

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y  
PROPUESTA DE CORRECTIVOS PARA LA EMPRESA  
SIGMAPLAST**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:  
EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y  
PROPUESTA DE CORRECTIVOS PARA LA EMPRESA  
SIGMAPLAST**

**AUTOR:  
AYALA CALDERÓN EDISON ANDRÉS**

**TUTOR:  
RUIZ MALDONADO MILTON GONZALO**

**Quito, septiembre del 2020**

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

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **“EVALUCIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y PROPUESTA DE CORRECTIVOS PARA LA EMPRESA SIGMAPLAST.”** realizado por Edison Andrés Ayala Calderón, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2020



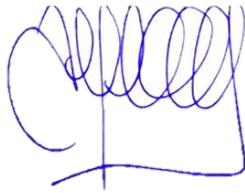
---

Milton Gonzalo Ruiz Maldonado  
C.I.171440906-5

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Edison Andrés Ayala Calderón, con documento de identificación 1718058439, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y UNA PROPUESTA DE CORRECTIVOS PARA LA EMPRESA SIGMAPLAST”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



-----  
EDISON ANDRÉS AYALA CALDERÓN  
CI. 1718058439  
Quito, septiembre del 2020.

## **DEDICATORIA**

A mi familia.

A mi madre.

A la memoria de mi hermano.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional.

Al Ing. Milton Ruiz por su guía y conocimientos a lo largo de este proyecto.

A mis docentes por los conocimientos impartidos.

A la empresa SIGMAPLAST por permitir la realización de este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO .....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Calidad de Energía Eléctrica .....	1
1.2    Tipos de carga .....	1
1.2.1 Cargas lineales .....	1
1.2.2 Cargas no lineales .....	1
1.3    Perturbaciones en los sistemas eléctricos .....	2
1.3.1 Transitorios .....	2
1.3.2 Variaciones de corta duración.....	3
1.3.3 Interrupciones de larga duración. ....	4
1.3.5 Distorsión de la forma de onda.....	4
1.3.4 Desequilibrio de tensión.....	5
1.4    Puesta a Tierra .....	6
1.4.1 Método de Wenner .....	6
1.5    Factor de Potencia .....	7
1.6    Demanda.....	7
1.6.1 Carga Máxima. ....	7
1.6.2 Horas de carga equivalente EH.....	7
1.6.3 Factor de Demanda .....	8
1.6.4 Factor de Utilización.....	8



1.6.5 Horas equivalentes de pérdidas .....	8
1.6.6 Factor de Pérdidas.....	8
1.6.7 Porcentaje de Pérdidas y Pérdidas de Potencia y Energía .....	8
1.7 Normativas .....	9
1.7.1 IEC 61000-4-7:2002+AMD1:2008 CSV.....	9
1.7.2 IEC 61000-4-30 .....	9
1.7.3 IEC 61000-4-15:2010 RLV .....	11
1.7.4 IEEE Std 519-2014.....	11
1.7.5 IEC 61000-2-4:2002 .....	13
1.7.6 IEC 61000-4-11:2004-2017.....	14
1.7.7 ANSI C84.1-2016 .....	15
1.7.8 IEEE Std 1159 -2019 .....	16
1.7.9 IEEE Std 1100 -2005 .....	18
1.7.10 IEEE 142- 2007 .....	19
1.7.11 ARCONEL 005/18 .....	20
1.7.12 ANSI/NETA ATS 2017.....	23
1.8 Eficiencia Energética.....	23
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>25</b>
<b>SIGMAPLAST.....</b>	<b>25</b>
2.1. Ubicación de la Empresa Sigmaplast .....	25
2.2 Proceso Productivo.....	26
2.3 Cámara de Transformación .....	26
2.4 Unidades Electrógenos .....	28
2.5 Unidad Electrógena Caterpillar .....	28
2.6 Unidad Electrógena FG WILSON .....	28
2.7 Medición Malla Puesta a Tierra .....	29
2.8 Análisis de la Calidad de Energía Cámara de Transformación.....	29
2.9 Unifilar Actual de la Planta .....	30

CAPITULO III.....	33
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	33
3.1  Analizador de Energía Fluke 435 II .....	33
3.1.1  Método de medida analizador de calidad Fluke 435 II.....	34
3.2  Telurómetro Equipo 1625-2 .....	34
3.3  Cámara Termográfica Fluke Ti450 .....	35
3.4  Pinza Amperimétrica Fluke 902 FC.....	36
3.5  Multímetro Fluke 789.....	36
CAPITULO IV.....	38
RESULTADOS.....	38
4.1  Punto de Acoplamiento Común (PCC) .....	38
4.2  Periodo de Análisis.....	38
4.3  Resultados obtenidos Tablero de Distribución Primario A.....	38
4.3.1  Tablero de Distribución Primario A Variable Voltaje.....	39
4.3.2  Tablero de Distribución Primario A Variable Corriente .....	40
4.3.3  Tablero de Distribución Primario A Variable Frecuencia.....	42
4.3.4  Tablero de Distribución Primario A Desequilibrio de Voltaje .....	43
4.3.5  Tablero de Distribución Primario A Desequilibrio de Corriente.....	44
4.3.6  Tablero de Distribución Primario A Potencia Activa.....	45
4.3.7  Tablero de Distribución Primario A Potencia Reactiva .....	45
4.3.8  Tablero de Distribución Primario A Potencia Aparente .....	46
4.3.9  Tablero de Distribución Primario A Factor de Potencia .....	47
4.3.10  Tablero de Distribución Primario A Distorsión Armónica de Voltaje (THD) .....	48
4.3.11  Tablero de Distribución Primario Armónicos Individuales.....	49
4.3.12  Tablero de Distribución Primario A Flicker de Corta Duración .....	51
4.4  Resultados obtenidos Tablero de Distribución Primario B .....	52
4.4.1  Tablero de Distribución Primario B Variable Voltaje.....	53

4.4.2	Tablero de Distribución Primario B Variable Corriente.....	54
4.4.3	Tablero de Distribución Primario B Variable Frecuencia .....	55
4.4.4	Tablero de Distribución Primario B Variable Desequilibrio de Voltaje ...	56
4.4.5	Tablero de Distribución Primario B Variable Desequilibrio de Corriente.	57
4.4.6	Tablero de Distribución Primario B Potencia Activa .....	58
4.4.7	Tablero de Distribución Primario B Potencia Reactiva.....	58
4.4.8	Tablero de Distribución Primario B Potencia Aparente .....	59
4.4.9	Tablero de Distribución Primario B Factor de Potencia.....	60
4.4.10	Tablero de Distribución Primario B Distorsión Armónica de Voltaje (THD) .....	61
4.4.11	Tablero de Distribución Primario Armónicos Individuales.....	62
4.4.12	Tablero de Distribución Primario B Flicker de Corta Duración.....	64
4.5	Resultado de Calidad de Servicio Técnico.....	65
4.5.1	Resultado de Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado (FMIK).....	65
4.5.2	Resultado de Tiempo total de interrupción por kVA nominal instalado (TTIK).....	65
4.6	Resultado de la Demanda Periodo de Análisis.....	66
4.7	Resultado de la Demanda Anual Planta Sigmplast.....	68
4.8	Resultado Sistema Puesto a Tierra Integrado.....	69
4.9	Resultado Sistema Puesto a Tierra Aislado.....	71
4.10	Resultado Termografía .....	72
4.10.1	Termografía Breaker A Cámara de Transformación .....	72
4.10.2	Termografía Breaker B Cámara de Transformación .....	73
4.10.3	Termografía Tablero Distribución Primario A .....	74
4.10.4	Termografía Breaker Principal Facilidades .....	75
4.10.5	Termografía Tablero Distribución Secundario Facilidades.....	76
4.10.6	Termografía Tablero Distribución Primario B .....	77

