular la resistencia total del sistema “ R_g ”, visto en la Ecuación 17.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (17)$$

Paso 6. Corriente máxima de malla I_G : se utiliza la corriente de falla que circula a través de la malla a tierra y hacia el terreno contiguo; se calcula mediante las Ecuaciones 18 y 19.

$$I_G = D_f * I_g = D_f * S_f * I_f \quad (18)$$

$$I_f = \frac{3}{\sqrt{3}} \left(\frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B} \right) \quad (19)$$

Donde:

- I_g e I_f : corriente simétrica de malla y falla simétrica, respectivamente; son valores eficaces expresados en amperios.
- D_f : factor de disminución durante el tiempo de falla “ t_f ”. Además, se utiliza para incluir el efecto de la componente en corriente continua y puede ser determinado mediante la Tabla 9. En cambio, S_f es el factor de división de corriente de falla.
- “ V_{Th} ” es el voltaje de Thévenin que se produce entre el circuito y la persona que toque una estructura metálica conectada a tierra. En cambio “ Z_{Th} ” representa la resistencia equivalente de la persona y el sistema eléctrico. Por último, “ R_B ” es la resistencia del cuerpo humano.

Tabla 9. Valores típicos de D_f

Duración t_f		Factor D_f			
Segundos	Ciclos a 60 Hz	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Fuente: [24]

Paso 7. Potencial máximo de la malla GPR: se calcula mediante la corriente I_G y la resistencia R_g , visto en la Ecuación 20. Si su valor es menor a la tensión de contacto tolerable por el cuerpo humano, se procede poner a tierra los equipos (Paso 11).

$$GPR = I_G * R_g \quad (20)$$

Paso 8. Tensión de paso “ E_s ” y contacto “ E_m ” reales: se calcula mediante las Ecuaciones 21 y 24, respectivamente.

$$E_s = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{L_s} = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{0.75L_C + 0.85L_R} \quad (21)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1 - 0.5^{(n-2)}}{D} \right] \quad (22)$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (23)$$

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_M} \quad (24)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(2hd)^2}{8dD} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (25)$$

$$K_{ii} = 1, \text{ con varillas de aterrizaje} \quad (26)$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}, \text{ con pocas o ninguna varilla de aterrizaje} \quad (27)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (28)$$

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad (29)$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_p}; n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}; n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A} \right)^{0.7A/L_x L_y}; n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (30)$$

$$L_M = L_C + L_R \quad (31)$$

$$L_M = L_C + L_R \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \quad (32)$$

Donde:

- K_s y K_m : factores de espaciado para la tensión de paso y contacto, respectivamente. En cambio, K_i es el factor de corrección para la geometría de malla.
- K_{ii} y K_h son factores de ponderación correctiva para efectos de conductores internos y profundidad de la malla, respectivamente.
- L_s, L_M, L_C, L_R y L_p son longitudes: efectiva del conductor para la tensión de paso y contacto, total del conductor de malla, total de todas las varillas de aterrizaje y perimetral de malla; expresadas en metros.
- D y d : es el espaciado entre conductores paralelos y el diámetro del conductor de malla, respectivamente; en cambio “ h ” representa la profundidad a la que se encuentra la malla. Todas estas medidas están dadas en metros.
- n : número efectivo de conductores paralelos en una malla. Si la malla es cuadrada los valores de n_b, n_c y n_d son de valor 1, en caso de ser rectangulares $n_c = n_d = 1$ y si son en forma de L , entonces $n_d = 1$.
- L_x y L_y son longitudes de los conductores de malla en la dirección (x, y) en metros.
- D_m : distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla en metros.

Paso 9. Control de seguridad: si las tensiones de paso y contacto teóricas son menores a las tolerables por el cuerpo humano, se procede poner a tierra los equipos (Paso 11).

Paso 10. Acciones de mejora: en caso de superar las tensiones de paso y contacto tolerables, revisar el diseño de la malla. Los planes de mejora pueden ser la reducción del espaciado entre conductores, aumento de electrodos de tierra, incremento de área ocupada por la malla, entre otros.

Paso 11. Etapa final: poner a tierra los equipos.

1.7.3 Norma NETA/ANSI ATS-2009

La Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas “NETA” junto con el Instituto Nacional de Normas Estadounidense “ANSI”, ayuda con la inspección termográfica

mediante la norma ANSI/NETA ATS-2009. En la Tabla 10 se indican las observaciones en base a los criterios de severidad [25].

Tabla 10. Criterio de Severidad

Relevancia	Prioridad	ΔT (°C)	ΔT (°F)
Normal	1 (bajo)	$\Delta T \leq 10$	$\Delta T \leq 50$
Leve	2	$10 < \Delta T \leq 20$	$50 < \Delta T \leq 68$
Grave	3	$20 < \Delta T \leq 40$	$40 < \Delta T \leq 104$
Crítico	4 (alto)	$\Delta T > 40$	$\Delta T > 104$

Fuente: [25]

Donde, la diferencia de temperatura ΔT se realiza entre el punto caliente y la temperatura ambiente. En base a la relevancia, se realizan las siguientes observaciones:

- Normal: no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo, puesto que está dentro del rango establecido.
- Leve: se realiza un seguimiento del punto caliente con el material y personal adecuado. Luego, llevar a cabo una corrección según lo permita el tiempo.
- Grave: hacer la corrección requerida, cuando sea posible hasta antes del siguiente mantenimiento.
- Crítico: interrumpir el proceso de manera inmediata, para realizar el reemplazo requerido.

CAPÍTULO II

SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS EL GIRÓN BLOQUE B

2.1 Generalidades

La Universidad Politécnica Salesiana ha tenido origen desde enero de 1888 cuyos convenios se firmaron por el representante del Gobierno del Ecuador en Turín (Italia) y Don Bosco, para impartir la educación científica y moral a los ciudadanos de Quito. Años después, se extiende a otras ciudades como Gualaquiza, Indanza, Méndez, Macas, Sucúa, Limón, Riobamba, Cuenca, Guayaquil, entre otros. Hoy en día, cubre alrededor de 27 comunidades repartidas en la Sierra, Costa y Amazonía [26].

2.2 Situación actual

La Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón reside en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador; se encuentra ubicado en la Av. Isabel La Católica N23-52 y Madrid. El croquis de la Universidad Campus el Girón Bloque B, se observa en la Figura 19 [26].



Figura 19. Ubicación del Bloque B de la UPS Campus el Girón

Fuente: [27]

2.3 Diagramas unifilares existentes

Se dispone de dos diagramas unifilares del bloque B divididos de la siguiente manera: circuito 1 Ala Sur y circuito 2 Ala Norte, vistos en las Figuras 20 y 21, respectivamente.

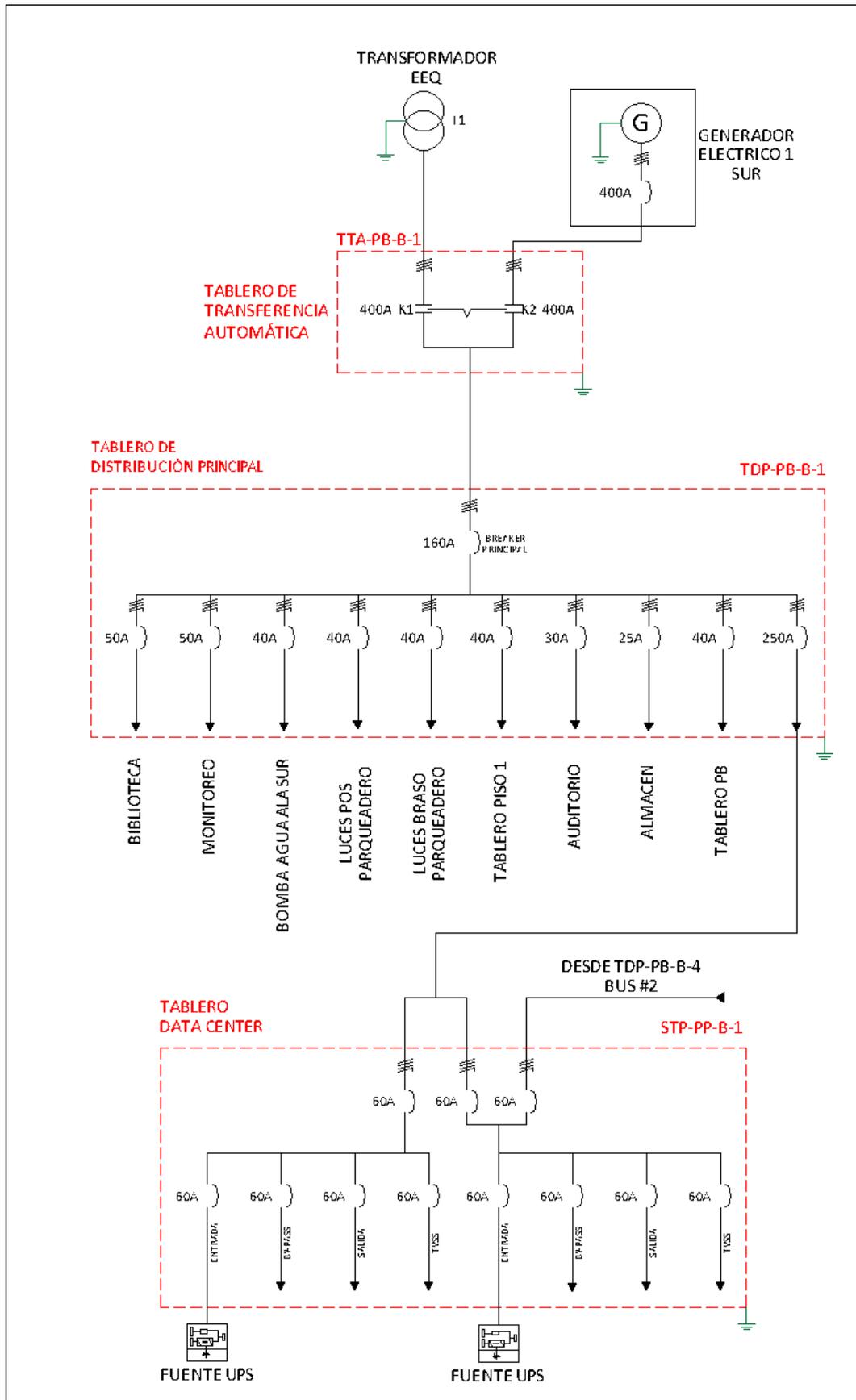


Figura 20. Diagrama unifilar circuito 1 Ala Sur

Fuente: UPS

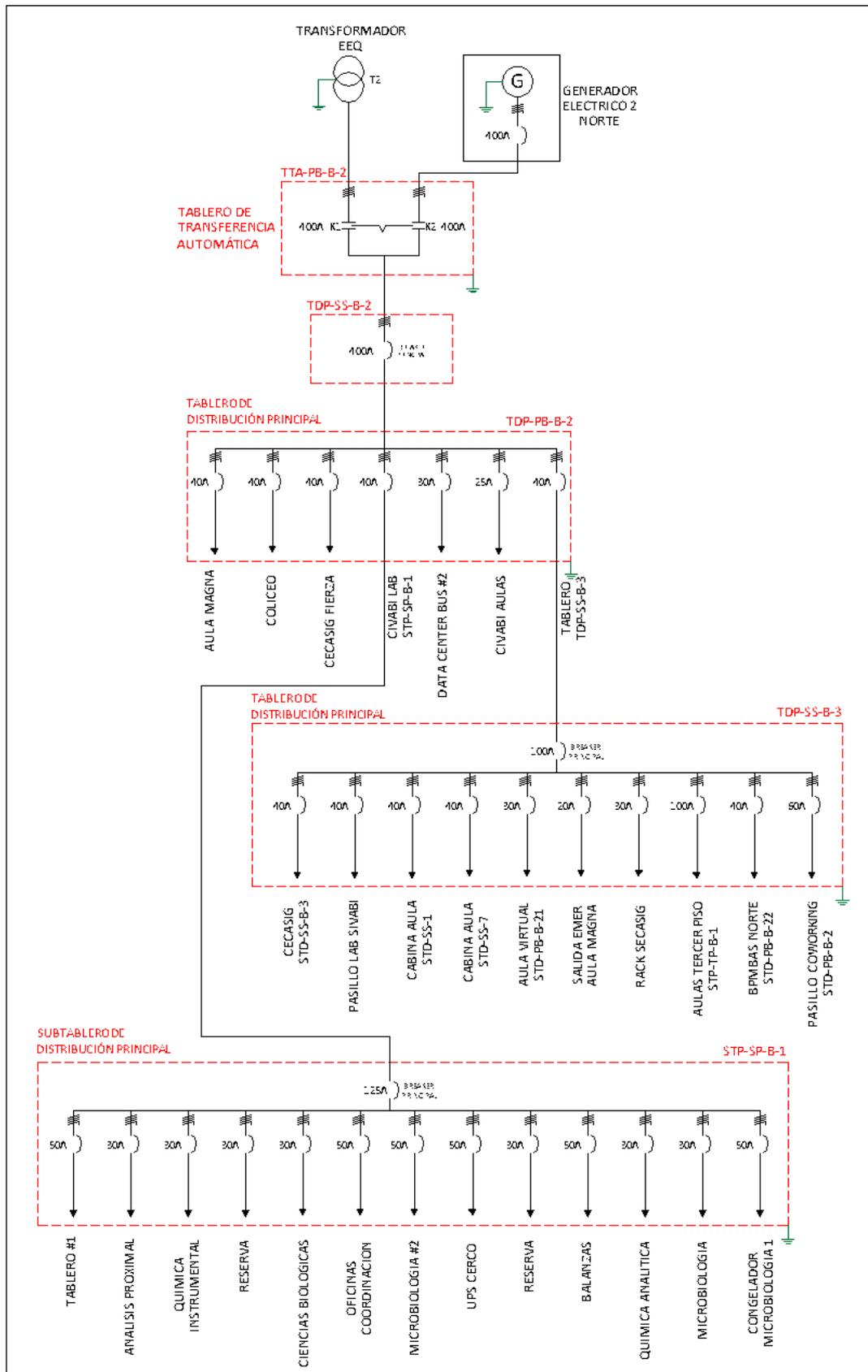


Figura 21. Diagrama unifilar circuito 2 Ala Norte

Fuente: UPS

A continuación, en las Tablas siguientes se describen cada elemento perteneciente a los diagramas unifilares.

Tabla 11. Elementos del circuito 1 Ala Sur

Elementos	Denominación	Cantidad
Transformador EEQ	T1	1
Tablero de transferencia automática	TTA-PB-B-1	1
Generador Sur	Generador 1	1
Tablero de distribución principal	TDP-PB-B-1	1

Fuente: UPS

El tablero de distribución principal TDP-PB-B-1 contiene 10 áreas enunciadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Áreas del tablero TDP-PB-B-1

#	Áreas	Protección
1	Biblioteca	50 A
2	Monitoreo	50 A
3	Bomba de agua Ala Sur	40 A
4	Luces Pos Parqueadero	40 A
5	Luces Braso Parqueadero	40 A
6	Tablero Piso 1	40 A
7	Auditorio	30 A
8	Almacén	25 A
9	Tablero en planta baja PB	40 A
10	Data Center Bus #1 (P1)	100, 250 A

Fuente: UPS

El Data Center P1 está compuesto de 4 áreas de entrada, salida, by-pass y supresor de transientes TVSS con opción de un aumento de cargas de las mismas características del tablero de distribución TDP-PB-B-4 bus #2.

Tabla 13. Elementos del circuito 2 Ala Norte

Elementos	Denominación	Cantidad
Transformador EEQ	T2	1
Tablero de transferencia automática	TTA-PB-B-2	1
Generador Norte	Generador 2	1
Tablero de distribución principal planta baja B-2	TDP-PB-B-2	1
Tablero de distribución principal subsuelo B-2	TDP-SS-B-2	1
Tablero de distribución principal planta baja B-4	TDP-PB-B-4	1
Tablero de distribución principal subsuelo B-4	TDP-SS-B-4	1
Sub Tablero principal del área de biotecnología	STP-SP-B-1	1

Fuente: UPS

El tablero de distribución principal TDP-PB-B-4 contiene 7 áreas enunciadas en la Tabla 14. El tablero de distribución principal TDP-SS-B-4 contiene 10 áreas enunciadas en la Tabla 15.

Tabla 14. Áreas del tablero TDP-PB-B-4

#	Áreas	Protección
1	Aula Magna	250 A
2	Coliseo	100 A
3	CECASIG Fuerza	60 A
4	CIVABI Laboratorio (STP-SP-B-1)	125 A
5	Data Center Bus #2	100, 250 A
6	CIVABI Aulas	125 A
7	Tablero de distribución principal subsuelo B3 (TDP-SS-B-3)	100 A

Fuente: UPS**Tabla 15.** Áreas del tablero TDP-SS-B-4

#	Áreas	Protección
1	CECASIG STD-SS-B-3	40 A
2	Pasillo LAB CIVABI	40 A
3	Cabina Aula STD-SS-1	40 A
4	Cabina Aula STD-SS-7	40 A
5	Aula Virtual STD-PB-B-21	30 A
6	Salida de emergencia – Aula Magna	20 A
7	Rack CECASIG	30 A
8	Aulas tercer piso STP-TP-B-1	100 A

9	Bombas norte STD-PB-B-22	40 A
10	Pasillo Coworking STD-PB-B-2	60 A

Fuente: UPS

El Sub Tablero Principal STP-SP-B-1 contiene 13 áreas, de las cuales se mencionan 10 de ellas, visto en la Tabla 16.

Tabla 16. Áreas del laboratorio STP-SP-B-1

#	Áreas	Protección
1	Análisis proximal	30 A
2	Microbiología	30 A
3	Química Instrumental	30 A
4	Ciencias biológicas	50 A
5	Oficina de Coordinación	50 A
6	Microbiología 2	50 A
7	UPS Cerco	30 A
8	Balanzas	30 A
9	Química Analítica	30 A
10	Congelador microbiología 1	50 A

Fuente: UPS

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

3.1 Equipos utilizados

3.1.1 Analizador de red Fluke 435

Se dispone de un analizador de calidad eléctrica Fluke 435 cuyas características esenciales son mostrar al instante múltiples parámetros como potencia, energía, formas de onda de corrientes y voltajes, transitorios, frecuencia, armónicos. y calcula los costes de la pérdida de energía y posee una tarjeta SD Wi-Fi combinada. Además, tiene la capacidad de visualizar hasta 50 armónicos de la red bajo la norma IEC 61000-4-7, posee una protección IP51 que es a prueba de polvo y salpicadura; referente a las condiciones ambientales puede estar hasta 60 °C en funcionamiento, los desbalances de voltaje y corriente no deben superar el 2 y 10 %, respectivamente; entre otras características indicadas en la Tabla 17 [19].

Tabla 17. Especificaciones técnicas del Fluke 435

Características	Rango	Resolución	Precisión
Vrms (AC+CC)	1 – 1000 V _{FN}	0,01 V	± 0,1 %
Voltaje pico “V _p ”	1 – 1400 V _p	1 V	5 %
Voltaje medio rms	-	0,1 V	± 1 %
Corriente (AC+CC)	5 – 2000 A (esc.1x)	1 A	± 0,5 % ± 5
	0,5 – 200 A (esc.10x)	0,1 A	cuentas
Corriente de pico	5500 A	1 Arms	± 5 %
Corriente media	5 – 2000A (esc.1x)	1 A	± 1 % ± 10
	0,5 – 200A (esc.10x)	0,1 A	cuentas
Frecuencia a 60 Hz	51 – 69 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
Factor de potencia	0 – 1	0,001	± 0,1 %
THD Voltaje	0 – 100 %	0,1 %	± 2,5 %
THD Corriente	0 – 100 %	0,1 %	± 2,5 %
Desequilibrio (% V)	0 – 20 %	0,1 %	± 0,1 %
Desequilibrio (% A)	0 – 20 %	0,1 %	± 1 %
Parpadeo	0 – 20	0,01	± 5 %

Fuente: [19]

3.1.2 Secuencímetro Pro'skit 8PK-ST850

Se utiliza el instrumento Proskit 8PK-ST850 para detectar la secuencia de fases. Puede detectar el punto de ruptura fase y cumple con la norma de seguridad IEN 1010, entre otras características técnicas de voltaje, frecuencia, temperatura y color de cables vistos en la Tabla 18 [20].

Tabla 18. Características técnicas del secuencímetro Pro'skit 8PK-ST850

Características		Valor	Medida
Voltaje en corriente alterna		90 – 60	V
Frecuencia		50/60	Hz
Temperatura de	Almacenamiento	-20 a 60	°C
	Humedad máx.	90	%
Temperatura de	Funcionamiento	-10 a 40	°C
	Humedad máx.	80	%
Cables	Rojo (R), Blanco (S), Negro (T)	1.1	mts

Fuente: [20]

3.1.3 Cámara termográfica Fluke Ti450

Se dispone de una cámara termográfica Fluke Ti450 cuya función es la captura de las diferencias de temperatura del elemento de estudio. Gracias a la sensibilidad térmica facilita la visualización donde se pueden realizar los diagnósticos correspondientes, como definir las temperaturas mínimas y máximas de cierta área. En la Tabla 19 se consideran algunas de las características principales, generales y técnicas de la cámara termográfica Fluke Ti450 [19].

Tabla 19. Características de la cámara termográfica Fluke Ti450

Características	Valor	Medida
Resolución del detector	320 x 240	píxeles
Super resolución	640 x 480	píxeles
Temperatura para medición del objeto	-10 a 1500	°C
Precisión	± 2	°C
Sensibilidad térmica	≤ 0,025	°C
Campo de visión del lente estándar	24 x 17	°H x °V
Distancia focal mínima del lente estándar	15	cm

Autonomía de la batería	3 – 4	horas
Alimentación con la red eléctrica	100 – 240	V
Banda espectral infrarroja	7,5 – 14	um
Temperatura de funcionamiento	-10 a 50	°C
Temperatura de almacenamiento	-20 a 50	°C
Humedad relativa	10 – 95	%

Fuente: [20]

3.1.4 Probador de resistencia a tierra Extech 382252

Se utiliza un equipo probador Extech 382252 capaz de determinar la resistencia de tierra física, realiza mediciones de voltaje alterno o continuo y continuidad. En la Tabla 20 se detallan las especificaciones del telurómetro Extech 382252 [22].

Tabla 20. Características del telurómetro Extech 382252

Características	Valor	Medida
Rangos de resistencia a tierra	20/200/2000	Ω
Precisión	± 2	%
Resolución	0,01/0,1/1	Ω
Prueba de corriente / frecuencia	< 2,5 / 820	mA/Hz
Voltaje / frecuencia de tierra en AC	0 – 200 / 50 – 400	V/Hz
Exactitud de voltaje en AC	± 3	%
Voltaje en DC	0 – 1000	V
Exactitud de voltaje en DC	$\pm 0,8$	%
Resistencia	0 – 200	K Ω
Exactitud de resistencia	± 1	%
Continuidad	40	Ω
Fuente de alimentación	9	V

Fuente: [22]

3.2 Inspecciones realizadas en el campus Girón del bloque B

Las mediciones de la calidad de energía eléctrica, resistencia de puesta a tierra y termografía se realizaron en las siguientes fechas:

- Calidad de energía de los tableros de transmisión automática bloque b en el Ala Sur desde el 07 al 14 de enero del 2020 y Ala Norte desde el 14 al 21 de enero del 2020.
- Resistencia de puesta a tierra el día 28 de enero del 2020 en el data center, generadores 1 y 2, tableros de distribución principal TDP-PB-B-1 y TDP-PB-B-2.
- Inspección termográfica el día 21 de enero del 2020 en el sub-tablero STP-PP-B-1 y tableros TTA-PB-B-2, TDP-PB-B-1, TTA-PB-B-1, TDP-SS-B-2 y TDP-SS-B-3. En cambio, el sub-tablero STP-SP-B-1 fue evaluado el 23 de enero del 2020.

3.3 Calidad de energía eléctrica en los tableros de transmisión automática

Las mediciones se realizaron en los tableros de transmisión automática TTA del bloque B Alas Sur y Norte mediante el analizador de red Fluke 435.

3.3.1 Medición de voltajes de línea en el Ala Sur

En la Figura 22 se describe el comportamiento del voltaje de línea en el Ala Sur del Bloque B en un tiempo de 7 días. Como se observa en la Figura, el valor del voltaje sobre la línea no es constante ya que posee perturbaciones en la red eléctrica.

