

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ÁREA DE SOLDADURA EN LA EMPRESA  
CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO UBICADA EN LA CIUDAD DE  
AMBATO, MEDIANTE EL DESARROLLO DE AUDITORÍA ELÉCTRICA.**

**AUTOR:  
MICHAEL ANDRES ESPIN LUZURIAGA**

**TUTORA:  
SILVANA FABIOLA VARELA CHAMORRO**

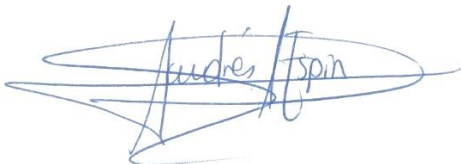
**Quito D.M., Febrero del 2022**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Michael Andres Espin Luzuriaga, con documento de identificación N° 175127785-4, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politecnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ÁREA DE SOLDADURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO, MEDIANTE EL DESARROLLO DE AUDITORÍA ELÉCTRICA., mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, 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.

Quito D.M.,Febrero del 2022



-----  
Michael Andrés Espín Luzuriaga

CI. 175127785-4

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ÁREA DE SOLDADURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO, MEDIANTE EL DESARROLLO DE AUDITORÍA ELÉCTRICA, realizado por Michael Andres Espin Luzuriaga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito D.M.,Febrero del 2022



---

Silvana Fabiola Varela Chamorro

C.I. 171356581-8

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación va dedicado a mi madre, ella es la que me ha sacado adelante sola, me ha visto en las mejores y peores facetas de mi carrera Universitaria, sin importar el sacrificio económico, malas noches, estrés, ha sido la que me ha puesto su hombro para desahogarme y aconsejarme para ser mejor cada día, es el primer pilar más fuerte de mi vida, gracias a su amor y comprensión estoy en la recta final de mi carrera.

También, quiero dedicar este triunfo a mis abuelitos, ellos son el segundo pilar de mi vida brindándome un cálido abrazo, un plato de comida, me cuidaron desde muy pequeño, haciéndome sentir el calor paternal que nunca tuve, inculcándome valores y el amor hacia la familia. A mi tío que gracias a sus consejos y experiencias que me han ayudado a ver lo que es bueno y lo que es malo para mi vida, cuando he tenido momentos de dificultad, él ha estado ahí cuando lo he necesitado.

También agradecer a mis padrinos Jorge y Carlos que me han encaminado y guiado en la selección de la carrera, porque sé que yo no elegí la carrera, la carrera me eligió a mí, también por impartirme su sabiduría con los consejos de no darme por vencido cuando las batallas en los semestres se tornaban difíciles.

A mi buen amigo Freddy Maldonado, es un gran amigo y un precursor en ayudarme a llegar a la meta, con el aporte de ideas para los diferentes proyectos que se ha presentado durante toda de la carrera.

**Michael Andres Espin Luzuriaga**

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento es para mi padre celestial Jehová porque "Dios sin mi seguirá siendo Dios pero yo sin él no soy nada", gracias por darme discernimiento, sabiduría, energía e inteligencia para aprobar todos los semestres de esta carrera tan maravillosa, en segundo lugar a mi madre mi apoyo incondicional, porque siempre fue y será mi luz, me enseñó valores y principios, aprendí a ser una buena persona, luchar por lo mis metas que tanto anhelo, en la vida se presentarán tropiezos pero seguiré avanzado no importa cuántas veces caiga pero seguiré avanzado porque así es como se gana, recordando que todo en esta vida se adquiere experiencia para no volver a cometer el mismo error.

También, a cada una de las personas allegadas a mí que me han aportado con una palabra de aliento, un consejo para seguir adelante, a mis amigos que hecho en el trayecto Universitario, bien dicen que los amigos que se forja en las aulas de clase son para siempre.

A mis maestros de clase que compartieron sus conocimientos como también sus experiencias; agradezco al ingeniero Franklin Erreyes a quien lo conocí mientras hice una pasantía, me ayudó a nutrirme de conocimientos en el área eléctrica así como con varios consejos para la vida; hay que resaltar que esta carrera tiene muchas áreas de conocimiento por descubrir, también hay que destacar que la dedicación y la disciplina tarde o temprano vencerá a la inteligencia.

Finalmente mi gratitud con la ingeniera Silvana Varela por su labor de tutora, con sus recomendaciones pude finalizar el proyecto de titulación propuesto, es una persona increíble le agradezco infinitamente.

**Michael Andres Espin Luzuriaga**

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
GLOSARIO .....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1 .....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Problema.....	1
1.3    Objetivos .....	2
1.3.1    Objetivo general .....	2
1.3.2    Objetivos específicos .....	2
1.4    Alcance .....	3
1.5    Descripción del trabajo.....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1    Auditoría energética .....	5
2.2    Auditoría eléctrica .....	5
2.2.1    Beneficios de la auditoría.....	5
2.2.2    Objetivos de la auditoría eléctrica.....	6
2.2.3    Tipos de auditoría.....	6
2.2.4    Etapas de la auditoría .....	7
2.3    Tipos de cargas .....	10
2.4    Armónicos .....	12

2.5	Calidad de la energía eléctrica.....	13
2.5.1	Calidad de producto de responsabilidad de la distribuidora .....	14
2.5.2	Calidad de responsabilidad del consumidor.....	18
2.6	Filtros.....	20
2.6.1	Filtros Activos .....	20
2.6.2	Filtros pasivos .....	20
2.7	Iluminación.....	27
2.8	Inspección termográfica .....	31
2.9	Pliego tarifario .....	33
CAPÍTULO 3: CIAUTO CIA. LTDA. ....		35
3.1	Área de soldadura. ....	36
3.1.1	Descripción del sistema eléctrico actual. ....	37
3.1.2	Datos técnicos de los equipos instalados. ....	42
3.2	Mediciones de calidad del producto .....	52
3.3	Niveles de iluminación .....	53
3.4	Inspección termográfica .....	56
CAPITULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		57
4.1	Potencia .....	57
4.2	Factor de potencia .....	63
4.3	Calidad del producto de responsabilidad de la distribuidora.....	66
4.3.1	Nivel de voltaje .....	66
4.3.2	Perturbación rápida de voltaje (Flicker).....	68
4.3.3	Distorsión armónica de voltaje.....	71
4.3.4	Desequilibrio de voltaje .....	76
4.4	Calidad de responsabilidad del consumidor .....	78
4.5	Revisión de los niveles de iluminación. ....	90
4.6	Inspección termográfica .....	100

CAPÍTULO 5: PROPUESTAS DE MEJORA .....	107
5.1    Para la calidad de la energía. ....	107
5.2    Para los niveles de iluminación .....	118
5.3    Para disminuir la temperatura de los equipos.....	118
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
6.1    Conclusiones .....	120
6.2    Recomendaciones .....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121
ANEXOS .....	124



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Analizador de energía-Fluke 435 categoría 1.....	8
Figura 2. Luxómetro digital - Lux Meter ar823.....	9
Figura 3. Cámara termográfica Flir E4.....	9
Figura 4. Carga con comportamiento lineal.....	11
Figura 5. Carga con comportamiento no lineal.....	11
Figura 6. Comportamiento de los armónicos.....	12
Figura 7. Fluctuaciones de voltaje.....	17
Figura 8. Interrupción breve de voltaje.....	18
Figura 9. Conceptos de iluminación.....	28
Figura 10. Geometría del local.....	29
Figura 11. Criterios pliego tarifario 2021.....	34
Figura 12. Proceso de auditoría eléctrica.....	35
Figura 13. Partes del vehículo (CKD).....	36
Figura 14. Tipos de vehículos.....	36
Figura 15. Área de soldadura.....	37
Figura 16. Diagrama unifilar simplificado.....	38
Figura 17. Celda de protección QM SM6-24kV.....	39
Figura 18. Transformador de 800 kVA.....	40
Figura 19. Tablero de distribución principal.....	41
Figura 20. Conexión de Ducto Barra.....	42
Figura 21. Soldadura de punto baja frecuencia.....	43
Figura 22. Soldadura de punto media frecuencia.....	44
Figura 23. Datos de placa caja de protección.....	46
Figura 24. Protección caja moldeada para la soldadura de punto.....	46
Figura 25. Conexión del analizador de energía FLUKE 435-I.....	52
Figura 26. Diagrama unifilar del área de soldadura e iluminación.....	53
Figura 27. Áreas de trabajo.....	55
Figura 28. Perfil de potencia activa.....	58
Figura 29. Curva de potencia activa total.....	59
Figura 30. Perfil de potencia reactiva.....	60
Figura 31. Curva de potencia reactiva total.....	61
Figura 32. Perfil de potencia aparente.....	62

Figura 33. Curva de potencia aparente total.....	63
Figura 34. Factor de potencia.....	64
Figura 35. Perfil de potencia activa, reactiva y factor de potencia min Día 12. ....	65
Figura 36. Medición de puesta a tierra área de soldadura.....	66
Figura 37. Variación de voltaje-neutro Línea 1. ....	68
Figura 38. Voltaje vs Flicker.....	69
Figura 39. Flicker del sistema. ....	71
Figura 40. Armónicos individuales del sistema. ....	74
Figura 41. THD por cada línea.....	76
Figura 42. Desequilibrio secuencia negativa. ....	78
Figura 43. Corrientes línea-neutro. ....	79
Figura 44. Armónicos de corriente en el sistema.....	87
Figura 45. Factor de distorsión de demanda total del sistema. ....	89
Figura 46. Análisis termográfico Bomba 7,5 kW .....	100
Figura 47. Análisis termográfico tablero de iluminación área de soldadura.....	101
Figura 48. Análisis termográfico tablero de distribución principal.....	102
Figura 49. Análisis termográfico tablero de control de bombas. ....	103
Figura 50. Análisis termográfico bornes del transformador de 800 kVA. ....	104
Figura 51. Análisis termográfico Ducto barra.....	105
Figura 52. Análisis termográfico tablero de distribución principal.....	106
Figura 53. Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 1 .....	109
Figura 56. Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 1.....	110
Figura 55. Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 2.....	112
Figura 56. Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 2. ....	114
Figura 57. Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 3.....	116
Figura 60. Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 3. ....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Secuencia de armónicos en sistemas trifásicos balanceados. ....	13
Tabla 2. Límites establecidos por IEEE Std 18-2018. ....	26
Tabla 3. Número de puntos de medición .....	30
Tabla 4. Iluminación recomendada por la norma europea UNEN- EN-12464-1. ....	30
Tabla 5. Iluminación recomendada por la Norma Ecuatoriana INEN 1154. ....	31
Tabla 6. Clasificación de motores. ....	33
Tabla 7. Datos de placa celda de protección QM SM6-24kV .....	38
Tabla 8. Datos de placa de transformador de 800 kVA .....	39
Tabla 9. Taps del transformador de 800 KVA. ....	40
Tabla 10. Datos de placa Ducto barra .....	41
Tabla 11. Datos de placa soldadura de punto baja frecuencia .....	42
Tabla 12. Datos de placa soldadura de punto media frecuencia. ....	43
Tabla 13. Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de baja frecuencia (Shineray). ....	44
Tabla 13. Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de baja frecuencia (M4). .....	44
Tabla 15. Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de media frecuencia (Wingle). ....	45
Tabla 16. Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de media frecuencia (Baldes). ....	45
Tabla 17. Datos de placa Tecle de 250 kg. ....	47
Tabla 18. Datos de placa Tecle de 500 kg .....	47
Tabla 19. Datos de placa Tecle de 1000 kg. ....	47
Tabla 20. Datos de placa Tecle de 2000 kg. ....	48
Tabla 21. Distribución de tecles en el área Shineray .....	48
Tabla 22. Distribución de tecles en el área M4. ....	48
Tabla 23. Distribución de tecles en el área Baldes. ....	49
Tabla 24. Distribución de tecles en el área Wingle. ....	49
Tabla 25. Distribución de tecles en el área salida de carrocería. ....	49
Tabla 26. Datos de placa Bomba de agua 7,5 kW .....	49
Tabla 27. Datos de placa Bomba de agua 1,1 kW. ....	50
Tabla 28. Datos de placa Bomba de agua 0,75 kW .....	50

Tabla 29. Datos de placa Bomba de agua 0,43 kW. ....	50
Tabla 30. Datos de placa Ventiladores de 1,5 kW. ....	50
Tabla 31. Datos de placa Suelda Mic YD-500GR. ....	51
Tabla 32. Carga instalada. ....	51
Tabla 33. Potencia activa del sistema. ....	57
Tabla 34. Potencia reactiva del sistema ....	59
Tabla 35. Potencia aparente del sistema ....	61
Tabla 36. Factor de potencia en el área de soldadura. ....	64
Tabla 37. Valores medidos de voltaje en el neutro ....	66
Tabla 38. Comparación de datos nivel de voltaje. ....	67
Tabla 39. Datos promedios de nivel de voltaje ....	67
Tabla 40. Comparación de datos flicker. ....	70
Tabla 41. Valores promedios de flicker. ....	70
Tabla 42. Comparación de datos factor de distorsión armónica individual de voltaje .....	71
Tabla 43. Valores distorsión armónica individual. ....	72
Tabla 44. Comparación de datos de distorsión armónica total. ....	74
Tabla 45. Datos promedios de distorsión armónica total ....	75
Tabla 46. Comparación de datos de distorsión armónica total ....	76
Tabla 47. Datos promedios de desequilibrio de voltaje. ....	77
Tabla 48. Valores de corriente en el sistema eléctrico.....	78
Tabla 49. Valores de corriente en el Área de suelda M4 ....	80
Tabla 50. Valores de corriente en el Área de suelda Shineray.....	80
Tabla 51. Valores de corriente en el Área de suelda Wingle.....	81
Tabla 52. Valores de corriente en el Área de suelda Baldes.....	81
Tabla 53. Valores de corriente en Área de Bombas.....	81
Tabla 54. Valores de corriente en el sistema eléctrico por áreas. ....	82
Tabla 55. Comparación de datos factor de distorsión armónica individual.....	83
Tabla 56. Valores distorsión armónica de corriente individual. ....	86
Tabla 57. Resumen de datos calculados para la corriente de corto circuito. ....	88
Tabla 58. Comparación de datos factor de distorsión armónica total.....	88
Tabla 59. Datos de factor de distorsión armónica total.....	89
Tabla 60. Medición de iluminancia área SM1G1 ....	90
Tabla 61. Medición de iluminancia áreas ADJ0 a ADJ5.....	90

Tabla 62. Medición de iluminancia áreas MF-1 a SEC-1 .....	91
Tabla 63. Medición de iluminancia área MBF1.....	91
Tabla 64. Medición de iluminancia área Oficina .....	91
Tabla 65. Medición de iluminancia área Hall .....	92
Tabla 66. Medición de iluminancia área Rack.....	92
Tabla 67. Medición de iluminancia área Oficina de Operaciones .....	92
Tabla 68. Medición de iluminancia área Sala de reuniones.....	92
Tabla 69. Medición de iluminancia área Baño.....	93
Tabla 70. Luminarias área SM1G1 .....	93
Tabla 71. Luminarias áreas ADJ0 a ADJ5.....	94
Tabla 72. Luminarias áreas MF-1 a SEC-1.....	94
Tabla 73. Luminarias área Oficina.....	95
Tabla 74. Luminarias área Hall.....	95
Tabla 75. Luminarias área Rack.....	96
Tabla 76. Luminarias área Oficina de Operaciones .....	96
Tabla 77. Luminarias área Sala de reuniones.....	97
Tabla 78. Luminarias área Baño .....	97
Tabla 79. Cálculo de puntos mínimos de medición. ....	98
Tabla 80. Niveles de iluminación por áreas. ....	98
Tabla 81. Datos promedios máximos eléctricos Línea 1. ....	107
Tabla 82. Resumen de cálculos para Línea 1.....	108
Tabla 83. Comparación de resultados para Línea 1. ....	108
Tabla 84. Recálculo de parámetros para Línea 1. ....	109
Tabla 85. Nueva comparación de resultados para Línea 1. ....	110
Tabla 86. Datos de filtro para la línea 1 .....	110
Tabla 87. Datos Eléctricos Línea 2 .....	111
Tabla 88. Resumen de cálculos para línea 2. ....	111
Tabla 89. Comparación de datos Línea 2.....	112
Tabla 90. Recálculo de parámetros para Línea 2 .....	113
Tabla 91. Nueva comparación de resultados para Línea 2. ....	113
Tabla 92. Datos de filtro para Línea 2.....	113
Tabla 93. Datos Eléctricos Línea 3 .....	114
Tabla 94. Resumen de cálculos para línea 3. ....	115
Tabla 95. Comparación de datos Línea 3.....	115

Tabla 96. Recálculo de parámetros para Línea 3 .....	116
Tabla 97. Nueva comparación de resultados para Línea 3 .....	117
Tabla 97. Datos de filtro para Línea 3.....	117
Tabla 99. Nuevo Factor de distorsión armónica (TDD) .....	118
Tabla 100. Propuestas de mejora para reducir la temperatura de trabajo de equipos .....	119

## GLOSARIO

$\Delta V_k$ : Variación de voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k.

$V_N$ : Voltaje nominal en el punto k.

$V_k$ : Voltaje de suministro en el punto k, determinando como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en intervalo de 10 minutos.

$P_{st}$ : Índice de severidad flicker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ : Los niveles de efecto flicker que sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

$V_{h,k}$ : Armónica de voltaje h en el intervalo k en 10 minutos.

$V_{h,i}$ : Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ), medido cada 3 segundos ( $i = 1, 2, \dots, 200$ ).

$DV_{h,k}$ : Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ), en el intervalo k de 10 minutos.

$THD_k$ : Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_n$ : Voltaje nominal en el punto de medición.

PCC: Punto Común de Acoplamiento.

$V^-$ : Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de todas las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

$V^+$ : Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de todas las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

$I_{h,k}$ : Armónica de corriente  $h$  considerado en el intervalo  $k$  en 10 minutos.

$I_{h,i}$ : Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje  $h$  (para  $h=2,3,\dots,50$ ), medido cada 3 segundos ( $i=1,2,\dots,200$ ).

$DI_{h,k}$ : Factor de distorsión individual de corriente de la armónica  $h$  (para  $h=2,3,\dots,50$ ), considerado en el intervalo  $k$  de 10 minutos.

$TDD_k$ : Factor de distorsión armónica total de corriente.

$I_L$ : Corriente máxima de carga a frecuencia fundamental 60 Hz.

$I_{SC}$ : Corriente máxima de corto circuito en PCC.

$I_L$ : Corriente de carga de demanda máxima componente de frecuencia fundamental en el PCC en condiciones normales de funcionamiento de carga.

a: Los límites para armónicos pares corresponden al 25% de armónicos de corriente.

c: Todos los equipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente.

h: Valor de frecuencia de armónico en el cual entra en resonancia.

$MVA_{cc}$ : Capacidad de corto circuito donde está conectado el banco de capacitores.

$MVAR_{cap\ comercial}$ : Valor comercial del banco de capacitores que se va ocupar en el diseño.

$h_n$ : Número de armónico a sintonizar.



Lm: Lumen

NETA: International Electrical Testing Association.

O/S: Temperatura sobre similar.

O/A: Temperatura sobre ambiente.

ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

EEASA: Empresa Eléctrica Ambato Regional Norte S.A.

CKD: Complete Knocked Down

## **RESUMEN**

En el presente documento de titulación se elabora una auditoria eléctrica al área de soldadura de la empresa ensambladora de vehículos CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, ubicada en la ciudad de Ambato, con el objetivo de proponer alternativas de mejora en la gestión de energía eléctrica.

La empresa para quien se encuentra destinado el presente trabajo de titulación solicito hacer un análisis de calidad de la energía eléctrica para detectar los inconvenientes en sus instalaciones como por ejemplo: factor de potencia, armónicos de corriente, desequilibrios; que logren alterar la red eléctrica de la empresa eléctrica distribuidora EEASA.

En varias visitas a CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO se identificaron los equipos instalados en el área de soldadura, siendo las soldaduras de punto de baja y media frecuencia los equipos más utilizados en toda la jornada laboral, como también las bombas de agua que se utilizan para el sistema de enfriado.

Con el soporte de equipos de medición se registró los respectivos valores eléctricos, con la finalidad de establecer que se cumplan los límites operativos de calidad de energía, como niveles de iluminación e inspección termográfica, de acuerdo a la normativa vigente.

## **ABSTRACT**

In this degree document, an electrical audit of the welding area of the vehicle assembly company CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO., located in the city of Ambato, with the aim of proposing alternatives for improvement in electrical energy management.

The company for whom this degree work is intended requested an analysis of the quality of electrical energy to detect the inconveniences in its facilities such as: power factor, current harmonics, imbalances; that succeed in altering the electrical network of the electricity distribution company EEASA.

In several visits to CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO., the equipment installed in the welding area was identified, with low and medium frequency spot welding being the most used equipment throughout the working day, as well as the water pumps used for the cooling system.

With the support of measurement equipment, the respective electrical values were recorded, in order to establish that the operational limits of energy quality are met, such as lighting levels and thermographic inspection, in accordance with current regulations.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

La energía es un factor esencial para el desarrollo y crecimiento económico en el sector industrial ya que consume el 42% de la demanda a nivel mundial [1]. En el Ecuador la demanda de energía en las industrias es del 39,9% [2].

La calidad del producto de la energía eléctrica se determina en función de los indicadores evaluados en el punto de entrega de la energía eléctrica por parte de la empresa distribuidora, tales como: nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (flicker), distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje. Por otro lado, el usuario final puede contaminar a la red eléctrica por el incumplimiento de los límites normativos relacionados con la distorsión armónica de corriente que puede alterar el funcionamiento del sistema eléctrico [3].

Los problemas en el suministro eléctrico contribuyen en forma directa a un mal persistente en el equipo o maquinaria, por lo que se necesita hacer un estudio de la situación actual en la que se encuentra el área de estudio para detectar inconvenientes involucrados con la calidad de la energía.

### **1.2 Problema**

En los procesos de producción de la empresa CIAUTO CIA. LTDA-CIUDAD DEL AUTO, el uso de equipamiento eléctrico es imprescindible, en consecuencia, existe consumo de energía eléctrica y su funcionamiento afecta a la red de bajo voltaje de la cual se alimenta por lo que es indispensable realizar un análisis de la situación actual para identificar las opciones de mejora en la gestión de energía eléctrica.

La auditoría eléctrica brinda información para identificar alternativas de mejora y mitigar los efectos adversos en el sistema eléctrico, principalmente vinculado a

operaciones en condiciones anómalas que puedan reducir el tiempo de vida útil del equipamiento eléctrico.

La persistencia de un problema de calidad de producto de la energía eléctrica contribuye a que en el futuro tome magnitudes descontroladas y afecten directamente a la producción, a través del daño permanente del equipo y maquinaria.

Con esta perspectiva, surge la necesidad de realizar una auditoría eléctrica en el área de soldadura de la empresa CIAUTO CIA .LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, cuyas labores se destinan al ensamblaje de vehículos de la marca Great Wall, cuya demanda en ventas está en crecimiento y que por lo tanto cada vez requiere más energía eléctrica para cubrir dicha demanda. Con la auditoría eléctrica se podrá conocer la situación actual de las diferentes variables eléctricas del área de soldadura, y en base a los resultados obtenidos y del análisis respectivo se establecerá las alternativas de mejora en la gestión de energía eléctrica.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Realizar una auditoría eléctrica en el área de soldadura la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO para la identificación de alternativas de mejora en la gestión de la energía eléctrica.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Instalar un equipo analizador de red, para conocer el estado actual de los parámetros eléctricos en el área de soldadura la empresa CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO.
- Desarrollar inspecciones y mediciones en el equipamiento eléctrico, para identificar problemas vinculados a la calidad de energía eléctrica, niveles de iluminación y temperaturas de trabajo.
- Identificar alternativas de mejora en la gestión eléctrica.

## **1.4 Alcance**

El presente proyecto está orientado a la realización de una auditoría eléctrica en el área de soldadura la empresa de la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, ubicada en la ciudad de Ambato, provincia del Tungurahua. Para su desarrollo se ha previsto realizar mediciones de varios parámetros eléctricos que permitan identificar problemas de la calidad de energía eléctrica, niveles de iluminación y temperaturas de trabajo.

Con el diagnostico obtenido, se podrá proponer alternativas técnicas que conlleven a la mejora en la gestión de la energía eléctrica al interior de esta área de la empresa con la finalidad de cumplir con la Regulación No. ARCONEL 005/18, normativa local vigente en temas de calidad de energía y la UNEN-EN 12464-1, relacionada con los niveles de iluminación de interiores y NEMA relacionada con las inspecciones termográficas.

Este trabajo incluye instalación de equipos de medición, recopilación, validación y análisis de los datos obtenidos, verificando su cumplimiento con la normativa vigente determinación de oportunidades de mejora en al área eléctrica.

## **1.5 Descripción del trabajo**

Con el objetivo de cumplir los objetivos generales y específicos, este trabajo de titulación se desarrollara en seis capítulos

El capítulo uno detallará la introducción, el problema a resolverse, los objetivos, su alcance y la descripción del trabajo.

En el capítulo dos presentará los conceptos teóricos de auditoría energética, auditoría eléctrica, tipos de carga, armónicos, calidad de producto de la energía eléctrica, filtros, iluminación, termografía y pliego tarifario.

El capítulo tres, describirá a la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, su área de soldadura, su sistema eléctrico y equipos instalados, niveles de iluminación y la inspección termográfica.

En el capítulo cuatro se mostrara los resultados como también sus respectivos análisis de potencias, corrientes, voltajes, factor de potencia, calidad de responsabilidad de la empresa eléctrica distribuidora (EEASA) y del consumidor (CIAUTO), verificación inspección de los niveles de iluminación, inspección termográfica.

En el capítulo cuatro presentará los resultados y sus respectivos análisis de potencia, factor de potencia, calidad de responsabilidad de la distribuidora y del consumidor, verificación de los niveles de iluminación e inspección termográfica.

El capítulo 5 establecerá las propuestas de mejora.

Para finalizar en el capítulo seis se presentara las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Auditoría energética**

La auditoría energética se ha convertido en una herramienta fundamental cuya finalidad es definir alternativas de mejora en las diferentes áreas, y comprende una serie de procesos identificando oportunidades y posibles reducciones de consumo.

Según [4] indica que la auditoría energética plantea ser una de las medidas más efectivas, ampliamente empleadas, para diagnosticar, analizar y mejorar uso de energía en el sector industrial.

### **2.2 Auditoría eléctrica**

Una auditoría eléctrica es un procedimiento que se basa en la toma e interpretación de medición de parámetros eléctricos, además de una inspección, estudio y análisis de las instalaciones eléctricas de una industria, edificio o empresa. Las auditorías eléctricas ayudan a optimizar los sistemas eléctricos reduciendo pérdidas y manteniendo los parámetros eléctricos en niveles establecidos por normas y reglamentos que aseguren el buen funcionamiento[4].

#### **2.2.1 Beneficios de la auditoría**

La auditoría eléctrica favorece a los administradores de las compañías para optimizar sus sistemas eléctricos e impulsar la excelencia operativa mejorando la gestión de la energía eléctrica. Según indica [4] sus beneficios son:

- Permite detectar condiciones inseguras para las personas, maquinarias como posibles puntos de falla.
- Disminuye las paradas de planta no deseadas.
- Permite determinar con exactitud el tamaño correcto de sus componentes, equipos.



### 2.2.2 Objetivos de la auditoría eléctrica

De acuerdo a [5] indica los objetivos de una auditoría eléctrica son:

- Comprender el estado actual de las instalaciones, procesos, sistemas u equipos debido a que con ello se va poder hacer una ya que con ello se podrá determinar los recursos que sean requeridos.
- Analizar las características del consumo eléctrico, analizar el comportamiento de las variables eléctricas que van a ser evaluadas en la empresa a ser auditada.

### 2.2.3 Tipos de auditoría

- a) Nivel 1: Auditoría de recorrido:** Se hace una inspección visual a cada uno de los sistemas de energía, que por lo general incluye una estimación de datos de consumo de energía para comparar la cantidad de uso de la energía con promedios similares en las industrias. Puede crear una estimación preliminar del potencial de ahorro, y proporcionar una lista de oportunidades de ahorro, de bajo costo en las operaciones y prácticas de mantenimiento. Esta auditoría aprovecha la recolección de información para la realización de una auditoría a detalle, su valor es de bajo costo[6].
- b) Nivel 2: Auditoría estándar:** Se encarga de cuantificar el uso y las pérdidas de energía eléctrica basándose en una revisión y reporte detallado de los equipos, sistemas y características operativas, incluye equipos de medición y pruebas en sitio para cuantificar el uso y la eficiencia de la energía de varios procesos y sistemas. Por lo general se emplean cálculos de ingeniería tipo estándar para analizar eficiencias y calcular ahorros de energía[6].
- c) Nivel 3: Simulación por computadora:** Incluye mayor detalle de los patrones que utiliza la energía, realizado mediante un software de simulación, creando una base de datos que permita la comparación de resultados de manera consistente con el consumo real, esto con la finalidad de que sea eficiente en varios procesos. Este método permite realizar varias

interacciones entre los sistemas para prevenir la sobreestimación de ahorro[6].

#### 2.2.4 Etapas de la auditoría

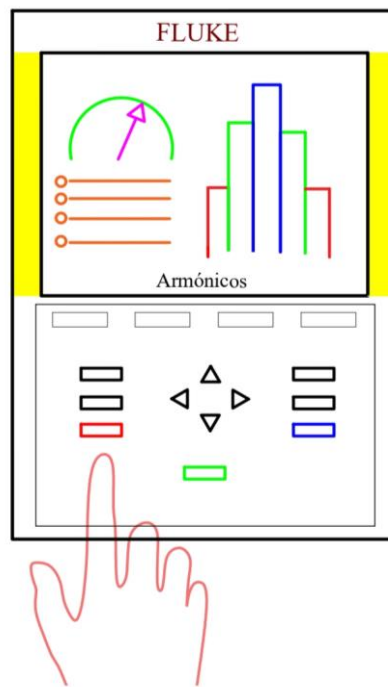
Las etapas a seguir de acuerdo a [7] son:

- a) **Planificación de la auditoría y reunión de inicio:** Para iniciar la auditoría eléctrica necesita que este cuente con el compromiso de la máxima autoridad de la empresa o institución y coordinar la autorización del acceso a la empresa con el personal responsable. La reunión de inicio permitirá tratar los objetivos y alcance que se pretende realizar y cronograma detallado de trabajo [7],[8].
- b) **Recolección de información:** Para la recolección de información se necesitará conocer [7],[8]:
  - Tiempo de vida y dimensión del área donde se va realizar el estudio.
  - Conocimiento del consumo de energía que se emplea en las diferentes áreas de trabajo tanto en las áreas productivas como a su vez en oficinas.
  - Recopilación de diagramas unifilares de distribución eléctrica, planos arquitectónicos, layouts del área de estudio.
  - Horario de trabajo en la empresa.
- c) **Plan de medición:** Para la instalación y adquisición de información se debe instalar los equipos especializados para la auditoría eléctrica. Según [7], [8] se considerarían los siguientes aspectos:
  - Fecha y donde se realizará la instalación de los equipos, incluyendo el tiempo que permanecerán instalados.
  - Obtención de facturas de consumo eléctrico donde estará especificado el factor de potencia, la máxima demanda en kWh, consumo de energía activa, reactiva.

**d) Trabajo en planta, verificación de la información y medición en sitio:**

Para esta fase es fundamental tener presente el funcionamiento interno del uso de la energía eléctrica en la empresa para conocer la maquinaria instalada. Este análisis tomará en cuenta mediciones de parámetros que contenga el análisis de la calidad de energía, niveles de iluminación e inspección termográfica, mediante el uso de los siguientes equipos.