4.10.7 Termografía Tablero de Distribución Secundario Rotograbado.....	78
4.10.8 Termografía Tablero de Distribución Secundario Selladoras.....	79
4.10.9 Termografía Tablero Distribución Secundaria Derivación 380V.....	80
4.10.10 Termografía Tablero Distribución Secundario Derivación 380V. ....	81
4.11 Flujo de Potencia. ....	82
ACCIONES CORRECTIVAS.....	85
CONCLUSIONES .....	92
RECOMENDACION.....	94
BIBLIOGRAFÍA .....	95
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación Planta Sigmaplast referencia Google Map.....	26
<b>Figura 2.</b> Mapa de procesos sistema de gestión de calidad.....	26
<b>Figura 3.</b> Cámara de transformación Empresa Sigmaplast 2000 kVA. ....	27
<b>Figura 4.</b> Protección Cámara de Transformación Sigmaplast 2000 kVA.....	28
<b>Figura 5.</b> Punto de Acoplamiento Tableros Distribución Primarios.....	38
<b>Figura 6.</b> Variable eléctrica de voltaje Tablero Distribución Primario A.....	40
<b>Figura 7.</b> Variable eléctrica de Corriente Tablero Distribución Primario A.....	41
<b>Figura 8.</b> Variable eléctrica de Frecuencia Tablero Distribución Primario A. ....	42
<b>Figura 9.</b> Variable eléctrica de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario A.....	43
<b>Figura 10.</b> Variable eléctrica de Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario A.....	44
<b>Figura 11.</b> Variable eléctrica de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A.....	45
<b>Figura 12.</b> Variable eléctrica de Potencia Reactiva Tablero Distribución Primario A.....	46
<b>Figura 13.</b> Variable eléctrica de Potencia Aparente Tablero Distribución Primario A.....	47
<b>Figura 14.</b> Variable eléctrica de Factor de Potencia Tablero Distribución Primario A.....	48
<b>Figura 15.</b> Variable eléctrica de Distorsión Armónica (THD) Tablero Distribución Primario A.....	49
<b>Figura 16.</b> Armónicos Impares - Múltiplos de 3 Tablero de Distribución Primario A.....	50
<b>Figura 17.</b> Armónico en el neutro Tablero de Distribución Primario A.....	51
<b>Figura 18.</b> Variable eléctrica Flicker de Corta Duración Tablero de Distribución Primario A.....	52
<b>Figura 19.</b> Variable eléctrica de voltaje Tablero Distribución Primaria A. ....	53
<b>Figura 20.</b> Variable eléctrica de Corriente Tablero Distribución Primario B.....	55
<b>Figura 21.</b> Variable eléctrica de Frecuencia Tablero distribución primaria B.....	55
<b>Figura 22.</b> Variable eléctrica de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario B.....	56

<b>Figura 23.</b> Variable de Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario B. ....	57
<b>Figura 24.</b> Variable de Potencia Activa Tablero Distribución Primario B. ....	58
<b>Figura 25.</b> Variable de Potencia Reactiva Tablero Distribución Primario B. ....	59
<b>Figura 26.</b> Variable de Potencia Aparente Tablero Distribución Primario B. ....	60
<b>Figura 27.</b> Variable de Factor de Potencia Tablero Distribución Primario B. ....	61
<b>Figura 28.</b> Variable de Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario B. ....	62
<b>Figura 29.</b> Armónicos Impares - Múltiplos de 3 Tablero de Distribución Primario B. ....	63
<b>Figura 30.</b> Armónico en el neutro Tablero de Distribución Primario B. ....	63
<b>Figura 31.</b> Variable Flicker de Corta Duración Tablero Distribución Primario B. ..	64
<b>Figura 32.</b> Consumo energético de la empresa Sigmaplast. ....	69
<b>Figura 33.</b> Imágenes de las mediciones en el Sistema Integrado. ....	71
<b>Figura 34.</b> Imágenes de las mediciones en el Sistema Aislado. ....	72
<b>Figura 35.</b> Termografía Cámara de Transformación Breaker A. ....	73
<b>Figura 36.</b> Termografía Cámara de Transformación Breaker B. ....	74
<b>Figura 37.</b> Termografía Tablero Distribución Primaria A. ....	75
<b>Figura 38.</b> Termografía breaker principal facilidades. ....	76
<b>Figura 39.</b> Termografía tablero de distribución secundario Facilidades. ....	77
<b>Figura 40.</b> Termografía tablero de distribución primaria B. ....	78
<b>Figura 41.</b> Termografía tablero de distribución secundario Rotograbado. ....	79
<b>Figura 42.</b> Termografía alimentación caja térmica. ....	80
<b>Figura 43.</b> Termografía tablero distribución secundario Crobrizadora Simple. ....	80
<b>Figura 44.</b> Termografía Alimentación centro de carga 380V. ....	81
<b>Figura 45.</b> Cámara de Transformación 2000 kVA simulación DigSilent. ....	82
<b>Figura 46.</b> Línea del Área Rotograbado Simulación DigSilent. ....	83
<b>Figura 47.</b> Línea de Sistemas Simulación DigSilent. ....	83
<b>Figura 48.</b> Línea de Sistemas Simulación DigSilent. ....	84
<b>Figura 49.</b> Banco de Capacitores. ....	89
<b>Figura 50.</b> Generador 75kVA TTA- Breaker de Sistemas. ....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requisitos de las variables eléctricas dependiendo de la clase normativa IEC 61000-4-3.....	10
<b>Tabla 2.</b> Límites de desviación del voltaje Normativa IEEE Sta. 519-2014.....	12
<b>Tabla 3.</b> Límites de distorsión de corriente con un rango de 120V a 69kV IEEE Sta. 519-2014 .....	12
<b>Tabla 4.</b> Niveles de tolerancia a las perturbaciones Normativa IEC 61000-2-4.....	13
<b>Tabla 5.</b> Niveles de tolerancia armónicos impares. Normativa IEC 61000-2-4 .....	13
<b>Tabla 6.</b> Niveles de tolerancia armónicos impares múltiplos de 3 Normativa IEC 61000-2-4 .....	14
<b>Tabla 7.</b> Niveles de tolerancia armónicos pares Normativa IEC 61000-2-4.....	14
<b>Tabla 8.</b> Niveles de tolerancia distorsión total armónica. Normativa IEC 61000-2-4 .....	14
<b>Tabla 9.</b> Estándar nominal en bajo voltaje. ANSI C84.1-2016.....	15
<b>Tabla 10.</b> Rango de servicio recomendado de voltaje ANSI C84.1-2016 .....	16
<b>Tabla 11.</b> Clasificación perturbaciones aplicados en la norma IEEE 1159.-2019. ....	17
<b>Tabla 12.</b> Clasificación perturbaciones aplicados en la norma IEEE 1110-2005. ....	18
<b>Tabla 13.</b> Variables e índices eléctricas ARCONEL 005/18 .....	20
<b>Tabla 14.</b> Niveles aceptables de voltaje ARCONEL 005/18 .....	20
<b>Tabla 15.</b> Rango de nivel de voltaje ARCONEL 005/18.....	20
<b>Tabla 16.</b> Límite máximo de armónicos ARCONEL 005/18 .....	21
<b>Tabla 17.</b> Valores individuales de Armónicas. ....	21
<b>Tabla 18.</b> Tabla de especificaciones ANSI NETA AST - 2017.....	23
<b>Tabla 19.</b> Datos de la Cámara de Transformación de la empresa Sigmaplast. ....	27
<b>Tabla 20.</b> Unidad electrógeno Caterpillar .....	28
<b>Tabla 21.</b> Tabla Electrógena FG Wilson.....	29
<b>Tabla 22.</b> Reporte de Análisis de Energía EEQ. ....	29
<b>Tabla 23.</b> Distribución Eléctrica planta Sigmaplast. ....	30
<b>Tabla 24.</b> Tablero de Distribución Primario TDP- BT-A .....	30
<b>Tabla 25.</b> Tablero de Distribución Primaria TDP- BT-B.....	31
<b>Tabla 26.</b> Tablero de Distribución Secundarios .....	31
<b>Tabla 27.</b> Especificación técnica del equipo analizador de energía Fluke 435 II. ....	33
<b>Tabla 28.</b> Normativas que maneja el Analizador de Energía Luke 435 II. ....	34