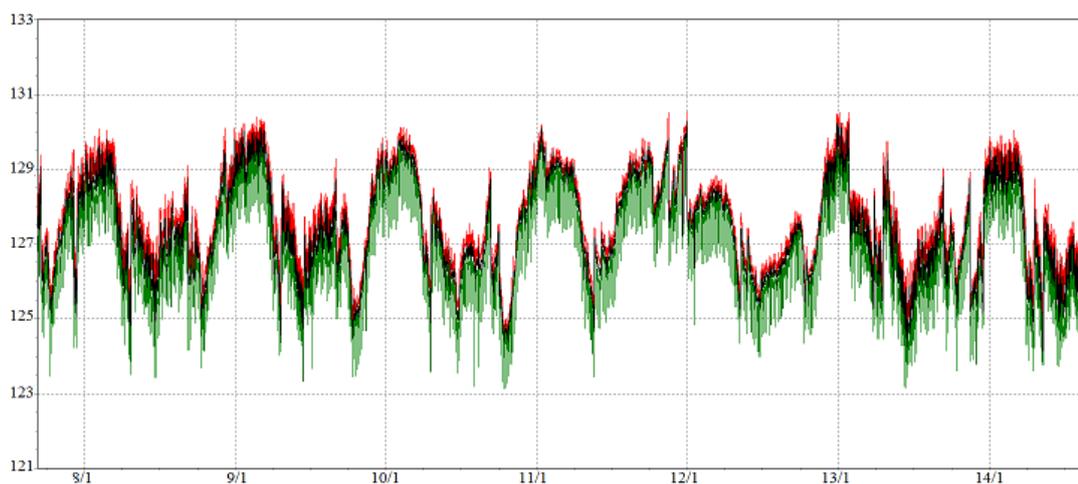


Figura 22. Reporte del voltaje de línea 1 del TTA Ala Sur del 7 y 14 de enero

Fuente: [28]

En la Tabla 21 se detalla los valores mínimo, promedio y máximo obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores en los siete días del 07

al 14 de enero del 2020. Además, se ha escogido los valores promedios por cada día de las líneas L1N, L2N y L3N. Se concluye que:

- Posee valores mínimo y máximo de 126,95 y 128,29 V, respectivamente en L1N.
- Posee valores mínimo y máximo de 127,21 y 128,63 V, respectivamente en L2N.
- Posee valores mínimo y máximo de 128,71 y 129,93 V, respectivamente en L3N.

Tabla 21. Medición del voltaje de línea en el Ala Sur

Fechas	Voltaje L1N			Voltaje L2N			Voltaje L3N		
	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.
07/01/2020	126,72	127,18	127,54	126,87	127,32	127,68	128,39	128,86	129,22
08/01/2020	126,89	127,42	127,84	127,14	127,66	128,07	128,44	128,98	129,39
09/01/2020	127,03	127,52	127,90	127,37	127,86	128,24	128,64	129,14	129,52
10/01/2020	126,92	127,29	127,55	127,19	127,56	127,82	128,57	128,94	129,21
11/01/2020	127,96	128,29	128,50	128,30	128,63	128,85	129,60	129,93	130,15
12/01/2020	126,90	127,23	127,45	127,25	127,58	127,82	128,68	129,01	129,23
13/01/2020	126,42	126,95	127,37	126,70	127,21	127,61	128,18	128,71	129,12
14/01/2020	126,62	127,19	127,65	126,98	127,52	127,96	128,16	128,72	129,16

Fuente: [28]

Los datos recolectados del voltaje en las líneas 1, 2 y 3 se indican en las Figuras 23, 24 y 25, respectivamente; donde se observan que el valor más bajo recae en el día 13/01/2020 y el valor más alto en el 11/01/2020, teniendo variaciones entre máximo y mínimo de 1.34 V en L1N, 1.42 V en L2N y 1.22 V en L3N.

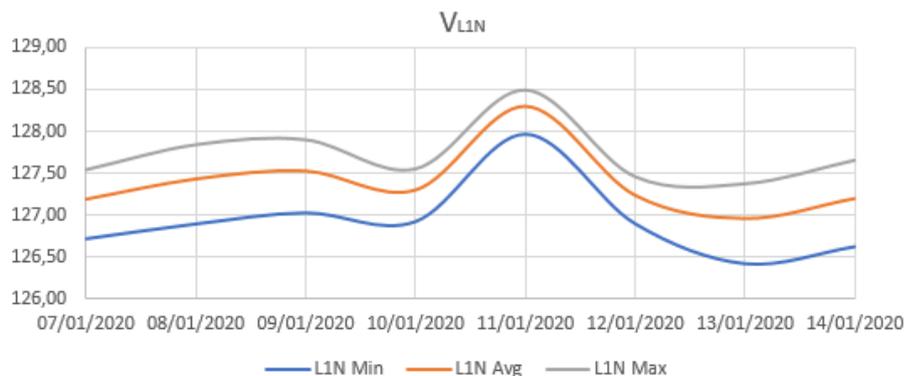


Figura 23. Reporte del voltaje de línea L1N Ala Sur

Fuente: Autor

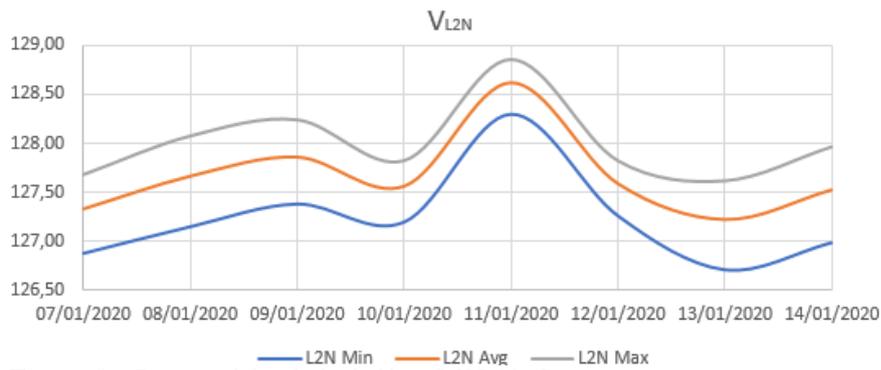


Figura 24. Reporte del voltaje de línea L2N Ala Sur

Fuente: Autor

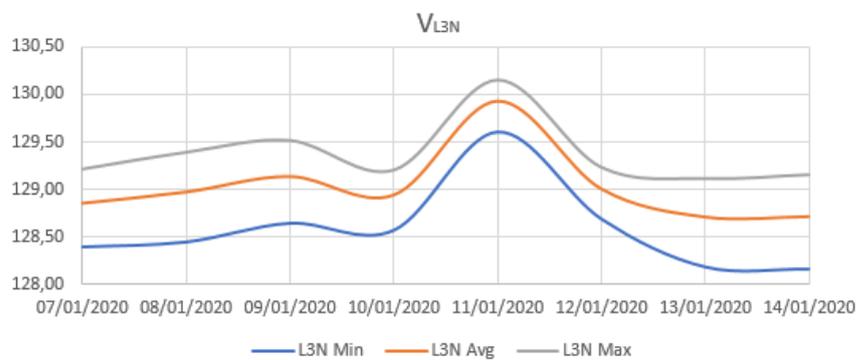


Figura 25. Reporte del voltaje de línea L3N Ala Sur

Fuente: Autor

3.3.2 Medición de voltajes de línea en el Ala Norte

En la Tabla 22 se detalla los valores mínimo, promedio y máximo obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores en los siete días del 14 al 21 de enero del 2020. Además, se ha escogido los valores promedios por cada día de las líneas L1N, L2N y L3N. Se concluye que:

- Posee valores mínimo y máximo de 127,75 y 129,16 V, respectivamente en L1N.
- Posee valores mínimo y máximo de 126,10 y 127,16 V, respectivamente en L2N.
- Posee valores mínimo y máximo de 125,53 y 127,06 V, respectivamente en L3N.

Tabla 22. Medición del voltaje de línea en el Ala Norte

Fechas	Voltaje L1N			Voltaje L2N			Voltaje L3N		
	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.
14/01/2020	128,67	129,16	129,53	126,67	127,16	127,52	126,56	127,06	127,44
15/01/2020	127,73	128,28	128,70	126,08	126,62	127,04	125,58	126,14	126,57
16/01/2020	127,19	127,75	128,13	125,55	126,10	126,50	124,99	125,53	125,94
17/01/2020	127,49	127,94	128,23	126,00	126,45	126,75	125,32	125,73	126,02
18/01/2020	128,56	128,93	129,19	126,35	126,72	126,98	125,95	126,31	126,56
19/01/2020	127,93	128,34	128,65	125,73	126,14	126,45	125,48	125,90	126,20
20/01/2020	127,26	127,86	128,33	125,57	126,15	126,61	124,93	125,53	126,01
21/01/2020	127,32	127,96	128,49	125,63	126,25	126,76	125,23	125,88	126,40

Fuente: [28]

Los datos recolectados del voltaje en las líneas 1, 2 y 3 se indican en las Figuras 26, 27 y 28, respectivamente; donde se observan que el valor más bajo recae en el día 16/01/2020 y el valor más alto en el 14/01/2020, teniendo variaciones entre máximo y mínimo de 1.41 V en L1N, 1.06 V en L2N y 1.53 V en L3N.

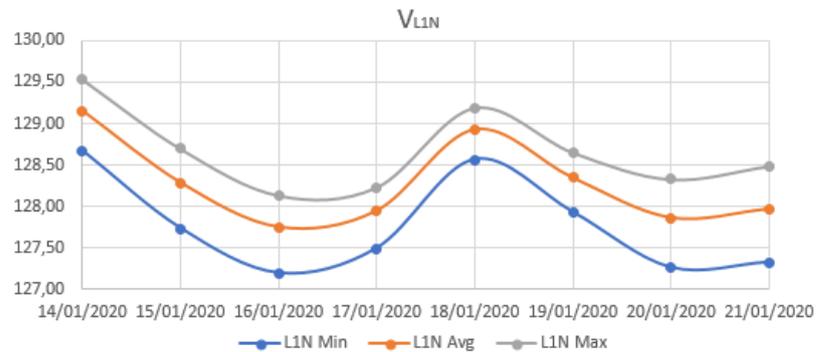


Figura 26. Reporte del voltaje de línea L1N Ala Norte

Fuente: Autor

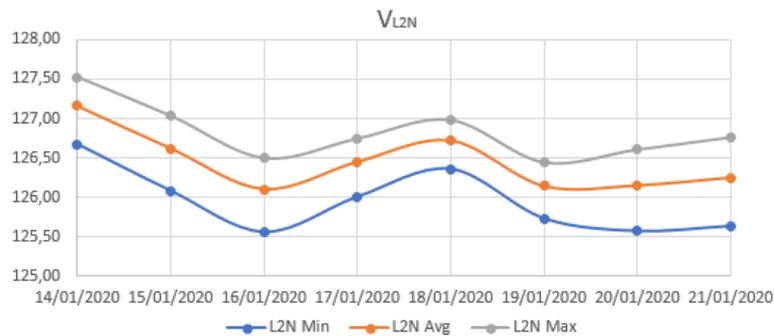


Figura 27. Reporte del voltaje de línea L2N Ala Norte

Fuente: Autor

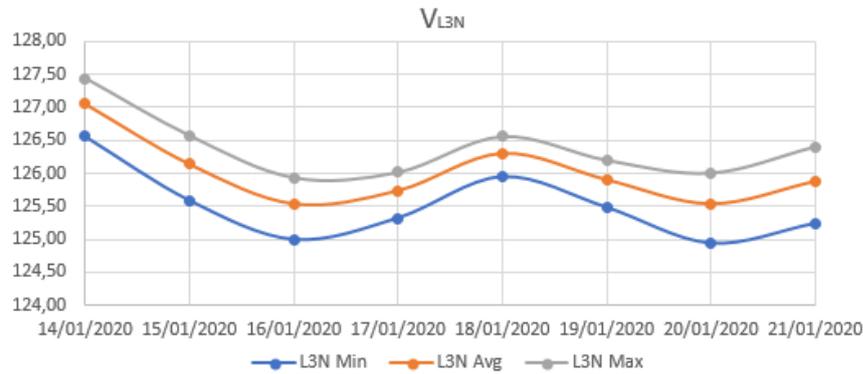


Figura 28. Reporte del voltaje de línea L3N Ala Norte

Fuente: Autor

3.3.3 Medición de factor de potencia en el Ala Sur

En la Tabla 23 se detalla los valores mínimo, promedio y máximo obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores en los siete días del 07 al 14 de enero del 2020. Además, se ha escogido los valores promedios por cada día de las líneas L1N, L2N y L3N. Por último, se concluye que:

- Posee valores mínimo y máximo de 0,978 y 0,981, respectivamente en L1N.
- Posee valores mínimo y máximo de 0,957 y 0,974, respectivamente en L2N.
- Posee valores mínimo y máximo de 0,955 y 0,974, respectivamente en L3N.

Tabla 23. Medición del factor de potencia en el Ala Sur

Fechas	FP L1N			FP L2N			FP L3N		
	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.
07/01/2020	0,972	0,980	0,982	0,965	0,974	0,976	0,959	0,969	0,973
08/01/2020	0,970	0,979	0,983	0,957	0,968	0,971	0,959	0,972	0,977
09/01/2020	0,969	0,980	0,984	0,954	0,967	0,970	0,958	0,973	0,978
10/01/2020	0,973	0,981	0,985	0,959	0,970	0,972	0,957	0,971	0,976
11/01/2020	0,966	0,980	0,983	0,944	0,960	0,964	0,944	0,963	0,968
12/01/2020	0,961	0,979	0,982	0,938	0,957	0,961	0,933	0,955	0,961
13/01/2020	0,969	0,980	0,984	0,957	0,970	0,973	0,957	0,971	0,975
14/01/2020	0,967	0,978	0,983	0,951	0,966	0,969	0,958	0,974	0,978

Fuente: [28]

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 1 se indica en la Figuras 29, donde se observa que su valor es casi constante, debido a que posee una diferencia baja de 0,003. El valor máximo recae en el día 10/01/2020 y el mínimo en el 14/01/2020.



Figura 29. Factor de potencia en la línea L1N Ala Sur

Fuente: Autor

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 2 se indica en la Figuras 30, donde se observa variaciones entre 0.957 a 0.974 sobre el valor promedio. Además, tiene una diferencia entre máximo y mínimo de 0,017. El valor máximo recae en el día 07/01/2020 y el mínimo en el 12/01/2020.

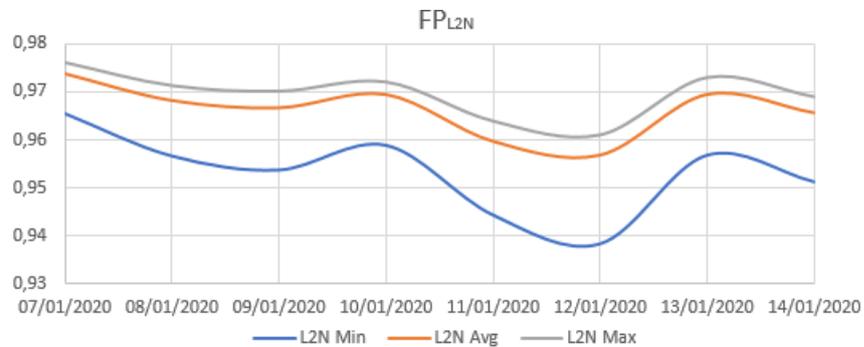


Figura 30. Factor de potencia en la línea L2N Ala Sur

Fuente: Autor

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 3 se indica en la Figuras 31, donde se observa variaciones entre 0.955 a 0.974. Además, tiene una diferencia entre máximo y mínimo de 0,019. El valor máximo recae en el día 14/01/2020 y el mínimo en el 12/01/2020.

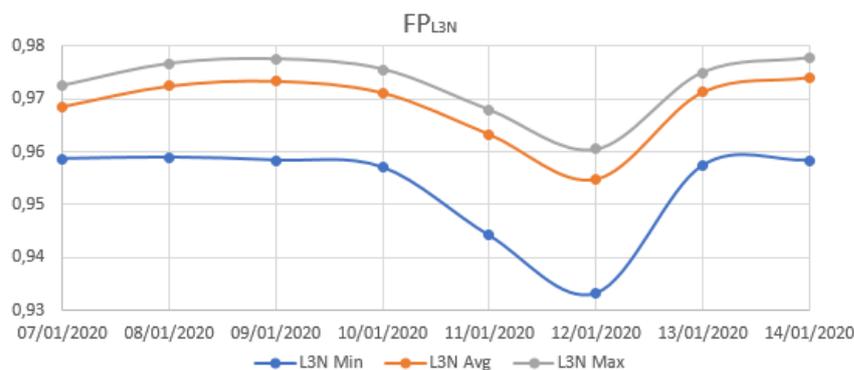


Figura 31. Factor de potencia en la línea L3N Ala Sur

Fuente: Autor

3.3.4 Medición de factor de potencia en el Ala Norte

En la Tabla 24 se detalla los valores mínimo, promedio y máximo obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores en los siete días del 14 al 21 de enero del 2020. Además, se ha escogido los valores promedios por cada día de las líneas L1N, L2N y L3N. Por último, se concluye que:

- Posee valores mínimo y máximo de 0.986 y 0.991, respectivamente en L2N.
- Posee valores mínimo y máximo de 0.957 y 0.977, respectivamente en L2N.
- Posee valores mínimo y máximo de 0.922 y 0.986, respectivamente en L3N.

Tabla 24. Medición del factor de potencia en el Ala Norte

Fechas	FP L1N			FP L2N			FP L3N		
	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.	Mín.	Pro.	Máx.
14/01/2020	0,981	0,987	0,989	0,942	0,950	0,960	0,934	0,948	0,954
15/01/2020	0,980	0,986	0,988	0,959	0,965	0,973	0,958	0,966	0,972
16/01/2020	0,982	0,987	0,989	0,968	0,974	0,980	0,962	0,970	0,977
17/01/2020	0,981	0,988	0,990	0,971	0,977	0,983	0,961	0,969	0,976
18/01/2020	0,981	0,989	0,992	0,952	0,964	0,979	0,923	0,937	0,944
19/01/2020	0,980	0,989	0,993	0,942	0,957	0,976	0,906	0,922	0,931
20/01/2020	0,981	0,988	0,991	0,969	0,977	0,985	0,960	0,967	0,971
21/01/2020	0,984	0,991	0,994	0,971	0,977	0,981	0,983	0,986	0,989

Fuente: [28]

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 1 se indica en la Figuras 32, donde se observa variaciones entre 0,986 a 0,991. Además, tiene una diferencia entre máximo y mínimo de 0,005. El valor máximo recae en el día 21/01/2020 y el mínimo en el 15/01/2020.

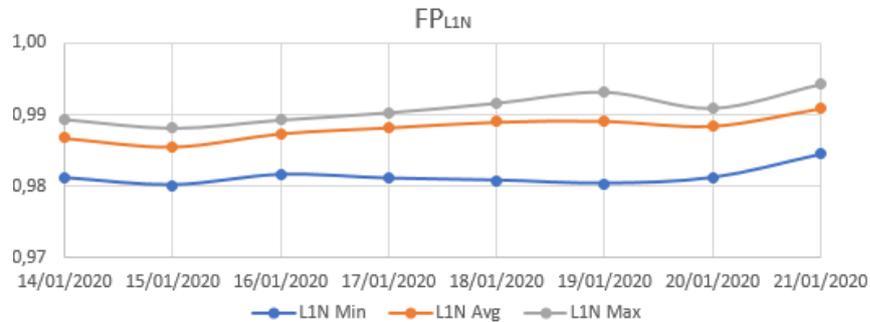


Figura 32. Factor de potencia en la línea L1N Ala Norte

Fuente: Autor

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 2 se indica en la Figuras 33, donde se observa variaciones entre 0,957 a 0,977. Además, tiene una diferencia entre máximo y mínimo de 0,020. Los valores máximos recaen en los días 17, 20 y 21/01/2020 y el mínimo en el 19/01/2020.

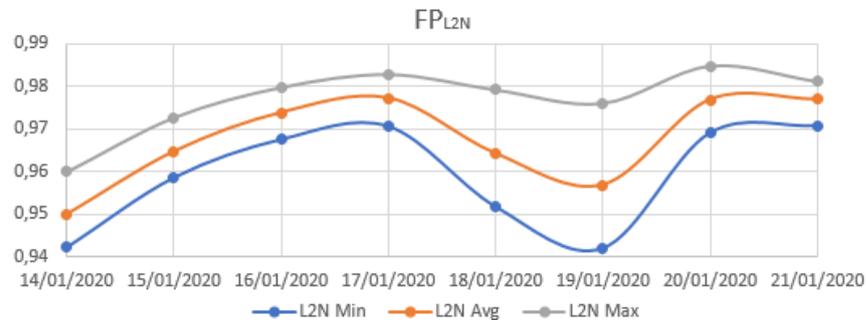


Figura 33. Factor de potencia en la línea L2N Ala Norte

Fuente: Autor

Los datos recolectados del factor de potencia en la línea 3 se indica en la Figuras 34, donde se observa variaciones entre 0,922 a 0,986. Además, tiene una diferencia entre máximo y mínimo de 0,064. El valor máximo recae en el día 21/01/2020 y el mínimo en el 19/01/2020.

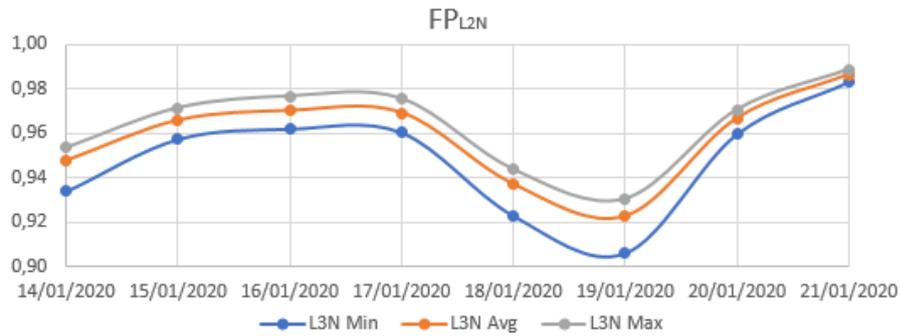


Figura 34. Factor de potencia en la línea L3N Ala Norte

Fuente: Autor

3.3.5 Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Sur

En la Figura 35 se describe el valor de la distorsión armónica sobre la línea L1N en el Ala Sur del Bloque B en un tiempo de 12 horas. Como se observa en la Figura, los armónicos son de orden fundamental ($n=1$), 3, 5 y 7; lo mismo sucede con el resto de las líneas y en el Ala Norte.

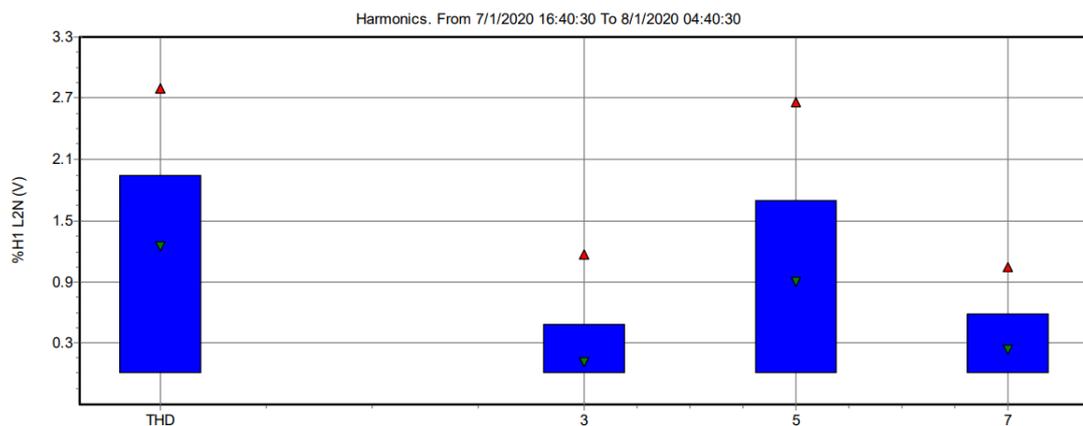


Figura 35. Reporte de distorsión armónica de voltaje en L1N del Ala Sur

Fuente: [28]

En la Tabla 25 se detalla los valores promedio obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores de la distorsión armónica de voltaje de orden 3, 5 y 7 durante los siete días del 07 al 14 de enero del 2020. Por último, se concluye que:

Tabla 25. Medición de la distorsión en el Ala Sur

Fechas	3er armónico %			5to armónico %			7mo armónico %		
	L1N	L2N	L3N	L1N	L2N	L3N	L1N	L2N	L3N
07/01/2020	0,77	0,67	0,64	2,01	1,80	1,65	0,52	0,53	0,43
08/01/2020	0,64	0,57	0,48	1,96	1,74	1,75	0,44	0,52	0,44
09/01/2020	0,63	0,57	0,47	1,88	1,67	1,70	0,49	0,54	0,50
10/01/2020	0,63	0,58	0,51	1,81	1,58	1,65	0,51	0,56	0,50
11/01/2020	0,37	0,34	0,35	2,01	1,80	1,80	0,60	0,63	0,55
12/01/2020	0,24	0,24	0,26	1,91	1,72	1,71	0,70	0,68	0,60
13/01/2020	0,59	0,56	0,51	1,89	1,67	1,70	0,67	0,60	0,58
14/01/2020	0,58	0,53	0,45	1,88	1,69	1,73	0,55	0,55	0,53

Fuente: [28]

- Posee valores máximos de 0.77 %, 0.67 % y 0.64 % en las líneas L1N, L2N y L3N, respectivamente; en el armónico de orden 3, visto en la Figura 36. Estos valores medidos pertenecen al día 07/01/2020.