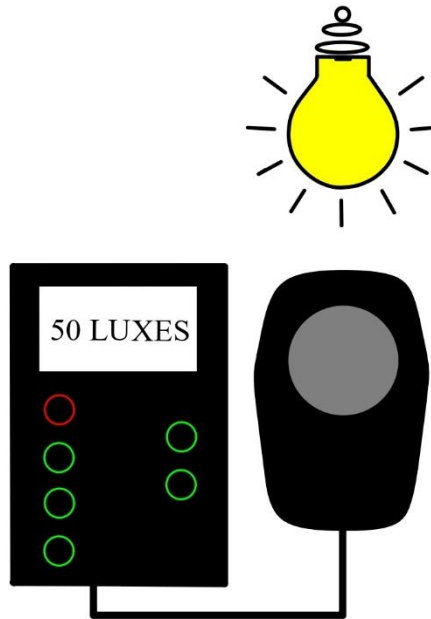
- **Analizador de redes eléctricas:** La información será obtenida por medio de la red eléctrica de la empresa distribuidora, de esta manera es fundamental que el dispositivo sea conectado de forma paralela a las barras de cobre del secundario del transformador, lo cual permitirá distinguir las diferentes variables eléctricas (la potencia máxima de una jornada de trabajo, energía reactiva, factor de potencia, corriente utilizada y niveles de voltaje por fase).



**Figura 1.** Analizador de energía-Fluke 435 categoría 1.

Elaborado por: Andrés Espín.

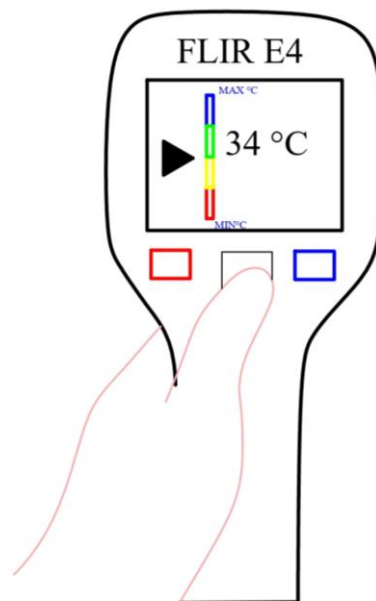
- **Luxómetro digital:** Este equipo de medición establece los niveles de iluminación en un área de trabajo.



**Figura 2.** Luxómetro digital - Lux Meter ar823.

Elaborado por: Andrés Espín.

- **Cámara termográfica:** Este equipo permite revisar los puntos calientes en los tableros principales, protecciones, terminales, conductores asociados a cada tablero y una inspección en cada equipo.



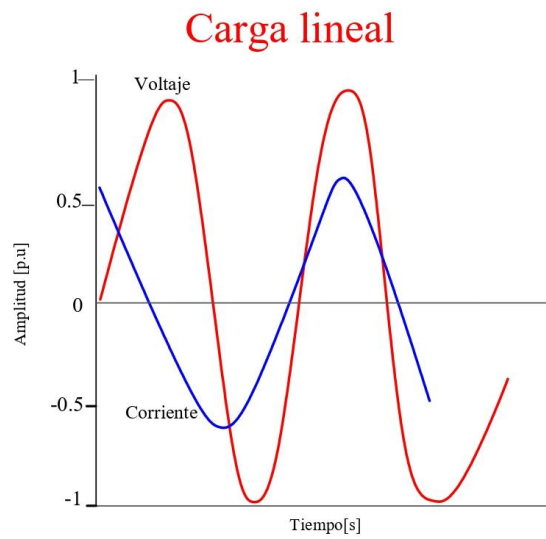
**Figura 3.** Cámara termográfica Flir E4.

Elaborado por: Andrés Espín.

- d) Tratamiento de información y preparación del informe previo:** El análisis de los datos adquiridos por los equipos permitirá identificar oportunidades de posibles mejoras que comprendan una reducción en el uso actual de energía eléctrica. El informe previo deberá esclarecer la situación actual o real de la empresa tales como: los patrones de consumo, anomalías y características de la demanda de consumo de potencia y energía. Se deberá realizar la curva de demanda para observar cuál es el día más productivo. Además con los datos obtenidos se podrá determinar la potencia activa, reactiva y aparente, además el factor de potencia en las áreas que conforman la empresa [5], [7].
- e) Elaboración del informe.** Constará de la metodología empleada para el levantamiento de la información, mediciones realizadas con los diferentes equipos de medición, conclusiones y recomendaciones, se dará mayor importancia al manejo de representaciones gráficas, coloridas para ayudar al lector a comprender fácilmente el informe, la cual será expuesto a los administradores de la empresa a fin de presentar los resultados observados y las mejoras a realizar [5], [9], [10].

### **2.3 Tipos de cargas**

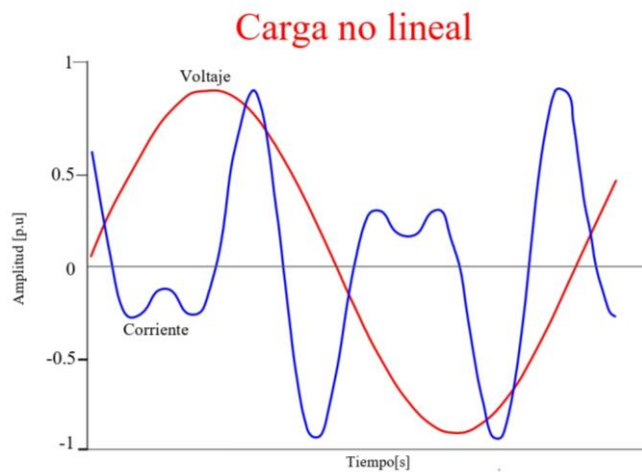
- a) Cargas lineales:** Son aquellas señales de voltaje y corriente en un circuito eléctrico mostrando dos formas de onda en fase entre sí, las dos formas de onda estarán desfasadas sin producir una distorsión de onda. Ejemplo calefactores, lámparas incandescentes, etc [11].



**Figura 4.** Carga con comportamiento lineal.

Elaborado por: Andrés Espín.

- b) Cargas no lineales:** Son representadas por la forma de onda de corriente que no tiene similitud a la forma de la onda de voltaje, se produce por el uso de dispositivos rectificadores como los que se encuentran en los convertidores de energía, fuentes de energía, sistemas de alimentación ininterrumpida, (UPS) y dispositivos de arco como hornos eléctricos y lámparas fluorescentes[11].

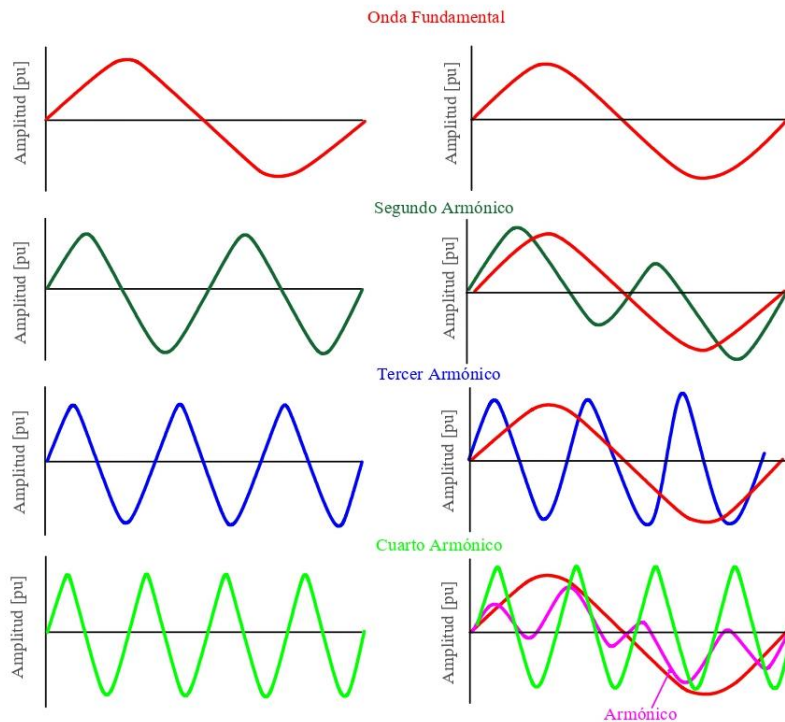


**Figura 5.** Carga con comportamiento no lineal.

Elaborado por: Andrés Espín.

## 2.4 Armónicos

Los armónicos son originados por la conexión de cargas con comportamiento no lineal que genera corrientes con formas diferente a la senoide [12].



**Figura 6.** Comportamiento de los armónicos.

Elaborado por: Andrés Espín.

Los armónicos en sistemas eléctricos trifásicos balanceados al ser magnitudes fasoriales se representan en secuencia positiva, negativa y cero, así:

- a) **Secuencia positiva:** Produce una rotación de forma directa produciendo calentamiento en los conductores, a su vez puede provocar roturas o varias fallas en los de circuitos eléctricos. [13], [14].
- b) **Secuencia negativa:** Produce una rotación de forma indirecta produciendo calentamiento de conductores, generando en las maquinas rotativas un campo giratorio en el sentido contrario de la componente fundamental [13], [14].

- c) **Secuencia cero:** No produce sentido de rotación, la cual puede producir calentamiento, se puede propagar cuando es posible un retorno por neutro [13], [14].

**Tabla 1.** Secuencia de armónicos en sistemas trifásicos balanceados.

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Armónico									
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Fuente: [14].

Según [15] los armónicos presentan los siguientes efectos:

- Incremento de pérdidas por efecto Joule ( $I^2 * R$ ).
- Vibración excesiva en los generadores, transformadores y motores reduciendo su vida útil de operación.
- Sobre calentamiento en conductores del neutro.
- Contaminar a la red eléctrica de la empresa distribuidora.

En las plantas industriales el aumento progresivo de cargas no lineales provoca el consumo de corrientes no sinusoidales, provocando problemas de distorsión y pérdida de la eficiencia en los equipos.

## 2.5 Calidad de la energía eléctrica

En cuanto a la calidad de energía se debe considerar los diferentes aspectos del comportamiento de un sistema, cuya función fundamental es abastecer cargas de manera económica y con niveles adecuados de continuidad y calidad. La continuidad generalmente hace referencia a un servicio de suministro de electricidad ininterrumpido, mientras que la calidad se refiere a una variedad de perturbaciones que surgen en los sistemas eléctricos e influyen en las características de las formas de onda [16].

La calidad de la energía debe ser evaluado cuando existan indicios en los parámetros eléctricos que no estén dentro de los rangos establecidos por las normativas vigentes locales, y para precautelar por la vida útil de los equipos y maquina instalados [16].



### 2.5.1 Calidad de producto de responsabilidad de la distribuidora

Para evaluar la calidad del producto, la responsabilidad es de la empresa eléctrica distribuidora que tomará como referencia la Regulación ARCONEL No.005/18-capítulo 2.

De acuerdo a [12] los niveles de voltaje se establece conforme a la tabla que se muestra en el ANEXO A.

Para obtener el nivel de voltaje en un punto determinado se lo realizara por la siguiente ecuación mencionada en [12]:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (1)$$

Las definiciones de cada término matemático se puede observar en el Glosario.

Según [12], los límites establecidos como indica en relación a los niveles de voltajes se muestra en el ANEXO A.

- a) **Perturbación rápida de voltaje (flicker):** su origen es proveniente de las fluctuaciones rápidas del voltaje de la red eléctrica, pudiendo manifestarse de manera visual en el parpadeo de las lámparas alimentadas por este tipo de fuente [12],[17].

$$P_{st} = \sqrt{0,031P_{01} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (2)$$

Las definiciones de cada término matemático se puede observar en el Glosario.

- b) **Distorsión armónica de voltaje:** Se analizara las distorsiones individuales y totales mediante las siguientes ecuaciones como lo indica en [12]:

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \times 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} \times 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

$$THD_k = \left[ \frac{1}{200} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Las definiciones de cada término matemático se puede observar en el Glosario.

Los armónicos en un sistema trifásico de energía es una responsabilidad de todos los involucrados tanto para usuarios, propietarios u operadores del sistema. Estos niveles de aceptación que se va mencionar a continuación se aplican en el punto de conexión común del sistema de suministro de energía pública (PCC) cercano a la carga particular y no debería ser aplicado a piezas individuales de equipo o tableros secundarios que estén situados en el interior de la empresa [18].

Según [12], los límites máximos permitidos de distorsión armónica de voltaje se muestran en el ANEXO A.

- c) **Desequilibrio de voltaje:** Este evento se presenta cuando los voltajes de línea son diferentes en magnitud o estén desfasadas 120 grados entre sí, siendo inconveniente común en la calidad de la energía provocando un incremento en pérdidas en los sistemas como en las cargas instaladas [19].

De acuerdo a [19] puede darse las siguientes causas:

El suministro de energía eléctrica puede ser inestable, como también puede dar a lugar a un daño en un fusible en un banco de capacitores trifásica, así mismo se puede dar un desbalance en las cargas especialmente en las

monofásicas, también puede presentar defectos monofásicos a tierra y anomalías de empalmes o uniones.

Según [19] menciona los efectos que produce este fenómeno:

Puede darse al incremento de del consumo de potencia activa, aumento de pérdidas y reducción de eficiencia, así como también sobrecalentar motores reduciendo su vida útil por cuanto este problema tiene más efectos adversos de desbalance por bajo voltaje, por otro lado puede darse el accionamiento innecesario en las protecciones de los motores, lo cual generaría pérdidas de energía en redes y alimentadores.

El desequilibrio de voltaje se lo evaluara mediante la siguiente ecuación como indica [12]:

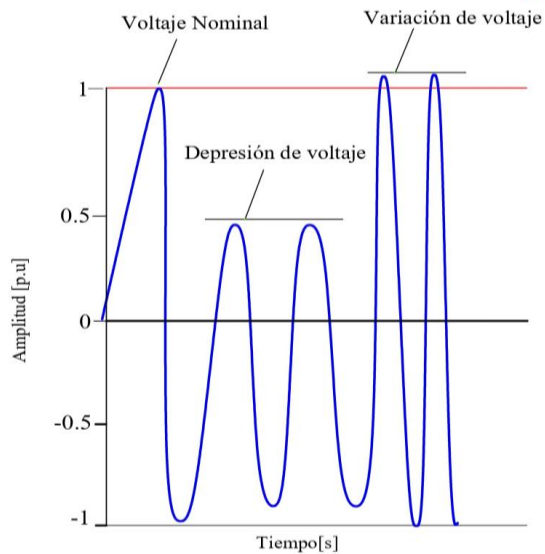
$$\text{Desequilibrio de voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| * 100 \text{ [\%]} \quad (6)$$

Las definiciones de cada término matemático se muestran en el Glosario.

Según [12], los límites máximos permitidos de distorsión armónica de voltaje se mostrara en el ANEXO A.

- d) Variaciones de voltaje o fluctuaciones:** Ocurren cuando hay variaciones periódicas de cambios al azar en el voltaje de la red eléctrica, también se conocen como una variación del valor pico o valor eficaz de voltaje entre dos niveles sucesivos en un determinado tiempo finito no establecido, su permanecía está en el rango o categoría de los milisegundos hasta los 10 segundos con una amplitud del  $\pm 10\%$  del valor nominal [12],[17].

## Fluctuaciones de Voltaje



**Figura 7.** Fluctuaciones de voltaje.

Elaborado por: Andrés Espín.

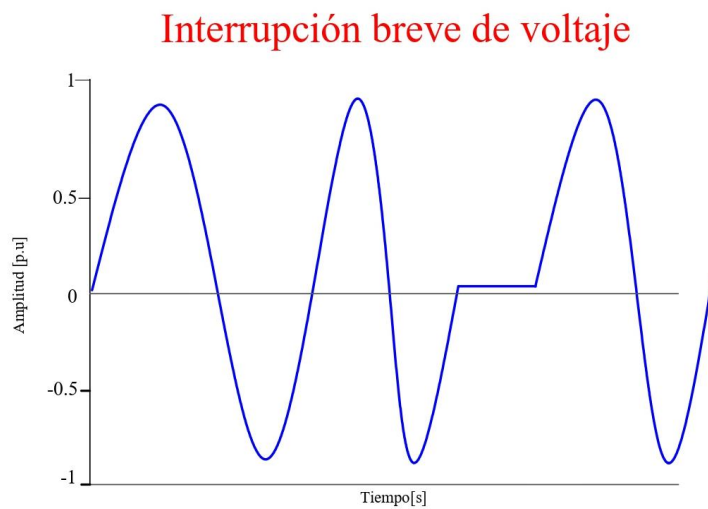
Las causas que provoca las fluctuaciones de voltaje mencionadas por [17] son la siguientes:

- Soldaduras de punto.
- Cargas controladas por impulsos.
- Plantas de soldado por arco.
- Compresores.
- Hornos de arco.
- Lámparas incandescentes y de descarga.

**e) Corte breve de voltaje:** Se caracteriza por su corta duración, no debe prolongarse más allá de los 0,4 segundos [17].

Se producen cuando hay maniobras con variaciones de corrientes grandes en los sistemas trifásicos de potencia. Estos fenómenos son despejados por las protecciones eléctricas que en caso de alguna falla, dependen de los tiempos de actuación de los dispositivos de protección [17], [20].

- Si la variación de tiempo es menor a 20 milisegundos es por la actuación de fusibles en bajo voltaje.
- Si la variación de tiempo es menor a 100 milisegundos se da por la actuación de los interruptores de medio y alto voltaje.
- Si la variación de tiempo es menor a 500 milisegundos es por el cierre de los interruptores de medio voltaje.



**Figura 8.** Interrupción breve de voltaje.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 2.5.2 Calidad de responsabilidad del consumidor

- a) **Distorsión armónica de corriente:** Se analizará la distorsión individual y total mediante las siguientes ecuaciones como lo indica en [12]:

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \times 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_L} \times 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

$$TDD_k = \left[ \frac{1}{200} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100 \text{ [\%]} \quad (9)$$

Las definiciones de cada término matemático se muestran en el Glosario.

Según [15], los niveles máximos permitidos de distorsión armónica de corriente se muestran en el ANEXO A.

Para saber el rango de la corriente de corto circuito depende de los parámetros que se cita en la norma IEEE Std 519-2014 y en [21] explica lo siguiente:

Primero paso se calculará la corriente de corto circuito en por unidad.

$$I_{sc}(pu) = \frac{1}{X_{pu}} \quad (10)$$

Considerando el sistema en por unidad se requiere conocer los valores reales para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$IL (A) = \frac{S_{trafo}}{V_{sec} * \sqrt{3}} \quad (11)$$

Una vez obtenido el valor de la corriente de carga en amperios, se tiene una base para luego proceder al cálculo en por unidad y así facilitar el cálculo en cada una de las líneas, teniendo en cuenta que los valores máximos de corriente de cada línea se lo adquiere mediante el equipo analizador de energía FLUKE 435 categoría 1.

$$IL_{(1,2,3) P.U} = \frac{I_{max \text{ analizador}}}{IL} \quad (12)$$

Calculando el factor  $\alpha$  de igual manera para las tres líneas:

$$\alpha_{(1,2,3)} = \frac{I_{sc} (p.u)}{I_{L.P.U}} \quad (13)$$

Una vez obtenido el cálculo del factor  $\alpha$  se selecciona el valor más alto de alfa para proceder a identificar el rango se procederá identificar el límite correspondiente de distorsión armónica de corriente serán expuestos en el ANEXO A.

## **2.6 Filtros**

Los filtros son equipamiento cuyo reactancia puede ser capacitiva o inductiva, y se usan normalmente, según [22] para atenuar los armónicos de un sistema eléctrico. Estos pueden ser:

### **2.6.1 Filtros Activos**

Los filtros activos están integrados de componentes electrónicos de potencia más una lógica de control, permite actuar de manera automática a un grado de distorsión armónica que ocurre en un momento determinado[22].

Según [22] la ventaja de usar un filtro activo es disminuir o eliminar armónicos en un extendido rango de frecuencia, que se adaptan a niveles diferentes de carga como a su vez mejorar su factor de potencia de la carga instalada.

Como única desventaja de los filtros activos se encuentra el mayor costo y complejidad.

### **2.6.2 Filtros pasivos**

Esta clase de filtros están ensamblados por elementos tales como: resistencias, condensadores y bobinas, su función se orienta a eliminar un armónico en particular con la finalidad de no afectar a la red eléctrica de suministro [22].

En [22] especifica la desventaja de que el filtro pasivo no resuelve el problema de distorsión armónica total, además pueden dar sitio a circuitos resonantes con impedancias a la red eléctrica, como también pueden provocar que los armónicos medidos de valores relativamente pequeños se puedan amplificarse por los sucesos de resonancia al cambio de la impedancia, por otro lado se necesitan bobinas de gran tamaño para eliminar frecuencias relativamente bajas.

Como ventaja se establece que el uso de los filtros pasivos es por su sencillez, robustez y bajo coste.

Existen las siguientes clases de filtros pasivos:

- a) **Sintonizados:** Se diseñan con el propósito de eliminar uno o varios armónicos en específico entre ellos se presentan el 3°, 5°, 7°, 9° y 11° [22]. El procedimiento señalado en [23] para el cálculo del filtro pasivo sintonizado se describe a continuación:

- Cálculo de potencia reactiva que va a necesitar el banco de condensadores:

$$\theta_1 = \cos^{-1}(fp) \quad (14)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(fp) \quad (15)$$

$$Q_{eff}(\text{kVAR}) = P * (\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)) \quad (16)$$

Una vez calculada la potencia reactiva que necesitará el banco de condensadores, se realiza una revisión a los catálogos comerciales presentados en [24].

- Potencia reactiva consumida por el transformador en presencia del banco de capacitores:



$$Q_{trafo} = Q_{sistema} - Q_{banco \text{ de condensadores}} \quad (17)$$

- Potencia aparente entregada por el transformador en presencia del banco de capacitores:

$$S_{trafo} (kVA) = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (18)$$

- Nuevo factor de potencia:

$$fp = \frac{P}{S_{nuevo}} \quad (19)$$

Con el nuevo factor de potencia, puede ayudar a que los equipos conectados al transformador de alimentación no se reduzcan su tiempo de vida útil, esto con la finalidad de evitar cargos de penalización de bajo factor de potencia.

- Frecuencia de resonancia:

$$MVA_{cc} = \frac{100 * MVA_{trafo}}{Z_{trafo}} \quad (20)$$

$$h = \sqrt{\frac{MVA_{cc}}{MVAR_{cap \text{ comercial}}}} * 60 = (Hz) \quad (21)$$

Las definiciones de cada término matemático se muestran en el Glosario.

- El factor de ajuste optimizado ( $\delta$ ) como indica en [25] es de un valor de - 0.0375.
- Sintonizado del filtro para el segundo armónico:

$$h = h_n + (\delta * h_n) \quad (22)$$

Las definiciones de cada término matemático se muestran en el Glosario.

- Cálculo de capacitor:

$$X_{c1}(ohms) = \frac{kV_{LL}^2}{MVAR_{cap\ comer}} \quad (23)$$

$$C (uF) = \frac{1}{2 * \pi * f * Xc} \quad (24)$$

- Cálculo de inductor :

$$X_{L1} (ohms) = \frac{X_{c1}}{h^2} \quad (25)$$

$$L (mH) = \frac{X_{L1}}{2 * \pi * f} \quad (26)$$

- Factor de calidad ( $Q'$ ):

Según [23] los valores típicos que se utilizan o consideran para el diseño del filtro pasivo sintonizado están comprendidos entre 20 y 30, considerando que a mayor sea el valor menor será su resistencia y mejor tendrá respuesta el filtro.

$$R (ohms) = \frac{X_{L1}}{Q'} \quad (27)$$

- Potencia reactiva que entrega el filtro al sistema:

$$Q_{filt}(kVARs) = \frac{kV_{LL}^2}{X_{c1} - X_{L1}} \quad (28)$$

- Corriente inicial en el banco de capacitores:

$$I_c (A) = \frac{kVAR}{\sqrt{3} * kV} \quad (29)$$

- Corriente en el filtro:

$$I_{filt}(A) = \frac{Q_{filt}}{\sqrt{3} * kV} \quad (30)$$

- Corriente en el armónico 2:

$$I_{fundamental}(A) = \frac{P}{\sqrt{3} * kV_{LL} * \cos \varphi} \quad (31)$$

$$I_2(A) = \frac{I_{2\%}}{100} * I_{fundamental} \quad (32)$$

- Corriente en el filtro (rms):

$$I_{rms}(A) = \sqrt{I_{filt}^2 + I_2^2} \quad (33)$$

- Corriente pico:

$$I_{pico}(A) = I_{filt} + I_2 \quad (33)$$

- Voltaje en el capacitor:

$$V_{cap}(V) = \sqrt{3} * I_{filt} * X_{c1} \quad (35)$$

- Voltaje del armónico 2:

$$V_{h2}(V) = \sqrt{3} * I_2 * \frac{X_{c1}}{h} \quad (36)$$

- Voltaje Rms en el capacitor:

$$V_{h2-rms} (V) = \sqrt{V_{cap}^2 + V_{h2}^2} \quad (37)$$

- Voltaje pico en el capacitor:

$$V_{pico} (V) = V_{cap} + V_{h2} \quad (38)$$

- Potencia reactiva que entrega el banco de capacitores:

$$Q_{cap} (kVAR) = \sqrt{3} * V_{h2-rms} * I_{rms} \quad (39)$$

- Margen de corriente rms:

$$\% = \frac{I_{rms}}{I_{fundamental}} * 100 \quad (40)$$

- Margen de voltaje rms:

–

$$\% = \frac{V_{rms}}{V_{ll}} \quad (41)$$

- Margen de voltaje pico:

$$\% = \frac{V_{pico}}{V_{ll}} * 100 \quad (42)$$

- Margen de potencia reactiva:

$$\% = \frac{Q_{cap}}{Q_{cap\ comercial}} * 100 \quad (43)$$

Una vez realizado los cálculos del filtro sintonizado con las ecuaciones señaladas anteriormente, se debe comparar con los valores permitidos por IEEE Std 1531-2020 para asegurarnos que el filtro diseñado no tenga problemas a futuro.

**Tabla 2.** Límites establecidos por IEEE Std 18-2018.

Descripción variables eléctricas	Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020
Vrms	110
Vpico	120
Irms	135
kVAR	135

Elaborado por: Andrés Espín.

De no cumplir con los límites establecidos se puede colocar dos capacitores en paralelo. Se debe recalcular los parámetros.

- Potencia reactiva que entrega el filtro al sistema:

$$Q_{filt2}(kVARs) = \frac{kV^2}{(X_{c1} + X_{c1}) - X_{L1}} \quad (44)$$

- Corriente en el filtro:

$$I_{filt2}(A) = \frac{Q_{filt2}}{\sqrt{3} * kV} \quad (45)$$

- Corriente en el filtro rms:

$$I_{rms}(A) = \sqrt{I_{filt2}^2 + I_2^2} \quad (46)$$

- Voltaje en el capacitor:

$$V_{cap2}(V) = \sqrt{3} * I_{filt2} * X_{c1} \quad (47)$$

- Voltaje Rms en el capacitor:

$$V_{h2r-rms}(V) = \sqrt{V_{cap}^2 + V_{h2}^2} \quad (48)$$

- Voltaje pico en el capacitor:

$$V_{pico}(V) = V_{cap2} + V_{h2} \quad (49)$$

- Potencia reactiva que entrega el banco de capacitores:

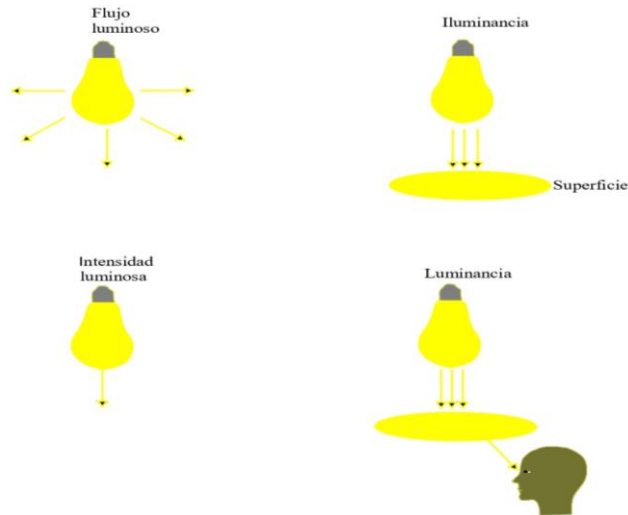
$$Q_{cap}(kVAR) = \sqrt{3} * V_{h2'-rms} * I_{rms} \quad (50)$$

Una vez recalculado se procede nuevamente a la comparación con los límites propuestos en la Tabla 2.

## 2.7 Iluminación

A continuación, se presentan algunos conceptos relacionados con iluminación:

- **Flujo Luminoso:** La cuantificación de la radiación luminosa medida en (Watts) emitida en forma de radiación luminosa a un tiempo determinado, su unidad de medida es (lm) [26].
- **Luminancia:** Conocida también como brillo, indica la cantidad luz que procede de un objeto iluminado que el ojo humano puede percibir en un punto específico , su unidad es (cd/cm<sup>2</sup>) [26].
- **Iluminancia:** Es la cantidad de luz o flujo luminoso que se expande o incide en una superficie determinada, su unidad de medida es el (lux) [26].
- **Intensidad luminosa:** Es la cantidad de flujo luminoso emitida por la fuente luminosa en una determinada dirección. Su unidad es la candela (cd) [26].



**Figura 9.** Conceptos de iluminación.

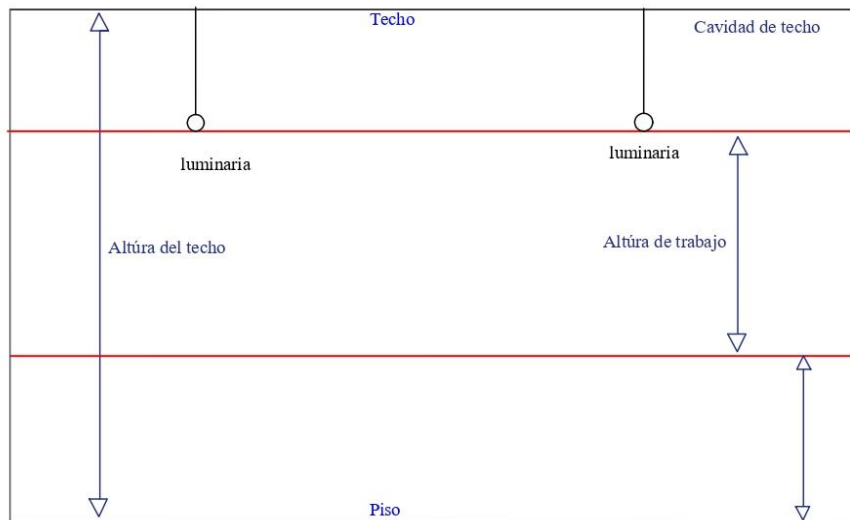
Elaborado por: Andrés Espín

- **Rendimiento luminoso:** Flujo difundido por unidad de potencia de las fuentes luminosas (lm/W) [26].
- **Deslumbramiento:** Percepción que produce la luminancia en el campo visual, que generalmente es mayor a la luminancia que está adaptados al ojo del ser humano produciendo molestias visuales, incomodidad e inclusive pérdida de la capacidad visual [26].
- **Luminaria:** Máquina de iluminación encargada de distribuir o transformar la luz emitida por una o varias fuentes luminosas [26].
- **Uniformidad:** Mide la calidad de distribución de la iluminación en una determinada área, se la puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{\text{iluminancia mínima}}{\text{iluminancia media}} \quad (51)$$

Es un parámetro adimensional, según [27] en cualquier área de trabajo no deberá ser inferior al 0,8.

## Geometría del local



**Figura 10.** Geometría del local.

Elaborado por: Andrés Espín.

- **Cálculo de altura de trabajo:**

$$\text{Alt del techo} = \text{plano de trabajo} + \text{cavid del piso} + \text{plano de lumi} \quad (52)$$

- **Método de la cuadrilla:** Sirve para identificar los niveles de iluminación están entre los rangos aceptables permitidos por las normas vigentes, primero hay que observar la geometría del local señalado en la Figura 11, es importante saber las dimensiones de superficie del área, es decir, largo, ancho y altura de trabajo en metros. Hay que considerar que el luxómetro debe ir colocado en la altura de trabajo en las diferentes áreas.