<b>Tabla 29.</b> Especificaciones del Equipo 1625-2 .....	34
<b>Tabla 30.</b> Características de la cámara termográfica Fluke Ti450.....	35
<b>Tabla 31.</b> Características Fluke 902 FC .....	36
<b>Tabla 32.</b> Características Multímetro Fluke 789.....	37
<b>Tabla 33.</b> Valores de la variable de voltaje Tablero Distribución Primario A.....	39
<b>Tabla 34.</b> Valores de la variable de Corriente Tablero Distribución Primario A.....	41
<b>Tabla 35.</b> Valores de la variable de Frecuencia .....	42
<b>Tabla 36.</b> Valores de la variable de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario A.....	43
<b>Tabla 37.</b> Valores de la variable Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario A.....	44
<b>Tabla 38.</b> Valores de la variable de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A. ....	45
<b>Tabla 39.</b> Valores de la variable de Potencia Reactiva. ....	46
<b>Tabla 40.</b> Variable eléctrica de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A..	46
<b>Tabla 41.</b> Valores de la variable Factor de Potencia.....	47
<b>Tabla 42.</b> Valores de la variable Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario A.....	48
<b>Tabla 43.</b> Análisis individual de Armónicos Tablero Distribución Primario A.....	49
<b>Tabla 44.</b> Valores de la variable Flicker de Corta Duración. ....	51
<b>Tabla 45.</b> Valores de la variable de Voltaje Tablero de Distribución Primario B. ....	53
<b>Tabla 46.</b> Valores de la variable de Corriente Tablero de Distribución Primario B.	54
<b>Tabla 47.</b> Valores de la variable de Frecuencia Tablero de Distribución Primario B. ....	55
<b>Tabla 48.</b> Valores de la variable de Desequilibrio de Voltaje Tablero de Distribución Primaria B. ....	56
<b>Tabla 49.</b> Valores de la variable de Desequilibrio de Corriente Tablero de Distribución Primario B.....	57
<b>Tabla 50.</b> Valores de la variable de Potencia Activa Distribución Primario B.....	58
<b>Tabla 51.</b> Valores de la variable de Potencia Reactiva Distribución Primaria B.....	58
<b>Tabla 52.</b> Valores de la variable de Potencia Aparente Distribución Primaria B. ....	59
<b>Tabla 53.</b> Valores de la variable de Factor de Potencia Distribución Primario B...	60
<b>Tabla 54.</b> Valores de Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario B.....	61



<b>Tabla 55.</b> Análisis individual de Armónicos Tablero Distribución Primario B.....	62
<b>Tabla 56.</b> Valores Flicker de Corta Duración Tablero Distribución Primario B. ....	64
<b>Tabla 57.</b> Interrupciones FMIK.....	65
<b>Tabla 58.</b> Interrupciones TTIK .....	65
<b>Tabla 59.</b> Costo de las interrupciones. ....	66
<b>Tabla 60.</b> Factor de uso de demanda Tablero de distribución Primario A.....	67
<b>Tabla 61.</b> Análisis de Demanda Tablero distribución Primaria A .....	67
<b>Tabla 62.</b> Factor de uso de demanda Tablero de distribución Primaria B .....	67
<b>Tabla 63.</b> Análisis de Demanda Tablero distribución Primaria B.....	68
<b>Tabla 64.</b> Análisis de la demanda anual.....	68
<b>Tabla 65.</b> Factores de la demanda anual. ....	68
<b>Tabla 66.</b> Valores máximos de resistencia de puesta a tierra.....	69
<b>Tabla 67.</b> Valores de resistencia.....	70
<b>Tabla 68.</b> Tabla de Resistividad del Suelo. ....	70
<b>Tabla 69.</b> Valores del Sistema puesto a tierra aislado.....	71
<b>Tabla 70.</b> Tabla de Resistividad del Suelo. ....	72
<b>Tabla 71.</b> Valores de la medición.....	73
<b>Tabla 72.</b> Valores de la medición.....	74
<b>Tabla 73.</b> Valores de termografía Tablero Distribución Primaria A.....	75
<b>Tabla 74.</b> Valores de termografía breaker principal facilidades .....	76
<b>Tabla 75.</b> Valores de termografía tablero distribución secundario Facilidades .....	77
<b>Tabla 76.</b> Valores tablero de distribución primaria B. ....	78
<b>Tabla 77.</b> Valores termografía de distribución secundario Rotograbado.....	79
<b>Tabla 78.</b> Valores termografía tablero de distribución secundario selladoras .....	80
<b>Tabla 79.</b> Valores de termografía tablero distribución secundario Crobrizadora Simple. ....	81
<b>Tabla 80.</b> Valores de termografía alimentación centro de carga 380V .....	82
<b>Tabla 81.</b> Variable eléctrica de potencia .....	86
<b>Tabla 82.</b> Potencia Activa .....	87
<b>Tabla 83.</b> Potencia Aparente. ....	87
<b>Tabla 84.</b> Potencia Reactiva .....	87
<b>Tabla 85.</b> Potencia reactiva corrección factor de potencia.....	87
<b>Tabla 86.</b> Potencia reactiva Qc.....	88

## GLOSARIO

- **Armónico:** un componente de orden mayor que uno de la serie de Fourier de un periodo, ejemplo en un sistema de 60 Hz, el orden armónico 3 conocido como tercer armónico es 180 Hz.[1]
- **Característica de Voltaje (SAG):** caída de voltaje como un desviación del sistema.[2]
- **Cambio de voltaje:** una variación de voltaje de niveles consecutivo.[1]
- **Desequilibrio (tensión o corriente):** es la relación de la componente de secuencia negativa entre la secuencia positiva, como un porcentaje.[2]
- **Distorsión de forma de onda:** desviación de la onda sinusoidal ideal de frecuencia de potencia.[2]
- **Distorsión interarmónicos total:** la relación del contenido armónico, teniendo en cuenta los componentes interarmónicos expresadas como porcentaje.[2]
- **Flicker:** la fluctuación de luminancia causada por las fluctuaciones de voltaje.[3]
- **Fundamental:** el componente de 50 Hz o 60 Hz de la serie de Fourier de una cantidad periódica. [4]
- **Fluctuación del voltaje:** una serie de cambios de voltaje o una variación cíclica del voltaje.
- **Interrupción de la tensión:** La desaparición de la tensión de alimentación en una o más fases. [3]
- **Instantáneo:** la duración de una variación de corta duración. [5]
- **Interarmónicos (componente):** un componente de frecuencia de una cantidad periódica que no es un múltiplo entero de la frecuencia a la que el sistema de suministro está en funcionamiento. [1]
- **Interrupción momentánea:** variación de la tensión de corta duración.[1]
- **Interrupción sostenida:** un tipo de variación de tensión de larga duración, pérdida completa de la tensión, en una de más conductores de fase es para un mayor tiempo de 1 min.[1]
- **Transitorio impulsivo:** cambio de frecuencia en la condición de estado estacionario de tensión o corriente.[3]
- **Variación de corta duración:** una variación del valor eficaz de la tensión o corriente de la nominal, inferior o igual a 1 min.[4]

- **Variación de larga duración de la raíz cuadrada media:** una variación del valor eficaz de la tensión o corriente de la nominal para un mayor tiempo de 1 min.[4]

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación muestra el análisis de calidad de energía, servicio y eficiencia energética de las diferentes variables eléctricas de la empresa Sigmaplast. cuya principal actividad es la producción de empaques flexibles para alimentos.

De acuerdo a la normativa vigente en el Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) ha fijado parámetros y mediciones con el fin de garantizar de calidad de energía y servicio para los consumidores, dentro de las normativas internacionales que constan en la regulación (ARCONEL 005/18) tenemos la Comisión Electrotécnica Internacional ( IEC 60868- IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30); el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica ( IEEE Std 519-2014 ) y el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI C84.1-2016).

La medición de los parámetros eléctricos se realizó en el punto de acoplamiento común (PCC) a la salida de la cámara de transformación en el tablero de distribución primario A y en el tablero de distribución primario B, el equipo ocupado es un analizador de energía marca Fluke 435- II, el periodo de análisis comprendió del 18 de diciembre del 2019 al 02 de enero del 2020 con una duración de 7 días consecutivos para cada uno de los tableros.

Se realizó la medición del sistema puesta a tierra, así como una medición termográfica de los tableros principales y secundarios.

Para este análisis se elaboró el diagrama unifilar en AUTOCAD, flujo de potencia en DIGSILENT y planos referenciales del sistema de iluminación, sistema de fuerza y sistema de puesta a tierra.

Para finalizar este trabajo, se realizará una propuesta de acciones correctivas a implementar entre ellas es mejorar el factor de potencia mediante la adquisición de banco de capacitores, protecciones contra sobretensiones transitorias, desbalance de cargas, habilitar las unidades electrógenas y mantenimiento eléctrico.

## **ABSTRACT**

The present degree work shows the analysis of energy quality, service and energy efficiency of the different electrical variables of the Sigmaplast company. whose main activity is the production of flexible food packaging.