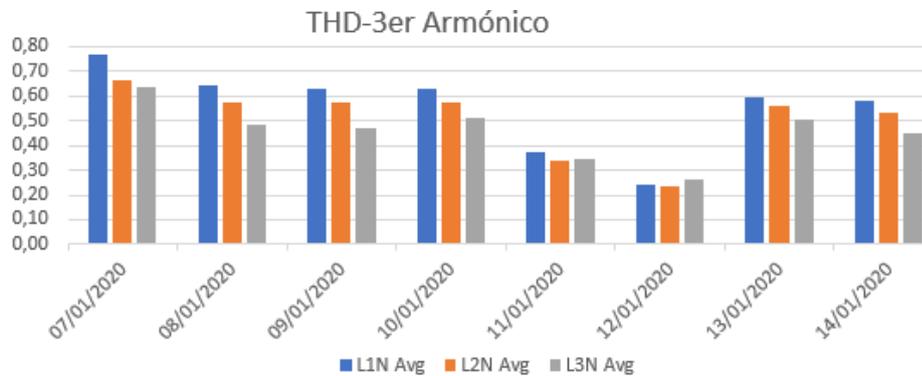


Figura 36. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Sur

Fuente: Autor

- Posee valores máximos de 2.01 % en la línea L1N y 1.80 % en las líneas L2N y L3N en el armónico de orden 5, visto en la Figura 37. Estos valores medidos pertenecen a los días 07 y 11/01/2020.

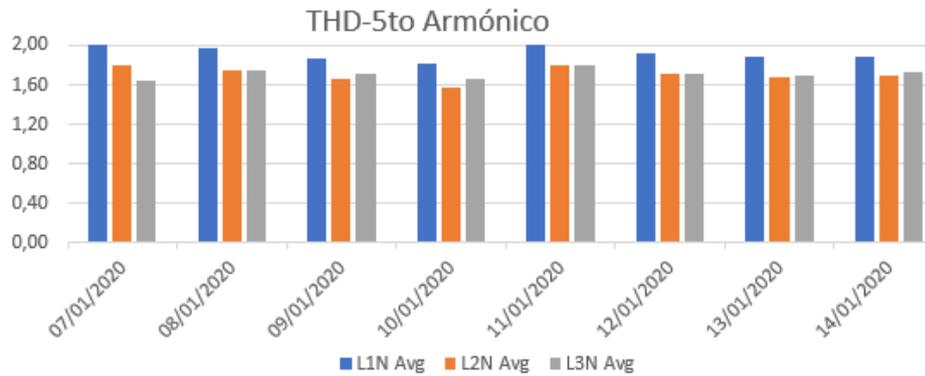


Figura 37. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Sur

Fuente: Autor

- Posee valores máximos de 0.70 %, 0.68 % y 0.60 % en las líneas L1N, L2N y L3N, respectivamente; en el armónico de orden 7, visto en la Figura 38. Estos valores medidos pertenecen al día 12/01/2020.

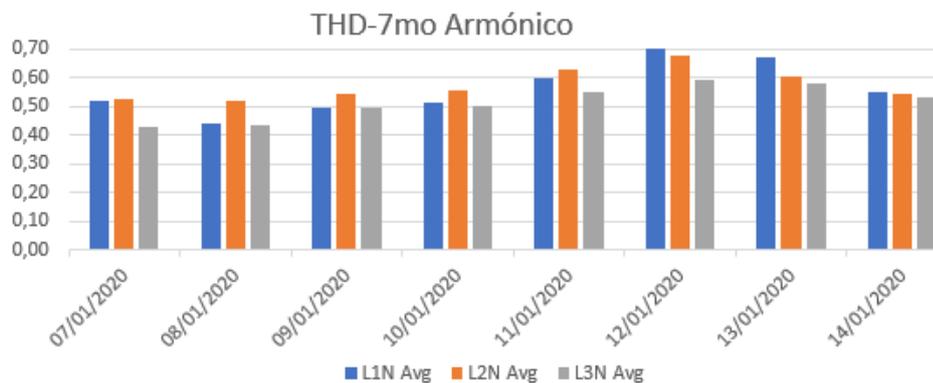


Figura 38. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Sur

Fuente: Autor

3.3.6 Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Norte

En la Tabla 26 se detalla los valores promedio obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 9950 valores de la distorsión armónica de voltaje de orden 3, 5 y 7 durante los siete días del 14 al 21 de enero del 2020. Por último, se concluye que:

Tabla 26. Medición de la distorsión armónica de voltaje en el Ala Norte

Fechas	3er armónico			5to armónico			7mo armónico		
	L1N	L2N	L3N	L1N	L2N	L3N	L1N	L2N	L3N
14/01/2020	0,78	0,70	1,02	1,74	1,95	1,77	0,48	0,41	0,44
15/01/2020	1,11	1,06	1,50	1,64	2,17	1,81	0,61	0,62	0,55
16/01/2020	1,13	1,11	1,49	1,48	2,11	1,75	0,61	0,68	0,54
17/01/2020	1,11	1,10	1,50	1,42	1,86	1,74	0,56	0,58	0,52
18/01/2020	0,69	0,64	0,95	1,46	1,73	1,52	0,65	0,59	0,57
19/01/2020	0,51	0,51	0,79	1,60	1,78	1,57	0,65	0,59	0,46
20/01/2020	1,09	1,12	1,61	1,49	2,07	1,70	0,61	0,58	0,49
21/01/2020	0,99	1,11	1,61	1,47	2,08	1,89	0,57	0,54	0,53

Fuente: [28]

- Posee valores máximos de 1.13 %, 1.12 % y 1.61 % en las líneas L1N, L2N y L3N, respectivamente; en el armónico de orden 3, visto en la Figura 39. Estos valores medidos pertenecen a los días 16, 20 y 21/01/2020.

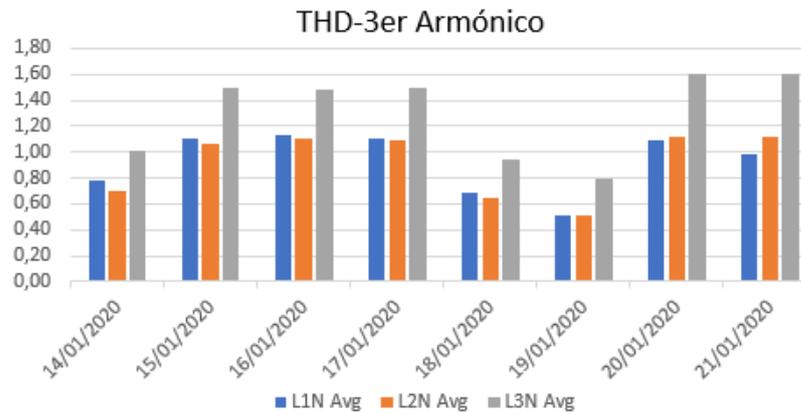


Figura 39. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Norte

Fuente: Autor

- Posee valores máximos de 1.74 %, 2.17 % y 1.89 % en las líneas L1N, L2N y L3N, respectivamente; en el armónico de orden 3, visto en la Figura 40. Estos valores medidos pertenecen a los días 14, 15 y 21/01/2020.

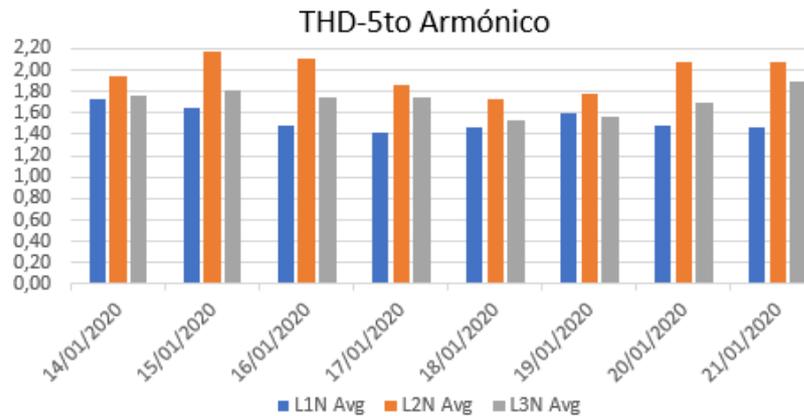


Figura 40. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Norte

Fuente: Autor

- Posee valores máximos de 0.65 %, 0.68 % y 0.57 % en las líneas L1N, L2N y L3N, respectivamente; en el armónico de orden 7, visto en la Figura 41. Estos valores medidos pertenecen a los días 16, 18 y 19/01/2020.

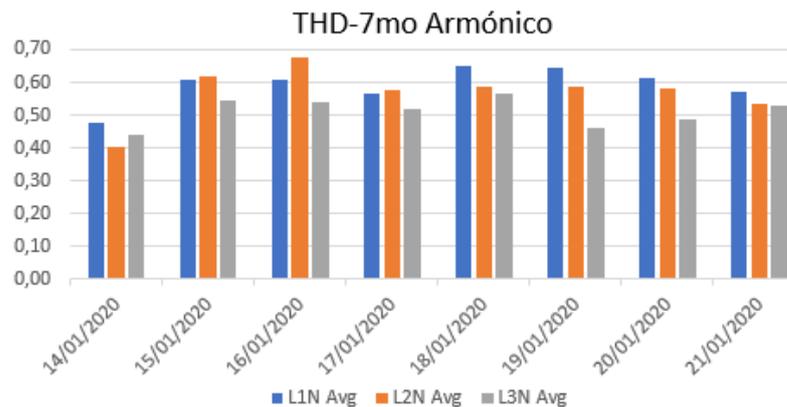


Figura 41. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Norte

Fuente: Autor

3.3.7 Medición de los desbalances de voltaje y corriente en el Ala Sur

En la Tabla 27 se detalla los valores promedio obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 19900 valores sobre el desbalance de voltaje y corriente durante los días 07 al 14 de enero del 2020.

Tabla 27. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Sur

Fechas	Desbalance de Voltaje %	Desbalance de Corriente %
07/01/2020	0,87	5,42
08/01/2020	0,80	7,97
09/01/2020	0,84	7,72
10/01/2020	0,83	8,34
11/01/2020	0,83	12,29
12/01/2020	0,86	8,57
13/01/2020	0,88	7,78
14/01/2020	0,83	7,66

Fuente: [28]

En la Figura 42 se observa que el desbalance de voltaje posee valores entre 0.83 % a 0.88 %.

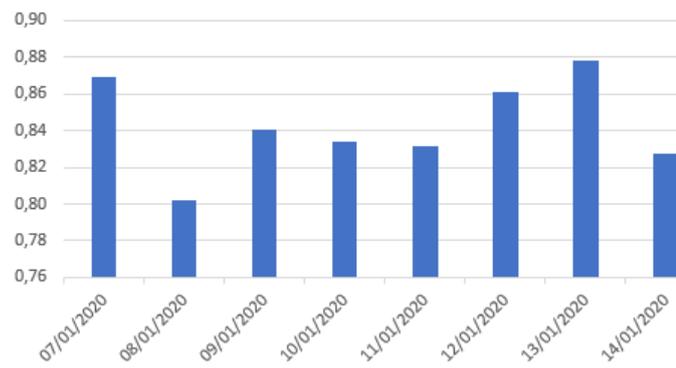


Figura 42. Desbalance de voltaje en el Ala Sur

Fuente: Autor

En cambio, el desbalance de corriente posee un máximo valor de 12.29 %, tal como se indica en la Figura 43.

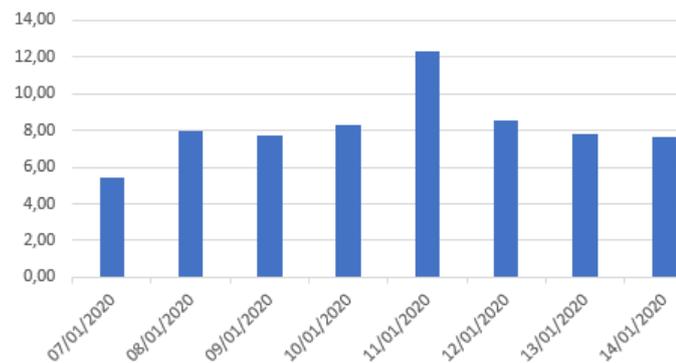


Figura 43. Desbalance de corriente en el Ala Sur

Fuente: Autor

3.3.8 Medición de los desbalances de voltaje y corriente en el Ala Norte

En la Tabla 28 se detalla los valores promedio obtenidos del Analizador Fluke 435; donde se han recolectado 19900 valores sobre el desbalance de voltaje y corriente durante los días 14 al 21 de enero del 2020.

Tabla 28. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Norte

Fechas	Desbalance de Voltaje %	Desbalance de Corriente %
14/01/2020	0,85	10,27
15/01/2020	0,98	15,55
16/01/2020	0,95	13,50
17/01/2020	0,90	11,05
18/01/2020	1,04	9,38
19/01/2020	0,98	9,14
20/01/2020	0,98	13,65
21/01/2020	1,01	20,29

Fuente: [28]

En la Figura 44 se observa que el desbalance de voltaje posee valores entre 0.85 % a 1.04 %.

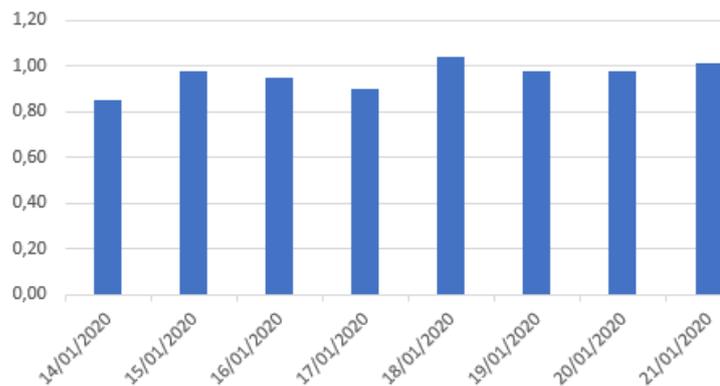


Figura 44. Desbalance de voltaje en el Ala Norte

Fuente: Autor

En cambio, el desbalance de corriente posee un máximo valor de 20.29 %, tal como se indica en la Figura 45.

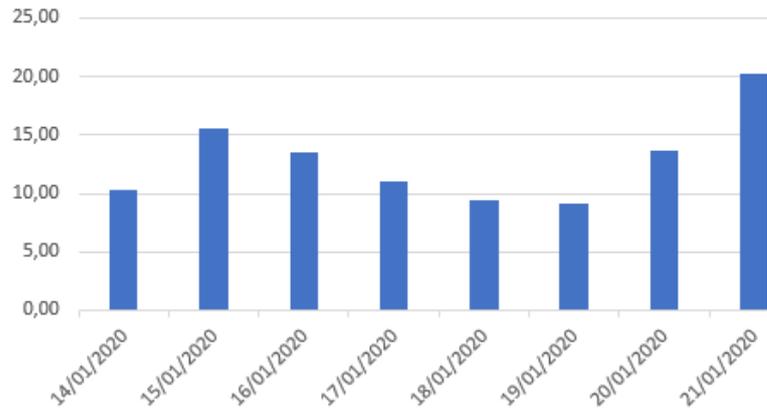


Figura 45. Desbalance de corriente en el Ala Norte

Fuente: Autor

3.4 Medición de la puesta a tierra

Las mediciones de puesta a tierra se realizaron con el telurómetro Extech 382252 y con el método de caída de potencial o tres puntos. A continuación, se destacan los siguientes valores de resistencia:

- **Data Center:** posee una resistencia medida de 4.4 Ω , visto en la Figura 46.

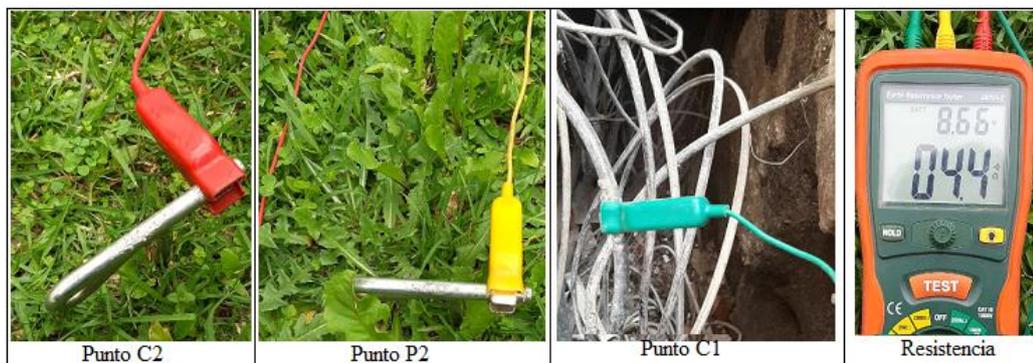


Figura 46. Resistencia medida de la data center

Fuente: Autor

- **Generador 1 Ala Sur:** posee una resistencia medida de 5.1 Ω , visto en la Figura 47.



Figura 47. Resistencia medida del generador 1

Fuente: Autor

- **Generador 2 Ala Norte:** posee una resistencia medida de 2.7Ω , visto en la Figura 48.

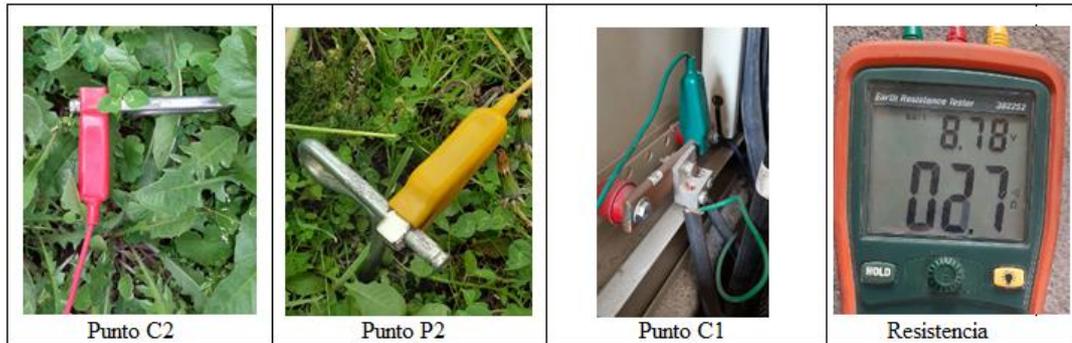


Figura 48. Resistencia medida del generador 2

Fuente: Autor

- **Tablero TDP-PB-B-1 Ala Sur:** posee una resistencia medida de 1.2Ω , visto en la Figura 49.



Figura 49. Resistencia medida del tablero TDP-PB-B-1

Fuente: Autor

- **Tablero TDP-PB-B-2 Ala Norte:** posee una resistencia medida de 1.8 Ω , visto en la Figura 50.

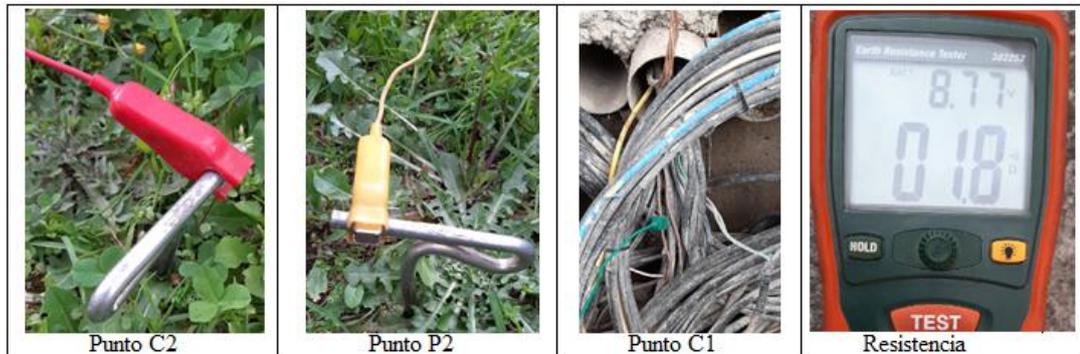


Figura 50. Resistencia medida del tablero TDP-PB-B-2

Fuente: Autor

3.5 Mediciones termográficas

Se va a escoger como referencia a la temperatura ambiente como el punto frío en las inspecciones termográficas. Además, en las Tablas siguientes se determinan la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima, para que ese valor sea evaluado con la Norma NETA/ANSI ATS-2009. Por último, se determina si el elemento evaluado por la cámara termográfica se encuentra en los niveles normales, leves, graves o críticos.

3.5.1 Termografía del tablero de transmisión automática TTA-PB-B-2

En la Tabla 29 se indica las inspecciones termográficas realizadas en el tablero de transmisión automática TTA-PB-B-2 y en las borneras de entrada/salida de la línea de red de la Empresa Eléctrica Quito y de la bornera de ingreso al generador 2.

Tabla 29. Mediciones termográficas del tablero TTA-PB-B-2

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT	Figura
Vista del tablero TTA-PB-B-2	60,3 °F	102,3 °F	42,0 °F	48
Borneras de ingreso principal EEQ	61,8 °F	86,7 °F	24,9 °F	49
Borneras de salida principal EEQ	60,6 °F	87,5 °F	26,9 °F	49
Borneras de ingreso Generador 2	59,9 °F	83,1 °F	23,2 °F	50

Fuente: [29]

Además, se concluye lo siguiente:

- Posee una diferencia de temperatura de 42 °F en el tablero TTA-PB-B-2, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 102.3 y 60.2 °F, visto en la Figura 51.

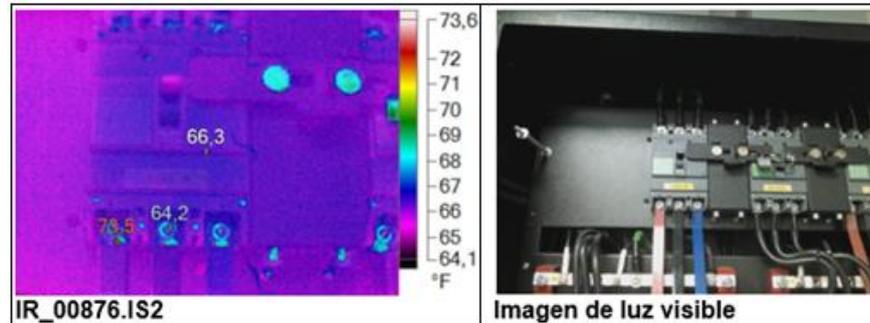


Figura 51. Inspección termográfica del tablero TTA-PB-B-2 número 1

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 24.9 °F en la bornera de ingreso principal EEQ, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 86.7 y 60.2 °F. En cambio, en las borneras de salida posee una diferencia de 26.9 °F, proveniente de los valores máximo y mínimo de 102.3 y 60.2 °F, vistos en la Figura 52.

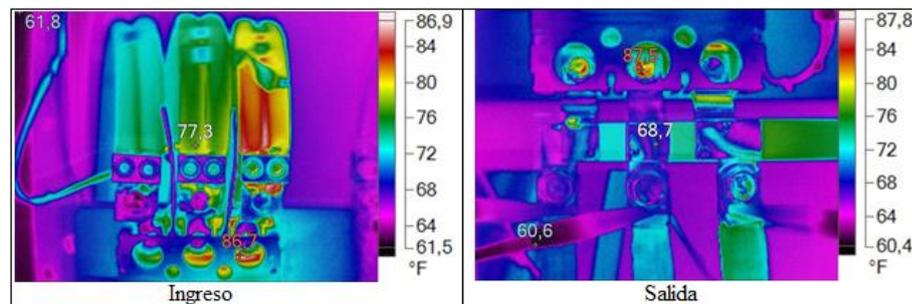


Figura 52. Inspección termográfica de las borneras de ingreso y salida principal EEQ

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 23.2 °F en la bornera de ingreso al Generador 2, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 83.1 y 59.9 °F, visto en la Figura 53.

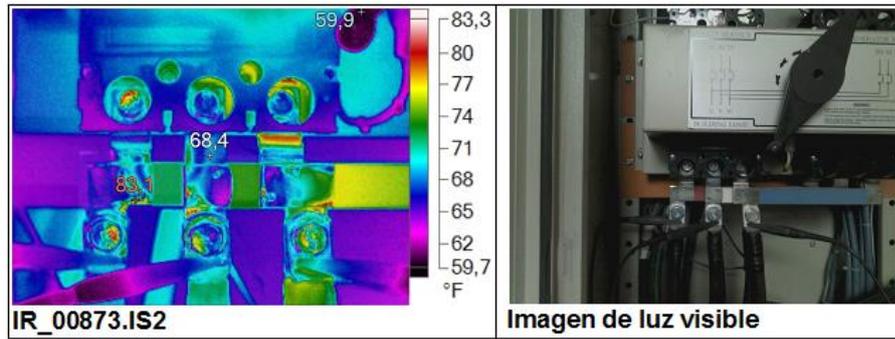


Figura 53. Inspección termográfica de las borneras de ingreso al Generador 2

Fuente: [29]

3.5.2 Termografía del sub-tablero principal STP-PP-B-1

En la Tabla 29 se indica las inspecciones termográficas realizadas en el sub-tablero principal STP-PP-B-1, es decir, se indican mediciones en el data center, bypass, barras, breakers de distribución principal y de carga.