Para el cálculo del índice de local se debe aplicar las siguientes expresiones:

$$\text{índice de local } (x) = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{plano de trabajo} \times (\text{largo} + \text{ancho})} \quad (53)$$

Si el índice de local da como resultado un número decimal hay que redondearlo al inmediato superior, para obtener el número de puntos mínimos de medición con la siguiente expresión:



$$(x + 2)^2 \quad (54)$$

**Tabla 3.** Número de puntos de medición

Índice de local	Índice de local aproximado	Número de puntos mínimos de medición
Si $x \leq 1$	1	9
Si $1 < x \leq 2$	2	16
Si $2 < x \leq 3$	3	25
Si $x \geq 3$	4	36

Fuente:[28]

- **Niveles de iluminación en los lugares de trabajo:**

**Tabla 4.** Iluminación recomendada por la norma europea UNEN- EN-12464-1.

Áreas de trabajo	Iluminación promedio (LUX)
<b>Trabajo y tratamiento de metales</b>	
Soldadura	300
Trazado e inspección	750
<b>Fabricación de vehículos</b>	
Carrocería y Montaje	500
Cámara de pulido	750
Inspección final	1000
<b>Fundidoras de acero</b>	
Precisión	500
Montaje Fino	500
<b>Oficinas</b>	
Archivo, copias, etc.	300
Escritura, lectura , tratamiento de datos	500
<b>Áreas de almacenamiento con estanterías</b>	
Estación de control (Racks)	150
<b>Áreas comunes</b>	
Halls de entrada	100
Baños	200

Fuente:[29]

**Tabla 5.** Iluminación recomendada por la Norma Ecuatoriana INEN 1154.

Áreas de trabajo	Iluminación promedio (LUX)
<b>Talleres de ensamble</b>	
Trabajo medio, como repuestos, ensamblaje de carrocería de vehículos	300
<b>Soldadura</b>	
Soldadura media	300
Soldadura fina Ensamblaje	700
<b>Trabajos de hierro y acero</b>	
Inspección de planchas	300
<b>Trabajos de inspección</b>	
Trabajo mediano calibración “no pasa”, sub ensamblado	300

Fuente:[30]

## 2.8 Inspección termográfica

Es una acción que permite identificar la temperatura que producen los equipos, máquinas, instalaciones de un determinado lugar; puede realizarse mediante una cámara termográfica e inspeccionar con la radiación de la zona infrarroja del espectro electromagnético que lo transforma en una imagen visible. Con el diagnóstico obtenido se puede tomar acciones para realizar un mantenimiento predictivo u correctivo si así lo requiere [31].

A continuación, se presentan algunos conceptos teóricos relacionados con la termografía:

- **Emisividad:** Se define como la capacidad o proporción que tiene un objeto o superficie para irradiar infrarrojos, esto va depender de la composición que está conformado; hay que considerar que se seleccione un valor correcto por lo cual las mediciones realizadas de temperatura serán incorrectas [31].
- **Infrarrojos:** El ojo del ser humano tiene una limitante que solo puede revelar la radiación electromagnética en el espectro visible, lo cual no puede observar

la radiación infrarroja por cuanto, está en un punto intermedio entre el espectro visible y las ondas del espectro electromagnético [31].

- **Puntos calientes:** Estos se originan cuando existe una diferencia de temperatura entre equipamientos u elementos similares en las mismas condiciones del trabajo, las temperaturas superiores a los 15°C indica se debe realizar un plan de mantenimiento correctivo de manera urgente para no afectar a la vida útil [32].

En [31] señala la ventaja que se puede obtener al usar esta herramienta:

Cuando se usa de forma frecuente esta herramienta se puede tener mayor rapidez y eficacia en menor costo, además este puede precisar en qué momento debe realizar las acciones correctivas, así mismo este permite predecir fallos de altos costos que puedan evitar incendios, destrucción de bienes y equipos.

La emisividad puede llegar a ser valor de cero cuando los objetos son del tipo espejos o reflectores, puede llegar al valor de uno cuando sea un cuerpo totalmente negro. Para superficies pintadas, oxidadas y cintas de aislar su valor de emisividad debe ser cercano a 0,95; si se tiene un valor de emisividad de 0,6 es inestable con lo cual no podrá tener medidas reales [33].

Al momento de obtener los registros termográficos se debe considerar: el ángulo de visión que debe ser lo más perpendicular, para que este no altere las mediciones y la distancia - tamaño del objeto porque puede impedir distinguir correctamente el objeto y distorsionaría la emisividad [33].

La norma NETA hace mención a las mediciones e inspecciones eléctricas con termografía infrarroja [34].

Según la norma NETA [34] recomienda los siguientes criterios:

- Valores de prueba: en las cuales sugiere la clasificación de fallas de la norma NETA expresados en el ANEXO B que muestra los criterios para identificar la severidad de los problemas eléctricos encontrados.

- Inspección visual, eléctrica y mecánica.
- Parámetros de prueba: considerando las inspecciones térmicas, deben realizarse en etapas de carga máxima o por lo menos el 60% de la carga instalada promedio.

La norma NEMA indica las pruebas de funcionamiento a motores eléctricos y generadores en AC, en su capítulo “Determinación de la eficiencia en motores” señala el tipo de aislamiento cuando el motor se encuentra operando a diferentes temperaturas.

**Tabla 6.** Clasificación de motores.

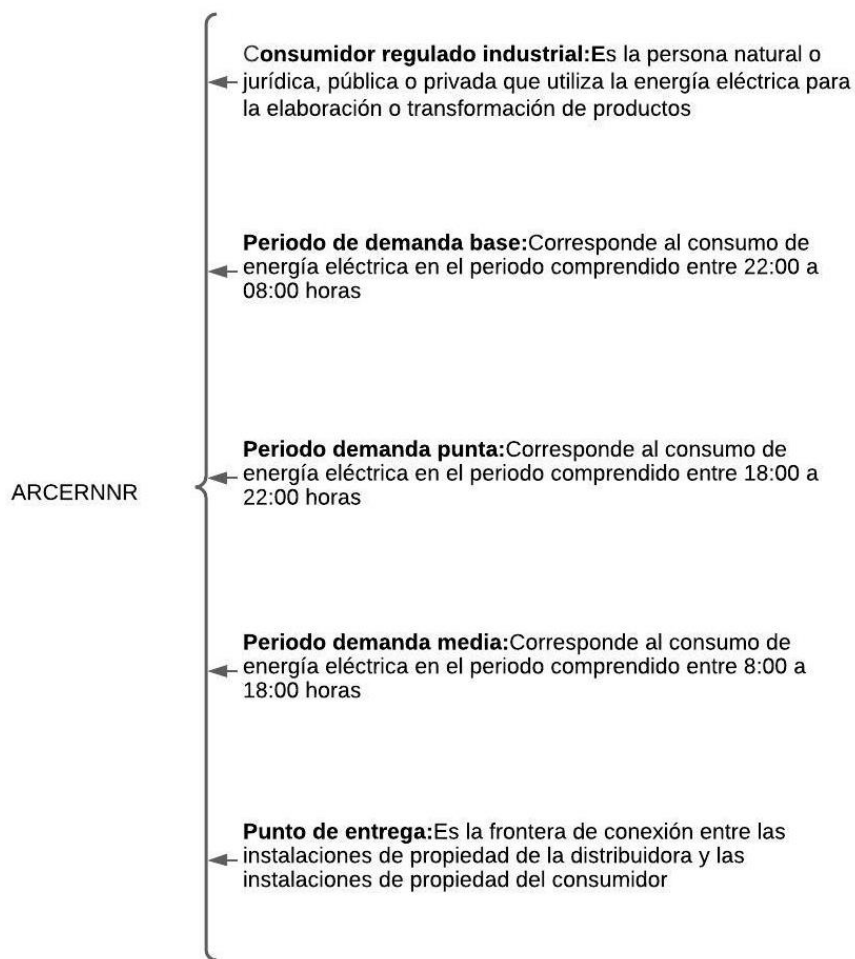
Clase de sistema de aislamiento	Temperatura °C
A	75
B	95
F	115
H	130

Fuente:[35].

Para tener el valor real de temperatura de la carcasa del motor, se aumenta 20°C más de la temperatura medida. En motores de inducción se debe trabajar con el sistema de aislamiento tipo F. Se debe tomar en cuenta que por cada 10°C que un motor esté en funcionamiento sobre su valor límite establecido de temperatura, su vida útil se reduce a la mitad.

## 2.9 Pliego tarifario

La ARCERNNR, indica el pliego tarifario de enero a diciembre del 2021 establece los siguientes criterios [36]:

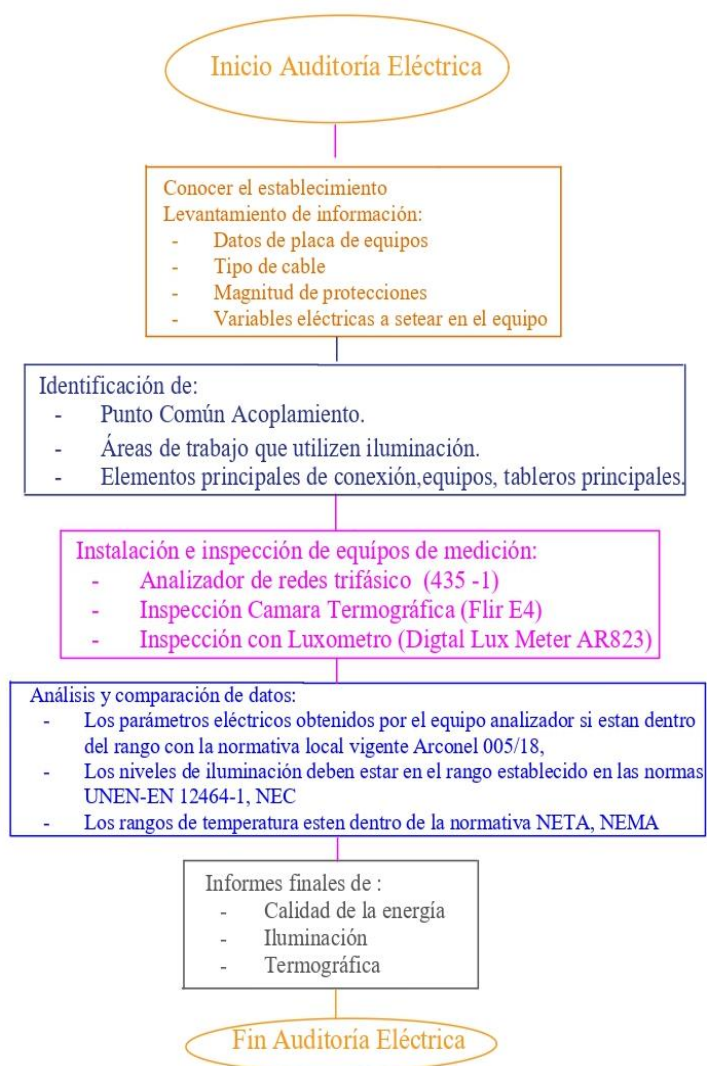


**Figura 11.** Criterios pliego tarifario 2021.

Elaborado por: Andrés Espín.

### CAPÍTULO 3: CIAUTO CIA. LTDA.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo a seguir para la elaboración de la auditoría eléctrica:



**Figura 12.** Proceso de auditoría eléctrica.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 3.1 Área de soldadura.

Es en el área de soldadura de la empresa CIAUTO CIA. LTDA., en la cual se ensamblan los vehículos a partir de los CKD que significa partes de vehículo completamente desarmado, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 13.** Partes del vehículo (CKD).

Elaborado por: Andrés Espín.

El horario de trabajo en esta área es de 06:45 a 15:30, hoy en día la ensambladora produce dos tipos de vehículos: furgonetas Shineray y camionetas Wingle.



**Figura 14.** Tipos de vehículos.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 3.1.1 Descripción del sistema eléctrico actual.

En el ANEXO C se presenta la vista de planta del área de estudio, en el cual se recopila información con la identificación del equipamiento instalado, así como las diversas áreas de trabajo.



**Figura 15.** Área de soldadura.

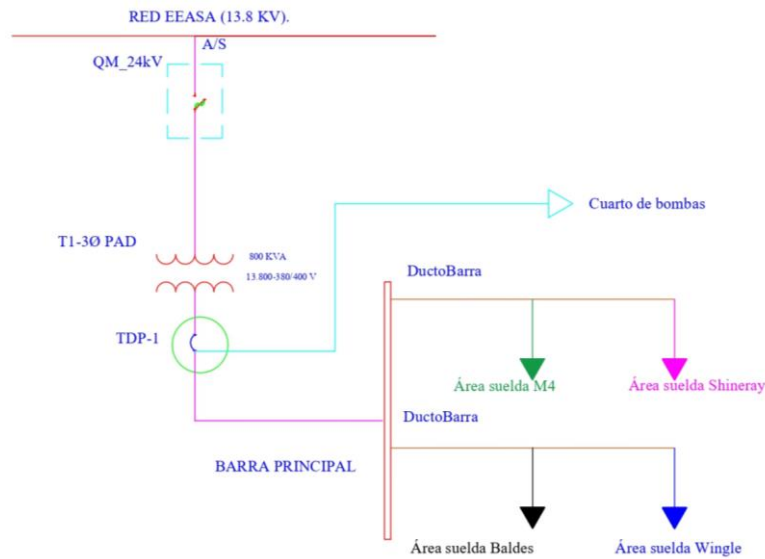
Elaborado por: Andrés Espín

La alimentación de energía eléctrica al área de soldadura de CIAUTO CIA. LTDA., proviene de la empresa distribuidora EEASA, a través de la subestación Samanga mediante un alimentador primario denominado Camino Real de medio voltaje a 13,8 kV, el cual llega a una derivación T con una transición (área/ subterránea), con cable aéreo 1/0 AWG-Cu desnudo, con dirección hacia la cámara de transformación soterrada, y con un secundario del transformador con conductor XLPE-PVC 4/0 AWG.

El levantamiento de información se realizó con el acompañamiento del personal de mantenimiento. A continuación, se presenta un diagrama unifilar simplificado del área de soldadura. En el ANEXO D se indica el diagrama unifilar detallado y completo de las instalaciones del área de soldadura, incluyendo el transformador de 800 kVA, con nivel de voltaje de 380 V, encargado de alimentar de energía eléctrica a las soldaduras de baja frecuencia, media frecuencia, tecles y bombas de agua, considerando la ducto barra instalada.



## DIAGRAMA UNIFILAR



**Figura 16.** Diagrama unifilar simplificado.

Elaborado por: Andrés Espín.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de la celda de protección, transformador principal, tablero de distribución principal y ducto barra:

### a) Celda de protección QM-SM6-24kV

En la transición, los conductores de medio voltaje van por un ducto con dirección a la cámara de transformación llegando a la protección eléctrica QM-SM6-24kV, siendo éste equipo la protección en medio voltaje para el área de soldadura. Sus características técnicas son las siguientes:

**Tabla 7.** Datos de placa celda de protección QM SM6-24kV

Celda de protección QM SM6-24kV			
Ur (kV):	17,5	Up (kV):	95
Ik (kA):	20	Ip (kA):	52
Ip:	3X	N° de hilos:	4, 3F+T
Ud (kV):	38	A-FL	
tk:	1s	Ir (A):	630
Fr (Hz):	60	Pre (kPA):	40

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 17.** Celda de protección QM SM6-24kV

Elaborado por: Andrés Espín.

**b) Transformador 800 kVA**

El transformador abastece exclusivamente a los equipos que funcionan a 380 V.

**Tabla 8.** Datos de placa de transformador de 800 kVA

Descripción	Valor
Marca	ECUATRAN
Año de fabricación	2017
Potencia (kVA):	800
Voltaje Nominal (V):	13800/380
Corriente Nominal (A):	33,36/1215,47
Aceite:	Mineral
Frecuencia (Hz):	60
Conexión:	Dyn5
Refrigeración:	ONAN
Nº de Taps :	5
Tipo de conexión	Ddy5

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 9.** Taps del transformador de 800 KVA.

<b>Primario</b>		
Posición	Voltaje	Corriente
1	14145	
2	13800	33,46
3	13455	
4	13110	
5	12765	

Elaborado por: Andrés Espín.

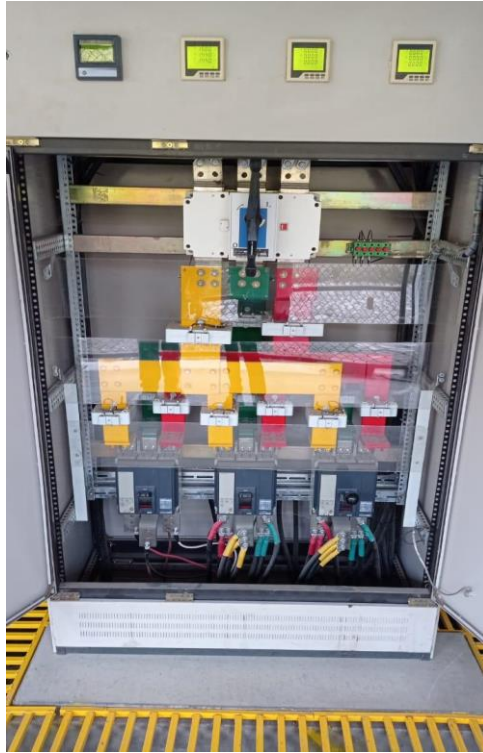


**Figura 18.** Transformador de 800 kVA.

Elaborado por: Andrés Espín.

### c) **Tablero de distribución principal**

El área de soldadura cuenta con un tablero de distribución principal, asociado con el transformador de 800 kVA, desde el cual se distribuye a la energía eléctrica de cada una de las cargas ubicadas en las diferentes zonas de la planta.



**Figura 19.** Tablero de distribución principal

Elaborado por: Andrés Espín.

**d) Ducto barra**

El área de soldadura utiliza para la distribución de energía hacia las cargas.

**Tabla 10.** Datos de placa Ducto barra

<b>Ducto Barra</b>	
Ue (V):	690
In (A):	1.600
Frecuencia (Hz):	50

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 20.** Conexión de Ducto Barra.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 3.1.2 Datos técnicos de los equipos instalados.

#### a) Soldadura de punto con baja frecuencia:

**Tabla 11.** Datos de placa soldadura de punto baja frecuencia

<b>Suspension Spot Welding Machine</b>			
Voltaje nominal $U_{in}$ :	AC 380 60 Hz	Secundario sin voltaje de carga (V):	26,2
Potencia de carga continua S50 (kVA):	200	Corriente de salida continua (kA):	14,1
Potencia Continua $S_p$ (kVA):	141	Corriente máxima de salida de corto circuito (kA):	18
Grado de protección:	IP20	Caudal de agua de refrigeración (L/min):	32
Presión de aire (Mpa):	0,6	Gota de presión del líquido refrigerante nominal (Mpa):	0,5
Clase de aislamiento y resistencia térmica:	F Class	Fecha de manufactura:	2014/08
Masa (kg):	228		

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 21.** Soldadura de punto baja frecuencia.

Elaborado por: Andrés Espín.

**b) Soldadura de punto de media frecuencia:**

**Tabla 12.** Datos de placa soldadura de punto media frecuencia.

<b>MF resistance Welding Controller</b>			
Voltaje de ingreso :	3~380/60 Hz	Caudal de agua de refrigeración (L/min):	16
Voltaje de salida (V):	PWM 500	Presión de aire (Mpa):	0,5
Corriente de salida (max) (A):	600	Peso (kg):	71
Frecuencia de Salida (Hz):	1000	Dimensiones	479*545*985
Duty Cycle (ED):	10%	Fecha de producción:	2017/07
Grado de protección:	IP54		

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 22.** Soldadura de punto media frecuencia.

Elaborado por: Andrés Espín.

**c) Áreas de trabajo de sueldas de baja frecuencia:**

**Tabla 13.** Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de baja frecuencia (Shineray).

<b>Sueldas de punto Shineray</b>		
Estaciones de trabajo	Numeración de suelda de punto (SP)	Total de sueldas de punto
SX30L-1	63, 61, 32 ,33	4
SX30L-2	37, 64, 38, 39	4
SX30L-3	23, 36, 22, 23	4
SX30L-4	31, 29, 27, 25, 30, 38, 26, 24	8
<b>Total</b>		<b>20</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 14.** Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de baja frecuencia (M4).

<b>Sueldas de punto M4</b>		
Estaciones de trabajo	Numeración de suelda de punto (SP)	Total de sueldas de punto
SM41	03, 01, 02, 04	4
SM42	05, 07, 06, 08	4
SM43	11, 09, 13, 10, 12, 14	6
SR2	15, 17, 19, 16, 18, 20	6
<b>Total</b>		<b>20</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

#### d) Áreas de trabajo de sueldas de media frecuencia

**Tabla 15.** Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de media frecuencia (Wingle).

<b>Sueldas de punto Wingle</b>		
Estaciones de trabajo	Numeración de suelda de punto (SP)	Total de sueldas de punto
SWC1	41, 42	2
SWC2	43, 45, 44	3
SR1	47, 49, 51, 46, 48, 50	6
<b>Total</b>		<b>11</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 16.** Distribución de las áreas de trabajo en las sueldas de media frecuencia (Balde).

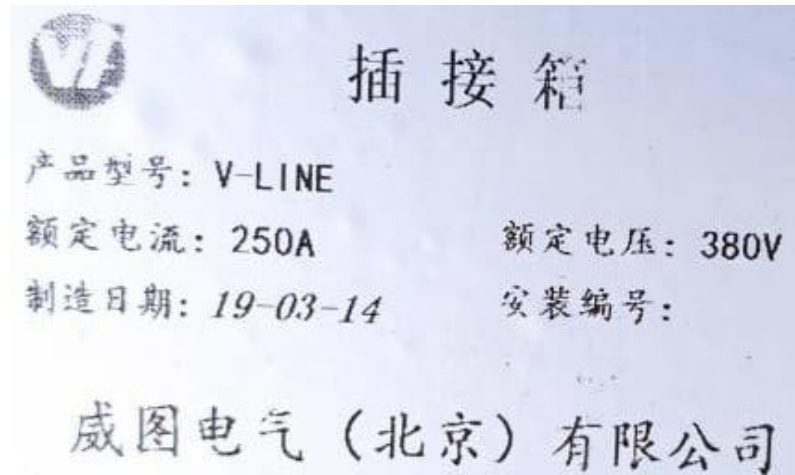
<b>Sueldas de punto Baldes</b>		
Estaciones de trabajo	Numeración de suelda de punto (SP)	Total de sueldas de punto
SWB0	58	1
SWB1-W7	60, 59, 57	3
SWB1-W5	52, 54, 53	3
SWB2	56, 55	2
<b>Total</b>		<b>9</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

#### e) Protección para las sueldas de punto en media frecuencia y baja frecuencia

Cada soldadura de punto tiene su propia protección que va conectada al ducto barra, esta protección se ocupa tanto para las sueldas de baja frecuencia como también de media frecuencia.





**Figura 23.** Datos de placa caja de protección.

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 24.** Protección caja moldeada para la soldadura de punto.

Elaborado por: Andrés Espín.

## f) Tecles DEMAG

**Tabla 17.** Datos de placa Tecle de 250 kg.

<b>Tecles DEMAG</b>			
Voltaje /frecuencia:	3~380~400/60 Hz	Nm (r/min):	845
Tamaño:	DC-Com 2	Conx./h:	240
Tamaño de motor:	ZNK 71 B 8/2	In min (A):	1,4
Numero de Polos :	8	In max (A):	1,6
Pn (kW):	0,08	I max (A):	1,7
FM (%):	20	(Ia/In)max (A):	1,45
Aislamiento (Ins.Cl) (F)		cos Ø:	0,51

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 18.** Datos de placa Tecle de 500 kg

<b>Tecles DEMAG</b>			
Voltaje/frecuencia:	3~380~400/60 Hz	Nm (r/min):	870
Tamaño:	DC-Com 5	Conx./h:	240
Tamaño de motor:	ZNK 80 A 8/2	In min (A):	1,55
Numero de Polos:	8	In max (A):	1,55
Pn (kW):	0,12	I max (A):	1,75
FM (%):	20	(Ia/In)max (A):	2,5
Aislamiento (Ins.Cl) (F)		cos Ø:	0,45

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 19.** Datos de placa Tecle de 1000 kg.

<b>Tecles DEMAG</b>			
Voltaje/frecuencia :	3~380~400/60 Hz	Nm (r/min):	855
Tamaño:	DC-Com 10	Conx./h:	240
Tamaño de motor :	ZNK 100 A 8/2	In min (A):	2,3
Numero de Polos :	8	In max (A):	2,5
Pn (kW):	0,22	I max (A):	2,8
FM (%):	20	(Ia/In)max (A):	1,9
Aislamiento (Ins.Cl) (F)		cos Ø:	0,47

Elaborado por Andrés Espín.

**Tabla 20.** Datos de placa Tecle de 2000 kg.

<b>Tecles DEMAG</b>			
Voltaje/frecuencia:	3~380~400/60 Hz	Nm (r/min):	880
Tamaño:	DC-Pro	Conx./h:	240
Tamaño de motor:	ZNK 100 B 8/2	In min (A):	5,4
Numero de Polos:	8	In max (A):	5,4
Pn (kW):	0,65	I max (A):	6,4
FM (%):	20	(Ia/In)max (A):	2,7
Aislamiento (Ins.Cl) (F)		cos Ø:	0,43

Elaborado por: Andrés Espín.

En las áreas de soldado existen 18 tecles en total distribuidos de la siguiente forma:

**Tabla 21.** Distribución de tecles en el área Shineray

<b>Tecles DEMAG</b>		
	Capacidad (kg)	Número de tecles
Área	250	3
Shineray	500	2
	1000	2
<b>Total</b>		<b>7</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 22.** Distribución de tecles en el área M4.

<b>Tecles DEMAG</b>		
	Capacidad (kg)	Número de tecles
Área	250	3
M4	500	1
	1000	1
<b>Total</b>		<b>5</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 23.** Distribución de tecles en el área Baldes.

<b>Tecles DEMAG</b>		
Área	Capacidad (kg)	Número de tecles
Baldes	500	3
<b>Total</b>		<b>3</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 24.** Distribución de tecles en el área Wingle

<b>Tecles DEMAG</b>		
Área	Capacidad (kg)	Número de tecles
Wingle	250	2
<b>Total</b>		<b>2</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 25.** Distribución de tecles en el área salida de carrocería.

<b>Tecles DEMAG</b>		
Área	Capacidad (kg)	Número de tecles
Salida de carrocería	2000	1
<b>Total</b>		<b>1</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**g) Bombas de agua:**

Las bombas de agua es una parte esencial para el enfriamiento de las soldas de punto sus datos de placa son los siguientes:

**Tabla 26.** Datos de placa Bomba de agua 7,5 kW

<b>Bombas de Agua</b>			
Potencia (kW):	7,5	Cos Ø:	0,88
Voltaje (V):	380	Grado de protección:	IP55
In (A):	14,5	Peso (kg):	70
Nm (r/min):	2920	Fecha de manufactura:	2018/12
Frecuencia (Hz):	60	Conexión:	Delta
Polos:	2	Aislamiento (Ins.Cl) (F)	

Elaborado por: Andrés Espín

**Tabla 27.** Datos de placa Bomba de agua 1,1 kW.

<b>Bombas de Agua</b>			
Potencia (kW):	1,1	cos Ø:	0,88
Voltaje (V):	380	Grado de protección:	IP55
In (A):	2,7	Peso (kg):	23
Nm (r/min):	1420	Fecha de manufactura:	2014
Frecuencia (Hz):	60	Conexión	Estrella
Polos	5	Aislamiento (Ins.Cl) (F)	

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 28.** Datos de placa Bomba de agua 0,75 kW

<b>Bombas de Agua</b>			
Potencia (kW):	0,75	Frecuencia (Hz):	60
Voltaje (V):	380	Grado de protección:	IP55
In (A):	3,4	Fecha de manufactura	2014
Caudal máximo (L/min):	100	Aislamiento (Ins.Cl) (F)	

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 29.** Datos de placa Bomba de agua 0,43 kW.

<b>Bombas de Agua</b>			
Potencia (kW):	0,43	Polos:	2
Voltaje (V):	380	Grado de protección:	IP55
In (A):	1,959	Frecuencia (Hz):	60
Nm (r/min):	3515	Fecha de manufactura:	2014
		Aislamiento (Ins.Cl) (F)	

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 30.** Datos de placa Ventiladores de 1,5 kW.

<b>Ventiladores</b>			
Potencia (kW):	1,5	Conexión:	estrella
Voltaje (V):	380	Grado de protección:	IP55
In (A):	5,2	Frecuencia (Hz):	60
Nm (r/min):	860	Polos:	8
		Aislamiento (Ins.Cl) (F)	

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 31.** Datos de placa Suelda Mic YD-500GR.

<b>Suelda Mic YD-500GR</b>	
Potencia (kW):	24,4
Voltaje (V):	380
In (A):	500
Peso (kg)	60
Grado de protección:	IP21
Frecuencia (Hz):	60

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 32.** Carga instalada.

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia Unitaria (kVA)</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Potencia Unitaria (kW)</b>	<b>Voltaje Línea (V)</b>	<b>Total carga instalada (kW)</b>	<b>Total carga instalada (kVA)</b>
Sueldas baja frecuencia	40	200	0,8	160	380	6400	8000
Sueldas media frecuencia	20	400	0,8	320	380	6400	8000
Tecles 250 kg	8	-	0,51	0,08	380	0,64	1,25
Tecles 500 kg	6	-	0,45	0,12	380	0,72	1,60
Tecles 1000 kg	3	-	0,47	0,22	380	0,66	1,40
Tecles 2000 kg	1	-	0,43	0,65	380	0,65	1,51
Bomba de agua 7.5 (kW)	2	-	0,88	7,50	380	15,00	17,05
Bomba de agua 1.1 (kW)	1	-	0,88	1,10	380	1,10	1,25
Bomba de agua 0.75 (kW)	1	-	0,8	0,75	380	0,75	0,94
Bomba de agua 0.43 (kW)	1	-	0,8	0,43	380	0,43	0,54
Ventiladores de 1.5 (kW)	2	-	0,8	1,50	380	3,00	3,75
Sueldas Mic 50 kg	2	-	0,8	22,40	380	44,80	56,00
<b>Total</b>						<b>12.867,75</b>	<b>16.085,29</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

### 3.2 Mediciones de calidad del producto

Las mediciones de calidad de producto se realizaron usando el equipo de medición analizador de energía marca FLUKE 435 categoría I, equipo que fue conectado en las borneras del lado secundario del transformador tipo padmounted.

Las mediciones se registraron durante siete días con la recopilación de datos cada diez minutos los registros se obtuvieron en estado estable y no transitorio. Los días en los que estuvo conectado el equipo fueron desde el 6 al 13 de julio de 2021.



**Figura 25.** Conexión del analizador de energía FLUKE 435-I.

Elaborado por: Andrés Espín.

Las variables eléctricas a medirse para determinar la calidad de producto de responsabilidad de la distribuidora serán:

- P,Q,S de las líneas 1, 2 y 3.
- Factor de potencia de las líneas 1, 2 y 3.
- Voltajes de las líneas 1, 2, 3 y neutro.
- Flicker de las líneas 1, 2 y 3.
- Distorsión armónica individual de voltaje de las líneas 1, 2 y 3, desde la armónica 2 hasta la 25.

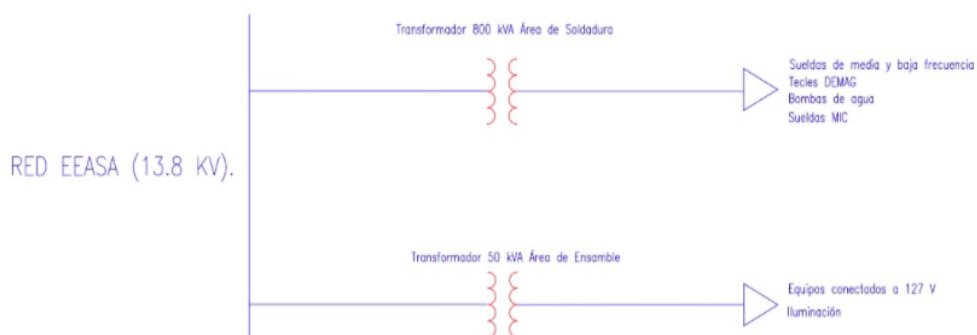
- THD de las líneas 1, 2 y 3.
- Desequilibrio de voltaje de las líneas 1, 2 y 3.