In accordance with the regulations in force in Ecuador, the Electricity Regulation and Control Agency (ARCONEL) has established parameters and measurements in order to verify the quality of energy and service for consumers, within the international standards that appear in regulation (ARCONEL 005/18) we have the International Electrotechnical Commission (IEC 60868- IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30); the Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE Std 519-2014) and the American National Standards Institute (ANSI C84.1-2016).

The measurement of the electrical parameters was carried out at the common coupling point (PCC) at the outlet of the transformation chamber in the primary distribution board A and in the primary distribution board B, the equipment occupied is a brand energy analyzer Fluke 435- II, the analysis period ranged from December 18, 2019 to January 2, 2020 with a duration of 7 consecutive days for each of the boards.

The grounding system measurement was performed, as well as a thermographic measurement of the main and secondary boards.

For this analysis, the single-line diagram was drawn up in AUTOCAD, power flow in DIGSILENT and reference plans of the lighting system, power system and grounding system.

To finalize this work, a proposal for corrective actions to be implemented will be made, including improving the power factor through the acquisition of a capacitor bank, protection against transient overvoltages, load unbalance, enabling the generator units and electrical maintenance.

## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es considerada una parte primordial en la población mundial , el consumo eléctrico y el nivel de electrificación de un país son utilizados como señal de desarrollo social e industrial [6]. Pero el crecimiento del consumo energético viene acompañado de acciones encaminadas a mejorar la tecnología, infraestructura y eficiencia energética, la demanda de energía eléctrica permite trasladar al consumidor el verdadero costo económico y medioambiental del consumo energético.

Muchos equipos funcionan mal o simplemente no funcionan, si la onda de voltaje no es una senoide perfecta de frecuencia, magnitud constante y estable en el tiempo, es por eso importante ciertos parámetros que definen la calidad de energía, reducir costos asociados a pérdidas de energía, operación, mantenimiento, con la finalidad de satisfacer los niveles de seguridad y fiabilidad de la información sobre la electricidad.[7]

La normativa IEC 61000-2-4 indica que la calidad de energía es una variable física, la cual debe cumplir con ciertos parámetros estandarizados, con la finalidad de satisfacer a los consumidores finales.

La normativa IEEE 1159-2019 describe una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que afectan los parámetros eléctricos, las mismas que se presentan en el sistema en una ubicación dada y bajo un determinado tiempo dentro del sistema.[1] Los estudios realizados a la calidad de energía la dividen en dos partes, como un servicio que debe ser confiable, continuo, sin interrupciones y por otro lado se analizan las perturbaciones, que están presentes en el sistema, en investigaciones realizadas para mejorar la calidad de energía, se definen programas, dispositivos tecnológicos que permiten medir y cuantificar la eficiencia del sistema, minimizar los problemas, monitorear e identificar sus causas y bajar los impactos financieros de una deficiente calidad de energía, estudios propuestos proponen un sistemas de información geográfica (GIS) que permite tener una información optima de la red primaria, transformadores, pozos de inspección y poder tener las información en tiempo real de los parámetros eléctricos.[8] Una red inteligente que permita brindar la confiabilidad del sistema respondiendo a las necesidades de la demanda.[9]

Las diferentes perturbaciones que están presentes en el sistema, no es una tarea fácil de corregirlas e identificarlas , una de ellas es la distorsión armónica, debido a las

cargas no lineales y unidades de generación distribuida, basadas en inversores a gran escala.[10]

Por otro lado, un bajo factor de potencia originado por las carga inductivas trae consigo graves problemas al sistema y la penalidad del agente regulador, un factor de potencia pobre normalmente conduce a un sistema eléctrico menos eficiente y contrae pérdidas económicas, el mejorar el factor de potencia tiene una importancia crucial en la operación y la reducción de costos de consumo.[11][12]

La variedad de fenómenos electromagnéticos que afectan al sistema de alimentación, se incrementa por los equipos electrónicos, estos ocasionan perturbaciones electromagnéticas al sistema.[1][5]

Los desequilibrios de voltaje están presentes en la mayoría de las cargas, con un reparto no equilibrado de las mismas, como consecuencia hablamos de pérdidas de potencia, energía, calentamiento adicional de máquinas y propagación de desequilibrio entre nodos.[13]

En investigaciones realizadas en la industria se evidencia que uno de los problemas más recurrentes es no tener un sistema puesta a tierra o no llevar a cabo un mantenimiento adecuado del mismo, considero el sistema más importante dentro de cualquier instalación que no solo evita el daño de equipos eléctricos y electrónicos frente a cualquier perturbación sino también está acompañado como una medida de seguridad para las personas.[14]

Sé establecen procedimientos, estándares y regulaciones que permiten garantizar un suministro confiable, continuo y protegido, las perturbaciones eléctricas son inevitables, es por eso mantener una comprensión de las diferentes perturbaciones y conceptos errados sobre cómo evitar o corregir problemas.[1]

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) que funcionó hasta el año 2014, dentro de sus objetivos primordiales fue la calidad de energía , donde se estableció la regulación CONELEC -004/01 “la calidad de servicio eléctrico de distribución” donde fija el nivel de satisfacción de la prestación de los servicios eléctricos, garantizar un suministro eléctrico confiable y de acuerdo a los estándares mínimos de calidad, así como procedimientos técnicos de medición y la evaluación del servicio.[15]

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) mediante oficio ARCONEL 2018-1557 del 19 de diciembre del 2018 actualiza la regulación CONELEC -004/01 considerando todos los aspectos técnicos, mediciones,

procedimientos, recomendaciones técnicas de la anterior regulación y establece penalizaciones en caso de no cumplirlos. [13]

En base a los problemas de calidad de energía mencionados, el presente proyecto técnico se refiere a la evaluación técnica de los sistemas eléctricos y una propuesta de correctivos para la empresa Sigmaplast.

La empresa Sigmaplast está ubicada en la ciudad de Quito, parroquia Pifo, pertenece al Grupo Sigmaplast que su principal actividad es la elaboración de empaques flexibles para alimentos, su inclusión en el mercado a previsto el incremento de maquinaria nueva con la finalidad de satisfacer el mercado nacional como el de exportación.

La principal problemática es el incremento de infraestructura nueva de carga no lineal, un desbalance de las cargas y un bajo factor de potencia, para analizar esta problemática es necesario mencionar que la empresa no ha realizado un estudio de calidad de energía en los tableros de distribución primaria en baja tensión (BT), no posee una adecuada distribución de las cargas en sus tableros de distribución primaria de baja tensión (BT), no hay una medición del sistema puesta a tierra integrado o aislado y muchos de sus equipos electrónicos no disponen de un sistema de alimentación electrógeno.

La metodología a emplear es el levantamiento de información del sistema eléctrico actual, mediante mediciones de parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, potencia, factores de potencia, armónicos, transitorios, desequilibrios, sistema instalado de puesta a tierra, medición termográfica y el consumo energético. Para dichas mediciones se usará equipos de medición como un analizador de red, telurómetro, cámara termográfica, pinza amperimétrica, multímetro de precisión y medidores para el consumo energético.

Nuestro interés de acuerdo al punto de vista técnico es proponer acciones correctivas frente a problemas existentes en el sistema y dar una propuesta de correctivos que sean implementados para precautelar las instalaciones, servicios, equipos y personas que trabajan en el lugar.



# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Calidad de Energía Eléctrica**

El análisis a la calidad de energía es un elemento importante para las industrias que generan, distribuyen y comercializan el servicio eléctrico, los mayores problemas se encuentran en los consumidores finales sean estos residenciales, comerciales o grandes consumidores, al no tener un diseño previo ni disponer de una proyección de crecimiento futuro ponen en riesgo al sistema. El sistema de energía eléctrica es muy complejo y al diagnosticar fallas o problemas en tiempo instantáneo se lo vuelve aún más complicado es por eso de implementos de tecnología Smart Grid que ayudan mucho a la calidad de energía. [16][17]

La calidad de energía está compuesta con perturbaciones , estas se las puede clasificar en continuas o discretas.[18]

Las perturbaciones continuas, se encuentran presentes en cada ciclo de onda sinusoidal, en la variación de voltaje, desequilibrio, parpadeo y armónicos, mientras que las perturbaciones discretas aparecen como eventos puntuales y en diferentes sitios del sistema no se relacionan con otros, se caracteriza por la superposición en la ciclo de onda, oscilaciones e impulsos de origen transitorio.[19]

### **1.2 Tipos de carga**

Dentro de un sistema están presentes las cargas no lineales y lineales.