Tabla 30. Mediciones termográficas del sub-tablero STP-PP-B-1

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Data Center	64,2 °F	73,5 °F	9,3 °F
Bypass #1	64,4 °F	70,7 °F	6,3 °F
Bypass #2	65,2 °F	81,5 °F	16,3 °F
Barras lazo izquierdo	63,9 °F	75,6 °F	11,7 °F
Barras lazo derecho	64,4 °F	82,3 °F	17,9 °F
Breakers de distribución principal #1	63,1 °F	74,3 °F	11,2 °F
Breakers de distribución principal #2	64,0 °F	75,1 °F	11,1 °F
Breakers de carga #1	61,5 °F	85,7 °F	24,2 °F
Breakers de carga #2	61,3 °F	74,6 °F	13,3 °F
Breakers de carga #3	61,2 °F	78,1 °F	16,9 °F
Breakers de carga #4	60,6 °F	75,9 °F	15,3 °F

Fuente: [29]

Además, se concluye lo siguiente:

- Posee una diferencia de temperatura de 9.3 °F en el data center, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 73.5 y 64.2 °F, visto en la Figura 54.

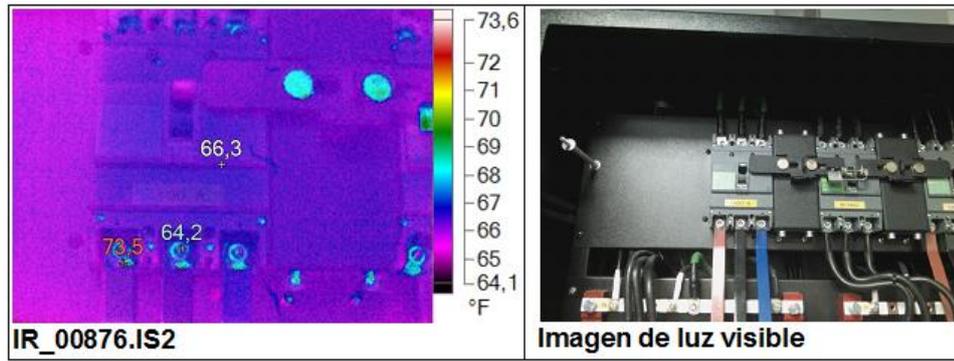


Figura 54. Inspección termográfica de la data center

Fuente: [29]

- Poseen diferencias de temperatura de 6.3 y 16.3 °F en las borneras de ingreso/salida del bypass 1 y 2, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo del bypass 1 (70.7, 64.4) y bypass 2 (81.5, 65.2) °F, vistos en la Figura 55.

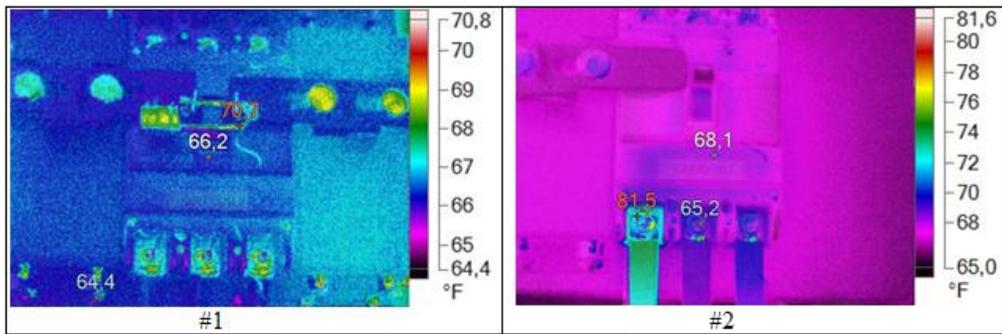


Figura 55. Inspección termográfica del bypass

Fuente: [29]

- Poseen diferencias de temperatura de 11.7 y 17.9 °F en las barras izquierda/derecha, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de la barra izquierda (75.6, 63.9) y derecha (82.3, 64.4) °F, vistos en la Figura 56.

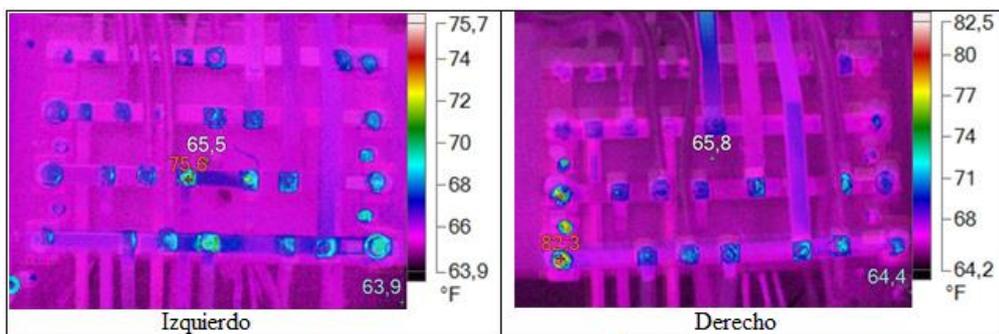


Figura 56. Inspección termográfica de las barras

Fuente: [29]

- Poseen diferencias de temperatura de 11.2 y 11.1 °F en los breakers de distribución principal; cuya diferencia proviene de los valores de los breakeres de distribución principal 1 (74.3, 63.1) y principal 2 (75.1, 64.0) °F, vistos en la Figura 57.

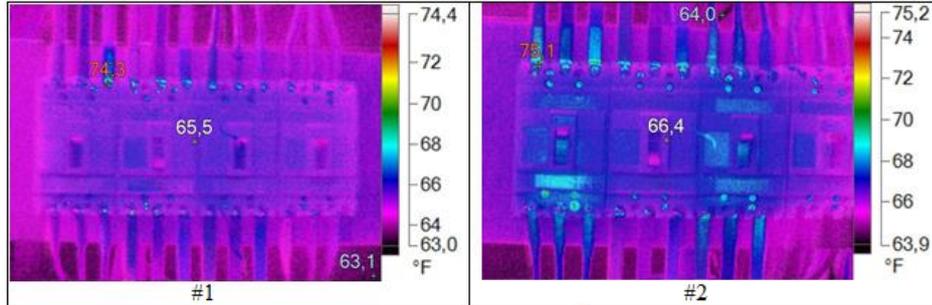


Figura 57. Inspección termográfica de los breakers de distribución principal

Fuente: [29]

- Poseen diferencias de temperatura de 24.2, 13.3, 16.9 y 15.3 °F en los breakers de carga, cuya diferencia en los siguientes valores de las cargas: 1 (85.7, 61.5), 2 (74.6, 61.3), 3 (78.1, 61.2) y 4 (75.9, 60.6) °F, vistos en la Figura 58.

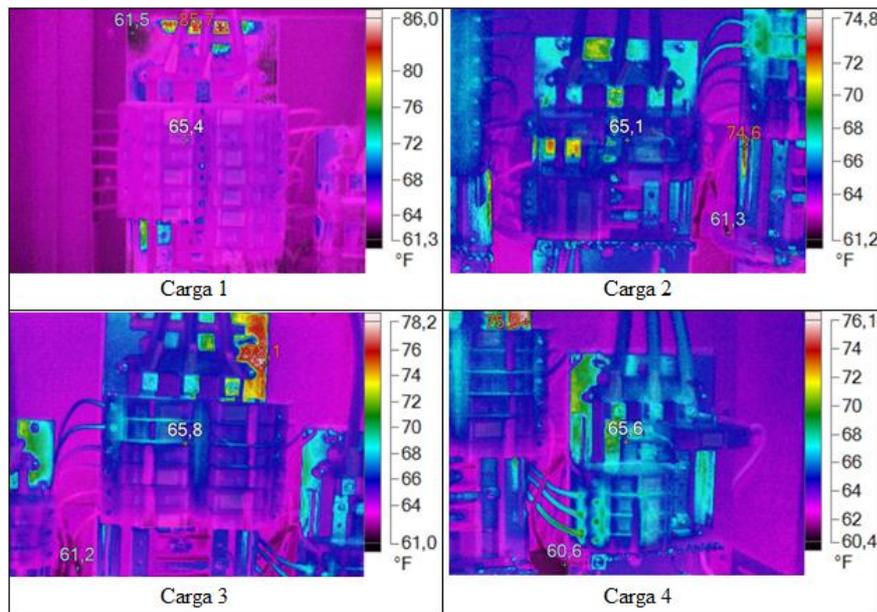


Figura 58. Inspección termográfica de los breakers de cargas

Fuente: [29]

3.5.3 Termografía del tablero de distribución principal TDP-PB-B-1

En la Tabla 31 y Figura 59 se indican las inspecciones termográficas realizadas en los breakers del tablero de distribución principal TDP-PB-B-1, la biblioteca, el tablero de monitoreo y en las luces del parqueadero.

Tabla 31. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-PB-B-1

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Principal del TDP-PB-B-1	60,2 °F	79,7 °F	19,5 °F
Biblioteca	58,2 °F	80,6 °F	22,4 °F
Tablero monitoreo	60,5 °F	68,9 °F	8,4 °F
Luces parqueadero	58,7 °F	75,8 °F	17,1 °F

Fuente: [29]

Además, se concluye que poseen una diferencia de temperatura en los siguientes puntos:

- 19.5 °F en el breaker principal del tablero TTA-PB-B-2, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 79.7 y 60.2 °F.
- 22.4 °F en el breaker de la biblioteca, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 80.6 y 58.2 °F.
- 8.4 °F en el breaker del tablero de monitoreo, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 68.9 y 60.5 °F.
- 17.1 °F en el breaker de las luces del parqueadero, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 75.8 y 58.7 °F.

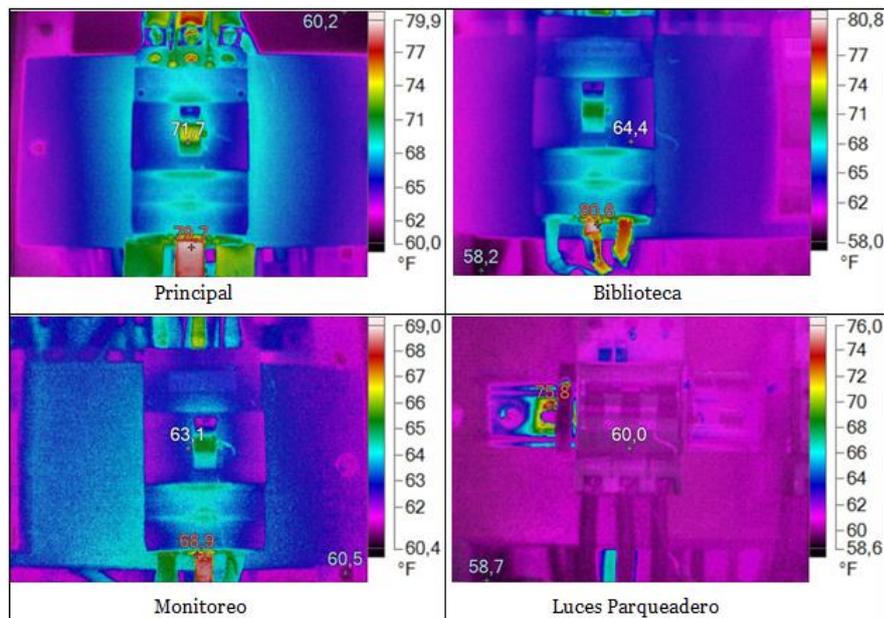


Figura 59. Inspección termográfica de los breakers del tablero TDP-PB-B-1

Fuente: [29]

3.5.4 Termografía del tablero de transferencia automática TTA-PB-B-1

En la Tabla 32 se indica las inspecciones termográficas realizadas del tablero de transferencia automática TTA-PB-B-1, borneras a las líneas de red de la Empresa Eléctrica Quito y al generador 1.

Tabla 32. Mediciones termográficas del tablero TTA-PB-B-1

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Borneras de ingreso principal EEQ	58,6 °F	69,8 °F	11,2 °F
Borneras de ingreso principal EEQ (carga)	60,9 °F	83,9 °F	23,0 °F
Borneras de ingreso generador 1	58,3 °F	82,6 °F	14,3 °F
Borneras de salida generador 1	55,9 °F	74,4 °F	18,5 °F
Vista general al tablero	60,0 °F	66,7 °F	6,7 °F

Fuente: [29]

Además, se concluye lo siguiente:

- Poseen diferencias de temperatura de 11.2, 23.0, 14.3 y 18.5 °F en las borneras de ingreso principal EEQ, hacia la carga, ingreso y salida al generador 1, respectivamente; cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo del breaker de los siguientes puntos: ingreso EEQ (69.8, 58.6), hacia la carga (83.9, 60.9), ingreso (82.6, 58.3) y salida al generador 1 (74.4, 55.9) °F, vistos en la Figura 60.

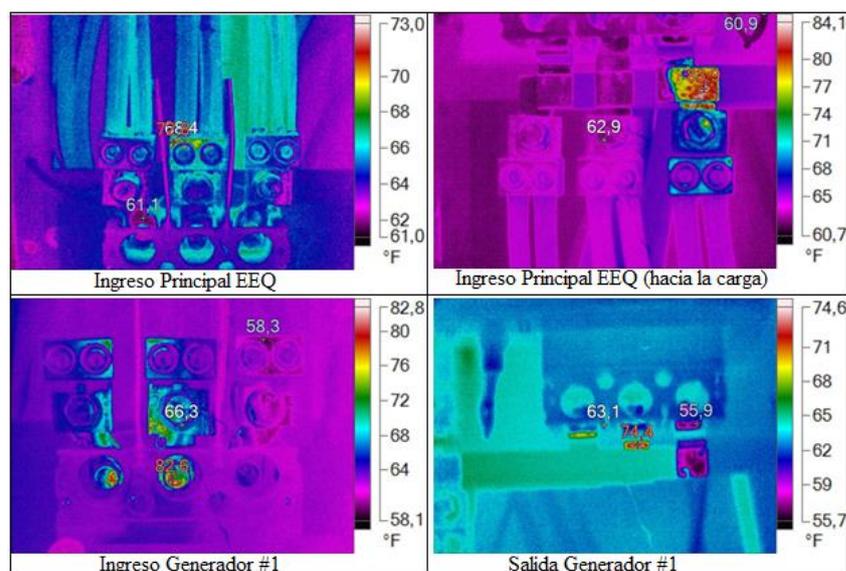


Figura 60. Inspección termográfica de borneras del tablero TTA-PB-B-1

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 6.7 °F en el tablero TTA-PB-B-1, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 66.7 y 60.0 °F, visto en la Figura 61.

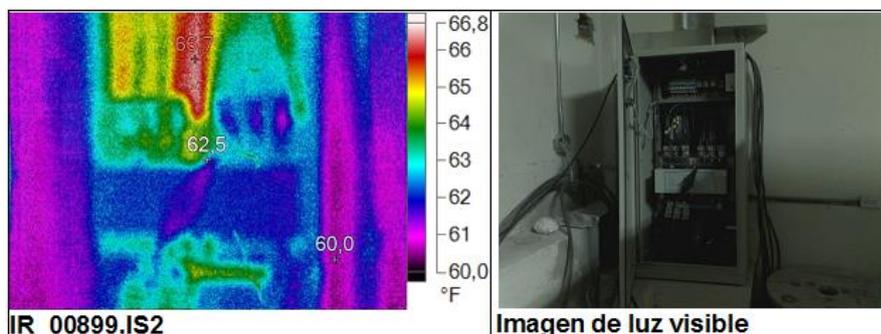


Figura 61. Inspección termográfica del tablero TTA-PB-B-1

Fuente: [29]

3.5.5 Termografía del tablero de transferencia de distribución TDP-SS-B-2

En la Tabla 33 se indica las inspecciones termográficas del tablero de distribución principal TDP-SS-B-2, borneras y entre otros sitios como el coliseo, laboratorios y aulas.

Tabla 33. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-SS-B-2

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Principal (borneras de ingreso)	67,3 °F	97,6 °F	30,3 °F
Principal (borneras de salida)	68,2 °F	95,8 °F	27,6 °F
Principal (breaker)	74,7 °F	87,7 °F	13,0 °F
Coliseo	66,8 °F	95,6 °F	28,8 °F
CIVABI Lab (STP-SP-B-1)	67,5 °F	77,0 °F	9,5 °F
Coordinación CIVABI (Aulas B46)	65,8 °F	77,8 °F	12,0 °F
Bornes de Salida de la Coordinación CIVABI (Aulas B46)	66,0 °F	85,3 °F	19,3 °F
CESASIG Fuerza	66,0 °F	75,8 °F	9,8 °F
Aula magna	64,5 °F	73,3 °F	8,8 °F

Fuente: [29]

Además, se concluye lo siguiente:

- Poseen una diferencia de temperatura de 30.3, 27.6 y 13.0 °F en las borneras de ingreso, salida y breaker del tablero TDP-SS-B-2, respectivamente; cuyas

diferencias provienen de los valores máximo y mínimo de los siguientes puntos: ingreso (97.6, 67.3), salida (95.8, 68.2) y breaker (87.7, 74.7) °F, vistos en la Figura 62.

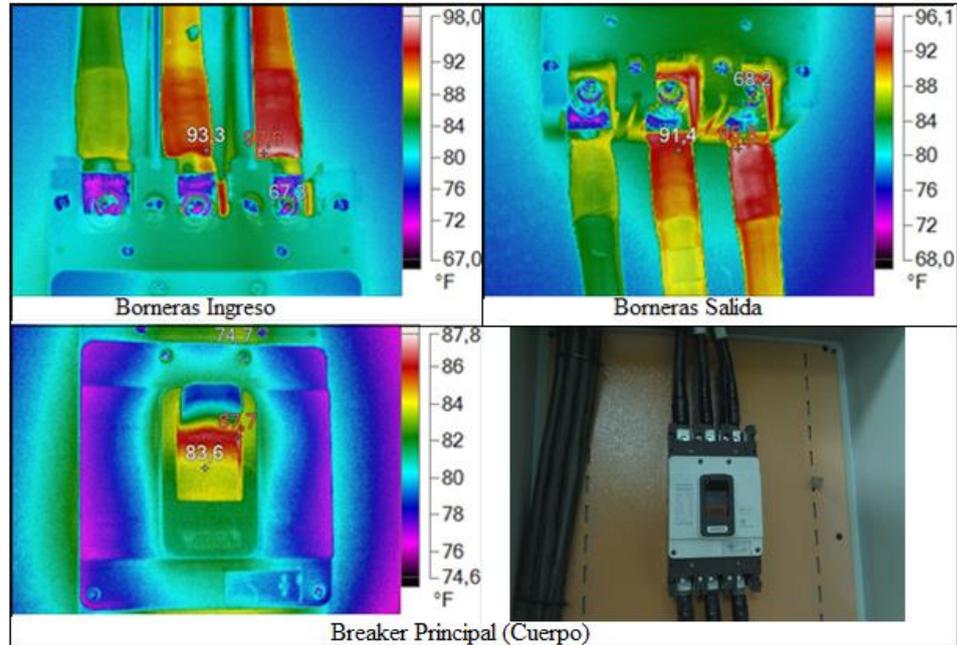


Figura 62. Inspección termográfica del breaker principal del TDP-SS-B-2

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 28.8 °F en el breaker del coliseo, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 95.6 y 66.8 °F, visto en la Figura 63.

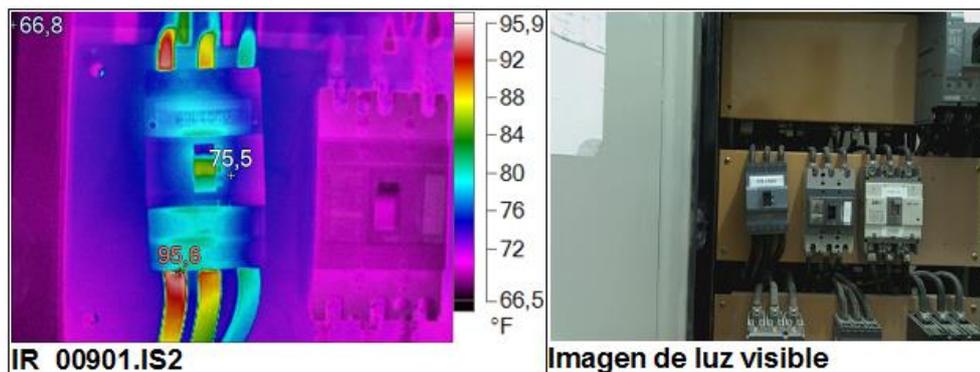


Figura 63. Inspección termográfica del breaker del coliseo

Fuente: [29]

- Poseen una diferencia de temperatura de 9.5, 12.0 y 19.3 °F en los breakers del CIVABI: laboratorio, aulas B46 y salida de la Coordinación, respectivamente; cuyas diferencias provienen de los valores máximo y mínimo de los siguientes

puntos: laboratorio (77.0, 67.5), aulas (77.8, 65.8) y Coordinación (85.3, 66.0) °F, vistos en la Figura 64.

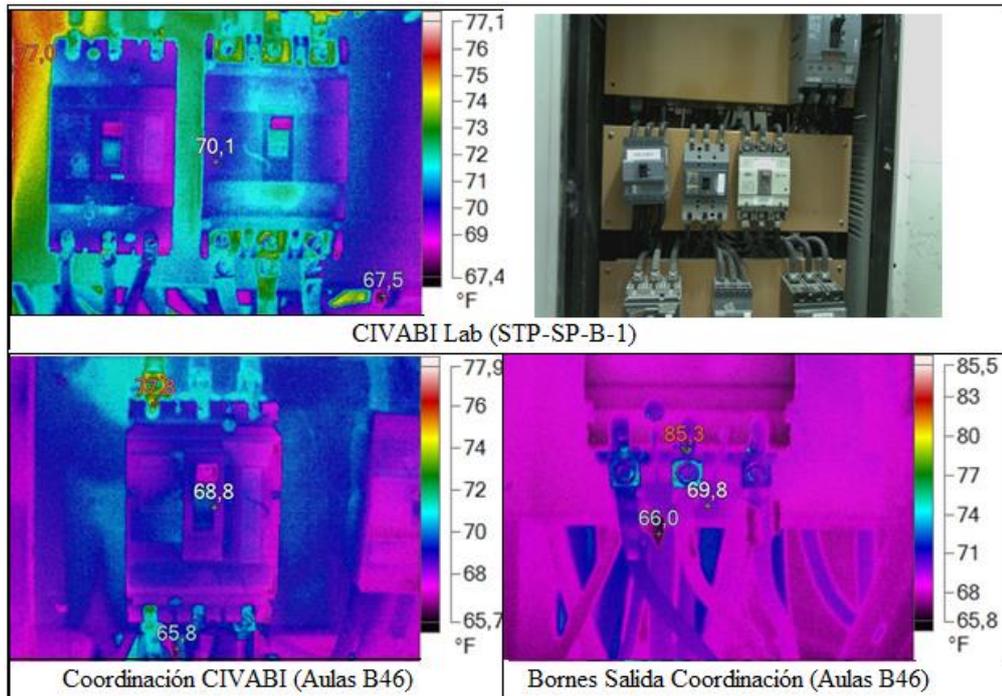


Figura 64. Inspección termográfica del CIVABI

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 9.8 °F en el breaker CESASIG, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 75.8 y 66.0 °F, visto en la Figura 65.

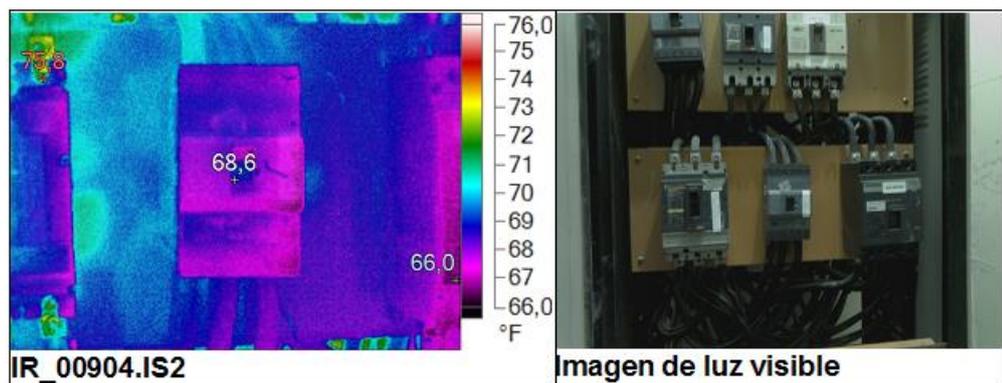


Figura 65. Inspección termográfica del breaker CESASIG Fuerza

Fuente: [29]

- Posee una diferencia de temperatura de 8.8 °F en el breaker del aula magna, cuya diferencia proviene de los valores máximo y mínimo de 73.3 y 64.5 °F, visto en la Figura 66.