Las variables eléctricas a medirse para determinar la calidad de producto de responsabilidad de CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO serán:

- Corrientes de las líneas 1, 2, 3 y neutro.
- Distorsión armónica individual de corriente de las líneas 1, 2, 3 y neutro, desde la armónica 2 hasta la 25.
- TDD de las líneas 1, 2 y 3.

### 3.3 Niveles de iluminación

En el presente estudio se efectuara la medición de los niveles de iluminación de las diferentes áreas de trabajo para determinar si están dentro de los límites aceptables, cabe resaltar que la energía eléctrica que alimenta a cada circuito de iluminación y a los diferentes equipos que funcionan a un voltaje monofásico de 127 V en las diferentes áreas de soldadura, provienen del alimentador del área de ensamble; esta separación de los circuitos está realizada con la finalidad de evitar parpadeos en las lámparas al momento de usar las sueldas de punto en media y baja frecuencia.



**Figura 26.** Diagrama unifilar del área de soldadura e iluminación.

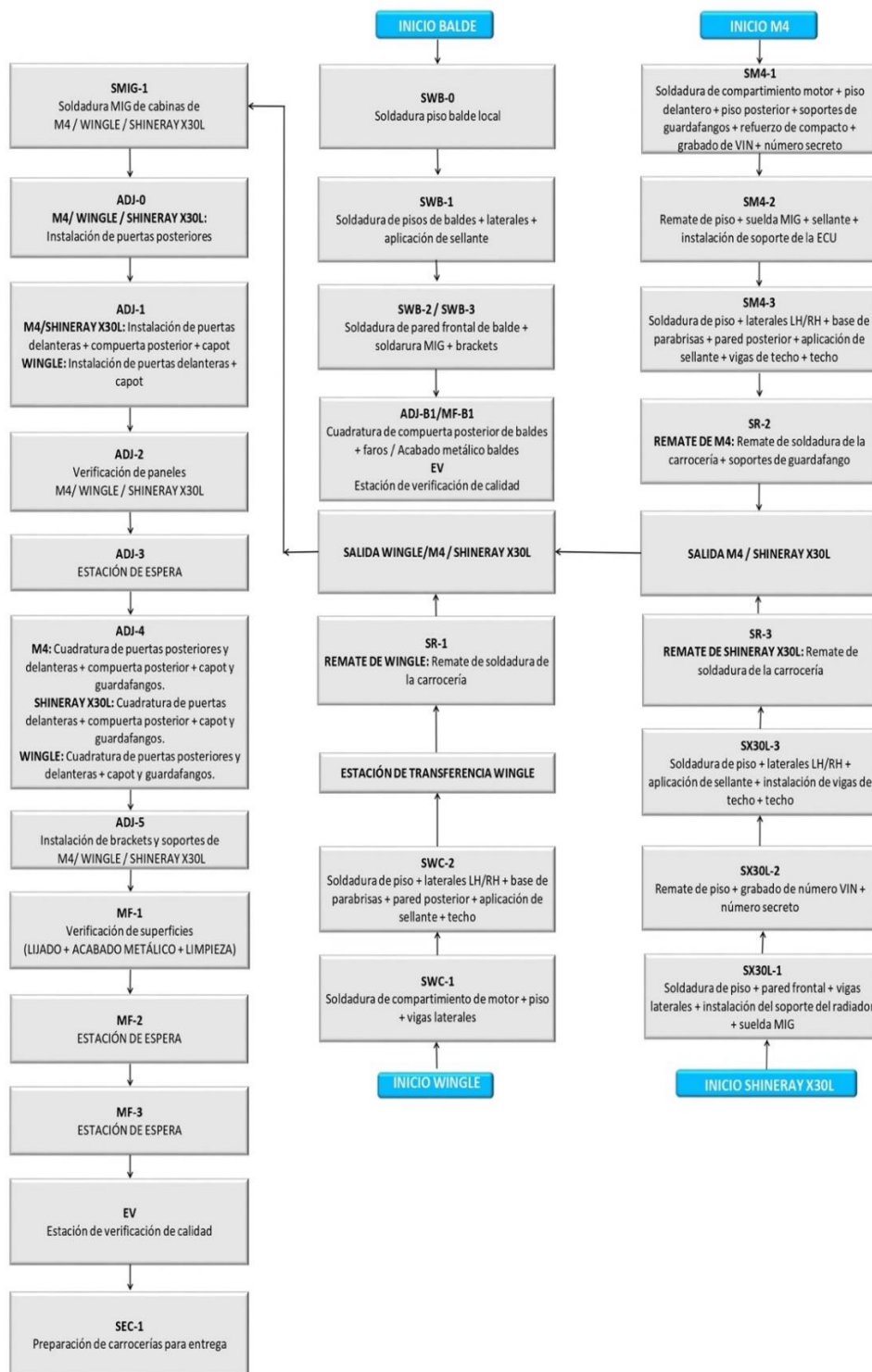
Elaborado por: Andrés Espín



Con la ayuda del luxómetro digital Lux Meter ar83 se procederá a realizar mediciones de iluminación en el área específica de soldadura, y además implementando el método de la cuadrícula para determinar, en cada área de trabajo, en número de mediciones:

- MBF1
- SM1G1
- ADJ0 a ADJ5
- MF-1 a SEC-1
- Oficina
- Hall
- Rack
- Oficina de operaciones
- Oficina Sala de reuniones
- Baños

Todas las áreas de trabajo cuentan como alumbrado natural y alumbrado artificial; a continuación, se presenta un diagrama de flujo en la que constan todas las áreas donde se realizó el estudio:



**Figura 27.** Áreas de trabajo.

Fuente: Distribución de áreas de trabajo. Cortesía de CIAUTO por el Ingeniero Israel Masaquiza [37].

### **3.4 Inspección termográfica**

Con la ayuda de la cámara termográfica FLIR E4 se procederá a realizar las mediciones de temperatura en los puntos tales como:

- Bornes del transformador en bajo voltaje.
- Tablero de iluminación
- Tablero de distribución principal.
- Barra de conexión con ducto barra.
- Bombas de agua.
- Tablero de control de bombas

Para la inspección termográfica se debe hacer una comparación de temperatura del equipo o elemento que contengan las mismas condiciones de trabajo, obteniendo así un diferencial de temperatura entre el punto más alto con el punto más bajo de la medición, para después guiarnos en la en la clasificación de fallas expresadas en el ANEXO B de la normativa NETA. En la cámara termográfica si bien es el caso está configurada en escala de colores, pero lo que debemos dar mayor prioridad es al parámetro de emisividad teniendo en cuenta que si seleccionamos un valor muy bajo mediciones incorrectas.

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Potencia

#### a) Potencia activa:

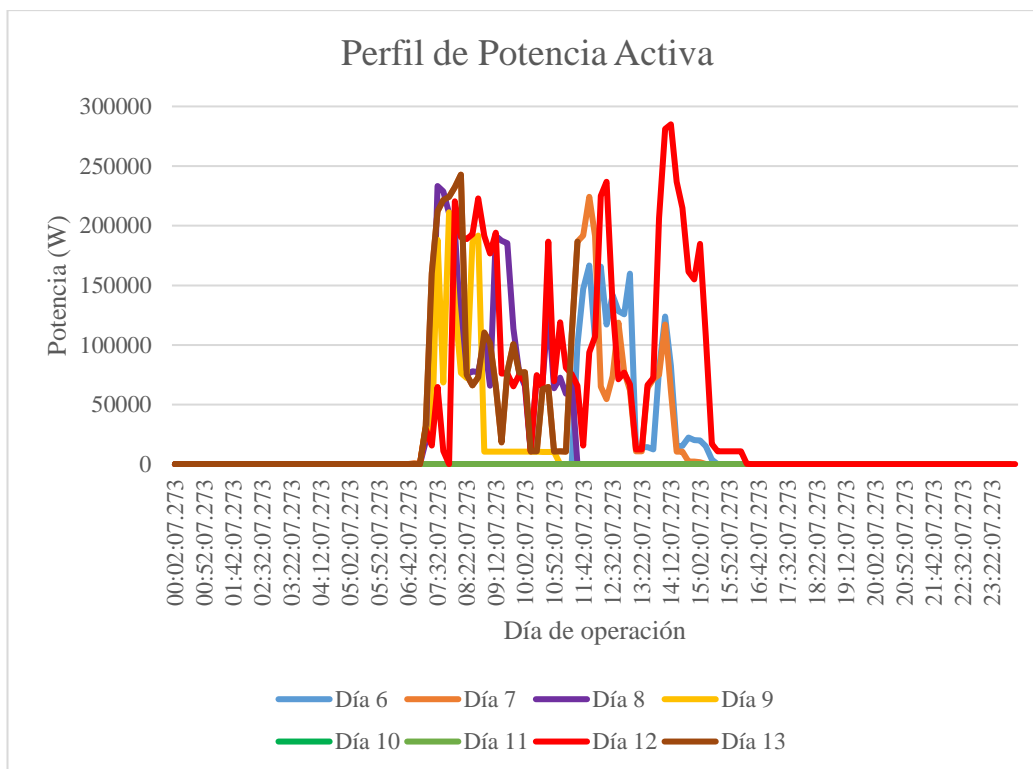
Para el análisis de la potencia activa se ha seleccionado los valores máximos de cada valor de medición: mínima, media y máxima. La suma de las tres líneas da un valor de 345,3 kW.

**Tabla 33.** Potencia activa del sistema.

Potencia Activa	Máximo (kW)	Medio (kW)	Mínimo (kW)
Línea 1	202,9	16,4	4,9
Línea 2	70,6	10,5	5,1
Línea 3	71,8	11,3	4,9
<b>Total</b>	<b>345,3</b>	<b>38,2</b>	<b>14,9</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 28 se evidencia el perfil de potencia activa los valores máximos presentados desde el día 6 al 13 de julio de 2021, en el horario de 00:02 a 23:52. El día que registró mayor consumo fue el 12 de julio de 2021.

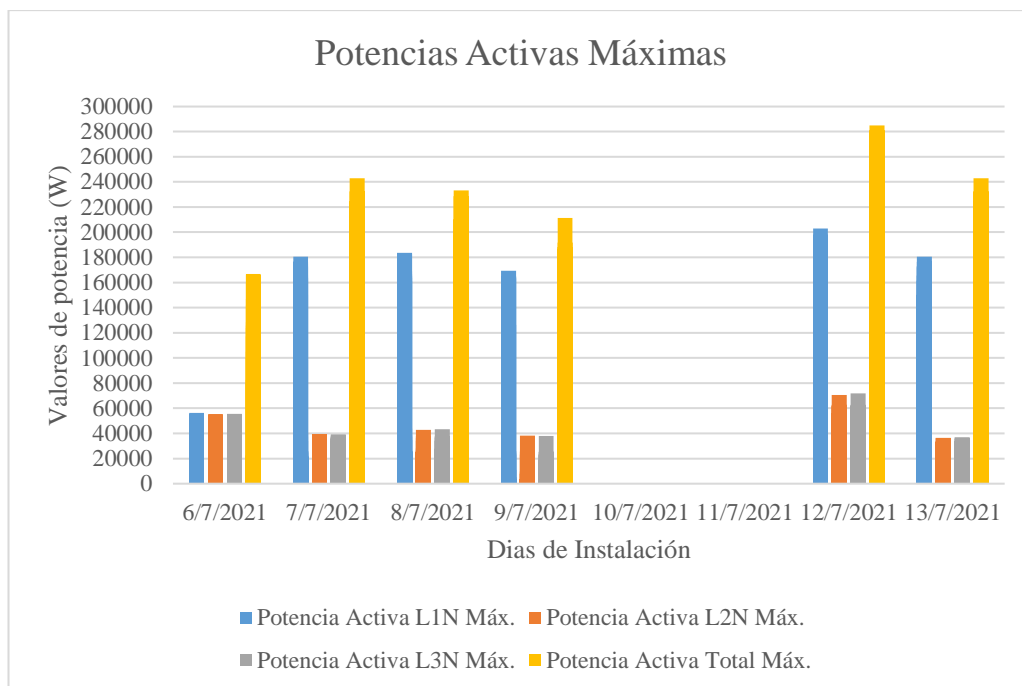


**Figura 28.** Perfil de potencia activa.

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 29 se evidencia el comportamiento del consumo de potencia activa máxima por línea en los siete días de instalación del equipo, como también la potencia total máxima de cada día.

En la línea 1 su valor máximo es potencia activa es de 202,9 kW, la línea 2 su valor máximo de potencia activa es de 70,6 kW, la línea 3 su valor máximo de potencia activa es 71,8 kW. Como se evidencia la figura 29, la línea 1 esta sobrecargada.



**Figura 29.** Curva de potencia activa total.

Elaborado por: Andrés Espín.

**b) Potencia Reactiva:**

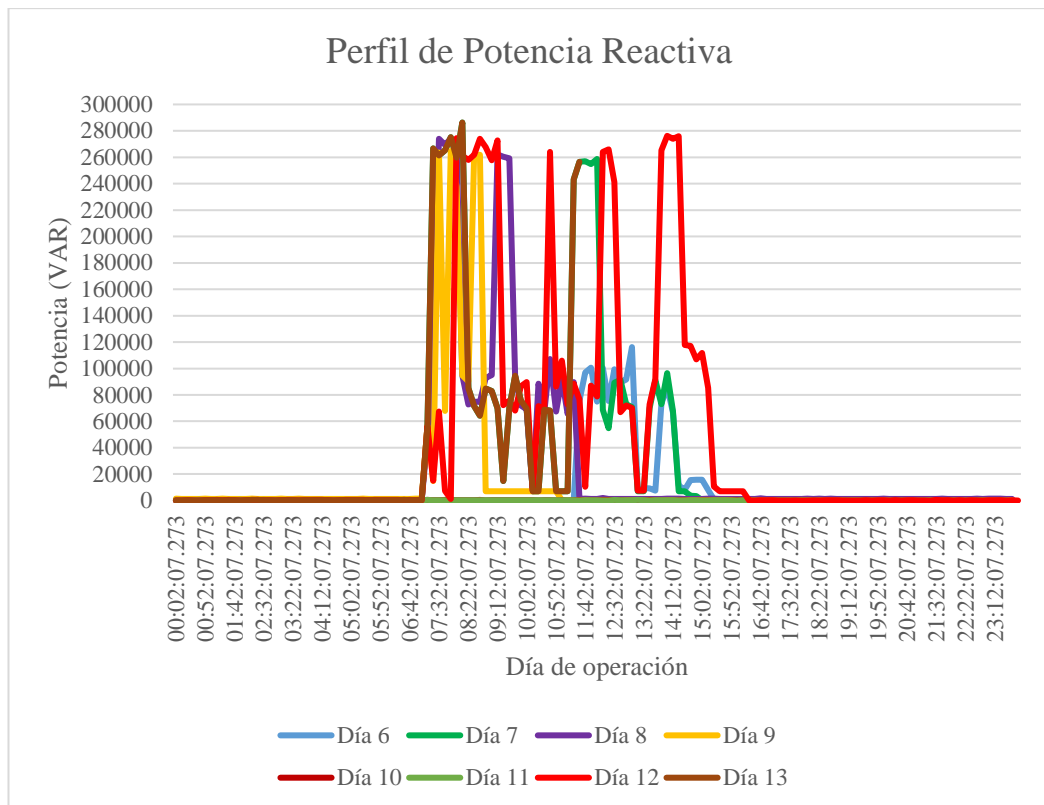
Para el análisis de la potencia reactiva se ha seleccionado los valores máximos de cada valor de medición: mínima, media, máxima. La suma de las tres líneas da un valor de 344,6 kVAR.

**Tabla 34.** Potencia reactiva del sistema

Potencia Reactiva	Máximo (kVAR)	Medio (kVAR)	Mínimo (kVAR)
Línea 1	121,9	15,6	3,4
Línea 2	38,8	8,2	3,1
Línea 3	183,9	10,2	3,5
	<b>344,6</b>	<b>34</b>	<b>10</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 30 se evidencia los valores máximos de potencia reactiva, presentados desde el día 6 al 13 de julio de 2021, en el horario de 00:02 a 23:52. El día que registró mayor consumo fue el 12 de julio de 2021.

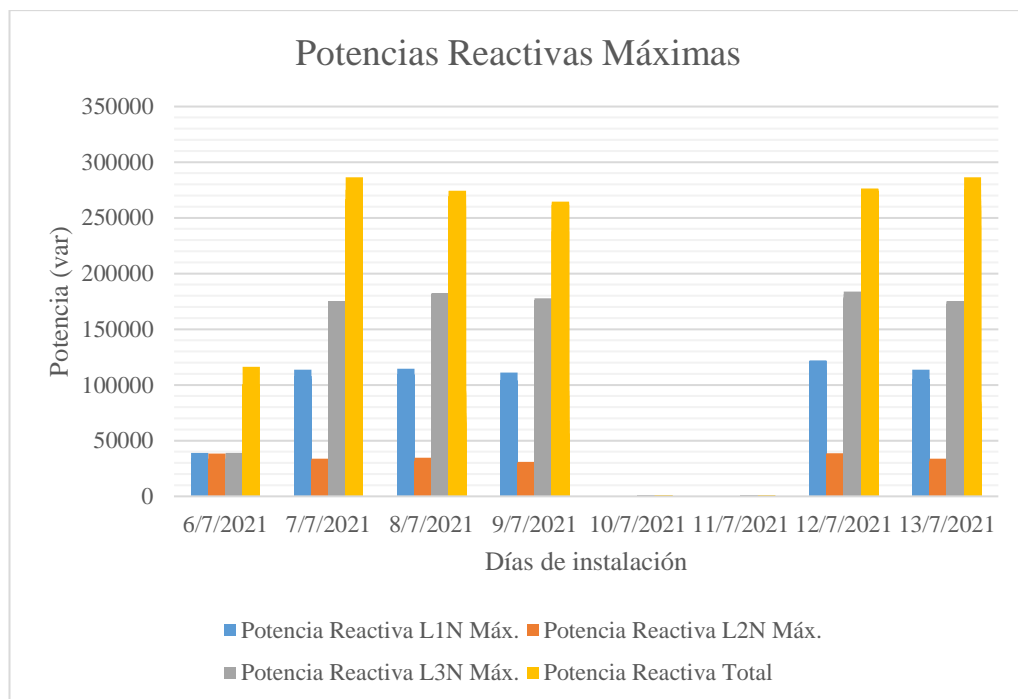


**Figura 30.** Perfil de potencia reactiva.

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 31 se evidencia el comportamiento del consumo de potencia reactiva máxima por línea en los 7 días de instalación del equipo, como también la potencia total máxima de cada día.

En la línea 1 su valor máximo es de potencia reactiva es de 121,9 kVAR, la línea 2 su valor máximo de potencia reactiva es de 38,8 kVAR, la línea 3 su valor máximo de potencia reactiva es 183,9 kVAR.



**Figura 31.** Curva de potencia reactiva total.

Elaborado por: Andrés Espín.

**c) Potencia Aparente:**

Para el análisis de la potencia aparente se ha seleccionado los valores máximos de cada valor de medición: mínima, media, máxima. La suma de las tres líneas da un valor de 493,4 kVA.

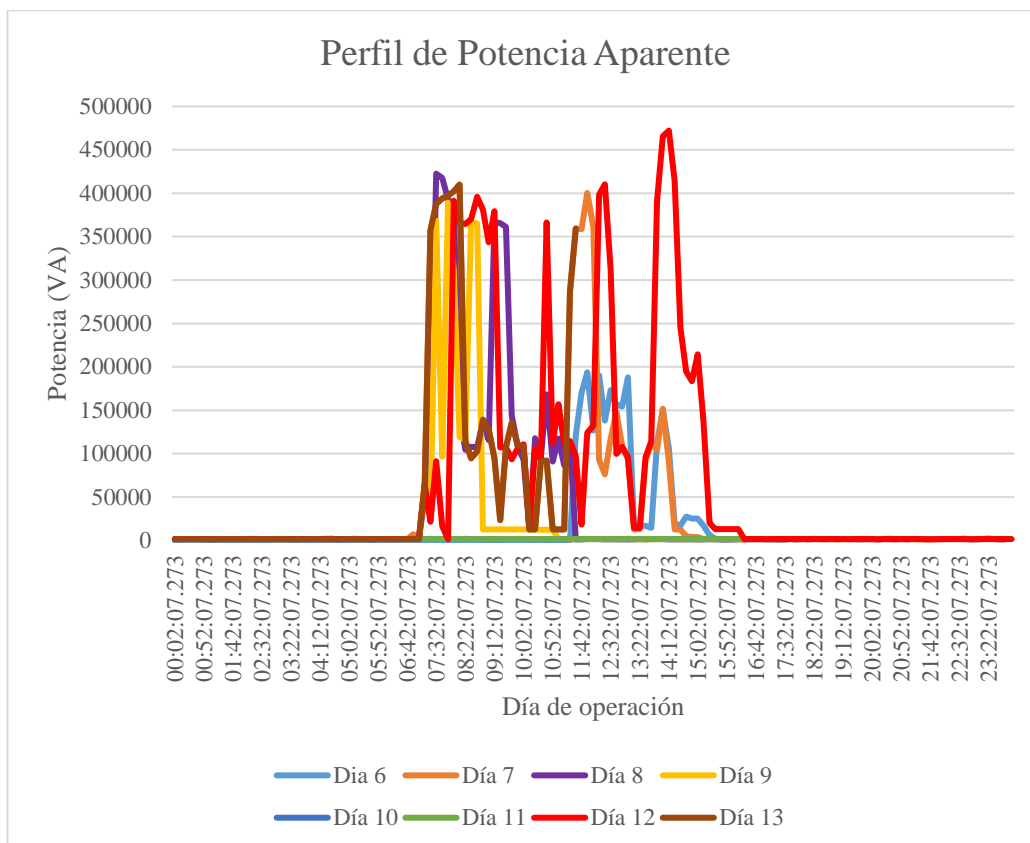
**Tabla 35.** Potencia aparente del sistema

Potencia Aparente	Máximo (kVA)	Medio (kVA)	Mínimo (kVA)
Línea 1	225,9	22,9	6
Línea 2	80,1	14,1	6
Línea 3	187,4	15,3	6
<b>Total</b>	<b>493,4</b>	<b>52,3</b>	<b>18</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 32 se evidencia los valores máximos de potencia aparente, presentados desde el día 6 al 13 de julio de 2021, en el horario de 00:02 a 23:52. El día que registró mayor consumo fue el 12 de julio de 2021.



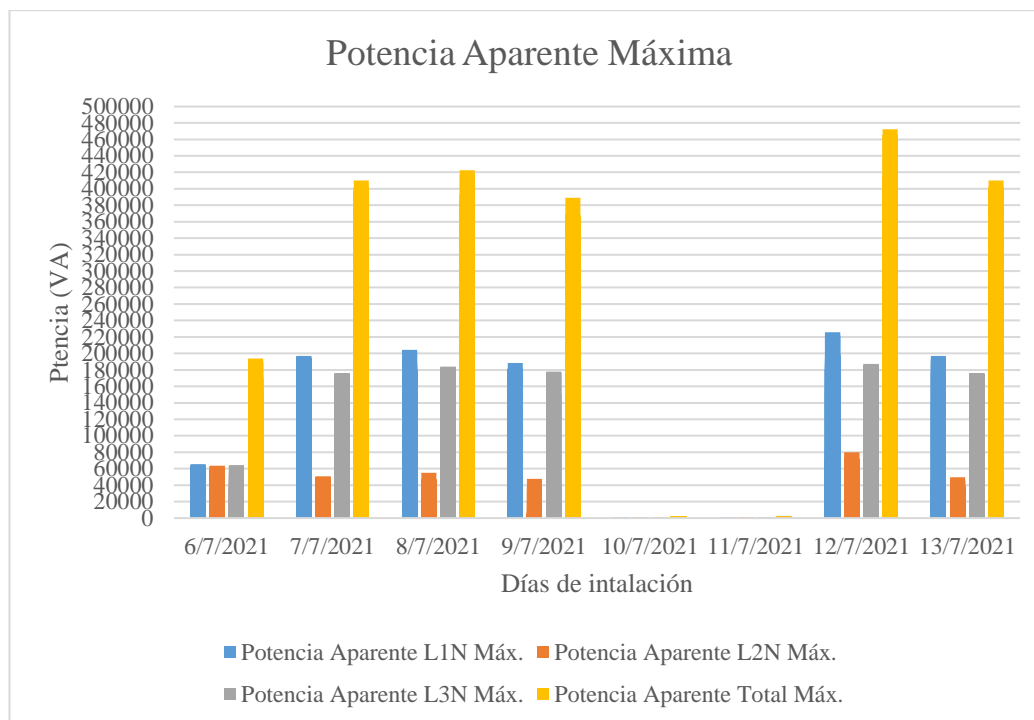


**Figura 32.** Perfil de potencia aparente.

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 33 se evidencia el comportamiento del consumo de potencia aparente máxima por línea en los 7 días de instalación del equipo como a su vez la potencia total máxima de cada día.

En la línea 1 su valor máximo es de potencia aparente es de 225,9 kVA, la línea 2 su valor máximo de potencia aparente es de 80,1 kVA, la línea 3 su valor máximo de potencia aparente es 187,4 kVA.



**Figura 33.** Curva de potencia aparente total.

Elaborado por: Andrés Espín.

## 4.2 Factor de potencia

La Regulación ARCONEL No. 074/17, establece que el factor de potencia mínimo de cumplimiento es de 0,92; el valor mínimo obtenido específicamente en el área de soldadura es de 0,2. Cabe resaltar que el factor de potencia de toda la empresa de CIAUTO CIA. LTDA., es de 0,96553 el cual no es penalizado por la empresa distribuidora. En el ANEXO E se puede observar la factura del consumo eléctrico de la empresa.

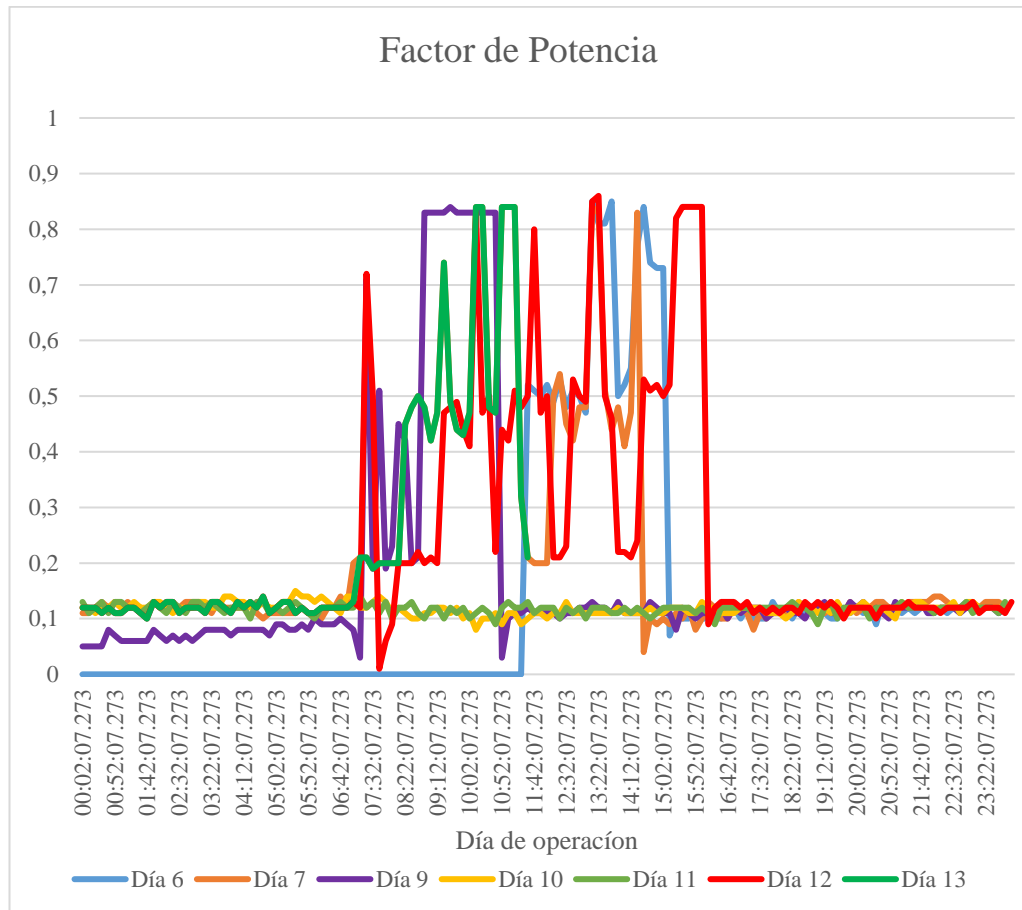
Es importante corregir el factor de potencia por dos motivos:

- i. Porque el bajo factor de potencia degrada la vida útil de los equipos instalados.
- ii. Como a su vez la empresa ensambladora puede sufrir una sanción económica por parte de la empresa eléctrica distribuidora por el bajo factor de potencia cuando están en el periodo de demanda punta comprendida en el horario de 18:00 a 22:00.

**Tabla 36.** Factor de potencia en el área de soldadura.

Factor de potencia	Máximo	Medio	Mínimo
Línea 1	0,85	0,76	0,2
Línea 2	0,87	0,79	0,15
Línea 3	0,86	0,71	0,19

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 34.** Factor de potencia.

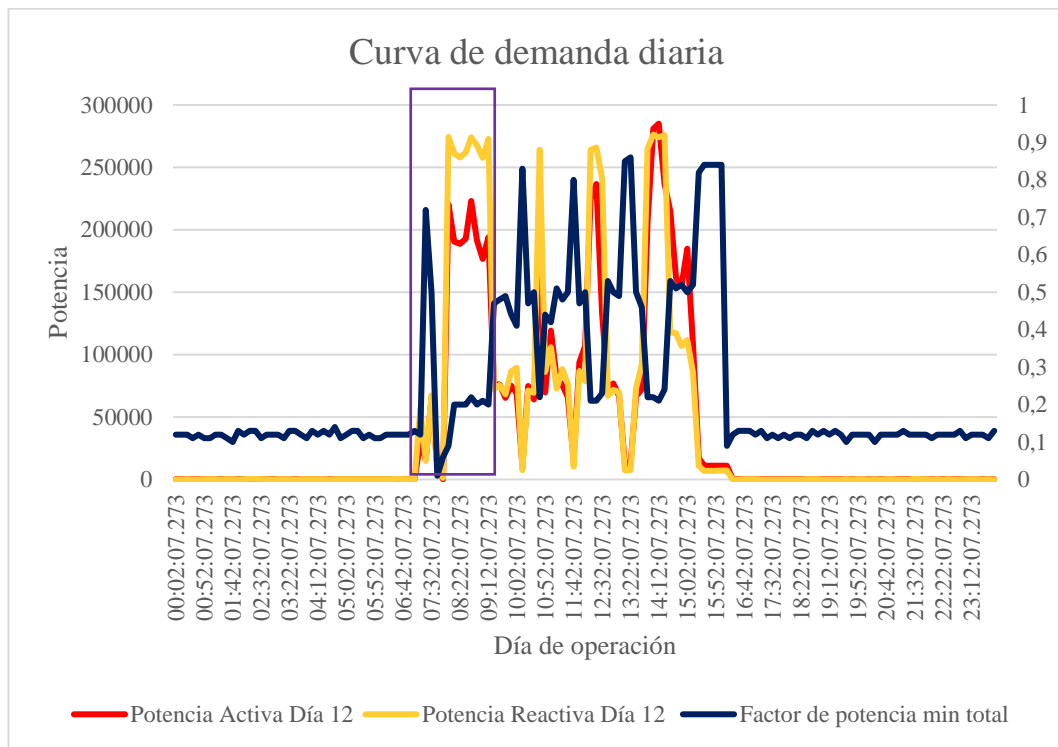
Elaborado por: Andrés Espín.