#### **1.2.1 Cargas lineales**

Las cargas lineales, la variable de voltaje está relacionada directamente con la corriente, en efecto el voltaje de alimentación tendrá una forma de onda igual a la corriente, cuando las cargas son lineales no se ven afectadas las formas de onda observando un comportamiento de desfase entre ellos.[20]

#### **1.2.2 Cargas no lineales**

Las cargas no lineales, la variable no está relacionada con la corriente, puede variar a lo largo del mismo ciclo, en parte del ciclo, tener pulsos rectificadas o generada de una alimentación ininterrumpida, si la fuente del voltaje se lineal y la carga no lineal, el voltaje sinusoidal se verá afectada por distorsión.

Las cargas no lineales producen distorsión armónica al sistema, entre las más significativas podemos citar el recalentamiento en los transformadores, motores, conductores y sobrecarga, afectando a sistemas electrónicos. [20]

Las cargas no lineales también influyen en el bajo factor de potencia, incrementando el costo de energía no consumida y penalizaciones por el ente regulador.

### **1.3 Perturbaciones en los sistemas eléctricos**

Cuando nos referimos a los problemas de la calidad de la energía, se dividen en tres categorías:

- Irregularidad de la forma de onda.
- Variaciones de voltaje.
- Interferencia electromagnética.

La irregularidad de onda, se presentan en condiciones donde la frecuencia baja a condiciones inferiores de 3000 Hz, se usa comúnmente para comprender y resolver problemas de armónicos.[14]

Dentro de las variaciones de voltaje pueden tener componentes de baja y alta frecuencia, las caídas y el oleaje tienden a ser eventos de duración relativamente cortos de medio ciclo por un lapso de un minuto, para eventos de mayor duración se los denomina como subtensión o sobretensión.[14]

La interferencia electromagnética (EMI) puede tener consideraciones de alta y baja frecuencia, los problemas más recurrentes de los problemas de EMI están relacionados con alta frecuencia. En baja frecuencia encontramos los campos magnéticos, en alta frecuencia están relacionados los problemas con interferencias en las telecomunicaciones.

#### **1.3.1 Transitorios**

Los transitorios están relacionados con las variaciones indeseables momentáneas que se producen en el sistema, estas pueden ser de corriente o voltaje, se clasifican en dos categorías impulsivos y oscilatorios.

### **1.3.1.1 Transitorio Impulsivo**

Un transitorio impulsivo es producto del cambio repentino de frecuencia, su polaridad es unidireccional positivo o negativo, no provoca alteraciones en de tensión o corriente.

Uno de los de transitorios impulsivos que se puede señalar es el producido por descargas atmosféricas, las altas frecuencias que se producen se disipan rápidamente por los elementos del circuito de impedancia y no se propagan en un rango más amplio de donde se originaron, esta perturbación inmediata puede producir daños en equipos electrónicos. [8]

### **1.3.1.2 Transitorio Oscilatorio**

Un transitorio oscilatorio, es producido por el cambio instantáneo de voltaje o corriente, su polaridad cambia dentro de un ciclo de frecuencia, los dispositivos electrónicos de potencia producen transitorios de voltaje oscilatorio como resultado de la conmutación RLC, los transitorios en baja frecuencia se los encuentra en sistemas de subtransmisión y distribución.[8]

## **1.3.2 Variaciones de corta duración**

Dentro de las fluctuaciones de corta duración estas son producidas por las siguientes razones:

- Interrupciones en el sistema.
- Elevada corriente de arranque por la energización de grandes cargas.
- Conexiones discontinuas en la alimentación.

Dentro de un sistema puede producirse diferentes fallas, bajo condiciones normales el sistema puede tener aumentos de voltaje (SWELL) o disminución del voltaje (SAGS) o una interrupción total del sistema.

### **1.3.2.1 SWELLS**

Se denomina SWELLS al incremento de tensión, no todas estas condiciones se asocian directamente a condiciones de falla, lo que resulta en un aumento del voltaje en las demás fases, también se produce al retirar cargas en un sistema o la desconexión de una unidad de capacitores, produce un incremento en el voltaje. [14][1]

### **1.3.2.2 SAGS**

Se denomina SAGS o DIPS a los huecos de tensión, es la disminución en el voltaje eficaz, estas relacionadas a las cargas que ingresan al sistema, la elevación de corriente provoca una disminución significativa en el voltaje, que fluye por la impedancia del sistema.

Las duraciones de los SAGS se subdividen en tres categorías instantánea, momentánea y temporal, el tiempo de duración están correlacionado con los elementos de protección.[1]

### **1.3.2.3 Interrupciones**

Las interrupciones se las clasifica de acuerdo al tiempo de duración estas pueden ser instantáneas o de larga duración, las interrupciones instantáneas o de corta duración son más inestables y traen consigo problemas más severos al, el tiempo de interrupción no supera el 1 minuto y caída de voltaje es de 0.1 p. u.

### **1.3.3 Interrupciones de larga duración.**

Las interrupciones de larga duración, su tiempo de interrupción supera el 1 minuto, requieren intervención operativa para su restauración, siendo los equipos de protección que se ven afectados por esta interrupción, se las divide en sobretensiones o subtensiones. [11] [12]

#### **1.3.3.1 Subtensión.**

La subtensión corresponde a la disminución del voltaje rms menor a 0.9 p.u.

Esta relacionando con la energización de una carga al sistema. [8]

#### **1.3.3.2 Sobretensión.**

La sobretensión corresponde al aumento del voltaje rms a 1.1 p.u., siendo las principales causas:

- Intercambiar carga en el sistema.
- Falla a tierra.
- Interrupción de carga. [14]
- 

### **1.3.5 Distorsión de la forma de onda.**

La distorsión de la forma de onda, se divide la siguiente manera: [16]

- Armónicos.
- Fluctuaciones de tensión. (Flicker)
- Ruidos. (Noise)

#### **1.3.5.1 Armónicos**

La distorsión armónica puede ser de voltaje o corriente, con una frecuencia fundamental entre 50 Hz o 60Hz, las distorsiones armónicas son causadas generalmente por las cargas no lineales. [8]

Los armónicos se los clasifica como números enteros o múltiplos enteros, al asociarse con el voltaje fundamental producen una distorsión armónica, un factor que produce esta distorsión son equipos electrónicos de potencia. [21]

Los armónicas individuales se lo puede agrupar de tal forma que se lo representa con una sola medida o distorsión armónica total conocida como THD.[22]

#### **1.3.5.2 Fluctuación de Tensión (Flicker).**

La frecuencia produce fluctuaciones de voltaje cíclica en rango de 50 Hz o 60 Hz, este fenómeno se denomina parpadeo o flicker, su frecuencia y magnitud se pueden observar con los cambios de iluminación en algunos casos esta asociación con la irritación en los ojos.[23][17][24]

#### **1.3.5.3 Ruido**

El ruido es una señal con frecuencia inferior a 200kHz, asociado con el voltaje o la corriente produce un cambio de la onda, este fenómeno eléctrico se lo conoce como armónica o transitorio.

#### **1.3.4 Desequilibrio de tensión.**

Los desequilibrios de tensión en un sistema trifásico son inversamente proporcionales a la secuencia negativa de la secuencia positiva expresado dicho valor en porcentaje. [15][25]

En cargas monofásicas desequilibradas el porcentaje deberá ser menor al 2%, las desviaciones se encuentran capacitores, reguladores o dispositivos de protección abiertos aguas arriba.

## 1.4 Puesta a Tierra

La conexión a tierra cumple un requisito importante en el sistema eléctrico, para lograr la calidad de energía adecuada, por lo que podemos citar dentro de sus principales funciones son:

- Como medida de seguridad para las personas y equipos.
- Minimiza el riesgo para descargas atmosféricas.
- Proporcionar un punto común.

El método de Wenner determina la resistividad del suelo, la normativa IEEE Std 80 y IEEE Std 81 expresa los requisitos básicos que se deben tomar en cuenta, este método consiste en utilizar cuatro electrodos, enterrados en la superficie, estableciendo una distancia entre ellos, el equipo utilizando es un telurómetro, el mismo que inserta un voltaje y corriente a los puntos de medición, obteniendo la resistencia en ohmios.[26]

### 1.4.1 Método de Wenner

El método de Wenner es capaz de detectar la resistividad correcta del suelo las mediciones de resistividad del suelo se realizan inyectando corriente en la tierra por medio de dos clavijas exteriores y midiendo el voltaje resultante en las dos sondas de potenciales colocadas en línea recta, la profundidad y la distancia son parámetro que se deberán tomar como medio de presión, obteniendo así la resistencia R, que aparece indicada en el equipo telurómetro, como lo muestra la formula (1).