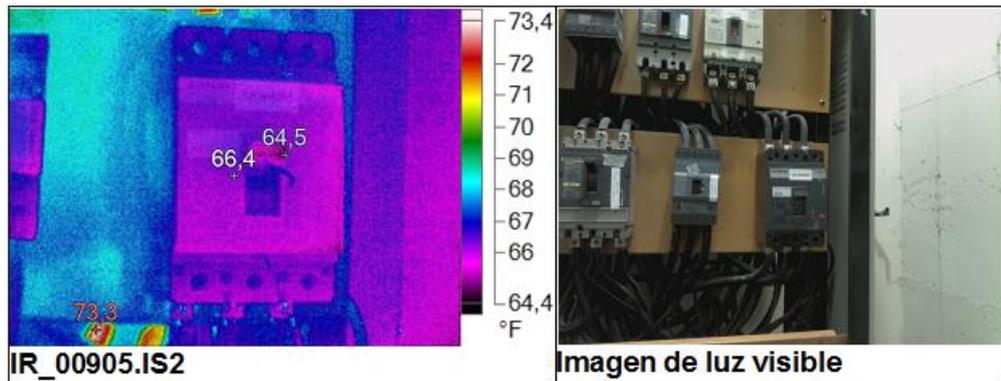


Figura 66. Inspección termográfica del breaker aula magna

Fuente: [29]

3.5.6 Termografía del tablero de transferencia de distribución TDP-SS-B-3

En la Tabla 34 se indica las inspecciones termográficas realizadas al tablero de distribución principal TDP-SS-B-3, borneras, CESASIG, pasillo y aula del tercer piso.

Tabla 34. Mediciones termográficas de los breakers del tablero TDP-SS-B-3

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Principal (borneras de ingreso)	68,2 °F	83,4 °F	15,2 °F
Principal (borneras de salida)	68,4 °F	85,4 °F	17,0 °F
CECASIG (STD-SS-B-3)	68,1 °F	95,9 °F	27,8 °F
Pasillo COWORKING (STD-PB-B-2)	67,4 °F	89,8 °F	22,4 °F
Aulas tercer piso (STP-TP-B-1)	68,8 °F	76,8 °F	8,0 °F

Fuente: [29]

Además, se concluye que poseen una diferencia de temperatura en los siguientes puntos:

- 15.2 y 17.0 °F en la bornera principal de ingreso y salida, respectivamente; cuyas diferencias provienen de los valores máximo y mínimo del ingreso (83.4, 68.2) y salida (85.4, 68.4) °F, vistos en la Figura 67.

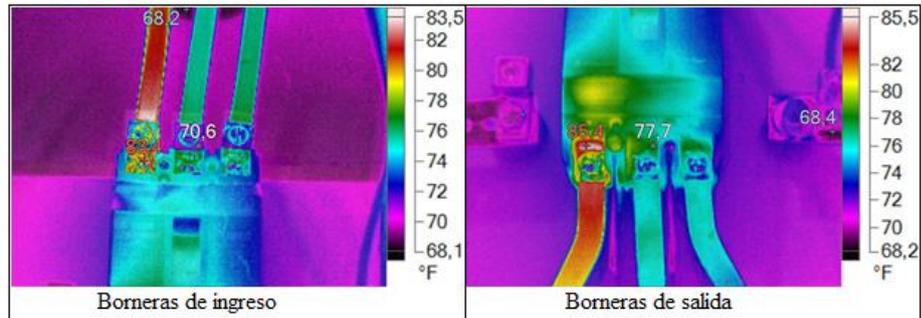


Figura 67. Inspección termográfica del breaker principal del TDP-SS-B-3

Fuente: [29]

- 27.8 °F en el breaker CESASIG (STD-PB-B-2), cuya diferencia proviene de los valores: máximo (95.9 °F) y mínimo (68.1 °F), visto en la Figura 68.

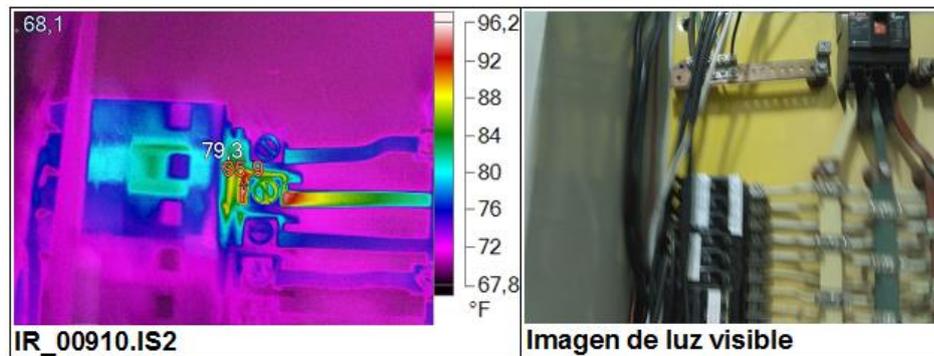


Figura 68. Inspección termográfica del breaker CECASIG (STD-SS-B-3)

Fuente: [29]

- 22.4 °F en el breaker del pasillo COWORKING, cuya diferencia proviene de los valores máximo (89.8 °F) y mínimo (67.4 °F), visto en la Figura 69.

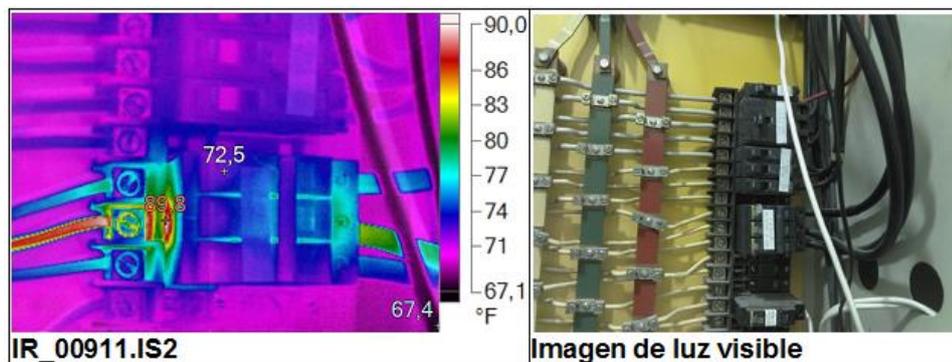


Figura 69. Inspección termográfica del breaker pasillo COWORKING

Fuente: [29]

- 23.2 °F en el breaker de las aulas del tercer piso, cuya diferencia proviene de los valores máximo (76.8 °F) y mínimo (68.8 °F), visto en la Figura 70.

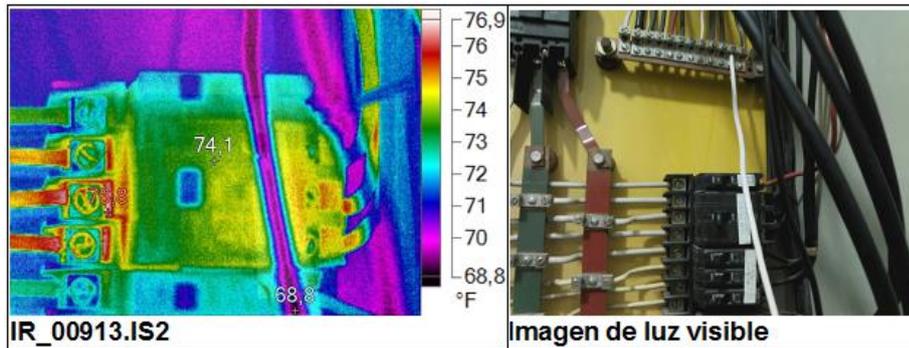


Figura 70. Inspección termográfica del breaker aulas tercer piso

Fuente: [29]

3.5.7 Termografía del sub-tablero principal STP-SP-B-1

En la Tabla 35 se indica las inspecciones termográficas realizadas al sub-tablero principal STP-SP-B-1, breakers del laboratorio de biotecnología, microbiología y química.

Tabla 35. Mediciones termográficas del sub-tablero principal STP-SP-B-1

Elementos	P. frío	P. Caliente	ΔT
Breaker principal (Lab. de Biotecnología)	77,6 °F	136,0 °F	58,4 °F
Breaker microbiología 1 y química instrumental	76,7 °F	101,3 °F	24,6 °F
Breaker microbiología 2	80,9 °F	109,9 °F	29,0 °F
Vista general del tablero	78,7 °F	95,2 °F	16,5 °F

Fuente: [29]

Se concluye que poseen una diferencia de temperatura en los siguientes puntos:

- 58.4 °F en el breaker principal del Laboratorio de Biotecnología (Figura 71), cuya diferencia proviene de los valores máximo (136.0 °F) y mínimo (77.6 °F).

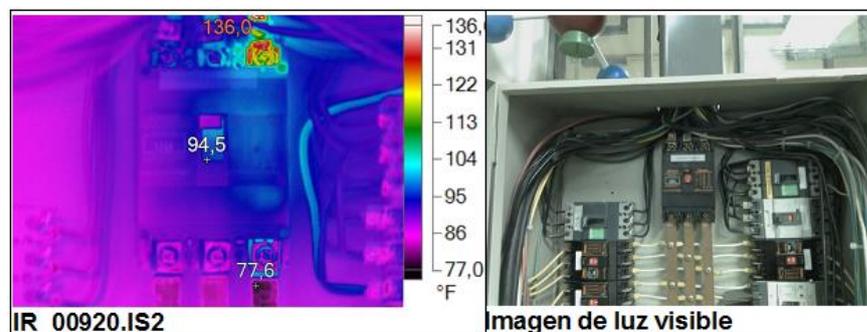


Figura 71. Inspección termográfica del breaker (laboratorio de biotecnología)

Fuente: [29]

- 24.6 °F en el breaker de Microbiología 1 y Química Instrumental (Figura 72), cuya diferencia proviene de los valores máximo (101.3 °F) y mínimo (76.7 °F).

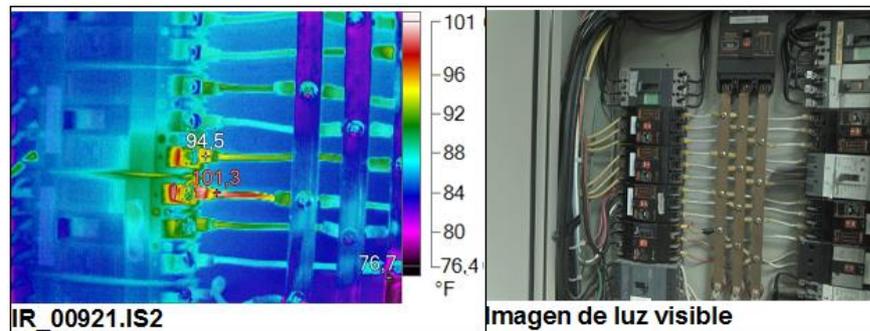


Figura 72. Inspección termográfica del breaker microbiología y química instrumental

Fuente: [29]

- 29.0 °F en el breaker de Microbiología 2, cuya diferencia proviene de los valores máximo (109.9 °F) y mínimo (80.9 °F), visto en la Figura 73.

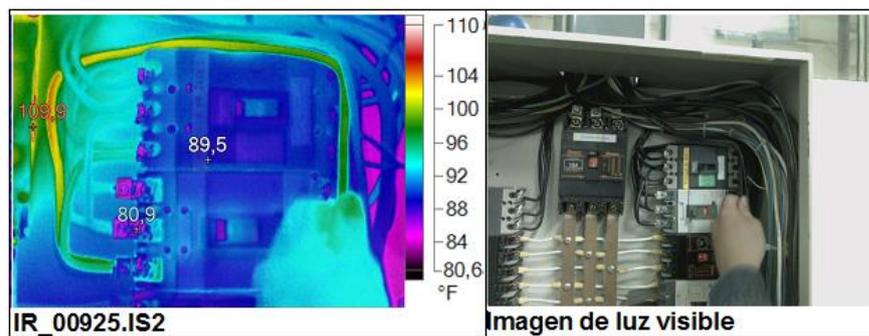


Figura 73. Inspección termográfica del breaker microbiología 2

Fuente: [29]

- 16.5 °F en la vista general del sub-tablero STP-SP-B-1, cuya diferencia proviene de los valores máximo (95.2 °F) y mínimo (78.7 °F), visto en la Figura 74.

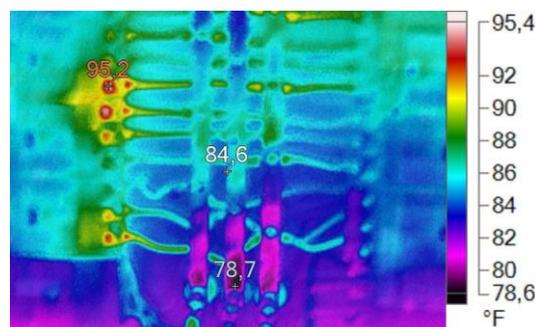


Figura 74. Inspección termográfica STP-SP-B-1

Fuente: [29]

3.6 Comprobación de secuencia de fases

Las secuencias de fase se realizaron a través del secuencímetro Proskit 8PK-ST850, visto en la Figura 75; donde se muestra el sentido correcto de la secuencia mediante los indicadores P1, P2 y P3.

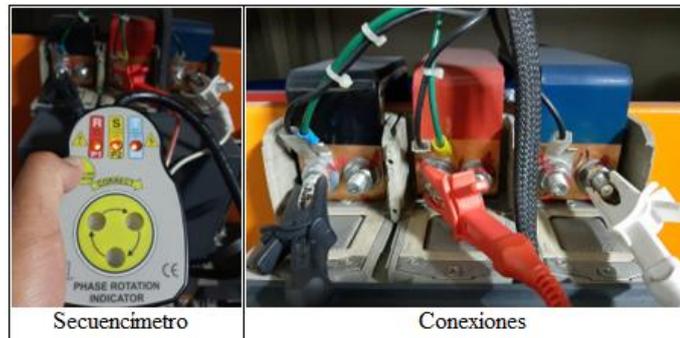


Figura 75. Secuencia de fases del ATS suministrado por la EEQ

Fuente: Autor

3.7 Potencia aparente del Bloque B

Existen dos transformadores de 150 kVA ubicados en el Ala Norte y Sur del bloque B de la Universidad. Se ha utilizado el equipo analizador Fluke para determinar la potencia aparente L1N, L2N, L3N y total, además, se observa el porcentaje de uso con respecto a la capacidad del transformador, visto en las Tablas 36 y 37.

Tabla 36. Porcentaje de uso del transformador en el Ala Sur

Fecha	KVA					
	L1N	L2N	L3N	Total	Transformador	% Uso
07-enero	8,15	7,63	8,03	23,80	150	15,9
08-enero	6,80	6,51	7,32	20,62	150	13,7
09-enero	7,26	6,31	7,23	20,80	150	13,9
10-enero	7,30	6,64	7,08	21,02	150	14,0
11-enero	4,66	4,21	4,91	13,78	150	9,2
12-enero	3,71	3,40	3,32	10,44	150	7,0
13-enero	6,74	6,55	6,78	20,06	150	13,4
14-enero	6,50	5,65	7,10	19,25	150	12,8

Fuente: Autor

Tabla 37. Porcentaje de uso del transformador en el Ala Norte

Fecha	KVA					
	L1N	L2N	L3N	Total	Transformador	% Uso
14-enero	9,03	10,72	10,22	29,97	150	20,0
15-enero	11,58	14,07	16,06	41,72	150	27,8
16-enero	12,45	14,48	16,07	43,00	150	28,7
17-enero	13,67	15,91	17,30	46,88	150	31,3
18-enero	10,04	11,34	11,58	32,96	150	22,0
19-enero	8,36	9,48	9,33	27,17	150	18,1
20-enero	12,54	15,48	17,38	45,40	150	30,3
21-enero	13,24	16,67	19,52	49,43	150	33,0

Fuente: Autor

En la Figura 76 se indica la potencia aparente medida entre los días 07 al 14 de enero del 2020 del circuito 1 Ala Sur, donde se obtienen cargas mínimas y máximas entre 3.32 a 8.15 KVA.

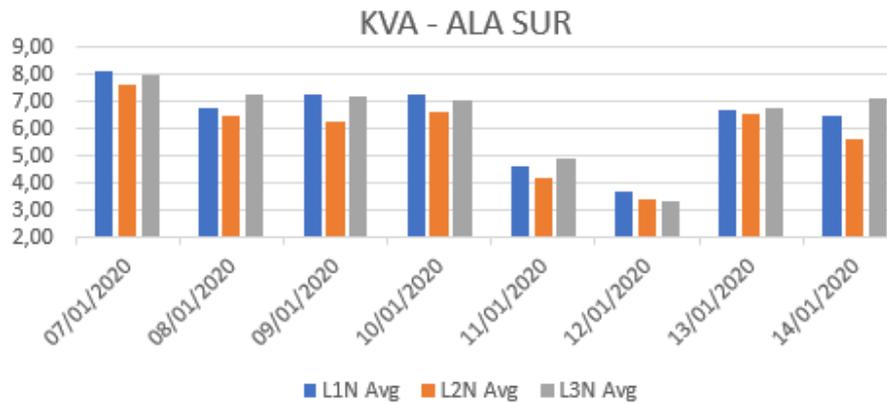


Figura 76. Potencia aparente de cada línea del Ala Sur

Fuente: Autor

En la Figura 77 se indica la capacidad consumida de uso, estas mediciones son evaluadas con respecto a la capacidad del transformador indicada en la Tabla 37.

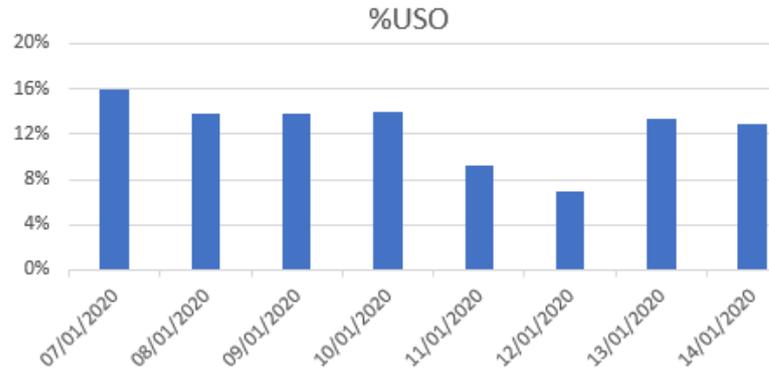


Figura 77. Capacidad de uso del transformador del Ala Sur

Fuente: Autor

En la Figura 78 se indica la potencia aparente medida entre los días 14 al 21 de enero del 2020 del circuito 2 Ala Norte, donde se obtienen cargas mínimas y máximas entre 8.36 a 19.52 KVA. Además, se observa que las cargas no están equilibradas por cada línea L1N, L2N y L3N.

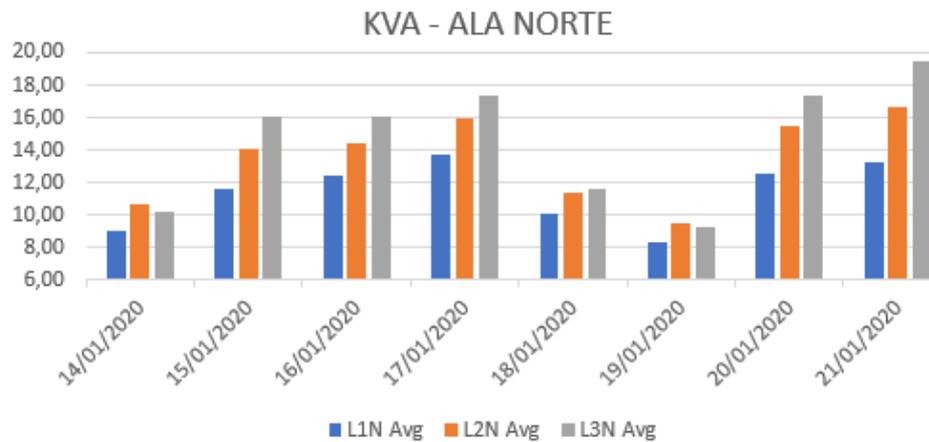


Figura 78. Potencia aparente de cada línea del Ala Norte

Fuente: Autor

En la Figura 79 se indica la capacidad consumida de uso con respecto al circuito 2 Ala Norte, estas mediciones son evaluadas con respecto a la capacidad del transformador indicada en la Tabla 37.

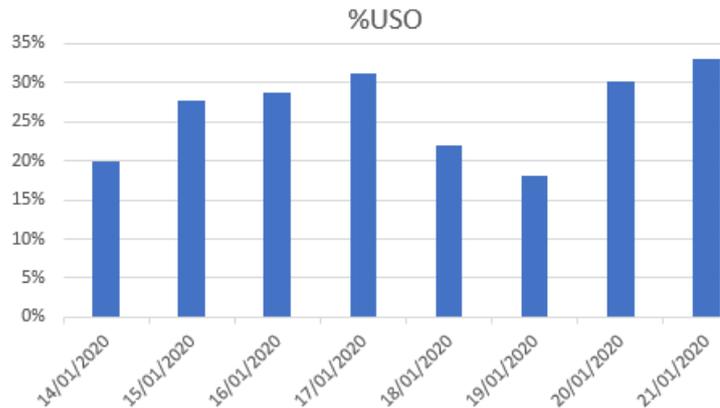


Figura 79. Capacidad de uso del transformador del Ala Norte

Fuente: Autor

3.8 Análisis comparativo en base a normas

3.8.1 Análisis de calidad eléctrica en el Ala Sur

Se evalúan los niveles de voltaje en las líneas L1N, L2N y L3N mediante las Tablas 5 ($\pm 10\%$) y 19 (valores promedios), para determinar si cumplen o no con la regulación CONELEC 004/01. En este caso, el valor nominal es $127,02 \text{ V } (220/\sqrt{3})$ y se reemplaza en la Ecuación 3.

Tabla 38. Niveles de voltaje en el Ala Sur

Fecha	Voltaje L1N			Voltaje L2N			Voltaje L3N		
	V_k	ΔV_k	Cumple	V_k	ΔV_k	Cumple	V_k	ΔV_k	Cumple
07-enero	127,18	0,13	SÍ	127,32	0,24	SÍ	128,86	1,45	SÍ
08-enero	127,42	0,32	SÍ	127,66	0,50	SÍ	128,98	1,54	SÍ
09-enero	127,52	0,39	SÍ	127,86	0,66	SÍ	129,14	1,67	SÍ
10-enero	127,29	0,21	SÍ	127,56	0,42	SÍ	128,94	1,51	SÍ
11-enero	128,29	1,00	SÍ	128,63	1,26	SÍ	129,93	2,29	SÍ
12-enero	127,23	0,16	SÍ	127,58	0,44	SÍ	129,01	1,56	SÍ
13-enero	126,95	-0,05	SÍ	127,21	0,15	SÍ	128,71	1,33	SÍ
14-enero	127,19	0,13	SÍ	127,52	0,39	SÍ	128,72	1,34	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: todos los niveles de voltaje cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 36.

Se evalúa el factor de potencia en las líneas L1N, L2N y L3N por medio de la Tabla 21 (valores promedios). Luego, se determina si cumple o no con la regulación CONELEC 004/01 (valor mínimo aceptado del factor de potencia FP = 0,92).

Tabla 39. Factor de potencia en el Ala Sur

Fecha	Línea 1			Línea 2			Línea 3		
	FP _{L1N}	FP	Cumple	FP _{L2N}	FP	Cumple	FP _{L3N}	FP	Cumple
2020									
07-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
08-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
09-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
10-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
11-enero	0,98	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ
12-enero	0,98	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ	0,95	0,92	SÍ
13-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
14-enero	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del factor de potencia evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 37.

Se evalúa la distorsión armónica de orden 3, 5 y 7 en las líneas L1N, L2N y L3N por medio de la Tabla 23. Luego, se determina si cumple o no con la regulación CONELEC 004/01 (5, 6 y 5% en n=3, 5 y 7, respectivamente).

Tabla 40. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Sur

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
07-enero	0,77	5,0	SÍ	0,67	5,0	SÍ	0,64	5,0	SÍ
08-enero	0,64	5,0	SÍ	0,57	5,0	SÍ	0,48	5,0	SÍ
09-enero	0,63	5,0	SÍ	0,57	5,0	SÍ	0,47	5,0	SÍ
10-enero	0,63	5,0	SÍ	0,58	5,0	SÍ	0,51	5,0	SÍ
11-enero	0,37	5,0	SÍ	0,34	5,0	SÍ	0,35	5,0	SÍ
12-enero	0,24	5,0	SÍ	0,24	5,0	SÍ	0,26	5,0	SÍ
13-enero	0,59	5,0	SÍ	0,56	5,0	SÍ	0,51	5,0	SÍ
14-enero	0,58	5,0	SÍ	0,53	5,0	SÍ	0,45	5,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del tercer armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 38.