Se seleccionó el día de mayor consumo que fue el 12 de julio de 2021, las variables analizar en la figura 35 son: potencia activa máxima total, potencia reactiva máxima total y factor de potencia min total.

El factor de potencia cuando alcanza un valor de 0 quiere decir que el ángulo entre la potencia aparente y la potencia activa tiende a ser  $90^\circ$  por el cual la potencia reactiva

incrementa, por otro lado cuando el factor de potencia llega a tener un valor de 1 el ángulo tiende a ser  $0^\circ$  provocando un descenso en la potencia reactiva.

El periodo de demanda punta no coincide con la demanda del sistema de la empresa CIAUTO CIA. LTDA.- CIUDAD DEL AUTO, por tal motivo la empresa eléctrica distribuidora no los penaliza.



**Figura 35.** Perfil de potencia activa, reactiva y factor de potencia min Día 12.

Elaborado por: Andrés Espín.

En un sistema idealmente balanceado el voltaje en el neutro deberá ser cero, pero eso no sucede en el área de soldadura de la empresa CIAUTO CIA. LTDA. – CIUDAD DEL AUTO porque el sistema no es balanceado.

El voltaje máximo en el neutro medido es de 0,22 V, la cual no es significativo porque está cercano al cero, por ende, en el área de soldadura tienen una adecuada malla de puesta a tierra.

El neutro es una referencia para medir los desequilibrios de voltaje reflejado en la secuencia negativa como a su vez verificar el desequilibrio de corriente reflejada en la secuencia cero.

**Tabla 37.** Valores medidos de voltaje en el neutro

Voltaje	Máximo (V)	Medio (V)	Mínimo (V)
Neutro	0,22	0,2	0,1

Elaborado por: Andrés Espín.

En la figura 36 se muestra una medición del sistema de puesta a tierra en el área de soldadura que registró un valor de  $0,58 \Omega$  en la empresa CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, lo que indica que tienen un sistema de puesta a tierra adecuado.



**Figura 36.** Medición de puesta a tierra área de soldadura.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 4.3 Calidad del producto de responsabilidad de la distribuidora

#### 4.3.1 Nivel de voltaje

Para el presente estudio de calidad de la energía las variaciones de voltaje aceptadas es del  $\pm 8\%$  en bajo voltaje. En la tabla 38 se realizó una comparación de término a

término de los datos proporcionados por el equipo de medición FLUKE 435-I, el equipo entregó 1010 datos.

**Tabla 38.** Comparación de datos nivel de voltaje.

<b>Voltaje</b>	<b>Valores</b>	<b>Datos totales recopilados</b>	<b>Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18</b>	<b>Datos mínimos de cumplimiento (95%)</b>	<b>¿Cumple con la Regulación?</b>
Línea 1	Mínimo	1010	1008	960	Cumple
	Medio	1010	1010		Cumple
	Máximo	1010	1008		Cumple
Línea 2	Mínimo	1010	1010	960	Cumple
	Medio	1010	1010		Cumple
	Máximo	1010	1004		Cumple
Línea 3	Mínimo	1010	1009	960	Cumple
	Medio	1010	1010		Cumple
	Máximo	1010	1009		Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

En la tabla 39 se realizó un cálculo promedio del nivel de voltaje con la finalidad de identificar de forma cuantitativa si el nivel de voltaje está en el rango admisible del  $\pm 8\%$ .

**Tabla 39.** Datos promedios de nivel de voltaje

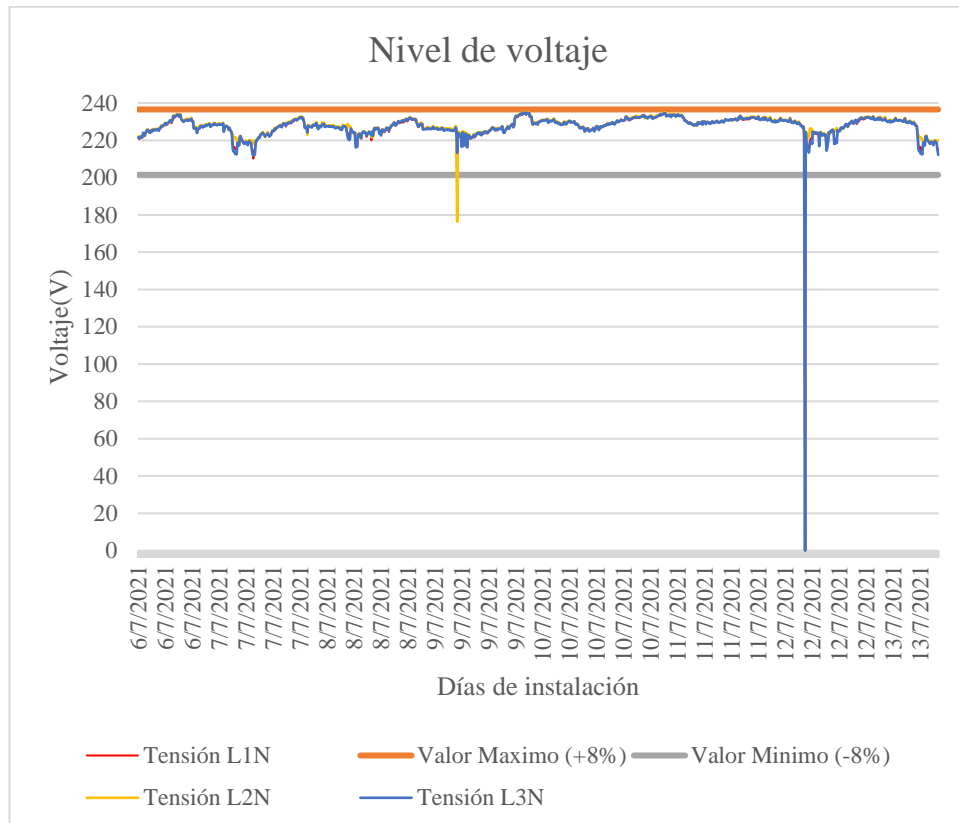
<b>Voltaje</b>	<b>Voltaje nominal</b>	<b>Promedio total (V)</b>	<b>Porcentaje de variación de voltaje calculado (%)</b>	<b>Variación de voltaje permitido (%)</b>	<b>¿Cumple con la Regulación ?</b>
Línea 1	219	228,84	4,49	$\pm 8$	Cumple
Línea 2		229,33	4,71	$\pm 8$	Cumple
Línea 3		228,88	4,51	$\pm 8$	Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

Las variaciones aceptadas están dentro del  $\pm 8\%$ , estos es de 236,52 V y 201,48 V, respectivamente. En la figura 37 se observa que los datos obtenidos están oscilando en el rango de los límites establecidos, pero hay dos eventos que se encuentran fuera del rango establecido.

El primer evento ocurrió el día 9 de julio de 2021, a las 06:32, que es una fluctuación de voltaje que ocurre de forma eventual cuando entran en operación las grandes cargas no lineales tales como las sueldas de punto de media y baja frecuencia.

El segundo evento fue una interrupción breve de voltaje el día 12 de julio de 2021, a las 07:42 que duró alrededor de unos 5 minutos.



**Figura 37.** Variación de voltaje-neutro Línea 1.

Elaborado por: Andrés Espín.

### 4.3.2 Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

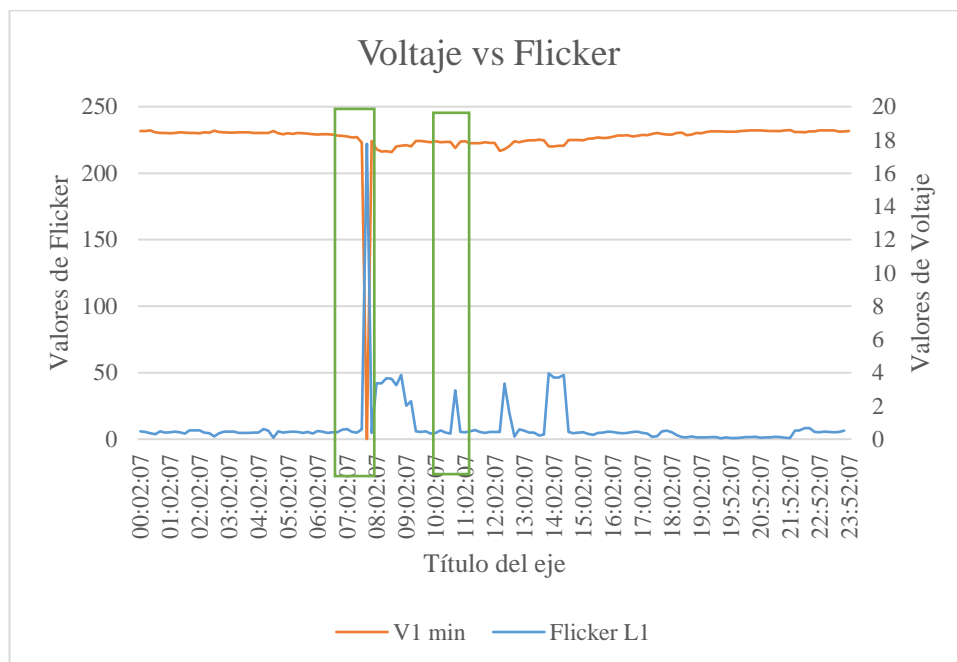
En la figura 38 se seleccionó los datos del día 12 de julio 2021, para evidenciar la interrupción breve de voltaje y el comportamiento del flicker.

En el primer evento se observa que el flicker tiene un pico alto con un valor de 17,765% tomando en cuenta que el límite es 1%, se registra este valor porque el voltaje decae por el corte de suministro de la empresa eléctrica distribuidora.

Los otros picos se dan porque hay fluctuaciones del voltaje nominal, el flicker y el voltaje son inversamente proporcionales si el voltaje decae el flicker aumenta por tal motivo la empresa eléctrica distribuidora debe entregar un voltaje con los parámetros adecuados tanto en calidad y en continuidad para no afectar al usuario final.

El voltaje puede reducirse cuando entra en operación una carga con comportamiento no lineal significativa. Para nuestro estudio la iluminación proviene de otro alimentador el cual no es causante de producción de flicker.

Los equipos causantes de producir flicker en el área de soldadura son las sueldas de media y baja frecuencia porque producen un corto circuito controlado y al momento que se activa la suelda producen variaciones de voltaje; otro equipo que produce flicker son las bombas de agua debido a su función de cargar y descargar para el sistema de enfriamiento de la suelda de punto.



**Figura 38.** Voltaje vs Flicker.

Elaborado por: Andrés Espín.

El flicker de corta duración no debe sobrepasar la unidad. En la tabla 40 se realizó una comparación de término a término de los datos obtenidos por el equipo de medición FLUKE 435-I.



**Tabla 40.** Comparación de datos flicker.

<b>Flicker de corta duración (Pst)</b>	<b>Datos totales recopilados</b>	<b>Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18</b>	<b>Datos mínimos de cumplimiento</b>	<b>¿Cumple con la Regulación?</b>
Línea 1	1010	963		Cumple
Línea 2	1010	965	960	Cumple
Línea 3	1010	986		Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 41.** Valores promedios de flicker.

<b>Flicker de corta duración</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Limite normado (%)</b>	<b>¿Cumple con la regulación?</b>
Línea 1	0,4917		Cumple
Línea 2	0,6111	1	Cumple
Línea 3	0,4932		Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

De acuerdo a la figura 39 se presenta varios picos lo que significa variaciones moderadas del voltaje en la red eléctrica.

La mayor parte de datos están dentro del rango máximo de la unidad, el pico más grande se produjo por la interrupción breve de voltaje dado en el 12 de julio de 2021, a las 07:42.



Armón 3	1010	100%	Cumple
Armón 4	1010	100%	Cumple
Armón 5	1010	100%	Cumple
Armón 6	1010	100%	Cumple
Armón 7	1010	100%	Cumple
Armón 8	1010	100%	Cumple
Armón 9	1010	100%	Cumple
Armón 10	1010	100%	Cumple
Armón 11	1010	100%	Cumple
Armón 12	1010	100%	Cumple
Armón 13	1010	100%	Cumple
Armón 14	1010	100%	Cumple
Armón 15	1010	100%	Cumple
Armón 16	1010	100%	Cumple
Armón 17	1010	100%	Cumple
Armón 18	1010	100%	Cumple
Armón 19	1010	100%	Cumple
Armón 20	1010	100%	Cumple
Armón 21	1010	100%	Cumple
Armón 22	1010	100%	Cumple
Armón 23	1010	100%	Cumple
Armón 24	1010	100%	Cumple
Armón 25	1010	100%	Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

En la tabla 43 se encuentran los valores de distorsión armónica individual de voltaje de cada una de las líneas, se puede observar los valores están dentro del rango del 5% que dispone la Regulación.

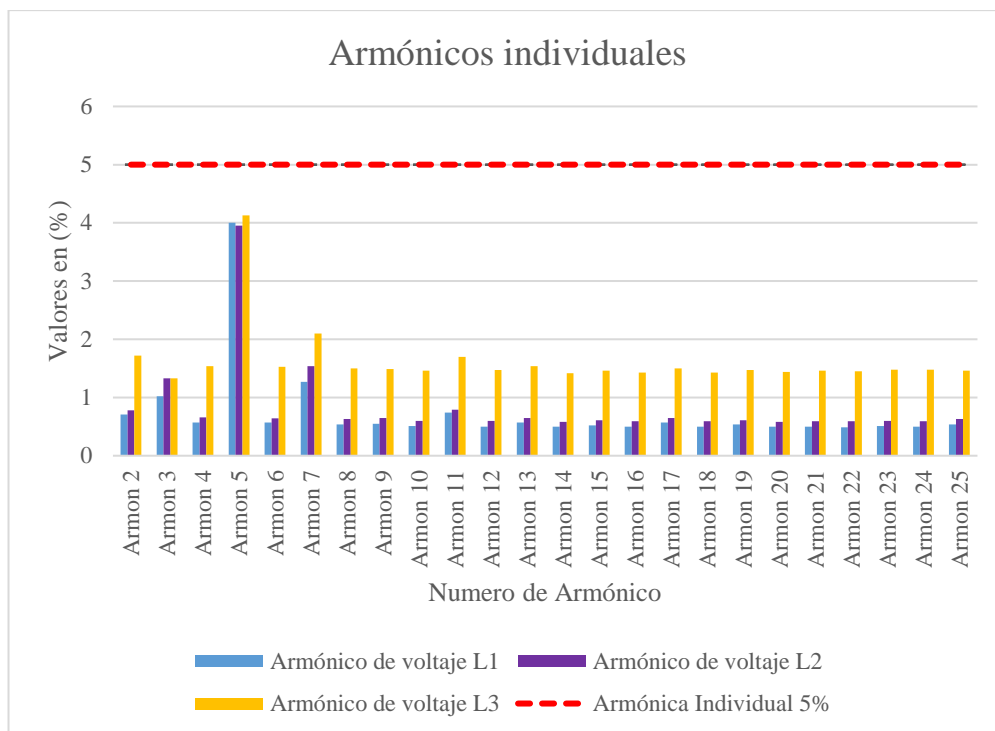
**Tabla 43.** Valores distorsión armónica individual.

Armónicos	Línea 1(%)	Línea 2 (%)	Línea 3 (%)	Porcentaje de armónica individual en (%)	¿Cumple con la regulación?
Armón 2	0,710	0,780	1,720		
Armón 3	1,020	1,330	1,330		
Armón 4	0,570	0,660	1,540		
Armón 5	4,000	3,950	4,130		

Armón 6	0,570	0,640	1,530		
Armón 7	1,270	1,540	2,100		
Armón 8	0,540	0,630	1,500		
Armón 9	0,550	0,650	1,490		
Armón 10	0,510	0,600	1,460		
Armón 11	0,740	0,790	1,700		
Armón 12	0,500	0,600	1,470		
Armón 13	0,570	0,650	1,540		
Armón 14	0,500	0,580	0,420	5	Cumple
Armón 15	0,520	0,610	1,460		
Armón 16	0,5	0,59	1,43		
Armón 17	0,57	0,65	1,5		
Armón 18	0,5	0,59	1,43		
Armón 19	0,54	0,61	1,47		
Armón 20	0,5	0,58	1,44		
Armón 21	0,5	0,59	1,46		
Armón 22	0,49	0,59	1,45		
Armón 23	0,51	0,6	1,48		
Armón 24	0,5	0,59	1,48		
Armón 25	0,54	0,63	1,46		

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 40 se evidencia los armónicos individuales del sistema están dentro del rango permitido que es 5% de la armónica individual. El armónico 5 registrado en las tres líneas es el más preponderante. De acuerdo a la línea 1 tiene un valor de 4%, mientras que en la línea 2 tiene un valor de 3,95% y la línea 3 tiene un valor de 4,13%.



**Figura 40.** Armónicos individuales del sistema.

Elaborado por: Andrés Espín.

**b) Factor de distorsión armónica total de voltaje (THDV):**

La THDV admitida es del ocho por ciento en bajo voltaje.

En la tabla 44 se realizó una comparación de término a término de los datos obtenidos del equipo de medición FLUKE 435-I.

**Tabla 44.** Comparación de datos de distorsión armónica total.

THD	Valores	Datos totales recopilados	Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18	Número de datos mínimos de cumplimiento	¿Cumple con la Regulación?
Línea 1	Mínimo	1010	1010	960	Cumple
	Medio	1010	1010		Cumple
	Máximo	1010	1009		Cumple
Línea 2	Mínimo	1010	1010	960	Cumple
	Medio	1010	1010		Cumple
	Máximo	1010	1009		Cumple
Línea 3	Mínimo	1010	1010		Cumple

Medio	1010	1009	Cumple
Máximo	1010	1009	Cumple

Elaborado por: Andrés Espín

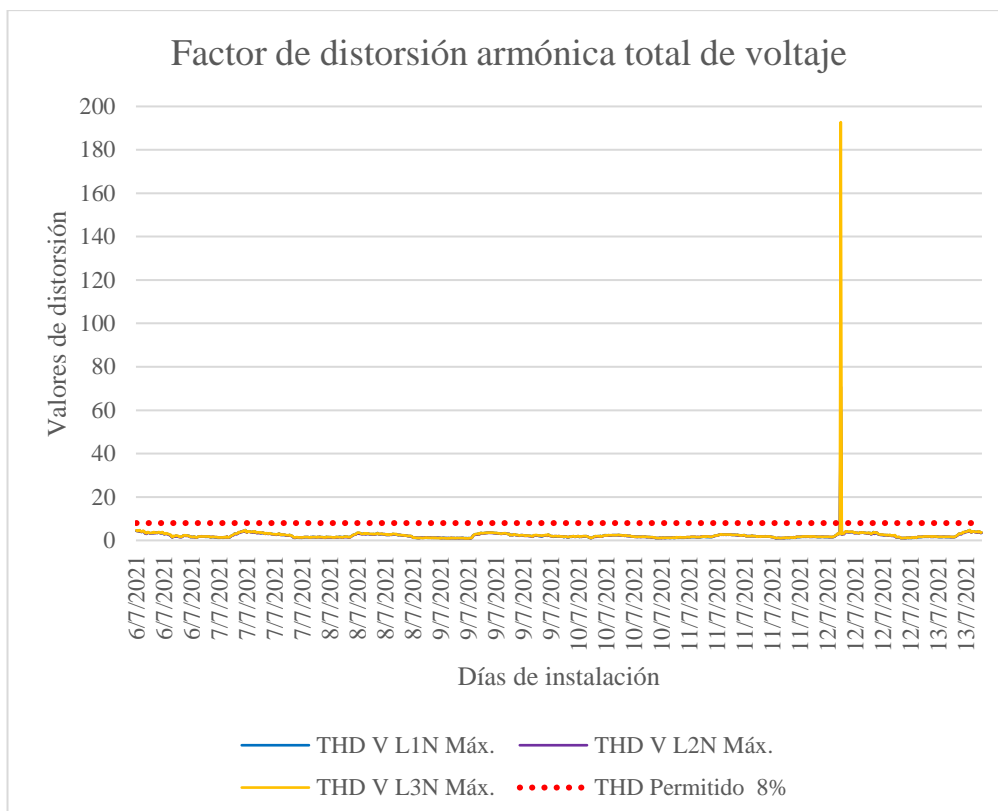
En la tabla 45 se realizó un cálculo promedio de distorsión armónica total de voltaje con el fin de poder identificar de forma cuantitativa si el nivel de voltaje está en el rango admisible del  $\pm 8\%$ .

**Tabla 45.** Datos promedios de distorsión armónica total

<b>Distorsión Armónica total de voltaje</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Porcentaje permitido</b>	<b>¿Cumple con la Regulación?</b>
Línea 1	1,964		Cumple
Línea 2	1,955	$\pm 8$	Cumple
Línea 3	2,068		Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 41 se evidencia los niveles de THDV, los valores están dentro del rango permitido del ocho por ciento. El pico más grande se produjo por la interrupción breve de voltaje dado en el 12 de julio de 2021, a las 07:42.



**Figura 41.** THD por cada línea.

Elaborado por: Andrés Espín.

#### 4.3.4 Desequilibrio de voltaje

El valor admitido para todos los voltajes es del dos por ciento.

En la tabla 46, se realizó una comparación de término a término de la información obtenida del equipo de medición FLUKE 435-I.

**Tabla 46.** Comparación de datos de distorsión armónica total

Valores	Datos totales recopilados	Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18	Número de datos mínimos de cumplimiento	¿Cumple con la Regulación?
Mínimo	1010	1010	960	cumple
Promedio	1010	1009		cumple
Máximo	1010	966		cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

En la tabla 47, se realizó un cálculo promedio de distorsión armónica total de voltaje para lograr identificar de forma cuantitativa si el nivel de voltaje está conforme el rango admisible del  $\pm 8\%$ .

**Tabla 47.** Datos promedios de desequilibrio de voltaje.

<b>Valor</b>	<b>Máximo</b>	<b>Medio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>	<b>¿Cumple con la Regulación?</b>
Desequilibrio de voltaje	0,742	0,460	0,027	>2	Cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

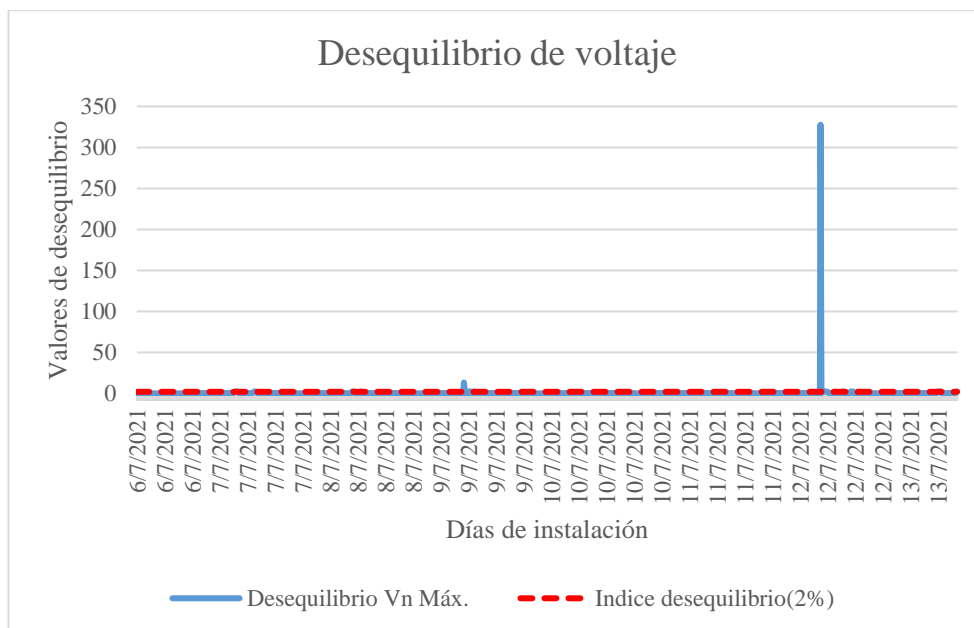
En la figura 42 se observa los niveles de desequilibrio de voltaje, los valores están dentro del rango permitido que es el dos por ciento.

El pico más grande se produjo por la interrupción breve de voltaje provocado en el día 12 de julio de 2021, a las 07:42.

El evento que provocó el desequilibrio de voltaje fue una interrupción del servicio de energía eléctrica por parte de la EEASA.

Para calcular el desequilibrio es importante conocer los valores que nos muestra el neutro porque permite medir los desequilibrios de voltaje reflejado en la secuencia negativa del sistema.





**Figura 42.** Desequilibrio secuencia negativa.

Elaborado por: Andrés Espín.

#### 4.4 Calidad de responsabilidad del consumidor

En la tabla 48 se muestra el porcentaje de uso de corriente en la línea 1 es de 84% y la línea 3 es de 70%, estos porcentajes indican que están casi al límite de llegar a la corriente de carga entregada al transformador que es de 1,215 (kA).

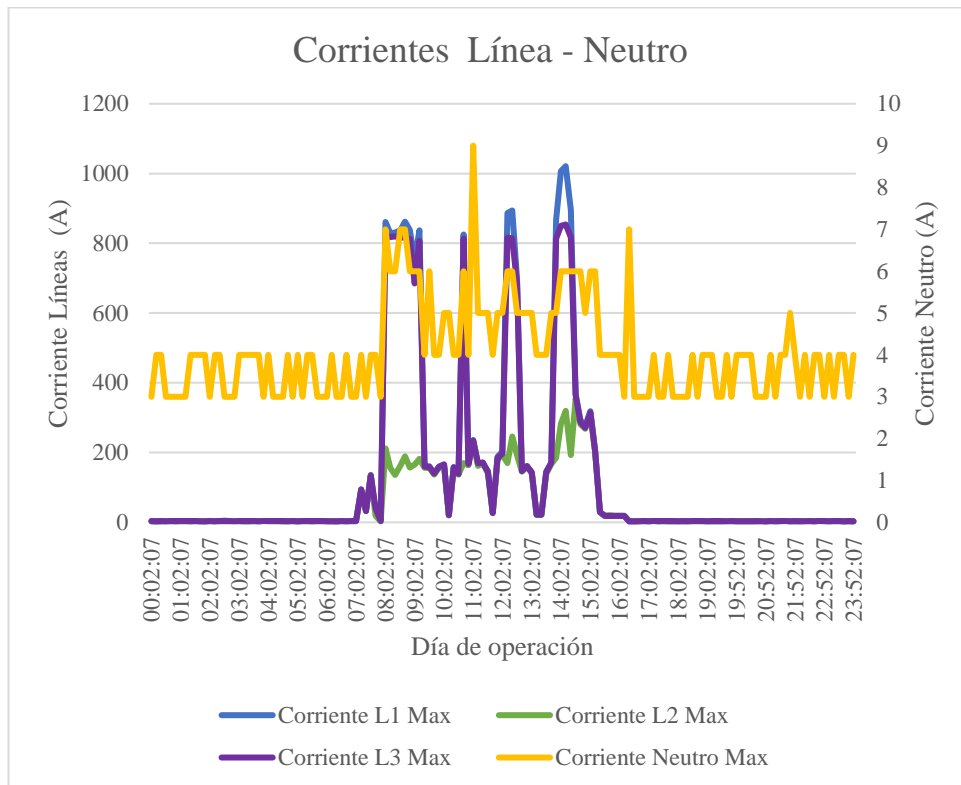
**Tabla 48.** Valores de corriente en el sistema eléctrico

Corriente Línea- Neutro	Máximo [A]	Medio [A]	Mínimo [A]	Porcentaje de uso de corriente respecto al valor nominal
Línea 1	1021	191	26	84%
Línea 2	355	84	26	29%
Línea 3	854	186	26	70%
Neutro	36	2	1	-

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 43 evidencia el consumo de corrientes línea - neutro en el día 12 de julio de 2021, donde presenta el mayor consumo de corriente entre los 7 días medidos en el área de soldadura.

El consumo inicia a las 07:12, va aumentando a medida que transcurre el día. A las 10:12 se reduce debido a que tienen un pequeño receso de 12 minutos. El pico más alto de consumo es a las 14:12. Como se puede evidenciar la línea 1 con un valor de 1021 (A) y la línea (3) con un valor 854 A, presentan mayor consumo de corriente, en consecuencia, el sistema del área de soldadura se encuentra desbalanceado.



**Figura 43.** Corrientes línea-neutro.

Elaborado por: Andrés Espín.

En las tablas Nos. 49, 50, 51, 52 y 53 se muestran los siguientes parámetros: total carga instalada (kW, kVAR, kVA) y corrientes de línea de cada equipo eléctrico en las diferentes áreas ubicadas en la planta de soldadura, con la finalidad de identificar qué equipo es el que tiene mayor consumo de corriente, potencia reactiva: los equipos más representativos son las sueldas de media y baja frecuencia.

**Tabla 49.** Valores de corriente en el Área de suelda M4

Ítem	Cantidad	Potencia Unitaria (kVA)	Factor de potencia	Potencia Unitaria (kW)	Voltaje Línea (V)	Total de consumo (kW)	Total carga instalada (kVA)	Total carga instalada (kVAR)	Corriente Línea (A)
Sueldas baja frecuencia	20	200	0,8	160	380	3200,00	4000	2400,000	303,869
Tecles 250 kg	3	-	0,51	0,08	380	0,24	0,471	0,405	0,238
Tecles 500 kg	1	-	0,45	0,12	380	0,12	0,267	0,238	0,405
Tecles 1000 kg	1	-	0,47	0,22	380	0,22	0,468	0,413	0,711
<b>Total</b>						<b>3.200,58</b>	<b>4.001,21</b>	<b>2.401,06</b>	<b>305,22</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 50.** Valores de corriente en el Área de suelda Shineray.

Ítem	Cantidad	Potencia Unitaria (kVA)	Factor de potencia	Potencia Unitaria (kW)	Voltaje Línea (V)	Total de consumo (kW)	Total carga instalada (kVA)	Total carga instalada (kVAR)	Corriente Línea (A)
Sueldas baja frecuencia	20	200	0,8	160	380	3200,00	4000	2400,000	303,869
Tecles 250 kg	3	-	0,51	0,08	380	0,24	0,471	0,405	0,238
Tecles 500 kg	1	-	0,45	0,12	380	0,12	0,267	0,238	0,405
Tecles 1000 kg	1	-	0,47	0,22	380	0,22	0,468	0,413	0,711
Sueldas Mic 50 kg	1	-	0,8	24,40	380	24,40	30,500	18,300	46,340
<b>Total</b>						<b>3.224,98</b>	<b>4.031,71</b>	<b>2.419,36</b>	<b>351,56</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 51.** Valores de corriente en el Área de suelda Wingle

Ítem	Cantidad	Potencia Unitaria (kVA)	Factor de potencia	Potencia Unitaria (kW)	Voltaje Línea (V)	Total de consumo (kW)	Total carga instalada (kVA)	Total carga instalada (kVAR)	Corriente Línea (A)
Sueldas media frecuencia	11	400	0,8	320	380	3520,00	4400	2640,000	607,737
Tecles 500 kg	3	-	0,51	0,08	380	0,24	0,471	0,405	0,238
<b>Total</b>						<b>3.520,24</b>	<b>4400,47</b>	<b>2640,40</b>	<b>607,98</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 52.** Valores de corriente en el Área de suelda Baldes.

Ítem	Cantidad	Potencia Unitaria (kVA)	Factor de potencia	Potencia Unitaria (kW)	Voltaje Línea (V)	Total de consumo (kW)	Total carga instalada(kVA)	Total carga instalada(kVAR)	Corriente Línea (A)
Sueldas media frecuencia	9	400	0,8	320	380	2880,00	3600	2160,000	607,737
Tecles 250 kg	3	-	0,51	0,08	380	0,24	0,471	0,405	0,238
Tecles 2000 kg	1	200	0,43	0,65	380	0,65	1,51162791	1,365	2,297
Sueldas Mic 50 kg	1	-	0,8	24,40	380	24,40	30,500	18,300	46,340
<b>Total</b>						<b>2905,29</b>	<b>3632,48</b>	<b>2180,07</b>	<b>656,61</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 53.** Valores de corriente en Área de Bombas.