(1)

$$\rho a = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Donde:

$\rho a$  = Resistividad del suelo. ( $\Omega$  m)

R = Resistencia medida ( $\Omega$ ).

a = Distancia entre electrodos adyacentes en metros.

b = Profundidad de los electrodos en metros.

(2)

$$\rho a = 4\pi aR$$

Las mediciones darán a conocer la resistividad del suelo, una apreciación de las condiciones actuales de la superficie, las mediciones podrían verse afectado por las condiciones climáticas del lugar se recomienda realizalo en una temporada seca. [27]

### **1.5 Factor de Potencia**

El factor de potencia, se define como la potencia consumida inversamente proporcional a la potencia real , se denomina factor de potencia ideal cuando toda la cantidad de energía se ha aprovechado.[11] Las cargas reactivas se las denomina como lineales, dentro de estas e encuentran motores de corriente alterna y componentes reactivos dentro de las cargas, el factor de potencia no posee el mismo ángulo entre el voltaje y la corriente, por lo que un bajo factor de potencia necesita mayor consumo de energía para entregar la misma actividad.[28][29]

### **1.6 Demanda**

La demanda de energía se caracteriza por la elasticidad, utilizando la economía de mercado para ejecutarla a corto plazo con el fin de ajustar rápidamente la solución a las contradicciones entre la fuente de alimentación y demanda. Su propósito es mejorar la utilización de energía y la eficiencia de operación del sistema, que responda a emergencias de la red eléctrica, equilibrar la fluctuación de generación de energía y ayuda al sistema de red a mejorar la conservación de energía del sistema. [30]

#### **1.6.1 Carga Máxima.**

Dentro de un sistema se denomina carga máxima a la mayor demanda que puede llegar el sistema, si el sistema presenta una caída de tensión, se denominará como perdida de energía en este tema también involucra el aspecto económico.

#### **1.6.2 Horas de carga equivalente EH.**

Las horas equivalentes, representa el tiempo de la energía total consumida sobre la carga máxima, por lo tanto, es la cantidad de energía que un consumidor puede ocupar dentro de la carga máxima utilizada en un tiempo determinado.

(3)

$$EH = \frac{\text{Energía total consumida en el período (kWh)}}{\text{Carga Máxima (kW)}}$$

### 1.6.3 Factor de Demanda

Representa la carga máxima utilizada sobre la carga instalada en el sistema, factor de demanda es medida en porcentaje y siempre es menor que 1.[31]

(4)

$$FD = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{DM}{CI} \leq 1$$

### 1.6.4 Factor de Utilización

El factor de utilización indica la capacidad del sistema, representa la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal.

### 1.6.5 Horas equivalentes de pérdidas

Las horas equivalentes de pérdida, representa las pérdidas de las horas de la demanda pico frente a la sumatoria de horas de la demanda en las cargas reales en un tiempo determinado.[31]

(5)

$$LEH = \frac{\sum \text{Demanda horaria}^2 \times h}{\text{Demanda Pico}^2}$$

### 1.6.6 Factor de Pérdidas

Se lo representa como el porcentaje de la sumatoria de la demanda promedio sobre la demanda pico, determina las pérdidas de las cargas reales sobre un determinado periodo de tiempo especificado.[31]

(6)

$$f_{per}(\%) = \frac{\sum (\text{Demanda promedio})^2}{(\text{Demanda Pico})^2} \times 100$$

### 1.6.7 Porcentaje de Pérdidas y Pérdidas de Potencia y Energía

Representa el porcentaje de pérdidas de energía sobre la energía suministrada a un sistema, las pérdidas técnicas son del 15%.



(7)

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{\text{Pérdidas de energía}}{\text{Energía suministrada a un sistema}} \times 100$$

## **1.7 Normativas**

### **1.7.1 IEC 61000-4-7:2002+AMD1:2008 CSV**

Esta norma indica las técnicas de prueba y medición, con una guía sobre los instrumentos y mediciones de armónicos e interarmónicos para sistemas de suministro de energía y equipos conectados a los mismos.

Las consideraciones que realiza esta norma se aplican para dispositivos de medición con componentes de un rango de frecuencia de 9kHz, dentro de este rango espectral se distingue armónicos e interarmónicos y otros componentes espectrales que no superen el rango de frecuencia declarado.[32]

La amplitud de voltaje del sistema puede fluctuar y los componentes armónicos también, los dispositivos podrán utilizar diferentes técnicas para la medición como la transformada rápida de Fourier, la transformada discreta de Fourier y técnicas de agrupación de componentes espectrales, esta normativa hace referencia a la arquitectura del dispositivo y no incluye principios de análisis.[32]

Se debe considerar que los dispositivos deberán cumplir niveles de precisión en las variables eléctricas de corriente, tensión y potencia. La incertidumbre en los dispositivos de medición no deberá exceder en el 10% del valor de corriente medido y la tensión debe ser de  $\pm 15\%$  del valor aplicado.[33]

### **1.7.2 IEC 61000-4-30**

Esta normativa indica las técnicas de ensayo y medida para calidad de suministro.

La norma IEC 61000-4 define los métodos para medir e interpretar los resultados de las variables eléctricos en sistemas con una frecuencia fundamental de 50 Hz o 60 Hz.[33]

Esta norma define tres clases de métodos de medición y los requisitos adecuados para cada una de los equipos.

- Clase A se utiliza cuando se requiere mediciones precisas, cuando los resultados que se quieren obtener deben ser confiables, comparables y repetibles.
- Clase S se utiliza para mediciones estadísticas o evaluaciones menos estrictas, cuando los resultados obtenidos no requieren ser comparables.
- Clase Bse utiliza para evitar que muchas versiones existentes de dispositivos de medición se vuelvan redundantes, se la ha considerado obsoleta.

Los intervalos de compensación son 10 ciclos para redes de 50 Hz, 12 ciclos para redes de 60 Hz, 150 ciclos para redes de 50 Hz., 180 ciclos para redes de 60 Hz., intervalos de 10 minutos a intervalos de 2 horas.[33]

La incertidumbre para las clases A y S no debe exceder 20 ms para un sistema de frecuencia de 50 Hz o 16.7 ms para sistemas de 60 Hz.

La norma contempla las siguientes variables eléctricas, frecuencia, magnitud de tensión, flicker, interrupciones, desequilibrio, armónica de tensión, interarmónicos, señalización de red.

**Tabla 1.** Requisitos de las variables eléctricas dependiendo de la clase normativa IEC 61000-4-3.

Sección y Parámetro	Clase	Incertidumbre	Rango de Medición	Rango de Cantidad de Influencia
Frecuencia	A	$\pm 10$ Hz	42.5~57.5Hz ,51~69Hz	IEC 62586-2
	S	$\pm 50$ Hz	42.5~57.5Hz ,51~69Hz	IEC 62586-2
Tensión	A	$\pm 0.1$ % V	10% ~150% V	IEC 62586-2
	S	$\pm 0.5$ % V	20% ~120 % V	IEC 62586-2
Flicker	A	IEC 61000-15	0.2 ~10.0 Pst	IEC 62586-2
	S	IEC 61000-15	0.4~4.0 Pst	IEC 62586-2
Caídas de suministro / Oleaje	A	Amplitud $\pm 0.2$ % V Duración $\pm 1$ ciclo	N/A	N/A
	S	Amplitud $\pm 1$ % V din Duración $\pm 1$ ciclo $\pm 2$ ciclos	N/A	N/A
Interrupciones	A	Duración $\pm 1$ ciclo	N/A	N/A
	S	Duración $\pm 1$ ciclo o $\pm 2$ ciclos	N/A	N/A
Desequilibrio	A	$\pm 0.15$ %	0.5~5% U2 0.5~5% u0	IEC 62586-2

	S	$\pm 0.3 \%$	1~5% U2 1~5%u0 cuando se implementa	IEC 62586-2
Voltaje de Armónicos	A	IEC 61000-4-7 Clase I	10% ~ 200% para Clase3 para IEC 61000-2-4	IEC 62586-2
	S	200% para IEC 61000-4-7 Clase II	10%~100% para Clase3 para IEC 61000-2-4	IEC 62586-2
Voltaje de Interarmónicos	A	IEC 61000-4-7 Clase I	10%~ 100% para Clase3 para IEC 61000-2-4	IEC 62586-2
	S	SBM	SBM	IEC 62586-2
Corriente	A	$\pm 1\%$	10% FSP a 150% FS	IEC62586-2
	S	No requerido	No requiere	N/A

Fuente:[33]

### 1.7.3 IEC 61000-4-15:2010 RLV

Esta normativa define técnicas de prueba y medición flicker o parpadeo.