Tabla 41. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Sur

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
07-enero	2,01	6,0	SÍ	1,80	6,0	SÍ	1,65	6,0	SÍ
08-enero	1,96	6,0	SÍ	1,74	6,0	SÍ	1,75	6,0	SÍ
09-enero	1,88	6,0	SÍ	1,67	6,0	SÍ	1,70	6,0	SÍ
10-enero	1,81	6,0	SÍ	1,58	6,0	SÍ	1,65	6,0	SÍ
11-enero	2,01	6,0	SÍ	1,80	6,0	SÍ	1,80	6,0	SÍ
12-enero	1,91	6,0	SÍ	1,72	6,0	SÍ	1,71	6,0	SÍ
13-enero	1,89	6,0	SÍ	1,67	6,0	SÍ	1,70	6,0	SÍ
14-enero	1,88	6,0	SÍ	1,69	6,0	SÍ	1,73	6,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del quinto armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 39.

Tabla 42. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Sur

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
07-enero	0,52	5,0	SÍ	0,53	5,0	SÍ	0,43	5,0	SÍ
08-enero	0,44	5,0	SÍ	0,52	5,0	SÍ	0,44	5,0	SÍ
09-enero	0,49	5,0	SÍ	0,54	5,0	SÍ	0,50	5,0	SÍ
10-enero	0,51	5,0	SÍ	0,56	5,0	SÍ	0,50	5,0	SÍ
11-enero	0,60	5,0	SÍ	0,63	5,0	SÍ	0,55	5,0	SÍ
12-enero	0,70	5,0	SÍ	0,68	5,0	SÍ	0,60	5,0	SÍ
13-enero	0,67	5,0	SÍ	0,60	5,0	SÍ	0,58	5,0	SÍ
14-enero	0,55	5,0	SÍ	0,55	5,0	SÍ	0,53	5,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del séptimo armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 40.

Se evalúan los desbalances de voltaje y corriente del Ala Sur por medio de la Tabla 27. Luego, se determina si cumple o no con lo indicado por el instrumento de medición Fluke 435, es decir, 2 % para el desbalance de voltaje y 10 % para el de corriente.

Tabla 43. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Sur

Fecha 2020	Desbalance de Voltaje %			Desbalance de Corriente %		
	DV	Norma	Cumple	DI	Norma	Cumple
07-enero	0,87	2,0	SÍ	5,42	10,0	SÍ
08-enero	0,80	2,0	SÍ	7,97	10,0	SÍ
09-enero	0,84	2,0	SÍ	7,72	10,0	SÍ
10-enero	0,83	2,0	SÍ	8,34	10,0	SÍ
11-enero	0,83	2,0	SÍ	12,29	10,0	NO
12-enero	0,86	2,0	SÍ	8,57	10,0	SÍ
13-enero	0,88	2,0	SÍ	7,78	10,0	SÍ
14-enero	0,83	2,0	SÍ	7,66	10,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: todos los desbalances de voltaje medidos cumplen con la norma, siendo inferior al 2 %. Sin embargo, el 11 de enero del 2020 se produce un desbalance de corriente superior al 10%, por lo que es necesario realizar un balance de cargas.

3.8.2 Análisis de calidad eléctrica en el Ala Norte

Se evalúan los niveles de voltaje en las líneas L1N, L2N y L3N mediante las Tablas 5 ($\pm 10\%$) y 20 (valores promedios), para determinar si cumplen o no con la regulación CONELEC 004/01.

Tabla 44. Niveles de voltaje en el Ala Norte

Fecha 2020	Voltaje L1N			Voltaje L2N			Voltaje L3N		
	V_k	ΔV_k	Cumple	V_k	ΔV_k	Cumple	V_k	ΔV_k	Cumple
14-enero	129,16	1,68	SÍ	127,16	0,11	SÍ	127,06	0,03	SÍ
15-enero	128,28	0,99	SÍ	126,62	-0,32	SÍ	126,14	-0,69	SÍ
16-enero	127,75	0,57	SÍ	126,10	-0,72	SÍ	125,53	-1,17	SÍ
17-enero	127,94	0,73	SÍ	126,45	-0,45	SÍ	125,73	-1,01	SÍ
18-enero	128,93	1,50	SÍ	126,72	-0,24	SÍ	126,31	-0,56	SÍ
19-enero	128,34	1,04	SÍ	126,14	-0,69	SÍ	125,90	-0,88	SÍ
20-enero	127,86	0,66	SÍ	126,15	-0,69	SÍ	125,53	-1,17	SÍ
21-enero	127,96	0,74	SÍ	126,25	-0,61	SÍ	125,88	-0,90	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: todos los niveles de voltaje cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 44.

Se evalúa el factor de potencia en las líneas L1N, L2N y L3N por medio de la Tabla 22 (valores promedios). Luego, se determina si cumple o no con la regulación CONELEC 004/01 (valor mínimo aceptado del factor de potencia FP = 0,92).

Tabla 45. Factor de potencia en el Ala Norte

Fecha	Línea 1			Línea 2			Línea 3		
	FP _{L1N}	FP	Cumple	FP _{L2N}	FP	Cumple	FP _{L3N}	FP	Cumple
2020									
14-enero	0,99	0,92	SÍ	0,95	0,92	SÍ	0,95	0,92	SÍ
15-enero	0,99	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
16-enero	0,99	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
17-enero	0,99	0,92	SÍ	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
18-enero	0,99	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ	0,94	0,92	SÍ
19-enero	0,99	0,92	SÍ	0,96	0,92	SÍ	0,92	0,92	SÍ
20-enero	0,99	0,92	SÍ	0,98	0,92	SÍ	0,97	0,92	SÍ
21-enero	0,99	0,92	SÍ	0,98	0,92	SÍ	0,99	0,92	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del factor de potencia evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 45.

Se evalúa la distorsión armónica de orden 3, 5 y 7 en las líneas L1N, L2N y L3N por medio de la Tabla 24. Luego, se determina si cumple o no con la regulación CONELEC 004/01 (5, 6 y 5% en n=3, 5 y 7, respectivamente).

Tabla 46. Distorsión armónica de orden 3 en el Ala Norte

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
14-enero	0,78	5,0	SÍ	0,70	5,0	SÍ	1,02	5,0	SÍ
15-enero	1,11	5,0	SÍ	1,06	5,0	SÍ	1,50	5,0	SÍ
16-enero	1,13	5,0	SÍ	1,11	5,0	SÍ	1,49	5,0	SÍ
17-enero	1,11	5,0	SÍ	1,10	5,0	SÍ	1,50	5,0	SÍ
18-enero	0,69	5,0	SÍ	0,64	5,0	SÍ	0,95	5,0	SÍ
19-enero	0,51	5,0	SÍ	0,51	5,0	SÍ	0,79	5,0	SÍ
20-enero	1,09	5,0	SÍ	1,12	5,0	SÍ	1,61	5,0	SÍ
21-enero	0,99	5,0	SÍ	1,11	5,0	SÍ	1,61	5,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del tercer armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 46.

Tabla 47. Distorsión armónica de orden 5 en el Ala Norte

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
14-enero	1,74	6,0	SÍ	1,95	6,0	SÍ	1,77	6,0	SÍ
15-enero	1,64	6,0	SÍ	2,17	6,0	SÍ	1,81	6,0	SÍ
16-enero	1,48	6,0	SÍ	2,11	6,0	SÍ	1,75	6,0	SÍ
17-enero	1,42	6,0	SÍ	1,86	6,0	SÍ	1,74	6,0	SÍ
18-enero	1,46	6,0	SÍ	1,73	6,0	SÍ	1,52	6,0	SÍ
19-enero	1,60	6,0	SÍ	1,78	6,0	SÍ	1,57	6,0	SÍ
20-enero	1,49	6,0	SÍ	2,07	6,0	SÍ	1,70	6,0	SÍ
21-enero	1,47	6,0	SÍ	2,08	6,0	SÍ	1,89	6,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del quinto armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 47.

Tabla 48. Distorsión armónica de orden 7 en el Ala Norte

Fecha	THD % Línea 1			THD % Línea 2			THD % Línea 3		
	L1N	THD	Cumple	L2N	THD	Cumple	L3N	THD	Cumple
2020									
14-enero	0,48	5,0	SÍ	0,41	5,0	SÍ	0,44	5,0	SÍ
15-enero	0,61	5,0	SÍ	0,62	5,0	SÍ	0,55	5,0	SÍ
16-enero	0,61	5,0	SÍ	0,68	5,0	SÍ	0,54	5,0	SÍ
17-enero	0,56	5,0	SÍ	0,58	5,0	SÍ	0,52	5,0	SÍ
18-enero	0,65	5,0	SÍ	0,59	5,0	SÍ	0,57	5,0	SÍ
19-enero	0,65	5,0	SÍ	0,59	5,0	SÍ	0,46	5,0	SÍ
20-enero	0,61	5,0	SÍ	0,58	5,0	SÍ	0,49	5,0	SÍ
21-enero	0,57	5,0	SÍ	0,54	5,0	SÍ	0,53	5,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: los valores del séptimo armónico de voltaje evaluados cumplen con la regulación CONELEC 004/01, visto en la Tabla 48.

Se evalúan los desbalances de voltaje y corriente del Ala Norte por medio de la Tabla 28. Luego, se determina si cumple o no con lo indicado por el instrumento de medición Fluke 435, es decir, 2 % para el desbalance de voltaje y 10 % para el de corriente.

Tabla 49. Desbalance de voltaje y corriente en el Ala Norte

Fecha 2020	Desbalance de Voltaje %			Desbalance de Corriente %		
	DV	Norma	Cumple	DI	Norma	Cumple
14-enero	0,85	2,0	SÍ	10,27	10,0	NO
15-enero	0,98	2,0	SÍ	15,55	10,0	NO
16-enero	0,95	2,0	SÍ	13,50	10,0	NO
17-enero	0,90	2,0	SÍ	11,05	10,0	NO
18-enero	1,04	2,0	SÍ	9,38	10,0	SÍ
19-enero	0,98	2,0	SÍ	9,14	10,0	SÍ
20-enero	0,98	2,0	SÍ	13,65	10,0	NO
21-enero	1,01	2,0	SÍ	20,29	10,0	NO

Fuente: Autor

Reporte: todos los desbalances de voltaje medidos cumplen con la norma, siendo inferior al 2 %. Sin embargo, del 14 al 17, 20 y 21 de enero del 2020 se produce un desbalance de corriente superior al 10%, por lo que es necesario realizar un balance de cargas, tal como se indica en la Tabla 49.

3.8.3 Análisis de puesta a tierra

Se evalúan las resistencias de puesta a tierra del centro de datos, generadores y tableros de distribución principales del apartado 3.4. Luego se determina si cumplen o no con la norma IEEE 142-2007 (valor máximo permitido de 5 Ω).

Tabla 50. Análisis de resistencia de puesta a tierra

Elementos	Resistencia de puesta a tierra [Ω]		
	Valor medido	Norma	Cumple
Data center	4,4	5,0	SÍ
Generador 1 Ala Sur	5,1	5,0	NO
Generador 2 Ala Norte	2,7	5,0	SÍ
Tablero TDP-PB-B-1 Ala Sur	1,2	5,0	SÍ
Tablero TDP-PB-B-2 Ala Norte	1,8	5,0	SÍ

Fuente: Autor

Reporte: casi todas las resistencias de puesta a tierra cumplen con la norma IEEE 142-2007, a excepción del generador 1 Ala Sur, visto en la Tabla 50; por lo que se requiere realizar un rediseño de puesta a tierra sobre el generador 1.

3.8.4 Análisis de termografía

Los valores medidos por la cámara termográfica y reportados en el apartado 3.5, se evalúan acorde a la norma NETA/ANSI ATS-2009, visto en la Tabla 8.

Tabla 51. Análisis termográfico en el tablero TTA-PB-B-2

Elementos	ΔT	Relevancia
Vista del tablero TTA-PB-B-2	42.0 °F	Normal
Borneras de ingreso y salida principal EEQ	24.9 y 26.9 °F	Normal
Borneras de ingreso Generador 2	23.2 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del tablero de transferencia automática TTA-PB-B-2 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 52. Análisis termográfico en el sub-tablero STP-PB-B-1

Elementos	ΔT	Relevancia
Data Center	9.3 °F	Normal
Bypass #1 y 2	6.3 y 16.3 °F	Normal
Barras lazo izquierdo y derecho	11.7 y 17.9 °F	Normal
Breakers de distribución principal #1 y 2	11.2 y 11.1 °F	Normal
Breakers de carga #1 y 2	24.2, 13.3 °F	Normal
Breakers de carga #3 y 4	16.9, 15.3 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del sub-tablero principal STP-PB-B-1 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 53. Análisis termográfico en el tablero TDP-PB-B-1

Breakers	ΔT	Relevancia
Principal del TDP-PB-B-1	19.5 °F	Normal
Biblioteca	22.4 °F	Normal
Tablero monitoreo	8.4 °F	Normal
Luces parqueadero	17.1 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del tablero de distribución principal TDP-PB-B-1 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 54. Análisis termográfico en el tablero TTA-PB-B-1

Elementos	ΔT	Relevancia
Borneras de ingreso principal EEQ	11.2 °F	Normal
Borneras de ingreso principal EEQ (carga)	23.0 °F	Normal
Borneras de ingreso y salida generador 1	14.3 y 18.5 °F	Normal
Vista general al tablero	6.7 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del tablero de transferencia automática TTA-PB-B-1 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 55. Análisis termográfico en el tablero TDP-SS-B-2

Elementos	ΔT	Relevancia
Breaker principal (borneras de ingreso)	30.3 °F	Normal
Breaker principal (borneras de salida)	27.6 °F	Normal
Breaker principal (cuerpo)	13.0 °F	Normal
Breaker Coliseo	28.8 °F	Normal
Breaker CIVABI Lab (STP-SP-B-1)	9.5 °F	Normal
Breaker Coordinación CIVABI (Aulas B46)	12.0 °F	Normal
Bornes de Salida de la Coordinación CIVABI (Aulas B46)	19.3 °F	Normal
Breaker CESASIG Fuerza	9.8 °F	Normal
Breaker Aula magna	8.8 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del tablero de distribución principal TDP-SS-B-2 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 56. Análisis termográfico en el tablero TDP-SS-B-3

Elementos (Breakers)	ΔT	Relevancia
Principal (borneras de ingreso y salida)	15.2 y 17.0 °F	Normal
CECASIG (STD-SS-B-3)	27.8 °F	Normal
Pasillo COWORING (STD-PB-B-2)	22.4 °F	Normal
Aulas tercer piso (STP-TP-B-1)	8.0 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: los elementos del tablero de distribución principal TDP-SS-B-3 están dentro del rango normal. Por lo tanto, no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

Tabla 57. Análisis termográfico en el sub-tablero STP-SP-B-1

Elementos	ΔT	Relevancia
Breaker principal (Laboratorio de Biotecnología)	58.4 °F	Leve
Breaker microbiología 1 y química instrumental	24.6 °F	Normal
Breaker microbiología 2	29.0 °F	Normal
Vista general del tablero	16.5 °F	Normal

Fuente: Autor

Reporte: el breaker principal del laboratorio de biotecnología posee una relevancia leve, por lo que se requiere revisar el punto caliente. En cambio, el resto de los elementos están dentro del sub-tablero STP-SP-B-1 están dentro del rango normal y no se realiza acciones hasta el próximo mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO IV

PLAN DE MEJORAS AL SISTEMA ELÉCTRICO DEL BLOQUE B

4.1 Introducción

Se realiza un plan de mejoras en el Campus Girón Bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana con respecto a las puestas a tierra e inspección termográfica. Como se ha mencionado con anterioridad, se debe realizar un rediseño para mejorar la puesta a tierra en el generador 1 y cumpla con las normativas; además, colocar cajas de tierra en el centro de datos, generadores y tableros de distribución TDP-PB-B-1,2. Por último, se debe realizar un mantenimiento preventivo en sobre el breaker del laboratorio de Biotecnología.

4.2 Plan de mejora para puestas a tierra

En base al apartado 3.4 se observó las mediciones y conexión de puesta a tierra, para ello, se sugiere una mejora de puesta a tierra bajo la normativa IEEE 80-2013 en los Generadores 1 y 2:

- **Paso 1.** En la Tabla 58 se designan los siguientes parámetros:
 - Tiempo de duración de la falla “ t_s ” (Tabla 9).
 - Impedancias de secuencias: positiva “ z_1 ” y cero “ z_0 ”.
 - Resistividades del terreno “ p ”, superficial del terreno “ p_s ” y a tierra de un pie “ r_f ” (Tablas 2 y 7).
 - Espesor de la capa superficial “ h_s ”.
 - Profundidades de la malla de puesta a tierra “ h ” y de referencia “ h_o ”.
 - Dimensiones de la malla (largo y ancho).
 - Nivel de voltaje “ $volt$ ”.
 - Distancia entre conductores para la malla “ D ”.
 - Factores de división de corriente de falla “ S_f ”, seguridad “ A ” y de decremento “ D_f ” (Tabla 9).
 - Características del conductor del cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica, tales como: temperatura ambiente “ T_{amb} ”, temperatura de fusión “ T_{fus} ” y constante “ K_f ” (Tabla 8).

Tabla 58. Parámetros iniciales para la malla de puesta a tierra

Parámetros	Generador 1	Generador 2	Unidades de Medida
ts	0.1	0.1	[s]
z1	0.16 i	0.16 i	[Ω]
z0	0.10 i	0.10 i	[Ω]
p	5	5	[Ωm]
ps	2500	2500	[Ωm]
hs	0.05	0.02	[m]
h	0.5	0.5	[m]
largo	2	4.71	[m]
ancho	2	3.16	[m]
volt	380	380	[V]
rf	0	0	[Ω]
D	1	1.5	[m]
Sf	0.6	0.6	-
ho	1	1	[m]
A	1	1	-
Df	1.125	1.125	-
T_amb	40	40	[°C]
T_fus	1084	1084	[°C]
Kf	7.06	7.06	-

Fuente: Autor

- **Paso 2.** Los cálculos se realizan a través del programa Matlab para el diseño de puesta a tierra de los generadores 1 y 2, tal como se indica en el Anexo 1 y 3, respectivamente. Se emplean las siguientes ecuaciones para el diseño de puesta a tierra:
 - Ecuaciones 19 y 20 para determinar las corrientes máximas de malla “I_g” y de corto circuito “I_o”.
 - Ecuación 4 para calcular la sección transversal del conductor “A_{mm}”.
 - Ecuaciones 7 y 9 para determinar los voltajes de paso “E_{step_70}” y contacto “E_{touch_70}”, respectivamente.
 - Ecuación 21 para calcular el potencial máximo de la malla “GRP”.
 - Ecuación 24 para determinar el voltaje de contacto real “E_m”.

A continuación, en las Figuras 80 y 81 se observan los resultados mostrados por el programa, para el diseño de puesta a tierra a 5 ohmios, el cual cumple con lo dispuesto en la norma IEEE 142-2007.

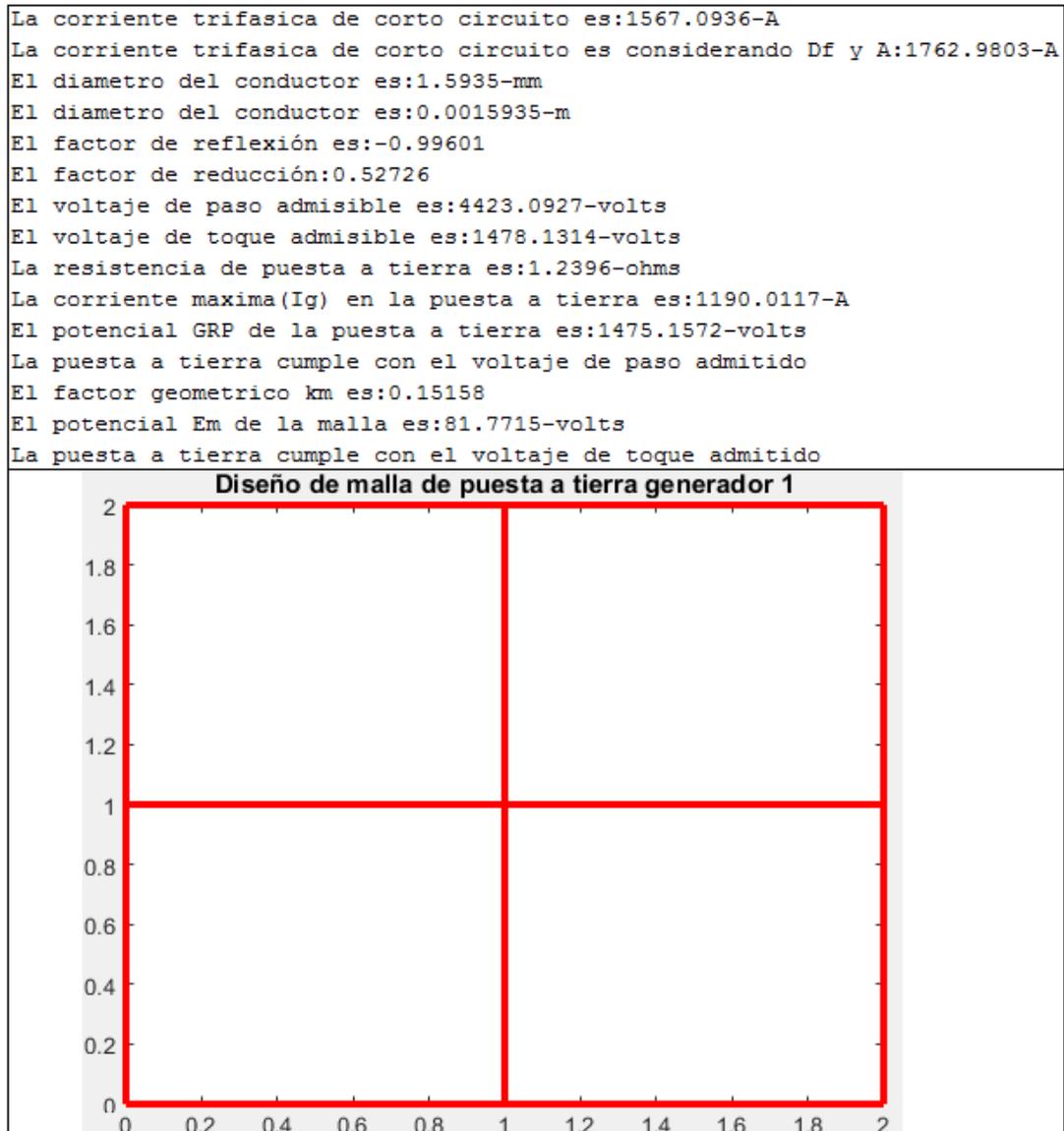


Figura 80. Diseño y dimensiones para la puesta a tierra del Generador 1

Fuente: Autor

La corriente trifasica de corto circuito es:1567.0936-A
 La corriente trifasica de corto circuito es considerando Df y A:1762.9803-A
 El diametro del conductor es:1.5935-mm
 El diametro del conductor es:0.0015935-m
 El factor de reflexión es:-0.99601
 El factor de reducción:0.30908
 El voltaje de paso admisible es:2798.2241-volts
 El voltaje de toque admisible es:1071.9142-volts
 La resistencia de puesta a tierra es:0.86398-ohms
 La corriente maxima (I_g) en la puesta a tierra es:1190.0117-A
 El potencial GRP de la puesta a tierra es:1028.1478-volts
 La puesta a tierra cumple con el voltaje de paso admitido
 El factor geometrico km es:0.43602
 El potencial Em de la malla es:156.814-volts
 La puesta a tierra cumple con el voltaje de toque admitido



Figura 81. Diseño y dimensiones para la puesta a tierra del Generador 2

Fuente: Autor

- Paso 3.** La elaboración de la malla de tierra se realizó mediante el programa ETAP, visto en los Anexos 2 y 4. A continuación, en las Figuras 82 y 83 se indican las mallas de puesta a tierra por los Generadores 1 y 2, respectivamente. Además, cabe mencionar que se colocan por 6 conductores de tierra con una longitud de 12 metros para la malla de tierra en el Generador 1, en cambio para el Generador 2 utiliza una longitud de 18 metros.