Ítem	Cantidad	Factor de potencia	Potencia Unitaria (kW)	Voltaje Línea (V)	Total carga instalada (kW)	Total carga instalada (kVA)	Total carga instalada (kVAR)	Corriente Línea (A)
Bomba de agua 7.5 (kW)	2	0,88	7,50	380	15,00	17,045	8,096	12,949
Bomba de agua 1.1 (kW)	1	0,88	1,10	380	1,10	1,25	0,594	1,899
Bomba de agua 0.75 (kW)	1	0,8	0,75	380	0,75	0,938	0,563	1,424
Bomba de agua 0.43 (kW)	1	0,8	0,43	380	0,43	0,538	0,323	0,817

Ventiladores de	2	0,8	1,50	380	3,00	3,75	2,250	2,849
1.5 (kW)								
				<b>Total</b>	<b>20,28</b>	<b>23,52</b>	<b>11,82</b>	<b>19,94</b>

Elaborado por: Andrés Espín

En la tabla 54 se presenta un resumen de todas las corrientes por áreas, la corriente total en las áreas de Wingle y Baldes que tienen un consumo de 1264,59 A, indicando que está al 84,30% en uso de la ducto barra, su corriente nominal es de 1500 A.

**Tabla 54.** Valores de corriente en el sistema eléctrico por áreas.

Áreas	Corriente por áreas (A)	Corriente Total (A)
Área de suelda M4	305,22	<b>656,79</b>
Área de suelda Shineray	351,56	
Área de suelda Wingle	656,61	<b>1264,59</b>
Área de suelda Baldes	607,98	
Bombas	19,94	<b>19,94</b>

Elaborado por: Andrés Espín.

Para comprobar si la empresa CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO., cumple con los límites de TDD y los armónicos de corriente individual.

#### a) Distorsión armónica individual de corriente

Una vez identificado el rango de trabajo de distorsión armónica de corriente, para el intervalo de los armónicos individuales de  $3 \leq h < 11$  esto es armónicos impares (3,5,7,9) deben cumplir el límite de 10% y para armónicos pares (2,4,6,8,10) deben cumplir el límite 4%.

Para el intervalo de los armónicos individuales de  $11 \leq h < 17$ , los armónicos impares (11, 13,15), tienen el límite de 4,5% y para armónicos pares (12, 14,16), deben cumplir el límite 1,125%.

Para el intervalo de los armónicos individuales de  $17 \leq h < 23$ , los armónicos impares (17, 19, 21), deben cumplir con el límite de 4% y para armónicos pares (18, 20, 22), deben cumplir el límite 1%.

Para el intervalo de los armónicos individuales de  $23 \leq h < 35$ , los armónicos impares (23, 25, 27, 29, 31, 33) tienen el límite de 1,5% y para armónicos pares (22, 24, 26, 28, 30, 32, 34), deben cumplir el límite 0,375%.

En la tabla 55 se realizó una comparación de término a término de los datos obtenidos del equipo de medición FLUKE 435-I.

**Tabla 55.** Comparación de datos factor de distorsión armónica individual

Armónicos	Fases	Datos totales recopilados	Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18	Número de datos mínimos de cumplimiento	Observaciones
2	Línea 1	1010	98	960	No cumple
	Línea 2	1010	133	960	No cumple
	Línea 3	1010	123	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple
3	Línea 1	1010	191	960	No cumple
	Línea 2	1010	191	960	No cumple
	Línea 3	1010	123	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple
4	Línea 1	1010	138	960	No cumple
	Línea 2	1010	148	960	No cumple
	Línea 3	1010	138	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple
5	Línea 1	1010	541	960	No cumple
	Línea 2	1010	554	960	No cumple
	Línea 3	1010	906	960	Cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple
6	Línea 1	1010	152	960	No cumple
	Línea 2	1010	147	960	No cumple
	Línea 3	1010	465	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple

---

7	Línea 1	1010	831	960	No cumple
	Línea 2	1010	165	960	No cumple
	Línea 3	1010	947	960	No cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple
8	Línea 1	1010	168	960	No cumple
	Línea 2	1010	165	960	No cumple
	Línea 3	1010	866	960	No cumple
	Neutro	1010	12	960	No cumple
9	Línea 1	1010	1006	960	Cumple
	Línea 2	1010	1006	960	Cumple
	Línea 3	1010	1010	960	Cumple
	Neutro	1010	202	960	No cumple
10	Línea 1	1010	174	960	No cumple
	Línea 2	1010	174	960	No cumple
	Línea 3	1010	945	960	No cumple
	Neutro	1010	36	960	No cumple
11	Línea 1	1010	134	960	No cumple
	Línea 2	1010	108	960	No cumple
	Línea 3	1010	913	960	No cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple
12	Línea 1	1010	141	960	No cumple
	Línea 2	1010	122	960	No cumple
	Línea 3	1010	133	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple
13	Línea 1	1010	837	960	No cumple
	Línea 2	1010	856	960	No cumple
	Línea 3	1010	970	960	Cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple
14	Línea 1	1010	168	960	No cumple
	Línea 2	1010	168	960	No cumple
	Línea 3	1010	712	960	No cumple
	Neutro	1010	6	960	No cumple
15	Línea 1	1010	882	960	No cumple
	Línea 2	1010	868	960	No cumple
	Línea 3	1010	1007	960	No cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple

---

	Línea 1	1010	176	960	No cumple
16	Línea 2	1010	176	960	No cumple
	Línea 3	1010	882	960	No cumple
	Neutro	1010	6	960	No cumple
	Línea 1	1010	594	960	No cumple
17	Línea 2	1010	214	960	No cumple
	Línea 3	1010	1007	960	Cumple
	Neutro	1010	48	960	No cumple
	Línea 1	1010	187	960	No cumple
18	Línea 2	1010	186	960	No cumple
	Línea 3	1010	880	960	No cumple
	Neutro	1010	6	960	No cumple
	Línea 1	1010	262	960	No cumple
19	Línea 2	1010	651	960	No cumple
	Línea 3	1010	1003	960	Cumple
	Neutro	1010	45	960	No cumple
	Línea 1	1010	187	960	No cumple
20	Línea 2	1010	186	960	No cumple
	Línea 3	1010	940	960	No cumple
	Neutro	1010	9	960	No cumple
	Línea 1	1010	1006	960	Cumple
21	Línea 2	1010	1004	960	Cumple
	Línea 3	1010	1007	960	Cumple
	Neutro	1010	168	960	No cumple
	Línea 1	1010	184	960	No cumple
22	Línea 2	1010	184	960	No cumple
	Línea 3	1010	958	960	Cumple
	Neutro	1010	10	960	No cumple
	Línea 1	1010	174	960	No cumple
23	Línea 2	1010	179	960	No cumple
	Línea 3	1010	174	960	No cumple
	Neutro	1010	38	960	No cumple
	Línea 1	1010	9	960	No cumple
24	Línea 2	1010	8	960	No cumple
	Línea 3	1010	9	960	No cumple
	Neutro	1010	0	960	No cumple
	Línea 1	1010	188	960	No cumple



25	Línea 2	1010	187	960	No cumple
	Línea 3	1010	713	960	No cumple
	Neutro	1010	14	960	No cumple

Elaborado por: Andrés Espín

En la tabla 55 se puede evidenciar que los armónicos individuales de corriente no cumplen los límites indicados por la regulación ARCONEL 005/18.

En la tabla 56 se seleccionó los valores medios máximos de cada armónico de corriente, ya que son los valores que más se repiten en el tiempo.

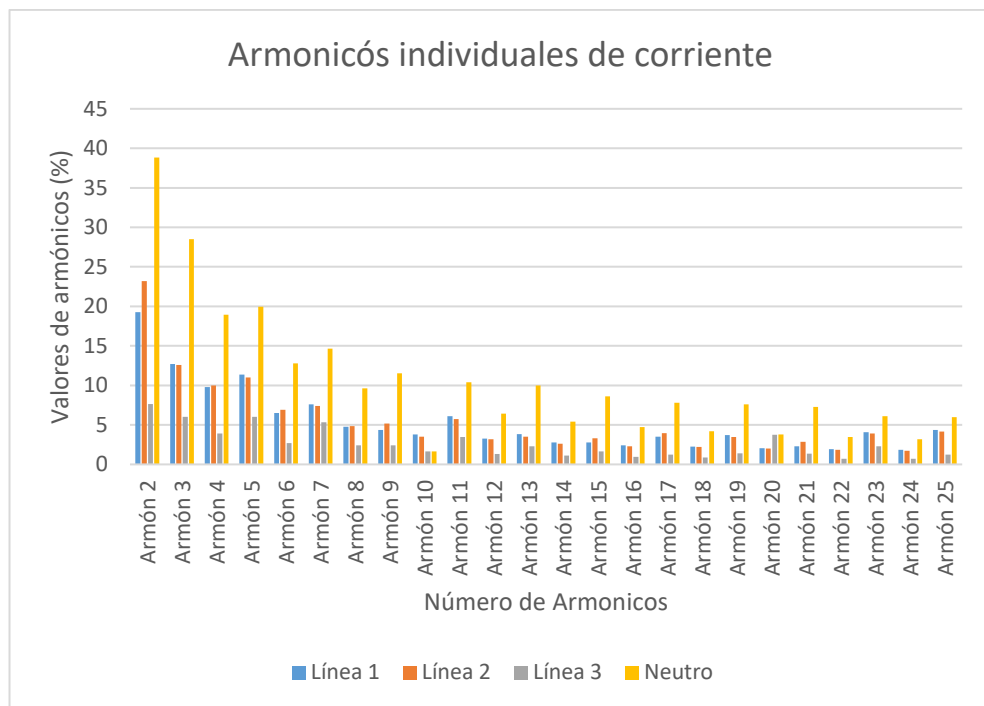
**Tabla 56.** Valores distorsión armónica de corriente individual.

Armónicos	Línea 1 (%)	Línea 2 (%)	Línea 3 (%)	Neutro (%)
Armón 2	19,284	23,194	7,646	38,845
Armón 3	12,714	12,572	6,027	28,501
Armón 4	9,772	9,998	3,899	18,927
Armón 5	11,363	10,99	6,01	19,959
Armón 6	6,513	6,903	2,698	12,778
Armón 7	7,602	7,402	5,326	14,663
Armón 8	4,764	4,864	2,428	9,615
Armón 9	4,342	5,169	2,428	11,528
Armón 10	3,794	3,515	1,651	1,651
Armón 11	6,112	5,737	3,466	10,392
Armón 12	3,283	3,187	1,324	6,418
Armón 13	3,82	3,513	2,296	9,972
Armón 14	2,773	2,627	1,111	5,4
Armón 15	2,759	3,322	1,629	8,628
Armón 16	2,413	2,285	0,958	4,719
Armón 17	3,507	3,962	1,237	7,787
Armón 18	2,25	2,225	0,87	4,187
Armón 19	3,712	3,477	1,382	7,599
Armón 20	2,05	2,012	3,761	3,789
Armón 21	2,29	2,855	1,375	7,26
Armón 22	1,919	1,828	0,71	3,448
Armón 23	4,085	3,908	2,294	6,093
Armón 24	1,862	1,744	0,704	3,172
Armón 25	4,349	4,137	1,249	5,997

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 44 se muestra diagrama espectral de armónicos de corriente en todas las líneas. El armónico más relevante es el armónico 2 en la línea 1 con un valor de 19,284%, el armónico 2 en la línea 2 tiene un valor de 23,194% y el armónico 2 en la línea 3 con un valor de 7,646%.

Se eligió los valores medios máximos para el análisis estos valores, ya se registran dado que el sistema eléctrico no está balanceado.



**Figura 44.** Armónicos de corriente en el sistema.

Elaborado por: Andrés Espín.

### b) Distorsión armónica total de corriente (TDD)

Para el cálculo del TDD se requiere calcular  $\alpha$  que es la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de carga.

Se requiere además la reactancia del transformador de 800 KVA del área de soldadura, y que es del valor de 3,7%. Para el cálculo de la corriente de carga

en por unidad, se debe obtener los valores máximos del equipo de medición analizador de redes Fluke 435-I, para tener un valor más severo.

**Tabla 57.** Resumen de datos calculados para la corriente de corto circuito.

<b>Parámetros eléctricos</b>	<b>Valor</b>
Icc (p.u):	27,027
Corriente de carga (A):	1.215,47
Línea 1 analizador max(A):	1.021
Línea 2 analizador max(A):	355
Línea 3 analizador max(A):	854
Línea 1(p.u):	0,84
Línea 2 (p.u):	0,292
Línea 3 (p.u):	0,702
$\alpha_1$ :	31,175
$\alpha_2$ :	92,56
$\alpha_3$ :	38,47

Elaborado por: Andrés Espín.

El valor aproximado más alto de  $\alpha$  es de la línea 2 con valor de 92,56 mismo que está en el rango de  $50 < 100$ , por lo que de acuerdo a la Regulación ARCONEL 005/18, el TDD permitido es 12%.

En la tabla 58 se realizó una comparación de término a término de los datos obtenidos del equipo de medición FLUKE 435-I.

**Tabla 58.** Comparación de datos factor de distorsión armónica total

<b>TDD</b>	<b>Valores</b>	<b>Datos totales recopilados</b>	<b>Datos que cumplieron la regulación ARCONEL 005/18</b>	<b>Número de datos mínimos de cumplimiento</b>	<b>¿Cumple con la Regulación?</b>		
Línea 1	Mínimo	1010	143	960	no cumple		
	Medio	1010	82		no cumple		
	Máximo	1010	39		no cumple		
Línea 2	Mínimo	1010	199		960	no cumple	
	Medio	1010	76			no cumple	
	Máximo	1010	52			no cumple	
Línea 3	Mínimo	1010	334			960	no cumple
	Medio	1010	108				no cumple
	Máximo	1010	38				no cumple

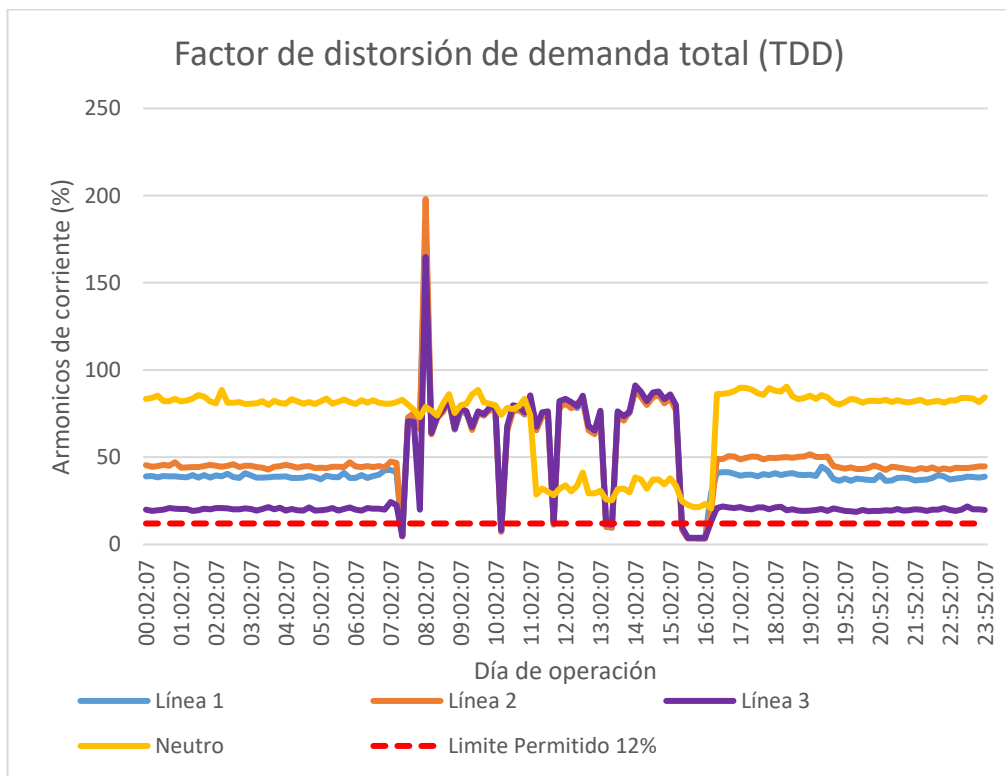
Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 59.** Datos de factor de distorsión armónica total

Distorsión Armónica total de corriente	Máximo (I)	Medio (I)	Mínimo (I)	TDD (%)	¿Cumple la regulación?
Línea 1	81,55	35,316	3,25		No cumple
Línea 2	74,54	37,639	2,95		No cumple
Línea 3	58,18	16,642	3,39	12	No cumple
Neutro	78,17	68,358	18,16		No cumple

Elaborado por: Andrés Espín.

La figura 45 el límite de TDD es de 12%, los picos observados es la suma de todos los armónicos de corriente por ende no cumple con la Regulación ARCONEL 005/18.



**Figura 45.** Factor de distorsión de demanda total del sistema.

Elaborado por: Andrés Espín.

#### 4.5 Revisión de los niveles de iluminación.

##### a) Iluminancia:

A continuación, se muestran las mediciones obtenidas del Luxómetro AR823 Lux Meter y los tipos de luminarias.

Las tablas que se muestran a continuación los valores son expresados en luxes:

**Tabla 60.** Medición de iluminancia área SM1G1

SM1G1		
295	455	421
296	350	445
299	300	500
300	300	495
301	300	440
365	320	466
455	340	470
1010	360	390
1247	365	394

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{295}{365} = 0,808$$

**Tabla 61.** Medición de iluminancia áreas ADJ0 a ADJ5

ADJ0 a ADJ5			
350	410	358	480
483	393	417	501
390	350	420	487
500	490	510	490

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{350}{420} = 0,833$$

**Tabla 62.** Medición de iluminancia áreas MF-1 a SEC-1

MF-1 a SEC-1		
510	730	735
505	510	650
558	625	764
580	513	800
900	782	750
630	600	980
937	745	1010
582	629	820
600	558	750

Elaborado por: Andrés Espín.

$$Uniformidad\ iluminancia = \frac{505}{630} = 0,801$$

**Tabla 63.** Medición de iluminancia área MBF1

MBF1			
706	820	710	632
760	800	805	723
635	837	831	880
711	804	740	640

Elaborado por: Andrés Espín.

$$Uniformidad\ de\ iluminacia = \frac{632}{740} = 0,854$$

**Tabla 64.** Medición de iluminancia área Oficina

Oficina		
426	410	450
640	776	530
500	530	420

Elaborado por: Andrés Espín.

$$Uniformidad\ de\ iluminacia = \frac{410}{500} = 0,82$$

**Tabla 65.** Medición de iluminancia área Hall

Hall		
120	130	133
148	157	150
217	160	140

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{120}{148} = 0,81$$

**Tabla 66.** Medición de iluminancia área Rack

Rack		
136	102	104
120	192	213
110	120	122

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{102}{120} = 0,85$$

**Tabla 67.** Medición de iluminancia área Oficina de Operaciones

Oficina de Operaciones		
328	339	500
329	400	530
360	490	561

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{328}{400} = 0,82$$

**Tabla 68.** Medición de iluminancia área Sala de reuniones

Sala de reuniones		
330	405	522
333	406	568
344	495	593

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{330}{406} = 0,812$$

**Tabla 69.** Medición de iluminancia área Baño


Baño		
150	159	161
140	160	162
143	180	194

Elaborado por: Andrés Espín.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \frac{140}{160} = 0,875$$

**b) Tipos de luminarias**


**Tabla 70.** Luminarias área SMIG1

Área:	SMIG1
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	8
Potencia:	2 lámparas Led 12(W) 6 Paneles fluorescentes-32(W)
Altura de trabajo(m):	1,64
Largo (m):	8,2
Ancho (m):	6,75

Elaborado por: Andrés Espín.




**Tabla 71. Luminarias áreas ADJ0 a ADJ5**

<b>Área:</b>	<b>ADJ0 a ADJ5</b>
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	20
Potencia (W):	18 lámparas Led-12(W) 2 Paneles fluorescentes -32(W)
Altura de trabajo(m):	4,57
Largo (m):	34,3
Ancho (m):	6,75


Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 72. Luminarias áreas MF-1 a SEC-1**

<b>Área:</b>	<b>MF-1 a SEC-1</b>
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	78
Potencia (W):	18
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,37
Largo (m):	24,8
Ancho (m):	5,2


Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 73.** Luminarias área Oficina

Área:	Oficina
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	4
Potencia (W):	40
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,67
Largo (m):	3,1
Ancho (m):	3,58

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 74.** Luminarias área Hall

Área:	Hall
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	2
Potencia (W):	9
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,6
Largo (m):	2,4
Ancho (m):	1,33


Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 75. Luminarias área Rack**

Área:	Rack
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	1
Potencia (W):	9
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,60
Largo (m):	2,4
Ancho (m):	1,95


Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 76. Luminarias área Oficina de Operaciones**

Área:	Oficina de Operaciones
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	6
Potencia (W):	40
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,67
Largo (m):	3,1
Ancho (m):	3,58


Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 77.** Luminarias área Sala de reuniones

Área:	Sala de reuniones
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	6
Potencia (W):	40
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,67
Largo (m):	3,1
Ancho (m):	3,58

Elaborado por: Andrés Espín

**Tabla 78.** Luminarias área Baño

Área:	Baño
Registro Fotográfico:	
Número de lámparas:	7
Potencia (W):	9
Tipo:	Led
Altura de trabajo:	1,67
Largo (m):	3,1
Ancho (m):	3,58

Elaborado por: Andrés Espín.

En las áreas de trabajo antes descritas se procedió a calcular los puntos mínimos de medición con el método de la cuadrilla expresados en la tabla 79.

**Tabla 79.** Cálculo de puntos mínimos de medición.

Área	Largo (m)	Ancho (m)	Altura de trabajo (m)	Índice de local (K)	Valor aproximado del índice de local (K)	Ecuación $(k+2)^2$ puntos mínimos de medición
SMIG-1	8,2	6,75	1,64	2,25	3	25
ADJ0 a ADJ5	34,3	6,75	4,57	1,23	2	16
MF-1 a SEC-1	24,8	5,2	1,37	3,13	3	25
MFB1	4,6	3,83	1,64	1,27	2	16
Oficina	3,1	3,58	1,67	0,99	1	9
Hall	2,4	1,33	1,6	0,53	1	9
Rack	2,4	1,95	1,6	0,67	1	9
Oficina de Operaciones	3,1	3,58	1,67	0,99	1	9
Sala de reuniones	3,1	3,58	1,67	0,99	1	9
Baño	3,1	3,58	1,67	0,99	1	9

Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 80 se encuentra las mediciones promedios de los niveles de iluminación de cada una de las áreas a considerar.

**Tabla 80.** Niveles de iluminación por áreas.

Área	Rango (LUX) NEC	Rango (LUX) INEN 1154	Estados	Medición Promedia (LUX)	Rango (LUX) UNEN-EN-12464-1	Estados
MBF1	-	300 -700	Aceptable	752,125	750	Aceptable
SM1G1	-	300	Aceptable	432,556	300	Aceptable
ADJ0 a ADJ5	-	300	Aceptable	439,313	300-500	Aceptable
MF-1 a SEC-1	-	300-700	Aceptable	694,556	500-1000	Aceptable
Oficina	300	-	Aceptable	520,222	300-500	Aceptable
Hall	50	100	Aceptable	150,556	100	Aceptable
Rack	-	100	Aceptable	135,44	100	Aceptable

Oficina de operaciones	300	-	Aceptable	426	300-500	Aceptable
Oficina Sala de reuniones	300	-	Aceptable	444	300-500	Aceptable
Baño	-	150	Aceptable	161	200	Deficiente

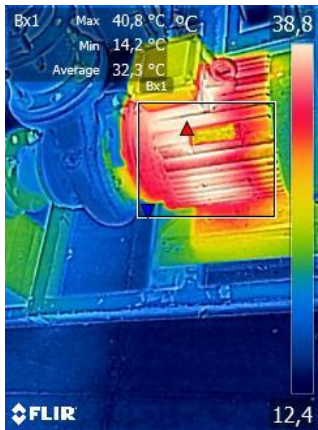

Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 80 se muestran los valores medidos de iluminación, realizando una comparación con los límites señalados en la norma española UNEN-EN 12464-1 y la norma ecuatoriana INEN-1154 ‘Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres ‘como también se complementó con la normativa NEC en varias áreas de trabajo.

En la normativa ecuatoriana los rangos promedios de iluminación obtenidos están dentro de los parámetros adecuados, pero en la norma española todas las áreas de trabajo están dentro de los niveles aceptables con excepción de los baños.

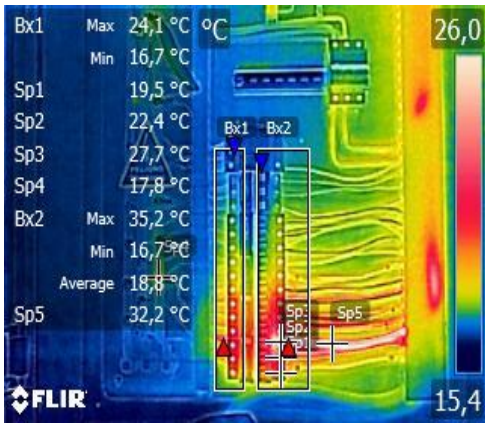
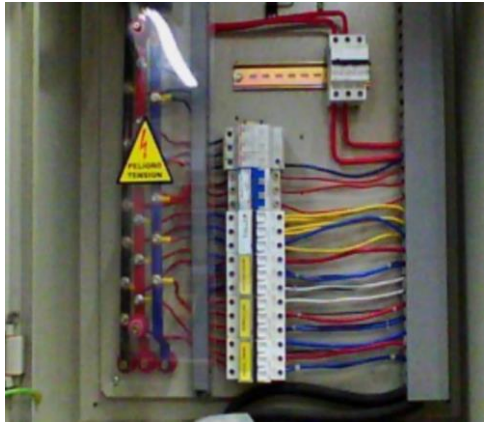
Para nuestro caso de estudio la normativa Española es la más exigente, se tomara la normativa Ecuatoriana por lo que establece en nuestra reglamentación en nuestro territorio por tanto es la que vamos a cumplir y todos las áreas cumplen con los niveles de iluminación.

## 4.6 Inspección termográfica

<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Bomba B1 de recirculación de torre de Enfriamiento de para sueldas	
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>		
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021	
<b>TERMOGRAMA</b>		<b>FOTO EQUIPO</b>		
				
<b>EVALUACIÓN:</b> En la imagen se observa bobinado del motor, y no presenta algún punto caliente externo que evidencie alguna anomalía en rodamiento o el sello mecánico.		<b>EVALUACIÓN:</b> Se evidencia motor con suciedad en ventilador y polvo en carcasa, juntas flexibles poco deteriorados con puntos de oxidación en estructura de equipo.		
ANÁLISIS TÉRMICO				
Clasificación de falla			Parámetro	Valor medido
Temperatura Medida	Calificación	Condición	Emisividad	0.95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Max	32,4 °C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Lo más pronto posible	Min	14,2°C
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Muy Crítico	Inmediato		
<b>DIAGNÓSTICO:</b>				
Temperatura de bobinado del motor de clase F presenta un valor 32,4 °C , hay que considerar que por ser una medición termográfica indirecta se debe aumentar 20 °C, al valor medido en el bobinado del motor dando un resultado de 52,4°C por lo que no excede el valor de 115 °C que indica la norma NEMA.				
<b>RECOMENDACIONES:</b>				
Realizar una limpieza en ventilador y carcasa, tener un periodo recomendado de ajuste de borneras y ajuste de base de motor y bomba.				

**Figura 46.** Análisis termográfico Bomba 7,5 kW

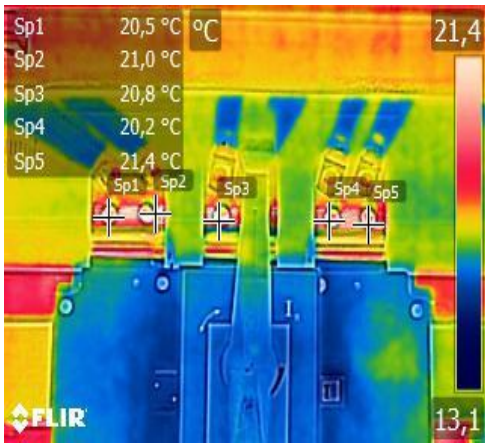
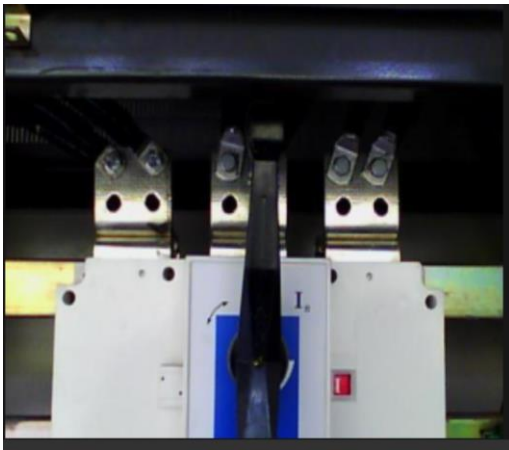
Elaborado por: Andrés Espín.

<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Tablero de iluminación	
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>		
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021	
<p style="text-align: center;"><b>TERMOGRAMA</b></p> 		<p style="text-align: center;"><b>FOTO EQUIPO</b></p> 		
<p><b>EVALUACIÓN:</b> Se calentamiento en breaker y una fase con temperatura elevada de conductor. Terminales de entrada y salida con temperatura elevada con referencia a los demás.</p>		<p><b>EVALUACIÓN:</b> Peinado de conductores deficiente.</p>		
ANÁLISIS TÉRMICO				
Clasificación de falla			Parámetro	Valor medido
Temperatura Medida	Calificación	Condición	Emisividad	0.95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Max	35,2 °C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Lo más pronto posible	Min	16,2°C
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Inmediato	Sp1	19,5°C
			Sp2	22,4°C
			Sp3	27,7°C
<p><b>DIAGNÓSTICO:</b>  Borneras de breakers presenta un <math>\Delta T(\text{SP3-SP1}) = 8,2^{\circ}\text{C}</math> de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación LEVE, según tabla de la norma de severidad anomalías termografías NETA, se requiere un mantenimiento programable preventivo ya que el sobrecalentamiento puede terminar por deteriorar los aislamientos como ya se evidencia en SP5 35°C del conductor, también con la disminución de la vida útil del breaker provocando a futuro un corto circuito con consecuencias irreversibles en el tablero.</p>				
<p><b>RECOMENDACIONES:</b>  Reajuste de borneras.  Verificar balanceo de cargas de los breakers.  Verificar conductor y breaker se encuentran dimensionados correctamente.</p>				

**Figura 47.** Análisis termográfico tablero de iluminación área de soldadura.

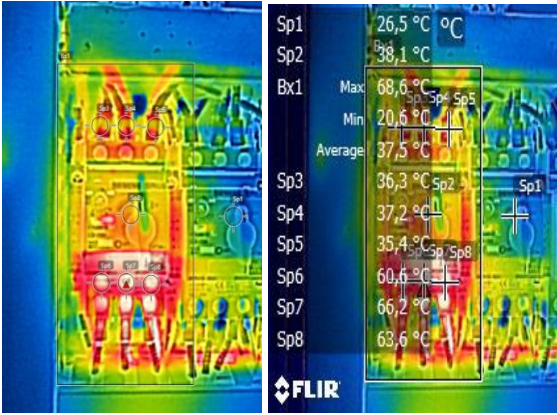

Elaborado por: Andrés Espín.