Esta normativa proporciona técnicas de medición, diseño, construcción de equipos y pruebas que se han desarrollado para determinar el nivel de percepción de las fluctuaciones de voltaje y evaluando la gravedad del Flicker.[34]

La evaluación de parpadeo a Corto Plazo mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, se lo designa con las siglas  $P_{st}$ , y los intervalos de medición se realizan cada 10 minutos.[35].

La medición a corto plazo sirve para evaluar las perturbaciones causadas por fuentes individuales con un ciclo de trabajo corto, cuando se tiene un efecto combinado por varias cargas perturbadoras que operan al azar con ciclos de trabajo largos y variables es necesario proporcionar un criterio para la evaluación a largo plazo de la gravedad del Flicker.

El límite  $P_{st} = 1$  que corresponde a la irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin traer molestias el ojo humano.[15]

### 1.7.4 IEEE Std 519-2014.

Esta normativa indica las práctica y requisitos recomendadas por la IEEE para el control armónico en sistemas de energía eléctrica, producidos por cargas no lineales que afectan a la característica sinusoidal de la onda.[36]

La utilización de instrumentos digitales permite realizar la toma de muestras, empleando técnicas de transformación, para un sistema de potencia de 60Hz se considera 12 ciclos y un tiempo aproximado de 200 ms, capturando muestras cada 5 Hz, la medición debe realizarse en un periodo de una semana, donde se recolecta datos de una manera diaria, es necesario realizarlo en el punto de acoplamiento común (PAC) entre la empresa generadora de electricidad y el consumidor final.[26]

Emplea una responsabilidad directa, donde se recomienda los límites de armónicos tanto de voltaje Tabla 1, así como los de la corriente Tabla 2, con la finalidad de realizar los correctivos necesarios en caso de no estar acordes a los límites permitidos en esta norma.

**Tabla 2.** Límites de desviación del voltaje Normativa IEEE Sta. 519-2014

Voltaje Punto Acoplamiento Común	Voltaje Individual Armónico	Voltaje Total Distorsión Armónica = THD
$V \leq 1.0\text{kV}$	5 %	8%
$1\text{kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3%	5%
$69\text{kV} < V \leq 161\text{kV}$	1.5%	2.5%
$161\text{kV} < V$	1.0%	1.5% -2%

**Fuente:**[26]

**Tabla 3.** Límites de distorsión de corriente con un rango de 120V a 69kV IEEE Sta. 519-2014

Distorsión máxima de corriente						
Orden del armónico individual						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	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	2.5	1.4	20.0

Fuente:[26]

### 1.7.5 IEC 61000-2-4:2002

Esta normativa hace referencia a los niveles de perturbaciones conducidas de baja frecuencia.

Las perturbaciones en el rango de frecuencia de 0 Hz a 9 kHz., PCC del suministro de energía industrial con valores nominales de hasta 35 kV y una frecuencia nominal de 50 Hz o 60 Hz.

Se divide en tres clases el entorno electromagnético.[37]

La Clase 1 se aplica para a los suministros protegidos y se relaciona con la operación de equipos que son muy sensibles a las perturbaciones en la fuente de alimentación.

La Clase 2 se aplica generalmente a puntos de conexión con la red pública, puntos de conexión interna con redes industriales y otras redes de suministro de energía no pública, es conocido como la red industrial.

Clase 3 se aplica a puntos de conexión internos en entornos industriales y donde las cargas fluctúan rápidamente.

Los niveles de tolerancia para cada variable de perturbación se definen individualmente. Sin embargo, el entorno electromagnético generalmente contiene diferentes variables de perturbación al mismo tiempo y en función de algunas instalaciones puede verse afectada por combinaciones especiales de variables de perturbación. [38]

**Tabla 4.** Niveles de tolerancia a las perturbaciones Normativa IEC 61000-2-4

Perturbaciones	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Rango de Fluctuaciones de Tensión	± 8	± 10 %	± 10 % a 15%
Asimetría del Voltaje	2%	2%	3%
Desviaciones de Frecuencia	± 1 Hz	± 1 Hz	± 1 Hz

Fuente:[37]

**Tabla 5.** Niveles de tolerancia armónicos impares. Normativa IEC 61000-2-4

Armónicos Impares	Clase 1	Clase 2	Clase 3
5	3%	6%	8%
7	3%	5%	7%
11	3%	3.5%	5%
13	3%	3%	4.5%

17	2%	2%	4%
$17 < h \leq 49$	$2.27 \times (17/h) - 0.27$	$2.27 \times (17/h) - 0.27$	$4.5 \times (17/h) - 0.5$

Fuente:[37]

**Tabla 6.** Niveles de tolerancia armónicos impares múltiplos de 3 Normativa IEC 61000-2-4

Armónicos Impares Múltiplo de 3	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3	3%	5%	6%
9	1.5%	1.5%	2.5%
15	0.3%	0.4%	2%
21	0.2%	0.3%	1.75%
$21 < h \leq 45$	0.2%	0.25	1%

Fuente:[37]

**Tabla 7.** Niveles de tolerancia armónicos pares Normativa IEC 61000-2-4

Armónicos Pares	Clase 1	Clase 2	Clase 3
2	3%	5%	6%
4	1.5%	1.5%	2.5%
6	0.3%	0.4%	2%
8	0.2%	0.3%	1.75%
10	0.2%	0.25	1%

Fuente:[37]

**Tabla 8.** Niveles de tolerancia distorsión total armónica. Normativa IEC 61000-2-4

Armónicos	Clase 1	Clase 2	Clase 3
<b>THD</b>	5%	8%	10%

Fuente:[37]

### 1.7.6 IEC 61000-4-11:2004-2017

Esta normativa indica las técnicas de prueba y medición para las caídas de voltaje, interrupciones cortas y variaciones de voltaje.

Esta parte de la norma especifica las pruebas y evaluaciones de resistencia realizadas a dispositivos eléctricos y electrónicos, frente a caídas a voltaje, interrupciones cortas, interrupciones a largo plazo y fluctuaciones de voltaje, destinados a la conexión de redes de suministro en bajo voltaje con una frecuencia de 50Hz o 60 Hz y su corriente máxima de entrada de 16Amp., no se aplica a dispositivos eléctricos o electrónicos que estén conectados a CC o redes de suministro de AC.[39]

Las pruebas que constan en esta normativa simulan los cambios repentinos en el voltaje, definen el origen de las caídas de tensión y la duración de los transitorios, evalúa los equipos eléctricos y electrónicos cuando se someten a caídas de voltaje, interrupciones breves y variaciones de voltaje.

### 1.7.7 ANSI C84.1-2016

Establece clasificaciones de voltaje nominal y tolerancias de operación para sistemas de energía eléctrica de 60Hz por encima de 100V. Incluye clasificaciones de voltaje preferidas de hasta 1.200 kV de voltaje máximo del sistema.

Esta normativa clasifica los niveles aceptables de voltaje para los consumidores finales, si el equipo opera fuera de los límites de voltaje prescritos, podría sufrir daños, producir un rendimiento irregular del mismo y acorta significativamente la vida útil del equipo.[40]

Los rangos de voltaje están establecidos por el American National Standards Institute (ANSI) y Rural Utilities Servicio (RUS), para que el voltaje de utilización se encuentre en los límites prescritos, las utilidades eléctricas utilizan reguladores de voltaje en sus sistemas de distribución como una práctica estándar.

**Tabla 9.** Estándar nominal en bajo voltaje. ANSI C84.1-2016

Estándares Nominales Bajo Voltaje	
Tensiones nominales	Sistema conexión y fase
120 V	Dos hilos, Monofásico
120/240 V	Trifásico, Monofásico
240/120 V	Cuatro hilos, Delta trifásica
208Y / 120 V	Cuatro hilos, Trifásico en estrella
480Y / 277 V	Cuatro hilos, Trifásico en estrella

**Fuente:**[40]

El rango A considera los límites de voltaje de servicio.