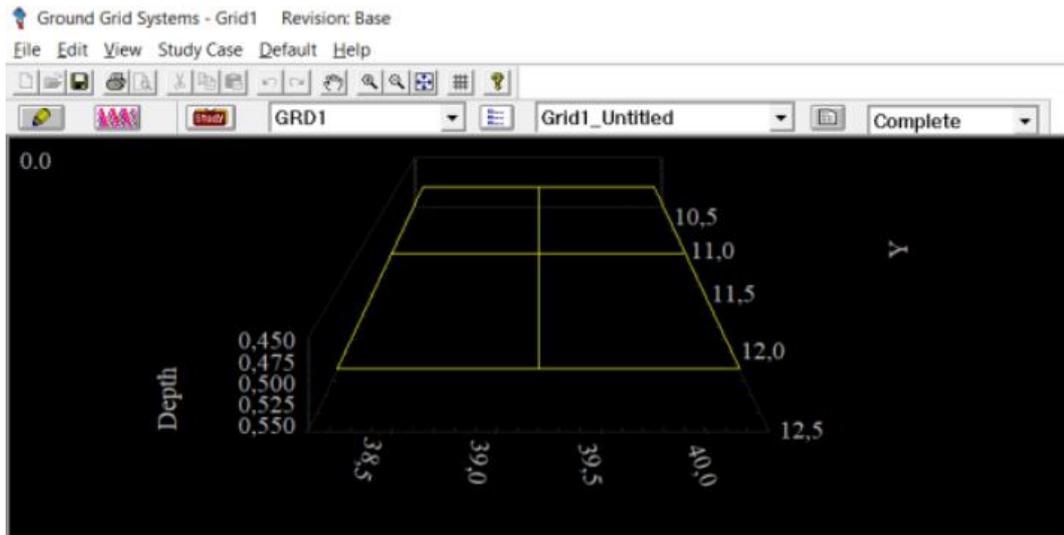


Figura 82. Malla de puesta a tierra del Generador 1

Fuente: Autor

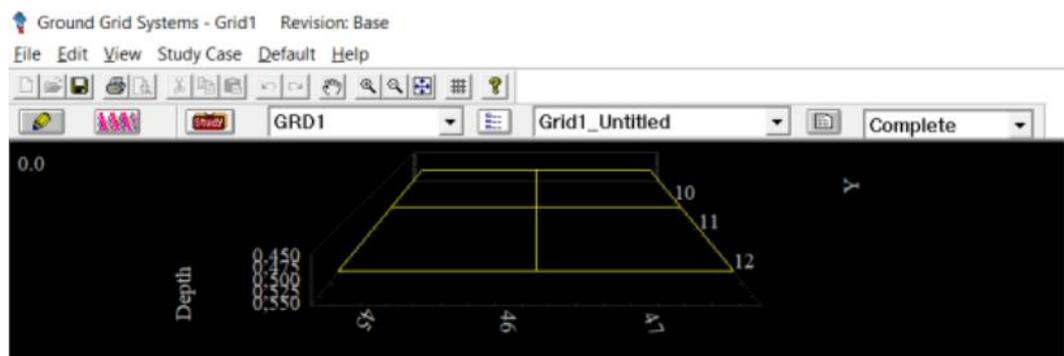


Figura 83. Malla de puesta a tierra del Generador 2

Fuente: Autor

4.3 Plan de mejora para el breaker principal del Laboratorio de Biotecnología

El breaker principal del Laboratorio de Biotecnología posee una diferencia de temperatura de 58.4 °F, el cual pertenece a una relevancia leve según lo establecido por la norma ANSI/NETA ATS-2009. Para ello se consideran acciones de mantenimiento preventivo sobre el breaker y un balance de cargas.

4.3.1 Mantenimiento preventivo de breakers

A continuación, se detalla una serie de pasos para el mantenimiento preventivo de breakers [30]:

- Limpieza de polvo en el breaker y borneras.
- Revisión del cable conductor situado en el punto caliente.

- Se puede realizar ensayos sobre el breaker cuando esté desconectado de la red y carga. Para ello, se realizan las siguientes pruebas de ensayo:
 - Resistencia de aislamiento.
 - Resistencia de contacto.
 - Disparo por sobrecarga, inyectando corriente para la simulación de sobrecarga o falla.
 - Funcionamiento mecánico del breaker.

4.3.2 Balance de corriente en el circuito 1 Ala Norte

A continuación, se destaca los pasos para el balance de corriente en el Ala Norte:

- En la Tabla 59, se indica un cuadro de la corriente medida por cada línea, su promedio y el desbalance (Figura 84) calculado por la Ecuación 2.

Tabla 59. Desbalance de corriente medido por cada línea en el Ala Norte

Fecha	Medición de corriente de línea [A]				Desbalance de corriente [%]		
	L1	L2	L3	Promedio	DI_1	DI_2	DI_3
14/01	70,96	84,76	81,53	79,08	10,3	7,2	3,1
15/01	91,65	111,90	129,23	110,93	17,4	0,9	16,5
16/01	98,65	115,53	129,64	114,61	13,9	0,8	13,1
17/01	107,92	126,68	139,55	124,72	13,5	1,6	11,9
18/01	78,50	89,93	92,90	87,11	9,9	3,2	6,7
19/01	65,55	75,39	75,08	72,01	9,0	4,7	4,3
20/01	99,05	123,41	140,49	120,99	18,1	2,0	16,1
21/01	104,28	132,74	156,94	131,32	20,6	1,1	19,5

Fuente: Autor

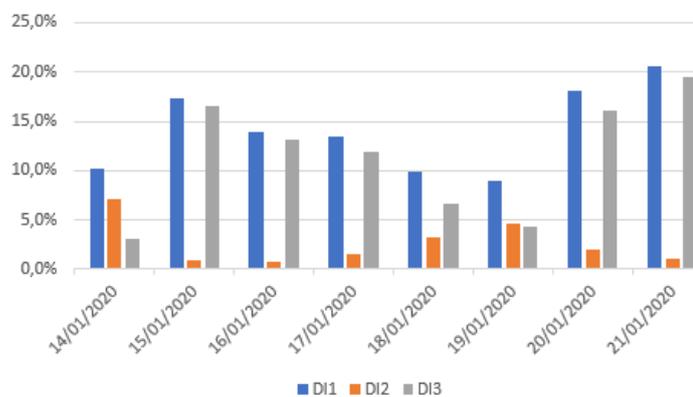


Figura 84. Desbalance de corriente por línea en el Ala Norte

Fuente: Autor

- Realizar combinaciones entre los diferentes circuitos asociados a cada línea de la red eléctrica del tablero de biotecnología visto en la Figura 85.

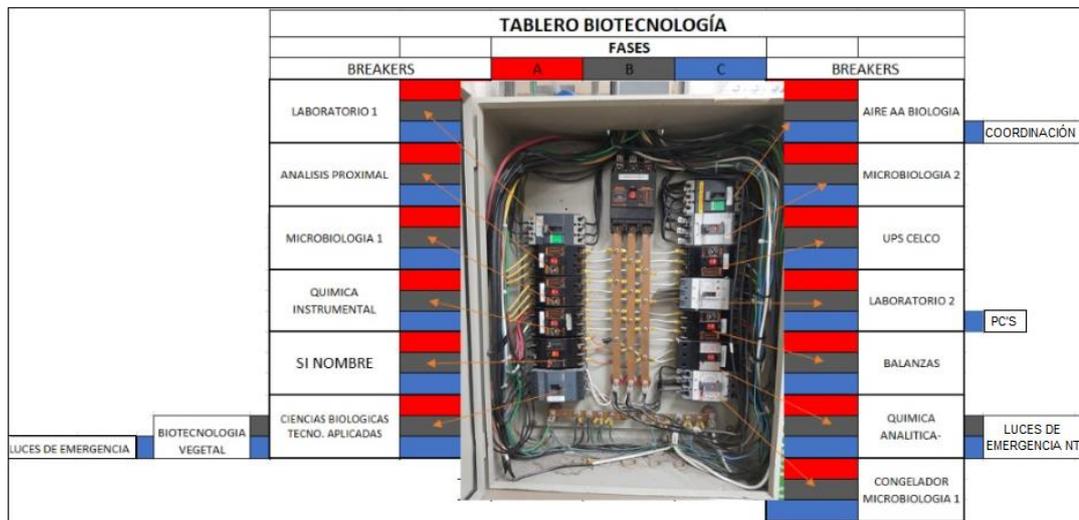


Figura 85. Breakers en el tablero de biotecnología Ala Norte

Fuente: Autor

- Por último, se tendría un resultado estimado para la obtención de un mejor balance de corriente, tal como se indica en la Tabla 60 y Figura 86. Por último, esos valores cumplirán con la normativa (< 10 %).

Tabla 60. Desbalance de corriente estimado por cada línea en el Ala Norte

Fecha	Medición de corriente de línea [A]				Desbalance de corriente [%]		
	L1	L2	L3	Promedio	DI_1	DI_2	DI_3
14/01	78,96	79,76	78,53	79,08	0,2	0,9	0,7
15/01	111,65	111,90	109,23	110,93	0,6	0,9	1,5
16/01	113,65	115,53	114,64	114,61	0,8	0,8	0,0
17/01	124,92	124,68	124,55	124,72	0,2	0,0	0,1
18/01	85,50	89,93	85,90	87,11	1,8	3,2	1,4
19/01	70,55	75,39	70,08	72,01	2,0	4,7	2,7
20/01	119,05	123,41	120,49	120,99	1,6	2,0	0,4
21/01	129,28	132,74	131,94	131,32	1,6	1,1	0,5

Fuente: Autor

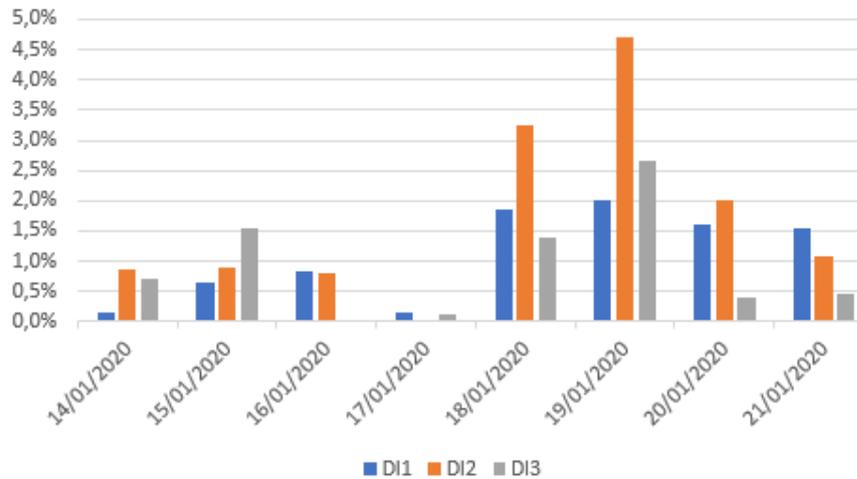


Figura 86. Desbalance de corriente estimado por línea en el Ala Norte

Fuente: Autor

4.4 Plan de mejora para el balance de corriente en el Ala Sur

A continuación, se realizan los siguientes pasos para el balance de corriente en el Ala Sur:

- En la Tabla 61, se indica un cuadro de la corriente medida por cada línea, su promedio y el desbalance (Figura 87) calculado por la Ecuación 2.

Tabla 61. Desbalance de corriente medido por cada línea en el Ala Sur

Fecha	Medición de corriente de línea [A]				Desbalance de corriente [%]		
	L1	L2	L3	Promedio	DI_1	DI_2	DI_3
07/01	65,10	61,19	63,73	63,34	2,8	3,4	0,6
08/01	54,23	52,22	57,75	54,73	0,9	4,6	5,5
09/01	57,99	50,59	57,03	55,20	5,1	8,4	3,3
10/01	58,44	53,37	55,98	55,93	4,5	4,6	0,1
11/01	36,87	33,61	38,55	36,35	1,4	7,5	6,1
12/01	29,49	27,28	26,26	27,68	6,6	1,4	5,1
13/01	54,05	52,61	53,66	53,44	1,1	1,5	0,4
14/01	52,05	45,53	56,06	51,21	1,6	11,1	9,5

Fuente: Autor

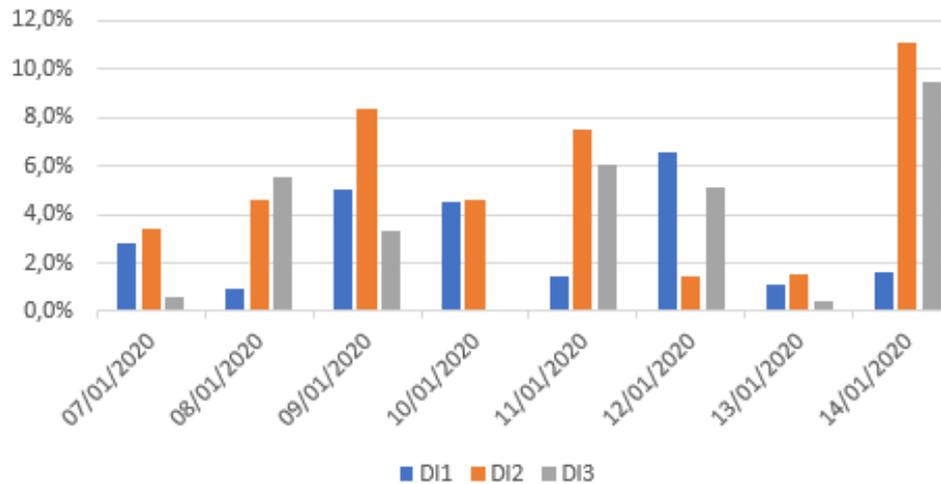


Figura 87. Desbalance de corriente por línea en el Ala Sur

Fuente: Autor

- Realizar combinaciones entre los diferentes circuitos asociados a cada línea de la red eléctrica del tablero en el Ala Sur para el día 14/01/2020, visto en la Figura 88.

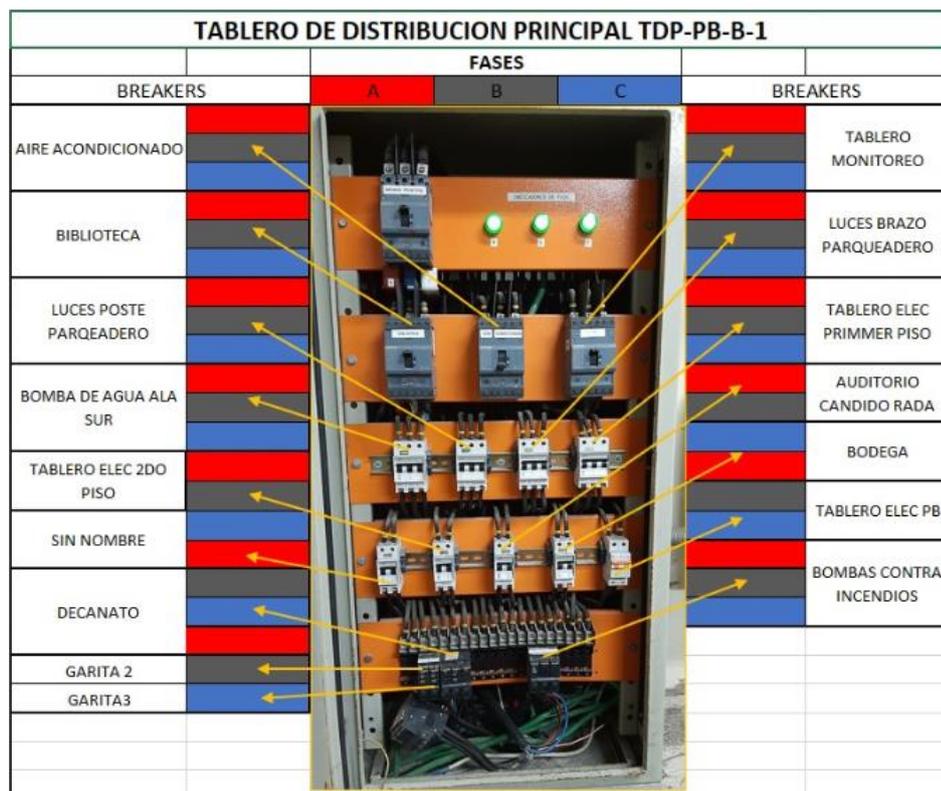


Figura 88. Distribución de breakers en el tablero TDP-PB-B-1 Ala Sur

Fuente: Autor

- Por último, se tendría un resultado estimado para la obtención de un mejor balance de corriente, tal como se indica en la Tabla 62 y Figura 89. Por último, esos valores cumplirán con la normativa (< 10 %).

Tabla 62. Desbalance de corriente estimado por cada línea en el Ala Sur

Fecha	Medición de corriente de línea [A]				Desbalance de corriente [%]		
	L1	L2	L3	Promedio	DI_1	DI_2	DI_3
07/01	65,10	61,19	63,73	63,34	2,8%	3,4%	0,6%
08/01	54,23	54,22	55,75	54,73	0,9%	0,9%	1,9%
09/01	55,99	54,59	55,03	55,20	1,4%	1,1%	0,3%
10/01	58,44	53,37	55,98	55,93	4,5%	4,6%	0,1%
11/01	35,87	35,61	37,55	36,35	1,3%	2,0%	3,3%
12/01	27,49	27,28	28,26	27,68	0,7%	1,4%	2,1%
13/01	54,05	52,61	53,66	53,44	1,1%	1,5%	0,4%
14/01	52,05	50,53	51,06	51,21	1,6%	1,3%	0,3%

Fuente: Autor

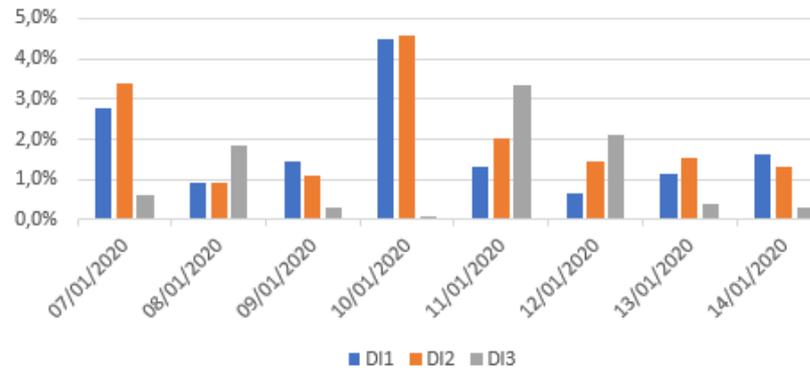


Figura 89. Desbalance de corriente estimado por línea en el Ala Sur

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Se realiza un levantamiento de información sobre el bloque B del campus el Girón de la Universidad Politécnica salesiana, dicha información es determinada mediante el analizador de red Fluke 435, secuencímetro Pro'skit 8PK-ST850, cámara Fluke Ti450 y el probador de resistencia a tierra Extech 382252.
- Por medio de la regulación CONELEC 004/01 se determinó que todos los parámetros de calidad de energía cumplen con la normativa, es decir, que están dentro del $\pm 10\%$ de nivel de voltaje, poseen un factor de potencia mínimo de 0.92 y están dentro del 5 y 6% los armónicos de orden 3, 5 y 7. El nivel más alto de voltaje recae en el Ala Sur por un valor del 2.29 % el día 11 de enero, en cambio el valor más bajo del factor de potencia ocurre el día 19 de enero sobre la línea 3 del circuito 2 Ala Norte por un valor de 0.92. Cabe mencionar que los valores de distorsión armónica no superan el 2.17 % en los circuitos 1 y 2. Por último, se realiza un balance de corriente en las Alas Norte y Sur, para disminuir el 10 % establecido por los límites establecidos en el Fluke 435.
- Se utiliza el método de caída de potencial o 3 tres puntos para determinar la resistencia de puesta a tierra en el centro de datos, generadores y tableros de distribución principal, donde se determinó una resistencia de tierra de 5.1 ohmios en el generador 1, esto implica que supera el valor establecido por la norma IEEE 142-2007, por lo que se rediseñó un nuevo sistema de puesta a tierra para bajar el valor de resistencia a 5 ohmios bajo la norma IEEE 80-2013.
- Se realizaron inspecciones termográficas en los tableros y sub-tableros del sistema eléctrico del Ala Sur y Norte a fin de determinar el grado de relevancia que poseen los elementos instalados en los tableros; donde el factor de mayor grado de relevancia se sitúa en el breaker principal del Laboratorio de biotecnología ubicado en el sub-tablero principal STP-SP-B-1 del Ala Norte, ya que posee una diferencia de temperatura de 58.4 °F. Para ello, se ha propuesto una medida de limpieza total del breaker y balance de cargas entre las líneas 1 y 3.
- Se ha comprobado que posee una correcta secuencia de fases en el ATS a través del secuencímetro de medición.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo anual de los elementos del sistema eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana Campus el Girón Bloque B, para prevenir daños a futuro.
- Se recomienda utilizar los parámetros indicados en el diseño de puesta a tierra para el generador 1. Además, se puede emplear la malla de tierra para el generador 2 cuando está ya no cumpla con la normativa.
- Colocar pozos de revisión de las picas de puesta a tierra, en cada uno de los 5 sistemas de puesta a tierra.
- Realizar ensayos sobre el breaker cuando esté desconectado de la red y carga. Para ello, se realizan las siguientes pruebas de ensayo: resistencia de aislamiento, resistencia de contacto, disparo por sobrecarga, inyectando corriente para la simulación de sobrecarga o falla y funcionamiento mecánico del breaker.
- Para realizar un balance de cargas de todo el sistema eléctrico del Campus el Girón bloque B, se recomienda utilizar los planos levantados en el presente trabajo de la Universidad Politécnica Salesiana mostrados en la figura 20 que corresponde al ala sur y la figura 21 que corresponde al ala norte.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Torres, «Tecnologías que cambiaron el mundo: energía eléctrica,» 2014. [En línea]. Available: <https://hipertextual.com/archivo/2014/09/energia-electrica/>. [Último acceso: 30 enero 2020].
- [2] CONELEC, «Regulación No. CONELEC - 004/01,» Consejo Nacional de Electricidad, Quito, 2016.
- [3] S. Chapman, Máquinas Eléctricas, Bogotá: Mc Graw Hill, 2012.
- [4] Demaquinasyherramientas, «De Maquinas y Herramientas,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/>. [Último acceso: 30 enero 2020].
- [5] J. Suárez, «"ESTUDIO PARA EL BALANCEO DE LA CARGA DEL ALIMENTADOR ANCONCITO DE 13.8 KV UBICADO EN EL CANTÓN SALINAS PROVINCIA DE SANTA ELENA",» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2019.
- [6] MEER, «Catálogo Digital Redes de distribución de Energía Eléctrica,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.unidadesdepropiedad.com/>. [Último acceso: 31 enero 2020].
- [7] Inpe, «Cómo funciona una transferencia automática,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.inpesv.com/productos/como-funciona-una-transferencia-automatica/>. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [8] Bricos, «Tableros de distribución,» 2012. [En línea]. Available: <https://bricos.com/2012/10/tableros-de-distribucion/>. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [9] J. Gudel y P. González, Instalaciones eléctricas interiores, Barcelona: Marcombo, 2012.
- [10] G. Rojas, «Manual de Sistemas de Puesta a Tierra,» Gedisa, Cochabamba, 2010.
- [11] Iecor, «Calidad de energía eléctrica,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [12] T. Floyd, Principios de circuitos eléctricos, Atlacomulco: Prentice Hall, 2007.

- [13] A. Fitzgerald, C. Kingsley y S. Umans, Máquinas Eléctricas, México: McGraw Hill, 2004.
- [14] Ecured, «EcuRed: Enciclopedia cubana,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [15] J. Varela y F. Alvarado, «Banco de Pruebas para filtrado de armónicos en las redes eléctricas,» Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2015.
- [16] D. Liu, S. Liu y S. Z. N. Ding, «"RESEARCH ON HARMONIC FEATURES OF HIGH-POWER DOUBLY-FED HYDRO-GENERATOR",» Universidad de Ciencia y Tecnología Harbin, China, Harbin, 2014.
- [17] W. Nash, «Diferencia entre potencia activa,potencia aparente ,y potencia reactiva y como se calcula y sus usos?,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/86nxtev4goe8t67w/diferencia-entre-potencia-activa-potencia-aparente-y-potencia-reativa-y-como-se-calcula-y-sus-usos>. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [18] S. Hermosillo, «Factor de potencia en iluminación,» 2017. [En línea]. Available: <https://imlux.mx/noticias-implux/>. [Último acceso: 03 febrero 2020].
- [19] FLUKE, «Fluke Corporation,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-ec>. [Último acceso: 04 febrero 2020].
- [20] Toolboom, «Indicador de secuencia de fases Pro'skit 8PK-ST850,» 2020. [En línea]. Available: <https://toolboom.com/es/phase-sequence-indicator-pro-skit-8pk-st850/>. [Último acceso: 05 febrero 2020].
- [21] Omega, «Cámara termográfica,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/camara-termografica.html>. [Último acceso: 04 febrero 2020].
- [22] Extech, «382252: Kit de prueba de resistencia de tierra física,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.extech.com/products/382252>. [Último acceso: 05 febrero 2020].
- [23] I. 142-2007, «IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems,» IEEE, New York, 2007.

- [24] I. 80-2013, «Guía para la Seguridad de puesta a tierra en Subestaciones de C.A.,» IEEE, New York, 2000.
- [25] A. ATS-2009, «STANDARD FOR ACCEPTANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Equipment and Systems,» InterNational Electrical Testing Association, Portage, 2009.
- [26] UPS, «Universidad Politécnica Salesiana,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ups.edu.ec/>. [Último acceso: 04 febrero 2020].
- [27] GoogleMaps, «Google Maps,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.2080439,-78.4880299,18z?hl=es-419>. [Último acceso: 04 febrero 2020].
- [28] S. Lozano, «Reporte de calidad de energía Alas Sur y Norte,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020.
- [29] S. Lozano, «Reporte cámara termográfica del bloque B,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020.
- [30] ElectricaAplicada, «Como realizar mantenimiento a los interruptores eléctricos en baja tension,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.electricaplicada.com>.