<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Tablero de distribución principal. Borneras de ingreso.	
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>		
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021	
<b>TERMOGRAMA</b>		<b>FOTO EQUIPO</b>		
				
<b>EVALUACIÓN:</b> La cámara termografica evidencia las diferentes áreas con temperaturas normales en las protecciones de cada línea con los indicadores Sp1,2,3,4,5		<b>EVALUACIÓN:</b> No presenta anomalías		
ANÁLISIS TÉRMICO				
Clasificación de falla			Parámetro	Valor medido
Temperatura Medida	Calificación	Condición	Emisividad	0.95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Sp1	20,5 °C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Lo más pronto posible	Sp2	21,0°C
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Muy Crítico	Inmediato	Sp3	20,8°C
			Sp4	20,2°C
			Sp5	21,4°C
<b>DIAGNÓSTICO:</b> Borneras en el breaker presenta un $\Delta T(\text{SP5-SP4}) = 1,2$ °C de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación normal, según la tabla de severidad anomalías termografías norma NETA.				
<b>RECOMENDACIONES:</b>  Realizar control periódicamente. Realizar un reajuste de borneras periódicamente,				

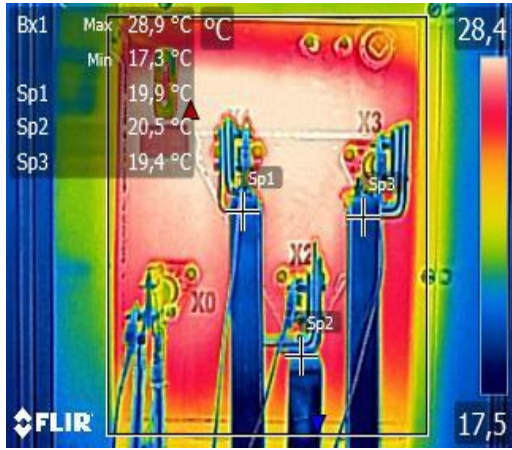
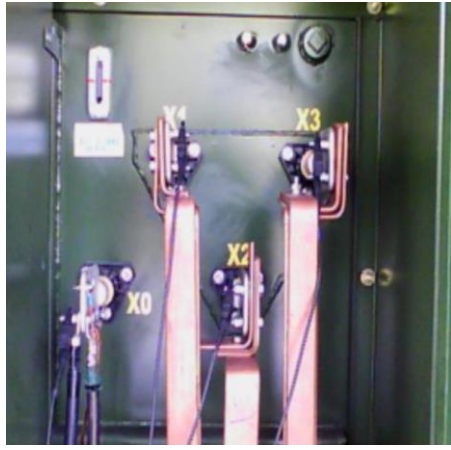
**Figura 48.** Análisis temográfico tablero de distribución principal.

Elaborado por: Andrés Espín.

<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Tablero de control de bomba torre de enfriamiento. Borneas de salida.																						
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>																							
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021																						
<b>TERMOGRAMA</b>		<b>FOTO EQUIPO</b>																							
 <table border="1" style="position: absolute; top: 245px; left: 375px;"> <tr><td>Sp1</td><td>26,5 °C</td></tr> <tr><td>Sp2</td><td>38,1 °C</td></tr> <tr><td>Bx1</td><td>Max: 68,6 °C</td></tr> <tr><td></td><td>Min: 20,6 °C</td></tr> <tr><td>Average</td><td>37,5 °C</td></tr> <tr><td>Sp3</td><td>36,3 °C</td></tr> <tr><td>Sp4</td><td>37,2 °C</td></tr> <tr><td>Sp5</td><td>35,4 °C</td></tr> <tr><td>Sp6</td><td>60,6 °C</td></tr> <tr><td>Sp7</td><td>66,2 °C</td></tr> <tr><td>Sp8</td><td>63,6 °C</td></tr> </table>		Sp1	26,5 °C	Sp2	38,1 °C	Bx1	Max: 68,6 °C		Min: 20,6 °C	Average	37,5 °C	Sp3	36,3 °C	Sp4	37,2 °C	Sp5	35,4 °C	Sp6	60,6 °C	Sp7	66,2 °C	Sp8	63,6 °C		
Sp1	26,5 °C																								
Sp2	38,1 °C																								
Bx1	Max: 68,6 °C																								
	Min: 20,6 °C																								
Average	37,5 °C																								
Sp3	36,3 °C																								
Sp4	37,2 °C																								
Sp5	35,4 °C																								
Sp6	60,6 °C																								
Sp7	66,2 °C																								
Sp8	63,6 °C																								
<b>EVALUACIÓN:</b> La camara evidencia calentamiento en borneras de breaker en Sp6,7,8 y en un calentamiento en cables de y en breaker.		<b>EVALUACIÓN:</b> No presenta anomalías																							
<b>ANÁLISIS TÉRMICO</b>																									
<b>Clasificación de falla</b>			<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>																					
<b>Temperatura Medida</b>	<b>Calificación</b>	<b>Condición</b>	Emisividad	0,95																					
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C																					
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m																					
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Sp8	63,6°C																					
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Lo más pronto posible	Sp7	66,2°C																					
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S $\Delta T > 40^{\circ}\text{C}$ O/A	Muy Crítico	Inmediato	Sp6	60,6°C																					
			Sp3	36,3°C																					
			Sp4	37,2°C																					
			Sp5	35,4°C																					
<b>DIAGNÓSTICO:</b>																									
Borneas de salida breakers presenta un $\Delta T(\text{SP7-SP6})=5,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación LEVE, según tabla de la norma de severidad anomalías termografías NETA.																									
Existe un calentamiento en aislamiento en el conductor, utilizando el método de análisis como referencia en la temperatura ambiente $\Delta T=68,6-20=48,6^{\circ}\text{C}$ que corresponde un calificación muy crítico esto puede ser que se encuentra al límite de la capacidad del conductor se debe realizar un medición de corriente para corroborar el diagnóstico y evitar el desgaste del aislante.																									
<b>RECOMENDACIONES:</b>																									
Realizar control revisión de la capacidad de la carga y el conductor. Verificar ajustes en borneras.																									

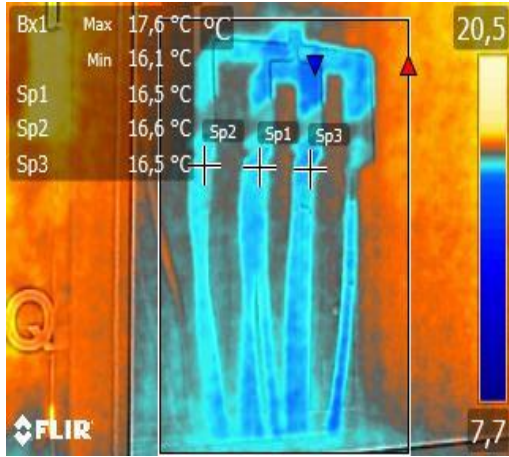
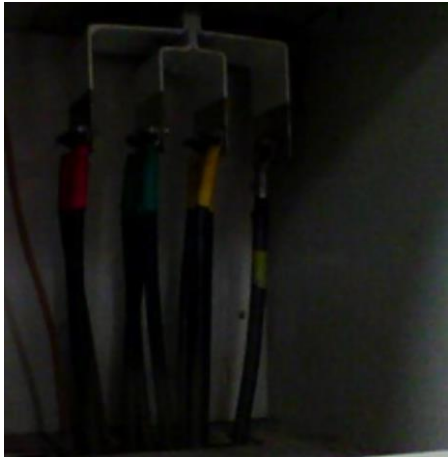
**Figura 49.** Análisis termográfico tablero de control de bombas.

Elaborado por: Andrés Espín.

Planta:	SOLDADURA	Equipo:	Transformador	
Realizado por:	Andres Espin	Revisado por:		
Frecuencia de Inspección:	Monitoreo de la condición	Fecha de Inspección:	14/7/2021	
TERMOGRAMA		FOTO EQUIPO		
				
<b>EVALUACIÓN:</b> La cámara termografica evidencia temperaturas considerables en las barras del transformador (Sp1,2,3).		<b>EVALUACIÓN:</b> No presenta anomalias.		
<b>ANÁLISIS TÉRMICO</b>				
<b>Clasificación de falla</b>			<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>
Temperatura Medida	Calificación	Condición	Emisividad	0,95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Sp1	19,9°C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Critico	Lo más pronto posible	Sp2	20,5°C
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Muy Critico	Inmediato	Sp3	19,4°C
			MAX	28,1C
			MIN	17,3°C
<b>DIAGNÓSTICO:</b> Barras de cobre de transformador presenta un $\Delta T(\text{SP2-SP3}) = 1,1^{\circ}\text{C}$ de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación NORMAL, según tabla de la norma de severidad anomalías termografías NETA.				
<b>RECOMENDACIONES:</b> Seguir con los controles periódicos. Revisión de continuamente de nivel de aceite aislante del transformador				

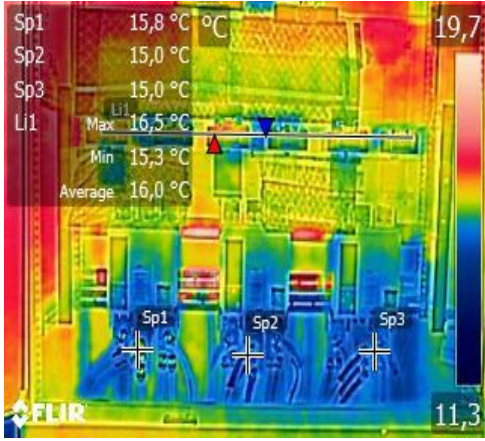
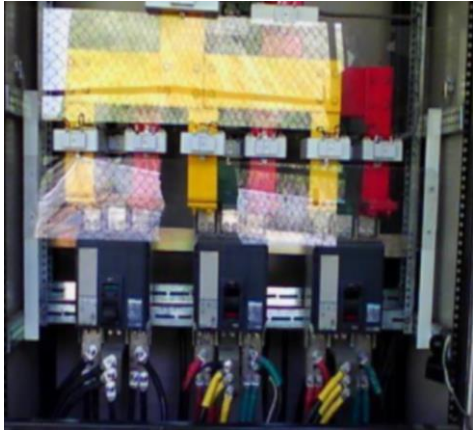
**Figura 50.** Análisis temográfico bornes del transformador de 800 kVA.

Elaborado por: Andrés Espín.

<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Ductos Barras	
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>		
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021	
<b>TERMOGRAMA</b>		<b>FOTO EQUIPO</b>		
				
<b>EVALUACIÓN:</b> La cámara termografía evidencia temperaturas aceptables la barra de conexión a la ducto barras		<b>EVALUACIÓN:</b> No presenta anomalías		
ANÁLISIS TÉRMICO				
Clasificación de falla			Parámetro	Valor medido
Temperatura Medida	Calificación	Condición	Emisividad	0.95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Sp1	16,5°C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Crítico	Lo más pronto posible	Sp2	16,6°C
$\Delta T > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Muy Crítico	Inmediato	Sp3	16,5°C
			MAX	17,6°C
			MIN	16,1°C
<b>DIAGNÓSTICO:</b>				
Barras de cobre de transformador presenta un $\Delta T(\text{SP3-SP2}) = 0,1^{\circ}\text{C}$ de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación NORMAL, según tabla de la norma de severidad anomalías termografías NETA.				
<b>RECOMENDACIONES:</b>				
Seguir con los controles periódicos.				

**Figura 51.** Análisis temográfico Ducto barra.

Elaborado por: Andrés Espín.

<b>Planta:</b>	SOLDADURA	<b>Equipo:</b>	Tablero de distribución principal. Borneras de ingreso.	
<b>Realizado por:</b>	Andrés Espín	<b>Revisado por:</b>		
<b>Frecuencia de Inspección:</b>	Monitoreo de la condición	<b>Fecha de Inspección:</b>	14/7/2021	
<b>TERMOGRAMA</b>		<b>FOTO EQUIPO</b>		
				
<b>EVALUACIÓN:</b> La cámara termografica evidencia las diferentes áreas con temperaturas normales en las protecciones de cada línea con los indicadores Sp1,Sp2 ,Sp3.		<b>EVALUACIÓN:</b> No presenta anomalías		
<b>ANÁLISIS TÉRMICO</b>				
<b>Clasificación de falla</b>			<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>
<b>Temperatura Medida</b>	<b>Calificación</b>	<b>Condición</b>	Emisividad	0,95
$1^{\circ}\text{C} < \Delta\text{T} \leq 3^{\circ}\text{C}$ O/S	Normal	Observación	Temp. Reflejada	20 °C
$3^{\circ}\text{C} < \Delta\text{T} \leq 15^{\circ}\text{C}$ O/S	Leve	Programable	Distancia	1m
$15^{\circ}\text{C} < \Delta\text{T} \leq 25^{\circ}\text{C}$ O/S	Grave	Antes de un mes	Sp1	15,8 °C
$25^{\circ}\text{C} < \Delta\text{T} \leq 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Critico	Lo más pronto posible	Sp2	15°C
$\Delta\text{T} > 35^{\circ}\text{C}$ O/S	Critico	Inmediato	Sp3	15°C
			MAX	16,5°C
			MIN	15,3°C
<b>DIAGNÓSTICO:</b> Borneras de breakers presenta un $\Delta\text{T}(\text{SP1-SP2}) = 0,8$ °C de temperatura, lo que le corresponde un nivel de clasificación NORMAL, según tabla de la norma de severidad anomalías termografías NETA.				
<b>RECOMENDACIONES:</b>  Realizar control periódicamente. Realizar un reajuste de borneras periódicamente.				

**Figura 52.** Análisis temográfico tablero de distribución principal.

Elaborado por: Andrés Espín.

## CAPÍTULO 5: PROPUESTAS DE MEJORA

### 5.1 Para la calidad de la energía.

- **Diseño del filtro pasivo sintonizado**

El armónico más severo para el sistema eléctrico es el número 2, perteneciente a la secuencia negativa, esto a que tiene un porcentaje alto de la corriente fundamental.

Para reducir el efecto de la presencia de armónicos de corriente en el área de soldadura de la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. – CIUDAD DEL AUTO se propone conectar un filtro pasivo sintonizado en paralelo al transformador de alimentación de 800 kVA, para cada línea debido a que el sistema eléctrico está desbalanceado.

Como se anotó en los capítulos anteriores, se escogió un filtro pasivo sintonizado por su robustez, sencillez y bajo costo.

Las variables eléctricas que se revelan tabla 81 son de la línea 1, tomando en consideración que el día 12 de julio del 2021, a las 14:02, fue el de mayor demanda.

**Tabla 81.** Datos promedios máximos eléctricos Línea 1.

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
<b>Eléctricos</b>	
P(kW):	16,4
Q (kVAR):	15,6
S(kVA):	22,9
Fp:	0,76
$I_{2\%}$	19,284

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 82.** Resumen de cálculos para Línea 1.

Parámetro Eléctrico	Valor	Parámetro Eléctrico	Valor
$\theta 1$	45,0397°	Resistencia( $\Omega$ ):	0,1298
$\theta 2$	20,2165°	Qfilt (kVARs):	6,848
Qeff (kVAR):	8,634	Corriente inicial banco de capacitores (A)	15,1934
Valor comercial (kVAR)	10	Corriente del filtro (A):	20,8089
Q trafo (kVAR):	5,6	Corriente Fundamental (A):	34,0333
Strafo (kVA)	17,329	I2 % analizador:	19,284
Nuevo Fp:	0,9463	I2 (A):	6,709
MVAcc:	21,6162	Corriente filtro rms(A)	21,863
Frecuencia de resonancia h (Hz):	46,499	Corriente pico (A)	27,518
frecuencia resonancia paralelo (Hz):	2.789,94	Voltaje capacitor (V)	546,832
Sintonización armónico 2:	1,925	Voltaje armónico 2 (V)	83,904
Reactancia capacitor ( $\Omega$ ):	14,44	Vrms capacitor (V)	553,232
Reactancia inductor ( $\Omega$ ):	3,896	Voltaje pico (V)	630,737
Factor de calidad (Q'):	30	Qcap (kVAR)	20,95

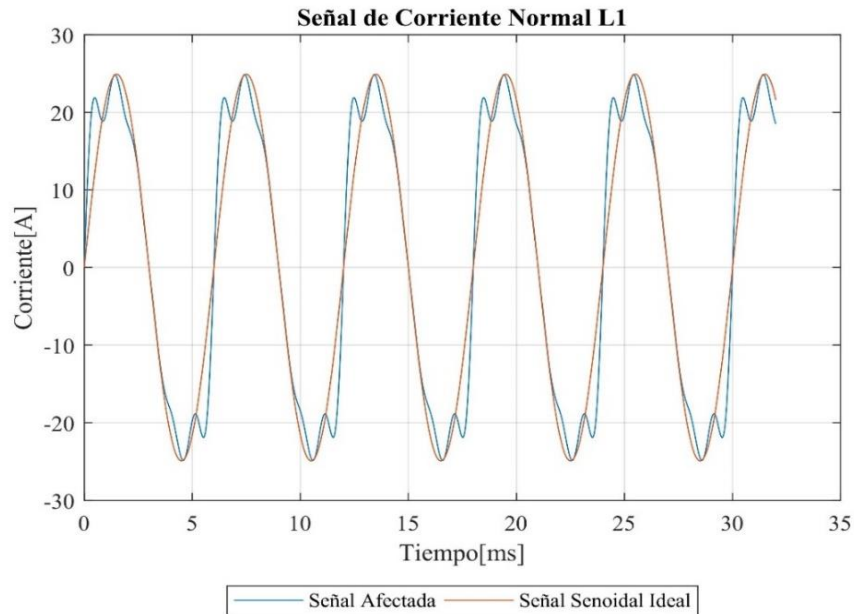
Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 83.** Comparación de resultados para Línea 1.

Descripción variables eléctricas	Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020	Margen calculado en %	¿Cumple los límites?
Irms	135	62,839	Si
Vrms	110	145,587	No
Vpico	120	165,983	No
kVAR	135	209,505	No

Elaborado por: Andrés Espín.





**Figura 53.** Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 1

Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 83 se muestra que con un solo capacitor no puede cumplir las condiciones solicitadas por la IEEE Std 1531-2020, por ende se, se debería colocar 2 capacitores en paralelo.

**Tabla 84.** Recálculo de parámetros para Línea 1.

Parámetros Eléctricos	Valor
Qfilt2 (kVARS):	5,7798
Corriente del filtro (A):	8,7816
Corriente filtro rms (A)	11,051
Corriente pico (A)	15,491
Voltaje capacitor (V)	219,635
Voltaje armónico 2 (V)	83,904
Vrms capacitor (V)	235,116
Voltaje pico (V)	303,54
Qcap (kVAR)	4,5

Elaborado por: Andrés Espín.



**Tabla 85.** Nueva comparación de resultados para Línea 1.

Descripción variables eléctricas	Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020	Margen calculado en %	¿Cumple los límites?
I <sub>rms</sub>	135	61,872	Si
V <sub>rms</sub>	110	57,798	Si
V <sub>pico</sub>	120	79,879	Si
kVAR	135	45,005	Si

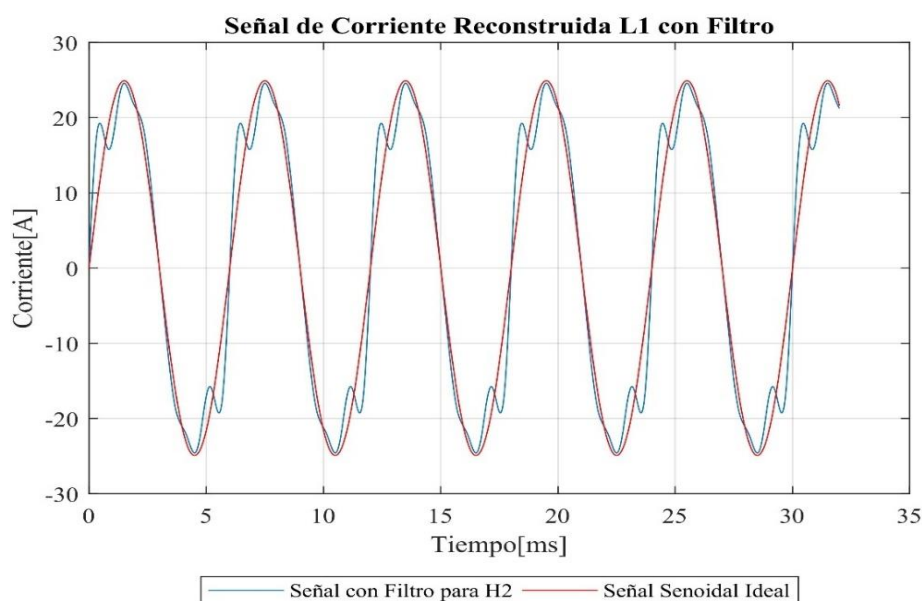
Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 85 se puede evidenciar que con dos capacitores en paralelo cumplen los límites recomendados para no tener el problema de que pueda ser destruido. Las características del filtro son las siguientes:

**Tabla 86.** Datos de filtro para la línea 1

Parámetros Eléctricos	Valor
Resistencia ( $\Omega$ ):	0,1298
L (mH):	10,334
C ( $\mu$ F):	184,2071

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 54.** Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 1.

Elaborado por: Andrés Espín.

Para la línea 2 los datos iniciales para el cálculo del filtro son los siguientes:

**Tabla 87.** Datos Eléctricos Línea 2

Parámetros Eléctricos	Valor
P(kW):	10,5
Q (kVAR):	8,2
S(kVA):	14,1
Fp:	0,79
$I_{2\%}$	23,194

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 88.** Resumen de cálculos para línea 2.

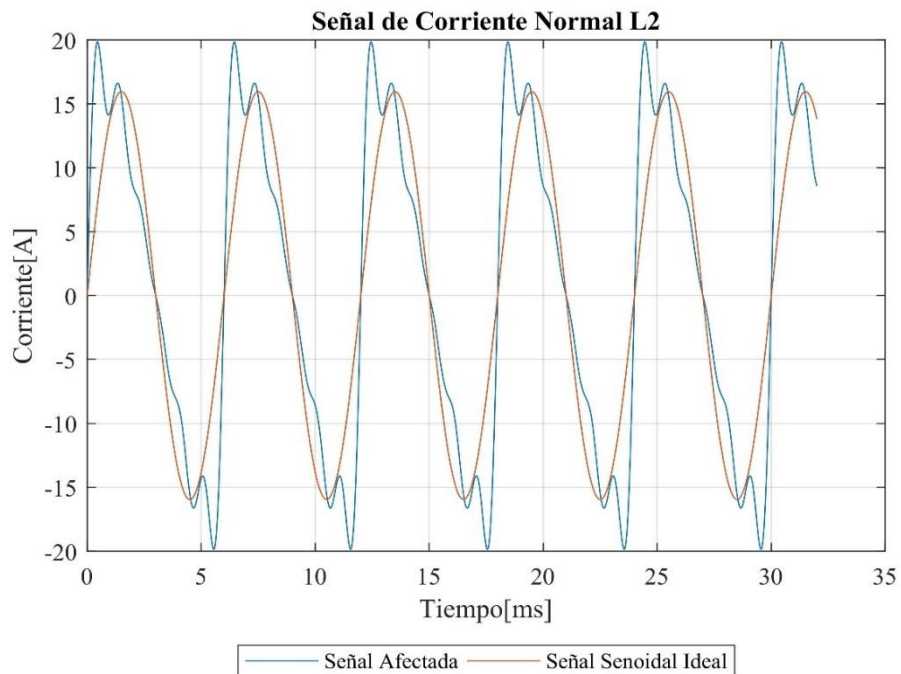
Parámetro Eléctricos	Valor	Parámetros Eléctricos	Valor
$\theta 1$ :	37,814	Resistencia( $\Omega$ ):	0,260
$\theta 2$ :	18,195	Qfilt (kVARS):	6,848
Qeff (kVAR):	4,698	Corriente inicial banco de capacitores (A)	7,597
Valor comercial (kVAR)	5,000	Corriente del filtro (A):	10,404
Q trafo(kVAR):	3,200	Corriente Fundamental (A):	15,953
Strafo (kVA)	10,977	I2 % analizador:	23,194
Nuevo Fp:	0,957	I2 (A):	4,968
MVAcc	21,622	Corriente filtro rms(A)	11,53
Frecuencia de resonancia h (Hz)	65,760	Corriente pico (A)	15,373
frecuencia resonancia paralelo (Hz)	3945,576	Voltaje capacitor (V)	576,751
Sintonización armónico 2	1,925	Voltaje armónico 2 (V)	124,273
Reactancia capacitor ( $\Omega$ ):	28,880	Vrms capacitor (V)	589,987
Reactancia inductor ( $\Omega$ ):	7,794	Voltaje pico (V)	701,024
Factor de calidad (Q'):	30,000	Qcap (kVAR)	11,782

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 89.** Comparación de datos Línea 2.

Descripción variables eléctricas	Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020	Margen calculado en %	¿Cumple los límites?
Irms	135	53,8214	Si
Vrms	110	155,2599	No
Vpico	120	184,4801	No
kVAR	135	117,8241	No

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 55.** Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 2.

Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 89 los últimos tres parámetros eléctricos no cumplen los límites por el cual se recalcula con dos capacitores que irán conectados en paralelo teniendo los siguientes resultados:

**Tabla 90.** Recálculo de parámetros para Línea 2

<b>Parámetros Eléctricos</b>	<b>Valor</b>
Qfilt2 (kVARS):	2,8899
Corriente del filtro (A):	4,3908
Corriente filtro rms(A)	6,6308
Corriente pico (A)	9,3595
Voltaje capacitor (V)	219,6354
Voltaje armónico 2 (V)	124,2734
Vrms capacitor (V)	252,3561
Voltaje pico (V)	343,9089
Qcap (kVAR)	2,8982

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 91.** Nueva comparación de resultados para Línea 2.

<b>Descripción variables eléctricas</b>	<b>Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020</b>	<b>Margen calculado en %</b>	<b>¿Cumple los límites?</b>
Irms	135	30,9523	Si
Vrms	110	66,4095	Si
Vpico	120	90,5023	Si
kVAR	135	28,9829	Si

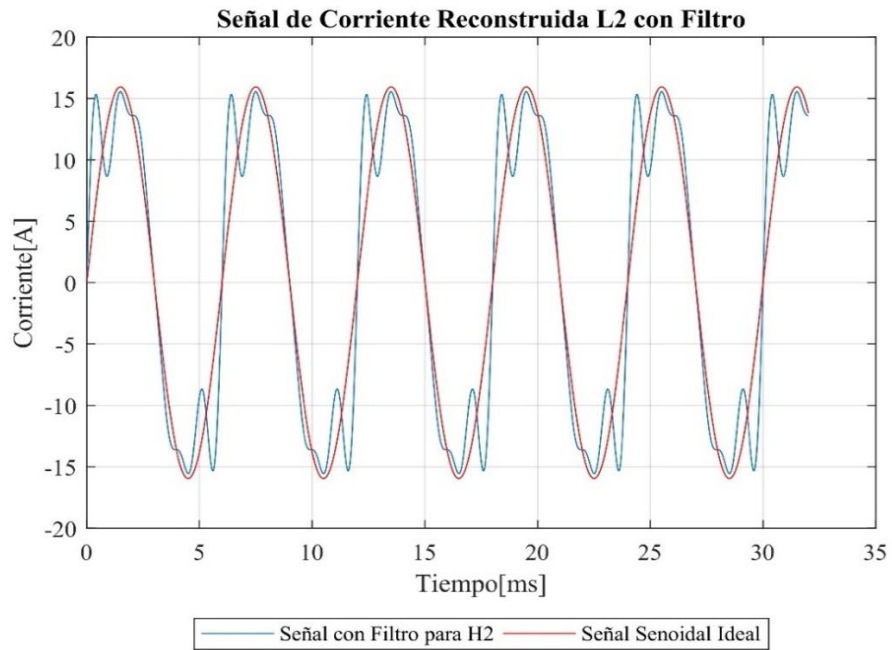
Elaborado por: Andrés Espín.

En la tabla 91 se puede constatar que están dentro los límites establecidos por IEEE Std 1531-2020. Por ende los datos del filtro para la línea 2 son:

**Tabla 92.** Datos de filtro para Línea 2

<b>Parámetros Eléctricos</b>	<b>Valor</b>
Resistencia ( $\Omega$ ):	0,2598
L (mH):	20,6729
C ( $\mu$ F):	91,8484

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 56.** Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 2.

Elaborado por: Andrés Espín.

Para la línea 3 los datos iniciales para el cálculo del filtro son los siguientes:

**Tabla 93.** Datos Eléctricos Línea 3

Parámetros	Valor
<b>Eléctricos</b>	
P(kW):	11,3
Q (kVAR):	10,2
S(kVA):	15,3
Fp:	0,71
$I_{2\%}$	7,646

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 94.** Resumen de cálculos para línea 3.

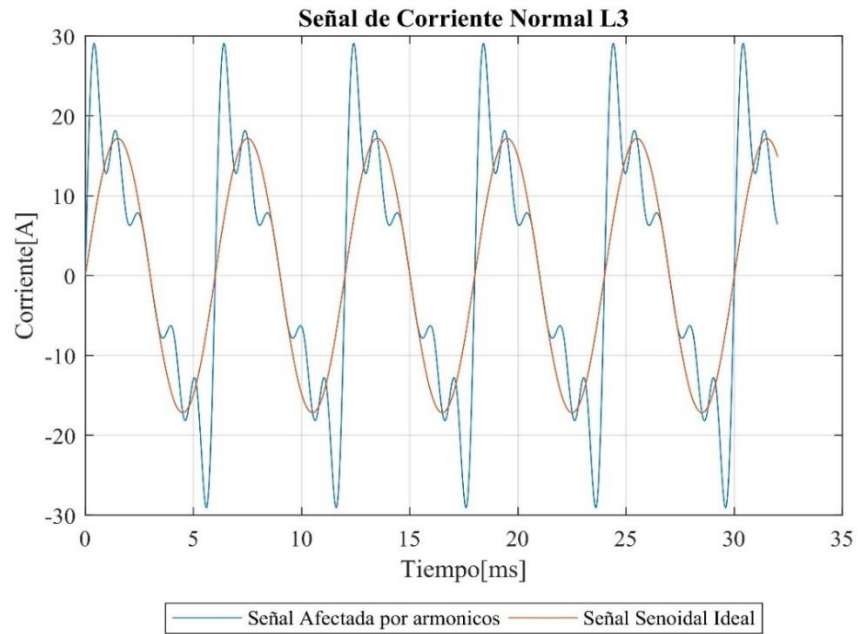
<b>Parámetro Eléctrico</b>	<b>Valor</b>	<b>Parámetro Eléctrico</b>	<b>Valor</b>
$\theta 1$ :	44,7650	Resistencia( $\Omega$ ):	0,1731
$\theta 2$ :	18,1948	Qfilt (kVARS):	10,2720
Qeff (kVAR):	6,8304	Corriente inicial banco de capacitores (A)	11,3950
Valor comercial (kVAR)	7,5	Corriente del filtro (A):	15,6066
Q trafo(kVAR):	10,7	Corriente Fundamental (A):	34,0332
Strafo (kVA)	14,8519	I2 % analizador:	7,646
Nuevo Fp:	0,6935	I2 (A):	2,6021
MVAcc	21,6216	Corriente filtro rms(A)	15,8221
Frecuencia de resonancia h (Hz)	53,6924	Corriente pico (A)	18,2088
Frecuencia resonancia paralelo (Hz)	3.221,55	Voltaje capacitor (V)	527,6329
Sintonización armónico 2	1,925	Voltaje armónico 2 (V)	43,3885
Reactancia capacitor ( $\Omega$ ):	19,2533	Vrms capacitor (V)	529,4138
Reactancia inductor ( $\Omega$ ):	5,1957	Voltaje pico (V)	571,0214
Factor de calidad (Q'):	30	Qcap (kVAR)	14,5084

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 95.** Comparación de datos Línea 3

<b>Descripción variables eléctricas</b>	<b>Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020</b>	<b>Margen calculado en %</b>	<b>¿Cumple los límites?</b>
Irms	135	46,4902	Si
Vrms	110	139,3194	No
Vpico	120	150,2688	No
kVAR	135	145,0845	No

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 57.** Simulación de corriente con todos los armónicos en la línea 3.

Elaborado por: Andrés Espín

**Tabla 96.** Recálculo de parámetros para Línea 3

Parámetros Eléctricos	Valor
Qfilt2 (kVARS):	4,3349
Corriente del filtro (A):	6,5862
Corriente filtro rms (A)	7,0816
Corriente pico (A)	9,1883
Voltaje capacitor (V)	219,6354
Voltaje armónico 2 (V)	43,3885
Vrms capacitor (V)	223,88
Voltaje pico (V)	263,0239
Qcap (kVAR)	2,7460

Elaborado por: Andrés Espín.