ANEXOS

Anexo 1. Diseño de puesta a tierra para el Generador 1 en Matlab.....	99
Anexo 2. Malla de puesta a tierra para el Generador 1 en ETAP	102
Anexo 3. Diseño de puesta a tierra para el Generador 2 en Matlab.....	106
Anexo 4. Malla de puesta a tierra para el Generador 2 en ETAP	109

Anexo 1. Diseño de puesta a tierra para el Generador 1 en Matlab

```
clc
clear all
close all
%% Dimensionamiento de malla de puesta a tierra del generador 1
%% Datos
ts=0.1; %% tiempo de duracion de la falla seg
z1=0+0.16*i; %% impedancia de secuencia positiva ohms
z0=0+0.10*i; %% impedancia de secuencia zero ohms
p=5; %% resistividad del terreno ohm-m.
ps=2500; %% resistividad superficial del terreno ohm-m.
% hs=0.05; %% espesor de la capa superficial en metros.
hs=0.05; %% espesor de la capa superficial en metros.
% h=0.5; %% profundidad de la malla de puesta a tierra.
h=0.5; %% profundidad de la malla de puesta a tierra.
%% largo y ancho de la malla
% largo=5.11; %% largo de la malla en m.
% ancho=3.86; %% ancho de la malla en m.
largo=2; %% largo de la malla en m.
ancho=2; %% ancho de la malla en m.
volt=380; %% Nivel de voltaje
rf=0;
D=1; %% distancia entre conductores para la malla
Sf=0.6;
ho=1; %% Profundidad de referencia
%% Factor de seguridad y factor de decremento
A=1;
Df=1.125;
%% Caracteristicas del conductor
T_amb=40; %% temperatura ambiente grados centigrados;
T_fus=1084; %% temperatura de fusion grados centigrados;
Kf=7.06; %% constante de conductor
%% Empieza procedimiento
z1_r=real(z1);
z1_im=imag(z1);
z0_r=real(z0);
z0_im=imag(z0);
area=largo*ancho; %% area total de la malla.
temp=(largo+ancho)/2;
if(temp<10)
    temp=floor(temp);
    area_m=temp*temp;
else
    if(temp>=10)
        temp1=string(temp);
        C = strsplit(temp1, '.');
        letra=char(C(1));
        dim_c =str2double(C(1)) -str2double(letra(2));
        area_m=dim_c*dim_c;
    end
end
%% Cálculo de corriente de corto circuito
x=3*rf+(z1_r+z1_r+z0_r);
y=(z1_im+z1_im+z0_im);
[theta,rho] = cart2pol(x,y);
Io=3*(volt/sqrt(3))/rho;
disp(strcat('La corriente trifasica de corto circuito es:
',num2str(Io),'-A'));
%% Consideracion de factores de seguridad y Df
```

```

Io=Io*A*Df;
disp(strcat('La corriente trifasica de corto circuito es
considerando Df y A: ',num2str(Io),'-A'));
%% Cálculo de diametro de conductor
Akcml=Io*Kf*sqrt(ts)/1000;
%% Conversión a mm^2
A_mm=Akcml*0.5067;
d=sqrt((4*A_mm)/pi);%% diametro en milímetros
disp(strcat('El diametro del conductor es: ',num2str(d),'-mm'));
d_m=d/1000;%% diametro en metros
disp(strcat('El diametro del conductor es: ',num2str(d_m),'-m'));
%% Diametro minimo recomendado
d_min=0.01;%% Diametro minimo recomendado IEEE
%% Cálculo de factor de reflexión
k=(p-ps)/(p+ps);
disp(strcat('El factor de reflexión es: ',num2str(k)));
%% Cálculo de factor de reducción
Cs=1-((0.09*(1-p/ps))/(2*hs+0.09));
disp(strcat('El factor de reducción: ',num2str(Cs)));
%% Cálculo de voltaje de paso admisible considerando un cuerpo de
70kg
Estep_70=((1000+6*Cs*ps)*0.157)/sqrt(ts);
disp(strcat('El voltaje de paso admisible es: ',num2str(Estep_70),'-
volts'));
%% Cálculo de voltaje de toque admisible considerando un cuerpo de
70kg
Etouch_70=((1000+1.5*Cs*ps)*0.157)/sqrt(ts);
disp(strcat('El voltaje de toque admisible es:
',num2str(Etouch_70),'-volts'));
%% Diseño preliminar
xx=0:D:temp;
yy=0:D:temp;
[a,b]=meshgrid(xx,yy);
plot(a,b,a',b','linewidth',3,'color',[1 0 0]);
title('Diseño de malla de puesta a tierra generador 1')
%% Longitud total del conductor a utilizar
Lt=2*temp*length(xx);
%% Calculo de la resistencia de puesta a tierra
Rg=p*((1/Lt)+(1/sqrt(20*area_m))*(1+(1/(1+h*sqrt(20/area_m)))));
disp(strcat('La resistencia de puesta a tierra es: ',num2str(Rg),'-
ohms'));
%% Calculo de la corriente maxima de la malla
Ig=Df*Sf*Io;
disp(strcat('La corriente maxima(Ig) en la puesta a tierra es:
',num2str(Ig),'-A'));
%% Calculo de GRP
GRP=Ig*Rg;
disp(strcat('El potencial GRP de la puesta a tierra es:
',num2str(GRP),'-volts'));
if(GRP<Etouch_70)
    disp(strcat('La puesta a tierra cumple con el voltaje de paso
admitido'));
else
    disp(strcat('La puesta a tierra no cumple con el voltaje de paso
admitido'));
end
%% Calculo de voltaje de malla km
kii=1/((2*length(xx))^(2/length(xx)));
kh=sqrt(1+(h/ho));
km=(1/(2*pi))*((log(((D^2)/(16*h*d_min)))+((D+2+h)^2)/(8*D*h)-
(h/(4*d_min))))+(kii/kh)*log(8/(pi*(2*length(xx)-1)));

```

```

disp(strcat('El factor geometrico km es: ', num2str(km)));
%% Calculo del factor ki
Lc=Lt;%% en metros
Lp=temp*4;
Lr=0;%% debido a que no se usa barras
na=(2*Lc)/Lp;
nb=1;
nc=1;
nd=1;
n_ki=na*nb*nc*nd;
ki=0.644+0.148*n_ki;
%% Calculo de Em
Em=(p*Ig*km*ki)/(Lc+Lr);
disp(strcat('El potencial Em de la malla es: ', num2str(Em), '-
volts'));
if(Em<Etouch_70)
    disp(strcat('La puesta a tierra cumple con el voltaje de toque
admitido'));
else
    disp(strcat('La puesta a tierra no cumple con el voltaje de
toque admitido'));
end

```

Anexo 2. Malla de puesta a tierra para el Generador 1 en ETAP

Programa Analizador de Transitorios Eléctricos

Sistema de PAT

IEEE Std 80-2000/2013

Número de Conductores de Tierra: 6

Número de Picas: 0

Longitud Total de Conductores de Tierra: 12.00 m

Longitud Total de Picas: 0.00 m

Tiempo Computacional Total: 0.00 minutos

Frecuencia: 50,0

Sistema Unidades: Metric

Nombre Archivo Proyecto: tierra_gen1

Proyecto:	ETAP	Página:	2
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	04-22-2020
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: GRD1	Nombre de Archivo:	tierra_gen1

Datos de Entrada de Malla de PAT

Datos del Sistema

Frec. Hz	Peso kg	Ambiente Temp. °C	Corriente de Cortocircuito				Duración de la Falta (segundos)		
			Total Falta Corrient kA	Sf División Factor X/R	Cp Proyección Factor %	Tf para Falta Total Duración	Tc para el Dimen Tierra Conductores	Ts para Disponible Corriente a tr	
50,0	70	40,00	1.700	11.40	60.0	100.0	0.10	0.10	0.10

Datos de Suelo

Material de la Superficie			Suelo de Estrato Superior			Suelo de Estrato Inferior	
Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad m	Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad m	Tipo de Material	Resistividad ohm.m
Clean limestone	2500.0	0.050	Wet organic soil	5.0	100.00	Wet organic soil	5.0

Constantes de Material

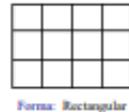
Conductor/Pica	Tipo	Conductividad %	Factor r		Fusión Temperatura °C	Resistividad de Conductor de Tierra @ 20°C micro ohm.cm	Térmico Capacidad Volumen por Unid J/(cm ³ .°C)
			@ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C			
Conductor	Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.00381	242.0	1084.0	1.78	3.42

Datos Picas

Díámetro cm	Longitud m	No. de Picas	Arreglo	Costo \$/Pica
0.010	0.00	0	Rods Throughout Grid Area	100.00

Configuración de la Malla

Conductor Tamaño mm ²	Profundid m	Longitud de la malla de PAT m		Número de Conductor		Separación m		Costo \$/m
		Lx	Ly	en X Dirección	en Y Dirección	en X Dirección	en Y Dirección	
6	0.50	2.00	2.00	3	3	1.0	1.0	10.00



Costo

Conductor			Pica			Costo Total \$
Total No.	Longitud Total m	Costo \$	Total No.	Longitud Total m	Costo \$	
6	12	120.00	0	0	0.00	120.00

Proyecto:	ETAP	Página:	3
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	04-22-2020
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: GRD1	Nombre de Archivo:	tierra_gen1

Informe Resumen de la Malla de PAT

Rg Tierra	GPR Tierra	Potencial de Contacto			Potencial de Paso		
		Admisible	Calculado		Admisible	Calculado	
			Voltios	Voltios		%	Voltios
Resistencia ohm	Aumento de Po Voltios						
1.240	1475.3	1478.1	432.0	29.2	4423.1	496.1	11.2

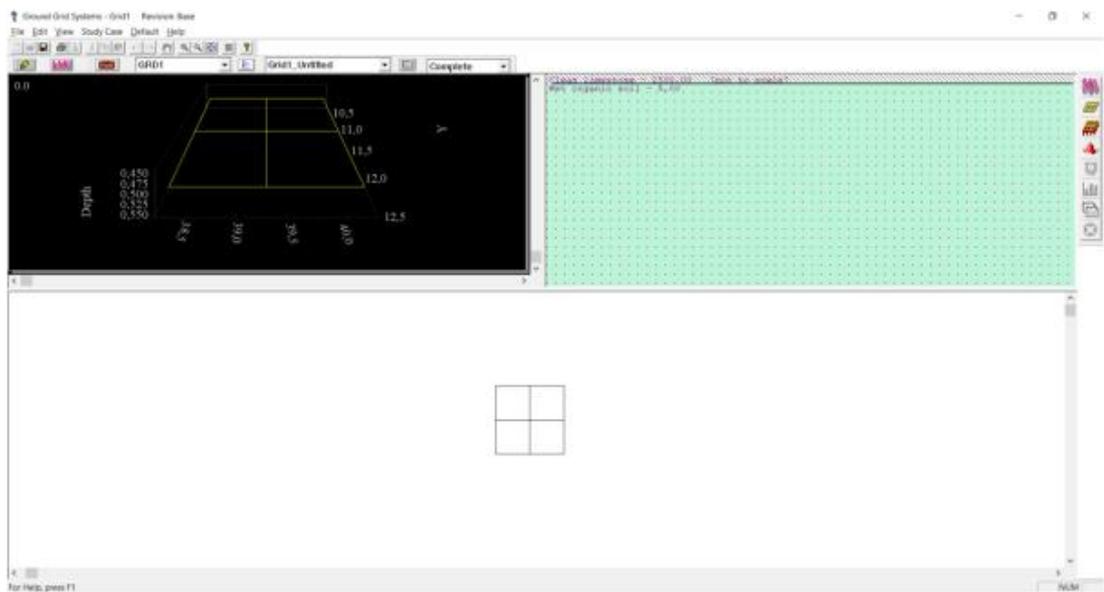
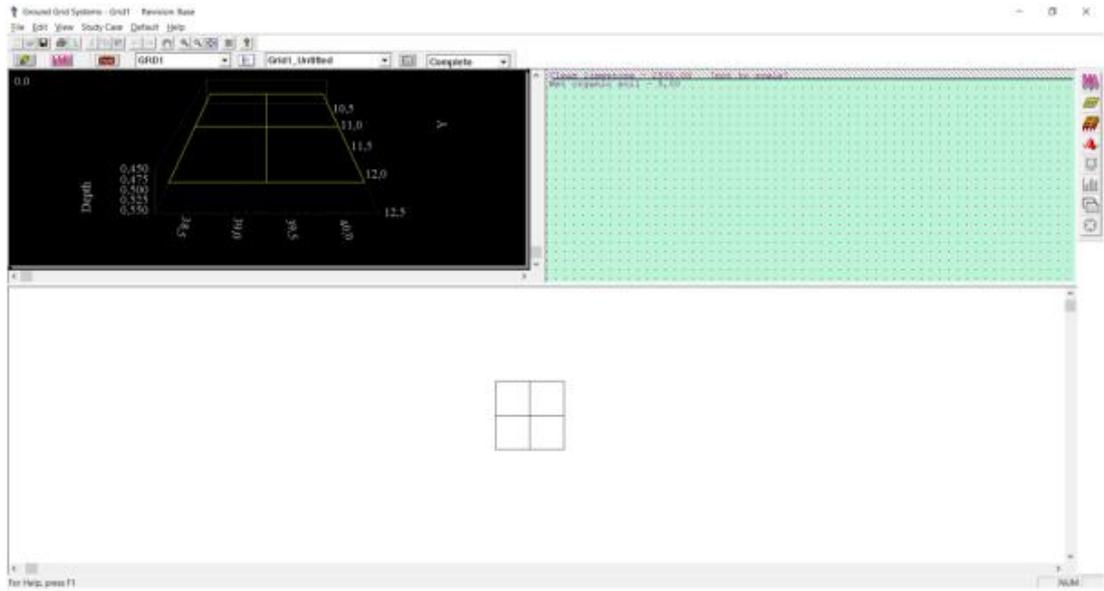
Corriente Falta Total:	1.700 kA	Factor Reflexión (K):	-0.996
Corriente de Malla Máxima:	1.190 kA	Factor Decaimiento Capa Superficial (Cs):	0.527
		Factor Decremental (Df):	1.167

Longitud de la Malla es menor que 6.25 m² o mayor que 10,000 m².

Espaciamiento entre conductores en paralelo es menor que 2.5 m o mayor que 22.5 m.

Informe de Constantes Intermedias para Método IEEE 80

- Factor corrección para geometría de la malla debido a tensión de toque (K_{im}): 1.088
- Factor corrección para geometría de la malla debido a tensión de paso (K_{is}): 1.088
- Factor espaciamiento para tensión de toque (K_m): 0.801
- Factor espaciamiento para tensión de paso (K_s): 0.690
- Factor correctivo de ponderación que ajusta los efectos de los conductores interiores sobre la esquina de la malla (K_{ii}): 0.303
- Constantes 1 relacionadas a la geometría del sistema (K₁): 1.368
- Constantes 1 relacionadas a la geometría del sistema (K₂): 5.625



GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	432	1478.1
Step	496.1	4423.1

GPR 1475.3 Volts Rg 1.24 Ohm

Alarm & Warnings

Grid area is smaller than 6.25 sq.m or is greater than 10,000 sq.m
 Spacing between parallel conductors is smaller than 2.5 m or is greater than 22.5 m

Close Help

Anexo 3. Diseño de puesta a tierra para el Generador 2 en Matlab

```
clc
clear all
close all
%% Dimensionamiento de malla de puesta a tierra generador 2
%% Datos
ts=0.1; %% tiempo de duracion de la falla seg
z1=0+0.16*i; %% impedancia de secuencia positiva ohms
z0=0+0.10*i; %% impedancia de secuencia zero ohms
p=5; %% resistividad del terreno ohm-m.
ps=2500; %% resistividad superficial del terreno ohm-m.
% hs=0.05; %% espesor de la capa superficial en metros.
hs=0.02; %% espesor de la capa superficial en metros.
% h=0.5; %% profundidad de la malla de puesta a tierra.
h=0.5; %% profundidad de la malla de puesta a tierra.
%% largo y ancho de la malla
% largo=5.11; %% largo de la malla en m.
% ancho=3.86; %% ancho de la malla en m.
largo=4.71; %% largo de la malla en m.
ancho=3.16; %% ancho de la malla en m.
volt=380; %% Nivel de voltaje
rf=0;
D=1.5; %% distancia entre conductores para la malla
Sf=0.6;
ho=1; %% Profundidad de referencia
%% Factor de seguridad y factor de decremento
A=1;
Df=1.125;
%% Caracteristicas del conductor
T_amb=40; %% temperatura ambiente grados centigrados;
T_fus=1084; %% temperatura de fusion grados centigrados;
Kf=7.06; %% constante de conductor
%% Empieza procedimiento
z1_r=real(z1);
z1_im=imag(z1);
z0_r=real(z0);
z0_im=imag(z0);
area=largo*ancho; %% area total de la malla.
temp=(largo+ancho)/2;
if(temp<10)
    temp=floor(temp);
    area_m=temp*temp;
else
    if(temp>=10)
        temp1=string(temp);
        C = strsplit(temp1, '.');
        letra=char(C(1));
        dim_c =str2double(C(1)) -str2double(letra(2));
        area_m=dim_c*dim_c;
    end
end
%% Cálculo de corriente de corto circuito
x=3*rf+(z1_r+z1_r+z0_r);
y=(z1_im+z1_im+z0_im);
[theta,rho] = cart2pol(x,y);
Io=3*(volt/sqrt(3))/rho;
disp(strcat('La corriente trifasica de corto circuito es:
',num2str(Io),'-A'));
%% Consideracion de factores de seguridad y Df
```

```

Io=Io*A*Df;
disp(strcat('La corriente trifasica de corto circuito es
considerando Df y A: ',num2str(Io),'-A'));
%% Cálculo de diametro de conductor
Akcml=Io*Kf*sqrt(ts)/1000;
%% Conversión a mm^2
A_mm=Akcml*0.5067;
d=sqrt((4*A_mm)/pi);%% diametro en milímetros
disp(strcat('El diametro del conductor es: ',num2str(d),'-mm'));
d_m=d/1000;%% diametro en metros
disp(strcat('El diametro del conductor es: ',num2str(d_m),'-m'));
%% Diametro minimo recomendado
d_min=0.01;%% Diametro minimo recomendado IEEE
%% Cálculo de factor de reflexión
k=(p-ps)/(p+ps);
disp(strcat('El factor de reflexión es: ',num2str(k)));
%% Cálculo de factor de reducción
Cs=1-((0.09*(1-p/ps))/(2*hs+0.09));
disp(strcat('El factor de reducción: ',num2str(Cs)));
%% Cálculo de voltaje de paso admisible considerando un cuerpo de
70kg
Estep_70=((1000+6*Cs*ps)*0.157)/sqrt(ts);
disp(strcat('El voltaje de paso admisible es: ',num2str(Estep_70),'-
volts'));
%% Cálculo de voltaje de toque admisible considerando un cuerpo de
70kg
Etouch_70=((1000+1.5*Cs*ps)*0.157)/sqrt(ts);
disp(strcat('El voltaje de toque admisible es:
',num2str(Etouch_70),'-volts'));
%% Diseño preliminar
xx=0:D:temp;
yy=0:D:temp;
[a,b]=meshgrid(xx,yy);
plot(a,b,a',b','linewidth',3,'color',[1 0 0]);
title('Diseño de malla de puesta a tierra generador 2')
%% Longitud total del conductor a utilizar
Lt=2*temp*length(xx);
%% Calculo de la resistencia de puesta a tierra
Rg=p*((1/Lt)+(1/sqrt(20*area_m))*(1+(1/(1+h*sqrt(20/area_m)))));
disp(strcat('La resistencia de puesta a tierra es: ',num2str(Rg),'-
ohms'));
%% Calculo de la corriente maxima de la malla
Ig=Df*Sf*Io;
disp(strcat('La corriente maxima(Ig) en la puesta a tierra es:
',num2str(Ig),'-A'));
%% Calculo de GRP
GRP=Ig*Rg;
disp(strcat('El potencial GRP de la puesta a tierra es:
',num2str(GRP),'-volts'));
if(GRP<Etouch_70)
    disp(strcat('La puesta a tierra cumple con el voltaje de paso
admitido'));
else
    disp(strcat('La puesta a tierra no cumple con el voltaje de paso
admitido'));
end
%% Calculo de voltaje de malla km
kii=1/((2*length(xx))^(2/length(xx)));
kh=sqrt(1+(h/ho));
km=(1/(2*pi))*((log(((D^2)/(16*h*d_min)))+((D+2+h)^2)/(8*D*h)-
(h/(4*d_min))))+(kii/kh)*log(8/(pi*(2*length(xx)-1)));

```

```

disp(strcat('El factor geometrico km es: ', num2str(km)));
%% Calculo del factor ki
Lc=Lt;%% en metros
Lp=temp*4;
Lr=0;%% debido a que no se usa barras
na=(2*Lc)/Lp;
nb=1;
nc=1;
nd=1;
n_ki=na*nb*nc*nd;
ki=0.644+0.148*n_ki;
%% Calculo de Em
Em=(p*Ig*km*ki)/(Lc+Lr);
disp(strcat('El potencial Em de la malla es: ', num2str(Em), '-
volts'));
if(Em<Etouch_70)
    disp(strcat('La puesta a tierra cumple con el voltaje de toque
admitido'));
else
    disp(strcat('La puesta a tierra no cumple con el voltaje de
toque admitido'));
end

```

Anexo 4. Malla de puesta a tierra para el Generador 2 en ETAP

Proyecto:	ETAP	Página:	1
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	04-22-2020
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: GRD1	Nombre de Archivo:	gen2

Programa Analizador de Transitorios Eléctricos

Sistema de PAT

IEEE Std 80-2000/2013

Número de Conductores de Tierra: 6
Número de Picas: 0
Longitud Total de Conductores de Tierra: 18.00 m
Longitud Total de Picas: 0.00 m
Tiempo Computacional Total: 0.00 minutos

Frecuencia: 50,0
Sistema Unidades: Metric
Nombre Archivo Proyecto: gen2

Proyecto:
Ubicación:
Contrato:
Ingeniero:

ETAP
16.0.0C
Caso de Estudio: GRD1

Página: 2
Fecha: 04-22-2020
SN: 4359168
Nombre de Archivo: gen2

Datos de Entrada de Malla de PAT

Datos del Sistema

Free. Hz	Peso kg	Ambiente Temp. °C	Corriente de Cortocircuito				Duración de la Falta (segundos)		
			Total Falta Corrient	SF División Factor	Cp Proyección Factor	Tf para Falta Total Duración	Te para el Dimen Tierra Conductores	Ts para Disponible Corriente a tr	
									kA
50.0	70	40.00	1.700	11.40	60.0	100.0	0.10	0.10	0.10

Datos de Suelo

Material de la Superficie			Suelo de Estrato Superior			Suelo de Estrato Inferior	
Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad m	Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad m	Tipo de Material	Resistividad ohm.m
Clean limestone	2500.0	0.020	Wet organic soil	5.0	5.00	Wet organic soil	5.0

Constantes de Material

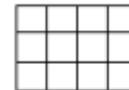
Conductor/Pica	Tipo	Conductividad %	α Factor r @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusión Temperatura °C	Resistividad de Conductor de Tierra @ 20°C micro ohm.cm	Térmico Capacidad Volumen por Unid J/(cm ³ .°C)
Conductor	Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.00381	242.0	1084.0	1.78	3.42

Datos Picas

Díámetro cm	Longitud m	No. de Picas	Arreglo	Costo \$/Pica
2.000	10.00	0	Reds Throughout Grid Area	100.00

Configuración de la Malla

Conductor Tamaño mm ²	Profundid m	Longitud de la malla de PAT m		Número de Conductor		Separación m		Costo \$/m
		Lx	Ly	en X Dirección	en Y Dirección	en X Dirección	en Y Dirección	
6	0.50	3.00	3.00	3	3	1.5	1.5	10.00



Forma: Rectangular

Costo

Conductor			Pica			
Total No.	Longitud Total m	Costo \$	Total No.	Longitud Total m	Costo \$	Costo Total \$
6	18	180.00	0	0	0.00	180.00

Proyecto:
Ubicación:
Contrato:
Ingeniero:

ETAP
16 0 00
Caso de Estudio: GRD1

Página: 3
Fecha: 04-22-2020
SN: 4359168
Nombre de Archivo: gen2

Informe Resumen de la Malla de PAT

Rg Tierra Resistencia ohm	GPR Tierra Aumento de Po Voltios	Potencial de Contacto			Potencial de Paso		
		Admisible Voltios	Calculado Voltios %		Admisible Voltios	Calculado Voltios %	
0.864	1028.3	1071.9	305.4	28.5	2798.2	279.9	10.0

Corriente Falta Total:	1.700 kA	Factor Reflexión (K):	-0.996
Corriente de Malla Máxima:	1.190 kA	Factor Decaimiento Capa Superficial (Cs):	0.309
		Factor Decremental (Df):	1.167

Espaciamento entre conductores en paralelo es menor que 2.5 m o mayor que 22.5 m.