**Tabla 97.** Nueva comparación de resultados para Línea 3

Descripción variables eléctricas	Límites nominales en % establecidos por IEEE Std 1531-2020	Margen calculado en %	¿Cumple los límites?
Irms	135	20,8079	Si
Vrms	110	58,9158	Si
Vpico	120	69,2168	Si
kVAR	135	27,4605	Si

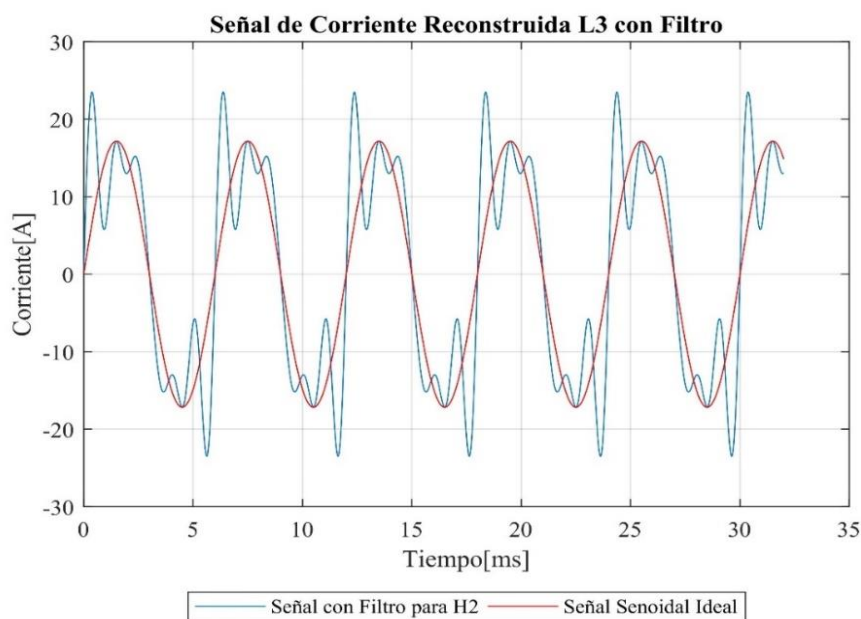
Elaborado por: Andrés Espín.

La tabla 97 se puede constatar que están dentro los límites establecidos por IEEE Std 1531-2020. Por ende los datos del filtro para la línea 3 son:

**Tabla 98.** Datos de filtro para Línea 3

Parámetros Eléctricos	Valor
Resistencia [ $\Omega$ ]:	0,2598
L [mH]:	10,334
C [ $\mu$ F]:	183,6968

Elaborado por: Andrés Espín.



**Figura 58.** Simulación de corriente incluido filtro sintonizado para la línea 3.

Elaborado por: Andrés Espín.



No se realiza un diseño de un filtro para el neutro por cuanto puede compensar potencia reactiva perjudicando más al sistema eléctrico, lo que sí se puede realizar para atenuar los armónicos en el neutro es eliminar los armónicos de secuencia 0 en las fases.

Recalculando el factor de distorsión armónica de corriente corregido con el filtro sintonizado el armónico 2.

**Tabla 99.** Nuevo Factor de distorsión armónica (TDD)

<b>Factor de distorsión armónica</b>				
Estado	Línea 1 (%)	Línea 2 (%)	Línea 3 (%)	Neutro (%)
Sin filtro	35,316	37,639	16,642	68,358
Con filtro H2	27,0655	27,2312	13,8722	54,2964

Elaborado por Andrés Espín.

## 5.2 Para los niveles de iluminación

Dado que los niveles de iluminación obtenidos en las diferentes áreas de trabajo de la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. – CIUDAD DEL AUTO están dentro de los límites permisibles no se requiere ninguna acción de mejora.

## 5.3 Para disminuir la temperatura de los equipos

En virtud de se evidenció algunos inconvenientes con la temperatura de trabajo en equipos; a continuación, se detallan las acciones a adoptarse sobre el mantenimiento predictivo o correctivo dependiendo del caso:

**Tabla 100.** Propuestas de mejora para reducir la temperatura de trabajo de equipos

<b>Equipo</b>	<b>Acciones</b>
Bomba B1 7,5 kW de recirculación de torre de enfriamiento para sueldas	- Limpieza del ventilador y carcasa - Ajuste de borneras y base de motor
Tablero de iluminación del área de soldadura	- Ajuste de borneras  - Balancear cargas asociadas a los breakers - Verificar que el conductor y el breaker estén correctamente dimensionados
Tablero de distribución principal. Borneras de ingreso	- Ajuste de borneras
Tablero de control de bombas torre de enfriamiento. Borneras de salida	- Ajuste de borneras - Comprobar que el conductor y el breaker estén correctamente dimensionados
Bornes del transformador de 800 kVA	- Revisar el nivel de aceite aislante - Ninguna
Ducto barras	

Elaborado por: Andrés Espín.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 Conclusiones

- Del análisis de potencia, se concluye que línea 1 está sobrecargada, esto debido a que las sueldas de punto de baja frecuencia de las áreas de M4 y Shineray funcionan a 380V, pero están conectadas dos fases a la ducto barra produciendo desbalance.
- El día 12 de julio a las 07:42 se presentó una desconexión de las líneas de distribución en medio voltaje suministrado por la EEASA, dejando sin suministro de energía eléctrica la empresa CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO, causando daño en los equipos como el variador de frecuencia, modelo CIMR-VA2A0020JAA, serie J0142G015010004, marca YASKAWA y la máquina de prueba de frenado, modelo SINAMICS CU240E-2 PN, serie ZVK521C066986, marca SIEMENS, los cuales se encontraban operando normalmente antes de la falla en el suministro de energía eléctrica.
- De acuerdo a la evaluación realizada en base a lo que establece la Regulación ARCONEL No. 005/18, la presencia del armónico 2, es el más severo, por cuanto se requiero un diseño de un filtro sintonizado para eliminarlo, en cual con su conexión se evidencia que los valores reflejados en TDD pasan: en la línea 1 de 27,0655% a 8,25%; en la línea 2 de 27,2312% a 10,4078%, en la línea 3 de 13,8722% a 2,77%, y en el neutro de 54,2964% a 14,062%, concluyendo que el filtro diseñado cumple con su propósito.
- Según la evaluación de los niveles de iluminación se evidencia que los mismos cumplen con lo establecido en la normativa, ya que en su mayoría de luminarias son tipo led, que cumplen con los niveles de eficiencia en base a las normativas INEN 1154, NEC y UNEN-EN 12464-1, de las diferentes áreas de trabajo de la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. – CIUDAD DEL AUTO, sus resultados reflejan que están dentro de los límites permisibles, lo cual no requiere ninguna acción de mejora como tampoco es necesario cambio de luminarias.
- De las inspecciones termográficas, fundamentadas en las normativas NETA y NEMA, se evidenció la necesidad de realizar acciones de mantenimiento

preventivo con el propósito de precautelar la integridad y buen funcionamiento de los equipos.

## **6.2 Recomendaciones**

- Como recomendación se puede realizar un análisis de balance de cargas en el área de soldadura, ya que actualmente las líneas 1 y 3 están sobrecargadas, esto con la finalidad de mantener un sistema equilibrado y de haber fallas no comprometa la vida útil de los equipamientos.
- Se sugiere que, a futuro se realice un nuevo estudio de carga, tanto en estado estable como en estado transitorio en el área de soldadura, con el fin de instalar un supresor de transitorios de voltaje industrial (TVSS), que es una protección eléctrica que opera en el orden de los milisegundos, para cuando se presenten desconexiones por parte de la EEASA, dichos eventos no causen daños a los equipos instalados.
- Se recomienda que, a futuro se realice un nuevo estudio de carga, tanto en estado estable como en estado transitorio en las instalaciones del área de soldadura, dado que si el efecto de los armónicos crece con el incremento de carga, y para atenuar el efecto de los armónicos de corriente 3, 5, 7, 9 y 11, diseñar e implementar un filtro activo.
- Realizar las actividades de mantenimiento preventivo en los equipos instalados en el área de soldadura de la empresa ensambladora de autos CIAUTO CIA. LTDA. - CIUDAD DEL AUTO.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] A. Boharb, A. Allouhi, R. Saidur, T. Kousksou, and A. Jamil, "Energy

- conservation potential of an energy audit within the pulp and paper industry in Morocco,” *J. Clean. Prod.*, vol. 149, pp. 569–581, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.090.
- [2] I. de I. G. y Energético-IIIGE, “Balance Energético Nacional 2020,” 2020.
- [3] P. Nagaveni, A. Amudha, M. Siva Ramkumar, V. M. Mansoor, G. Emayavaramban, and S. Divyapriya, “Safety audit analyse – A case study report in printing machinery firm,” *Mater. Today Proc.*, vol. 37, pp. 2623–2630, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.510.
- [4] G. S. H. DANILO and M. G. C. LUIS, “Escuela politécnica nacional- AUDITORIA ELÉCTRICA EN INDUSTRIA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS INPROLAC S.A.,” p. 191, 2019.
- [5] R. Balderrama, S. Gopel, J. M. Lobo, P. Meneces, and K. Perez, “Alimentos- Guia Metodologica de Auditoria Energetica,” p. 58, 2019.
- [6] A. Thumann, P.E., C.E.M. and W. J. Younger, C.E.M., *Handbook of Energy Audits*. 2003.
- [7] A. Giz and P. Medidor, “Guía para realizar una auditoría energética Gestión 2019,” 2019.
- [8] I. Ministerio de Energía y Minas, “Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energetico,” *Dir. Gen. Efic. Energética*, vol. 2, no. 143, pp. 1–2, 2014.
- [9] G. Dall’O’, *Chapter 4: Acquisition of Basic Information*, vol. 146. 2013.
- [10] S. Desai, *Handbook of Energy Audit*. 2015.
- [11] F. C. De La Rosa, *Harmonics and Power Systems*. 2006.
- [12] ARCONEL, “RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-053/18,” *Arconel*, pp. 1–40, 2018.
- [13] F. A. Donoso, “Componentes Armónicas en Redes de Distribución Eléctricas,” *Conceptos, norma Vigen. en Chile y Altern. solución al Probl.* <http://www.Rev.cl/revistas/2001/5/Acevedo.pdf>, 2002.
- [14] J. D. Arcila, “Armónicos En Sistemas Eléctricos,” *Armónicos En Sist. Eléctricos*, pp. 1–26, 2016.
- [15] E. Téllez, “Distorsión Armónica,” *Rev. Programa Ahorr. Energ.*, no. 222, p. 31, 2012.
- [16] P. Caramia, G. Carpinelli, and P. Verde, *Power Quality Indices in Liberalized Markets*. 2009.

- [17] R. . E.Pinto, *Calidad de la Energía*. Universitas, 2020.
- [18] IEEE, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” *IEEE Std 519-2014*, pp. 1–29, 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [19] V. S. S. y P. R. V. F. J. R. Gómez Sarduy, *Procedimiento para determinar la eficiencia de los motores asincrónicos en presencia de tensiones no sinusoidales desbalanceadas*. 2015.
- [20] IEEE, “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,” *1159-2019*, 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.
- [21] R. Jacome and H. Vargas, “Universidad Técnica de Cotopaxi,” 2019.
- [22] J.Carpio Ibañez, *Alimentacion de cargas críticas y calidad de la energía*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013.
- [23] C. de la E. y A. A. en S. Eléctricos, “Capitulo 6 RESPUESTA DEL SISTEMA,” pp. 80–146.
- [24] WEG, “Control del factor de potencia,” p. 148.
- [25] Y.-S. Cho and H. Cha, “Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor,” *J. Int. Counc. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2011, doi: 10.5370/jicee.2011.1.1.007.
- [26] J. GARCIA TRASANCOS, *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión*, Octava. 2020.
- [27] J. G. Farrás, “Iluminación,” *El torso Venus*, p. 7, 2018, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctv893j2s.33>.
- [28] A. Riva, “Mediciones de iluminación por el método de la cuadrícula,” *Ahra*, p. 61.
- [29] AENOR\_ GRUPO 27, “Norma UNE-EN 12464-1\_ Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores,” *AENOR \_ Asoc. Española Norm. y Certificación*, p. 43, 2003, [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048898>.
- [30] I. 1154, “1984-05 1.,” 1984.
- [31] FLIR Systems AB., “Guía de termografía para mantenimiento predictivo,” p. 45, 2011, [Online]. Available: [https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264\\_ES.pdf](https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf)  
%0Ahttp://www.alava-ing.es/repositorio/6769/pdf/3505/2/guia-de-

termografia-para-mantenimiento-predictivo.pdf.

- [32] I. Navarrete García, Y. Llosas Albuerne, E. Molina Moreira, M. Sánchez Cuadro, and J. García Mera, “Levantamiento y detección de puntos calientes mediante la cámara termográfica en el alimentador #1 San Plácido, subestación Playa Prieta – piedra azul de la CNEL - EP unidad de negocio Manabi,” *Rev. Investig. en Energía, Medio Ambient. y Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 2, no. 1, p. 66, 2017, doi: 10.33936/riemat.v2i1.946.
- [33] E. Hernández, “Mantenimiento Predictivo Programa Termográfico,” 2014.
- [34] J. F. Morales Montero, “Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico,” p. 83, 2018.
- [35] N. NEMA, *Normas NEMA MG publicación N° 1-1998, Revisión 1 MOTORES Y GENERADORES*. Rosslyn, Virginia 22209: Nacional de Fabricantes Eléctricos ASOCIACIÓN, 2000.
- [36] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,” *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*, vol. 19, p. 35, 2019.
- [37] CIAUTO Parque Industrial Automotriz, “CIAUTO, «La Ciudad del Auto» es una empresa 100% Ecuatoriana.” <https://ciauto.ec/> (accessed Mar. 26, 2021).
- [38] B. Santander, “Criterios para diagnostico ANSI/NETA ATS-2017 tabla 100.18,” *TROTEC*, vol. 87, no. 1,2, pp. 149–200, 2017.
- [39] T. P. Quality, “Fluke 430 Series II,” vol. 44, no. 0, pp. 0–12, 2012.
- [40] E. Performance and M. Functions, “Digital Lux Meter,” p. 1.
- [41] ACRE, “Surveying Solutions,” 2021. <https://grupoacre.es/catalogo-productos/camaras-termograficas-flir-serie-e/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: Límites de calidad de la energía

a. Niveles de voltaje

<b>Nivel de voltaje</b>	<b>Rango</b>
Bajo voltaje:	menor igual a 0,6 kV;
Medio voltaje:	mayor a 0,6 kV y menor igual a 40 kV;
Alto voltaje grupo 1:	mayor a 40 kV y menor igual a 138 kV.
Alto voltaje grupo 2:	mayor a 138 kV.

b. Límites para el índice de nivel de voltaje

<b>Nivel de voltaje</b>	<b>Armónicos Individuales</b>
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5.0 %
Medio Voltaje	± 6.0 %
Bajo Voltaje	± 8.0 %

c. El valor límite para el índice de severidad de flicker  $P_{st}$  en el punto de medición respectivo no debe ser mayor o superar a la unidad.

d. Límites máximos de distorsión de voltaje

<b>Voltaje de bus en PCC</b>	<b>Armónicos Individuales</b>	<b>Armónicos totales distorsión THD (%)</b>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

e. El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto común de acoplamiento para la medición será 2% para todos los niveles de voltaje.

f. Niveles máximos de distorsión armónica de corriente

**(Nivel máximo de armónicos impares)<sup>a</sup>**

% de la corriente máxima de demanda



$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h$	$11 \leq h$	$17 \leq h$	$23 \leq h$	$35 \leq h$	TDD
	< 11	< 17	< 23	< 35	< 50	
< 20 <sup>c</sup>	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,05	1,4	20,0

Para los armónicos individuales de corriente pares los límites corresponden al 25% de los armónicos individuales de corrientes impares

## ANEXO B: Clasificación De Fallas

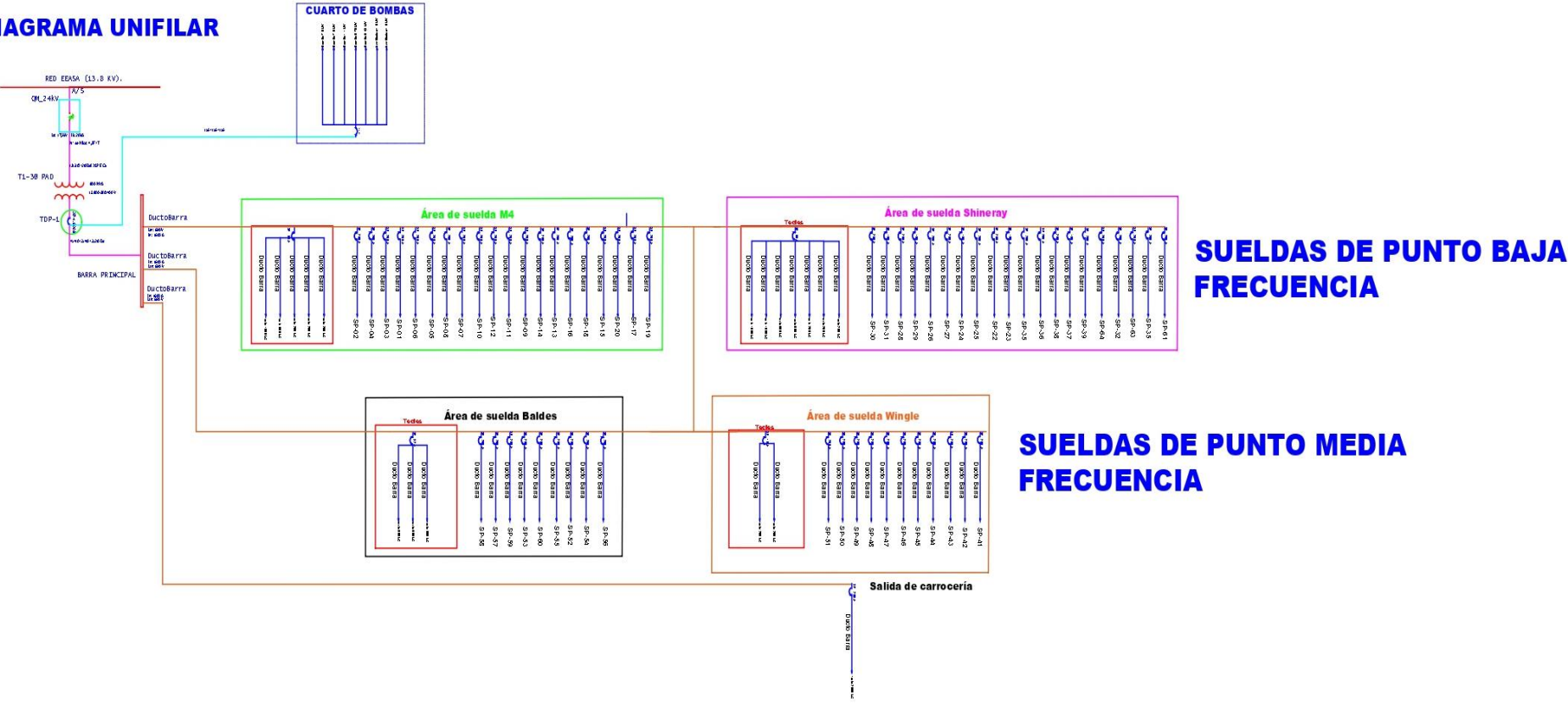
Relevancia	Prioridad	Incremento de temperatura $\Delta T$	Observación
Normal	1 (bajo)	$1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ (O/S) $1^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 10^{\circ}\text{C}$ (O/A)	No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo
Leve	2	$3^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$ (O/S) $10^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 20^{\circ}\text{C}$ (O/A)	Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente o crítico usando la metodología y el personal adecuado
Grave	3	$15^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 25^{\circ}\text{C}$ (O/S) $20^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$ (O/A)	Actuar lo más antes posible teniendo en cuenta la dinámica de cada empresa y sus turnos de trabajo , se deberá aprovechar el paro más inmediato para corregir el problema
Crítico	4	$25^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 35^{\circ}\text{C}$ (O/S) $30^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 40^{\circ}\text{C}$ (O/A)	Estudiar la posibilidad de parar el proceso para corregir el problema
Muy crítico	5 (alto)	$\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$ (O/S) $\Delta T > 10^{\circ}\text{C}$ (O/A)	Interrumpir el proceso de inmediato para corregir el problema

Fuente: [38].




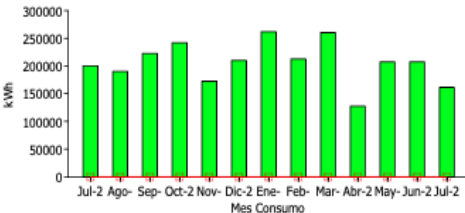


# ANEXO D: Diagrama unifilar detallado área de soldadura

## DIAGRAMA UNIFILAR



Elaborador por: Andrés Espín

# ANEXO E: Factura consumo de energía eléctrica CIAUTO CIA. LTDA.

	<b>EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.</b> <b>R.U.C. 1890001439001</b> CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION 5368 DEL 2 DE JUNIO DE 1995 Aut. del S.R.L.: 0208202101189000143900120010120166805491668054917 Fecha Aut.: 2021-08-03T09:27:32-05:00 Dirección: 12 de Noviembre 11-29 y Espejo Teléfono: 03-2998600																																																																	
	<b>Factura Nro.001012 - 016680549</b> Valor a Pagar: <b>14,963.38</b>																																																																	
Fecha Emisión:	02-Ago-2021	Vencimiento:	12-Ago-2021	Mes Consumo:	Julio-2021	Bloque Facturación:	3																																																											
<b>INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR</b>																																																																		
Nombre:	CIUDAD DEL AUTO CIAUTO CIA LTDA			CC/RUC:	1891748376001																																																													
Dirección del Servicio:	CAMINO REAL PUCARUMI A.N.MARTINEZ			Ruta:	6 - 68 - 18																																																													
Provincia / Cantón / Parroquia:	TUNGURAHUA / AMBATO /			Código Único Eléctrico Nacional:	<b>0100227361</b>																																																													
Tipo de Tarifa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA			Medidor Número:	9876469	Factor Multiplicación	1400.00																																																											
Lectura Desde:	01-07-2021	Lectura Hasta:	31-07-2021	Días Facturados	30																																																													
Factor Potencia:	0.96553	Factor Corrección:	0.50																																																															
<b>1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO</b>																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Actual</th> <th>Anterior</th> <th>Consumo</th> <th>Und</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Activa</td> <td>3109385</td> <td>3109270</td> <td>161000</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Reactiva</td> <td>1173512</td> <td>1173481</td> <td>43400</td> <td>kVAR</td> </tr> <tr> <td>08h00-18h00 L-V</td> <td>1412147</td> <td>1412092</td> <td>77000</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>18h00-22h00 L-V</td> <td>254478</td> <td>254471</td> <td>9800</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>22h-08h LVSDf</td> <td>1346406</td> <td>1346356</td> <td>70000</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>18h00-22h00SDF</td> <td>96353</td> <td>96350</td> <td>4200</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Dem Máxima</td> <td>0.55</td> <td>0</td> <td>770</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Dem Pico</td> <td>0.12</td> <td>0</td> <td>168</td> <td>kW</td> </tr> </tbody> </table>				Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Und	Activa	3109385	3109270	161000	kWh	Reactiva	1173512	1173481	43400	kVAR	08h00-18h00 L-V	1412147	1412092	77000	kWh	18h00-22h00 L-V	254478	254471	9800	kWh	22h-08h LVSDf	1346406	1346356	70000	kWh	18h00-22h00SDF	96353	96350	4200	kWh	Dem Máxima	0.55	0	770	kW	Dem Pico	0.12	0	168	kW	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor Consumo</td> <td>11,806.90</td> </tr> <tr> <td>Valor Comercialización</td> <td>1.41</td> </tr> <tr> <td>Demanda Facturable</td> <td>1,761.76</td> </tr> <tr> <td><b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b></td> <td><b>13,570.07</b></td> </tr> <tr> <td>Alumbrado Público</td> <td>105.55</td> </tr> <tr> <td><b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b></td> <td><b>105.55</b></td> </tr> </tbody> </table>				Concepto	Valor USD	Valor Consumo	11,806.90	Valor Comercialización	1.41	Demanda Facturable	1,761.76	<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>13,570.07</b>	Alumbrado Público	105.55	<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>105.55</b>
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Und																																																														
Activa	3109385	3109270	161000	kWh																																																														
Reactiva	1173512	1173481	43400	kVAR																																																														
08h00-18h00 L-V	1412147	1412092	77000	kWh																																																														
18h00-22h00 L-V	254478	254471	9800	kWh																																																														
22h-08h LVSDf	1346406	1346356	70000	kWh																																																														
18h00-22h00SDF	96353	96350	4200	kWh																																																														
Dem Máxima	0.55	0	770	kW																																																														
Dem Pico	0.12	0	168	kW																																																														
Concepto	Valor USD																																																																	
Valor Consumo	11,806.90																																																																	
Valor Comercialización	1.41																																																																	
Demanda Facturable	1,761.76																																																																	
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>13,570.07</b>																																																																	
Alumbrado Público	105.55																																																																	
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>105.55</b>																																																																	
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Jul-20</td> <td>200200</td> <td>1,352.73</td> </tr> <tr> <td>Ago-20</td> <td>190400</td> <td>0,316.84</td> </tr> <tr> <td>Sep-20</td> <td>222600</td> <td>3,848.17</td> </tr> <tr> <td>Oct-20</td> <td>242200</td> <td>3,964.94</td> </tr> <tr> <td>Nov-20</td> <td>172200</td> <td>6,284.65</td> </tr> <tr> <td>Dic-20</td> <td>210000</td> <td>0,281.47</td> </tr> <tr> <td>Ene-21</td> <td>261800</td> <td>20,111.29</td> </tr> <tr> <td>Feb-21</td> <td>212800</td> <td>0,696.25</td> </tr> <tr> <td>Mar-21</td> <td>260400</td> <td>4,577.06</td> </tr> <tr> <td>Abr-21</td> <td>127400</td> <td>2,684.82</td> </tr> <tr> <td>May-21</td> <td>207200</td> <td>9,900.37</td> </tr> <tr> <td>Jun-21</td> <td>207200</td> <td>9,119.66</td> </tr> <tr> <td>Jul-21</td> <td>161000</td> <td>4,963.38</td> </tr> </tbody> </table>				Jul-20	200200	1,352.73	Ago-20	190400	0,316.84	Sep-20	222600	3,848.17	Oct-20	242200	3,964.94	Nov-20	172200	6,284.65	Dic-20	210000	0,281.47	Ene-21	261800	20,111.29	Feb-21	212800	0,696.25	Mar-21	260400	4,577.06	Abr-21	127400	2,684.82	May-21	207200	9,900.37	Jun-21	207200	9,119.66	Jul-21	161000	4,963.38	<p style="text-align: center;"><b>HISTORIAL DE CONSUMOS</b></p>  <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Límite Tarifa Dignidad    <input checked="" type="checkbox"/> kWh         </p>																							
Jul-20	200200	1,352.73																																																																
Ago-20	190400	0,316.84																																																																
Sep-20	222600	3,848.17																																																																
Oct-20	242200	3,964.94																																																																
Nov-20	172200	6,284.65																																																																
Dic-20	210000	0,281.47																																																																
Ene-21	261800	20,111.29																																																																
Feb-21	212800	0,696.25																																																																
Mar-21	260400	4,577.06																																																																
Abr-21	127400	2,684.82																																																																
May-21	207200	9,900.37																																																																
Jun-21	207200	9,119.66																																																																
Jul-21	161000	4,963.38																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">SUBSIDIO DEL GOBIERNO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Subsidio Tarifa Eléctrica</td> <td>2,457.70</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL SUBSIDIOS:</b></td> <td><b>2,457.70</b></td> </tr> </tbody> </table>				SUBSIDIO DEL GOBIERNO		Subsidio Tarifa Eléctrica	2,457.70	<b>TOTAL SUBSIDIOS:</b>	<b>2,457.70</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Servicio Eléctrico(1)</td> <td>13,675.62</td> </tr> <tr> <td>Valores Pendientes (2):</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Recaudación Terceros (3):</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico</b></td> <td><b>13,675.62</b></td> </tr> </tbody> </table>				TOTAL		Total Servicio Eléctrico(1)	13,675.62	Valores Pendientes (2):	0.00	Recaudación Terceros (3):		<b>TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico</b>	<b>13,675.62</b>																																											
SUBSIDIO DEL GOBIERNO																																																																		
Subsidio Tarifa Eléctrica	2,457.70																																																																	
<b>TOTAL SUBSIDIOS:</b>	<b>2,457.70</b>																																																																	
TOTAL																																																																		
Total Servicio Eléctrico(1)	13,675.62																																																																	
Valores Pendientes (2):	0.00																																																																	
Recaudación Terceros (3):																																																																		
<b>TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico</b>	<b>13,675.62</b>																																																																	
																																																																		
Clave Acceso: 0208202101189000143900120010120166805491668054917																																																																		



**Planilla de consumo**

[← Regresar](#)

**Datos de Cliente**

No.- de cuenta: **227361** Tipo Identif: **RUC** Nombres: **CIAUTO CIA LTDA** Apellidos: **CIUDAD DEL AUTO** Dirección: **CAMINO REAL PUCARUMI A.N.MARTINEZ** No.- Medidor: **9876469** Tarifa: **INDUSTRIAL CON DEMANDA** Cédula/Ruc: **1891748376001** Agenci **AMBATO** Zona: **6** Sector:

**Datos de planilla(s)**

Serie	No.-DOc	Autoriza/Cad...	F. Emisión	L.Anterior	L.Actual	Cons	Total Pg
<b>TOTAL</b>							0

**Detalle**

Cod	Rubro	Valor
<b>TOTAL</b>		

**Historial**

Mes Consumo	Consumo kWh
09-2020	222600
10-2020	242200
11-2020	172200
12-2020	210000
01-2021	261800
02-2021	212800
03-2021	260400
04-2021	127400
05-2021	207200
06-2021	207200
07-2021	161000
08-2021	198800

**:: CLIENTES CORPORATIVOS::**

## ANEXO F: Especificación técnica de los equipos de medición

Especificaciones técnicas Fluke 435 categoría 1		
Características	Rango	Precisión
Voltaje Vrms (cc+ca)	1 a 1000 Vrms	±0,1% Voltaje nominal
Voltaje Pico	1 a 1400 Vpk	±5% Voltaje nominal
Corriente	30 a 3000 Arms	±0,5% Corriente nominal
Armónicos		1 a 50
Watt(Va, VAR)	1 a 20 MW	±1 % ±10 cuentas
Energía (KVA, KVAR)	0 a 200 GWhr	±1 % ±10 cuentas
Factor de potencia	0 a 1	±0,033
Parpadeo (Pst 1 min),(Plt)	0 a 20	±5 %

Fuente: [39]

### Especificaciones del Luxómetro AR823 Lux Meter.

Rango de medición	Tasa de Muestreo	1,5 Time/sec
Precisión	±3% rdg 5% f.s	Resolución
	±4% rdg±10 dígitos	Pantalla de luz de Fondo
Selección de unidad	lux	Medición máxima y mínima
Selección de modo	3 Modos	Función Relativa
Función de retención de datos	si	Indicación de Batería
Apagado automático	si	Repetitividad
Fuente	9 V	Condición de operación

Fuente: [40]



---

**Especificaciones de la Cámara Termográfica FLIR-E63900**

---

Pantalla:	LCD a color 3"	Rango de temperatura:	- 4 a 482°F (-20 a 250°C)
Peso:	1,2 libras	Modo de medida:	Punto Central
Precisión:	2%	Cuadros por segundo:	9 Hz
Formato de archivo:	jpg radiométrico	Campo de visión:	45°x34°
Modo de medición:	Puntual	Enfocar:	Enfoque Libre
Resolución de pixeles infrarrojos:	4,800(80x60)	Auto Caliente /Frio	No
Sensibilidad Térmica:	<0,15 °C	Detección:	

---

Fuente : [41]