El rango B se encuentra por encima y por debajo de los límites del rango A, en este rango el equipo puede seguir funcionando satisfactoriamente, aunque su rendimiento puede ser menos de lo que garantiza el fabricante.

**Tabla 10.** Rango de servicio recomendado de voltaje ANSI C84.1-2016

Rango	Voltaje Nominal Sistema	Mínimo		Máximo
		Utilización Voltaje (V)	Servicio de Voltaje (V)	Utilización y Servicio Voltaje (V)
A	120	108	114	126
A	120/240	108/216	114/228	126/252
A	240/120	216/108	228/114	252/126
A	208Y/120	187Y /108	197Y/114	218Y/126
A	480Y/277	432Y/249	456Y/263	504Y/291
A	480	432	456	504
B	120	104	110	127
B	120/240	104/208	110/220	127/254
B	240/120	208/104	220/110	254/127
B	208Y/120	180Y/104	191Y/110	220Y/127
B	480Y/277	416Y/240	440Y/254	508Y/293
B	480	416	440	508

Fuente: [40]

### 1.7.8 IEEE Std 1159 -2019

Esta normativa recomienda técnicas que permiten evaluar y monitorear la calidad de la energía eléctrica, se enfoca en los fenómenos electromagnéticos y se lo definen en varios grupos.

Para fenómenos de estado estacionario se los divide de la siguiente manera:

- Amplitud.
- Frecuencia.
- Espectro.
- Modulación.
- Impedancia de fuente.
- Profundidad de corte.
- Área de corte

Para los fenómenos de estado no estacionario, se divide a los atributos de la siguiente manera:

- Tasa de aumento
- Amplitud
- Duración
- Espectro
- Frecuencia
- Tasa de ocurrencia
- Potencial energético



- Impedancia de fuente

Los fenómenos electromagnéticos se los clasifica de forma diferente al existir diferentes formas para solucionar un problema de calidad de energía, hay diferentes requisitos para caracterizar el fenómeno utilizando medidas, es importante poder clasificar eventos y fenómenos electromagnéticos. para fines de análisis.[5]

**Tabla 11.** Clasificación perturbaciones aplicados en la norma IEEE 1159.-2019.

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud de Tensión Típica
1.0 Transitorios			
1.1 Impulso			
1.1.1 Nanosegundo	5,0 ns subida	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundo	1 μs subida	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Milisegundo	0,1ms subida	> 1 ms	
1.2 Oscilatorio			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu <sup>a</sup>
1.2.2 Media Frecuencia	5 – 500 kHz	20 μs	0–8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0,5 – 5 MHz	5 μs	0–4 pu
2.0 Raíz media cuadrática de corta duración (RMS)			
2.1 Variaciones Instantáneo			
2.1.1 Sag		0.5–30 ciclos	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 ciclos	1.1–1.8 pu
2.2 Variaciones Momentáneo			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos – 3s	< 0.1 pu
2.2.1 Sag		30 ciclos – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.2 Swell		30 ciclos – 3 s	1.1–1.4 pu
2.2.3 Desequilibrio de voltaje		30 ciclos – 3 s	2%–15%
2.3 Variaciones Temporales			
2.3.1 Interrupción		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.1 DAG		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.2 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
2.3.3 Desequilibrio de voltaje.		>3 s – 1 min	2%–15%
3.0 Variaciones rms de larga duración			

3.1 Interrupción sostenida.		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajas Tensiones.		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Sobretensiones.		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Sobrecarga de corriente		> 1 min	
4.0 Desequilibrio			
4.1 Voltaje		Estado estable	0.5-5%
4.2 Corriente		Estado estable	1.0-3.0%
5.0 Distorsión de forma de onda.			
5.1 DC offset		Estado estable	0–0.1%
5.2 Armónicos	0–9 kHz	Estado estable	0–20%
5.3 Inter armónicos	0–9 kHz	Estado estable	0–2%
5.4 Cortes – Muecas		Estado estable	
5.5 Ruido	Banda Ancha	Estado estable	0–1%
6.0 Voltaje de Fluctuaciones	< 25 Hz	Intermitente	0.1–7% 0.2–2 Pst b
7.0 Variaciones de frecuencia		< 10 s	± 0.10 Hz

Fuente: [5]

### 1.7.9 IEEE Std 1100 -2005

Prácticas recomendadas por la IEEE para alimentación y puesta a tierra de equipos electrónicos sensibles.

Esta normativa describe las perturbaciones y prácticas que se realizan para el sistema puesta a tierra de equipos electrónicos utilizados en aplicaciones comerciales e industriales, muestra los procedimientos de investigación y equipos recomendados de protección de energía y cableado, se presentan prácticas de diseño del sistema del sistema puesta a tierra e información sobre el sistema de telecomunicaciones.[14]

**Tabla 12.** Clasificación perturbaciones aplicados en la norma IEEE 1110-2005.

Parámetro de voltaje afectando cargas	Rango típico	Inmunidad típica de cargas electrónicas		
		Normal	Crítico	Unidades Afectadas
Sobre-Subtensión	+6% - 13%	10% 15%	± 5%	Fuentes de alimentación, condensadores, motores. Sobrecalentamiento de componentes.

Swells / Sags	+10% - 15%	+20% 30%	± 5%	Fuentes de alimentación, condensadores, motores. Sobrecalentamiento de componentes.
Transitorios, impulsivo y oscilatorio, potencia líneas	Varía 1006000 V	Varía 500 a 1500 V	Varía 200 500 V	Ruptura dieléctrica, tensión excesiva. Falla de componentes.
Distorsión de voltaje	550% THD	510%	35%	Reguladores de voltaje, señal de circuitos, filtros de condensadores, bancos de condensadores Calentamiento excesivo. Carga insuficiente.
Desequilibrio de fases	210%	5%	3% mà x	Rectificadores polifásicos, motores Calentamiento excesivo.
Factor de Potencia	0.8506	0.8	< 0.6 < 0.9	Reducción de la fuente de energía o mayor fuente de capacidad.
Corriente Tierra	010 Amp. rms+ ruido y sobretensiones	> 0.5 A	< 0.1 A	Puede disparar dispositivos de protección.

**Fuente:** [14]

### 1.7.10 IEEE 142- 2007

Prácticas recomendadas por la IEEE para sistemas puesta a tierra en un sistema industrial y comercial.

Esta práctica hace una referencia a los métodos de conexión a tierra sólida y conexión a tierra de impedancia, la conexión a tierra de impedancia se puede dividir en varias subcategorías, sistema de puesta a tierra de reactancia, puesta a tierra de resistencia y neutralizador de falla a tierra.

Cada método, se refiere a la naturaleza del circuito externo desde el sistema neutral hasta tierra, no hace referencia al tipo de suelo, la impedancia del generador o el transformador cuyo neutro está conectado a tierra, está en serie con el circuito o no proporcionar una conexión a tierra efectiva para el sistema, dependiendo de la impedancia de la fuente del mismo.

### 1.7.11 ARCONEL 005/18

El ARCONEL a través de la regulación 005/18 regula la calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, manteniendo las bases de la regulación del CONELEC 004/001.[31]

#### 1.7.11.1 Calidad de Producto.

Constan los parámetros mínimos de la forma de onda de voltaje con los que se debe entregar la energía eléctrica al consumidor como son:

**Tabla 13.** Variables e índices eléctricas ARCONEL 005/18

Variable Eléctrico	Índice de Calidad
Nivel de Voltaje	Variación de voltaje respecto al voltaje nominal
Flicker	Índice de severidad por Flicker (parpadeo) de corta duración.
Armónicos	Factor de distorsión total.
Factor de Potencia	Factor de potencia en el punto de entrega al consumidor.

Fuente:[13]

De las variables que se especifican en la Tabla 14. se definen parámetros del índice de calidad, mediciones y límites, las consideraciones que realiza esta regulación no parametriza valores instantáneos en la onda de voltaje sino al resultado de integrar las mediciones instantáneas durante el periodo de tiempo.

**Tabla 14.** Niveles aceptables de voltaje ARCONEL 005/18

Bajo Voltaje	$V < 0.6 \text{ Kv}$
Medio Voltaje	$0.6 < V \leq 40 \text{ Kv}$
Alto Voltaje (Grupo I)	$40 < V \leq 138 \text{ kV}$
Alto Voltaje (Grupo II)	$V > 138 \text{ kV}$

Fuente:[13]

La calidad de voltaje se determinará como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidas cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

**Tabla 15.** Rango de nivel de voltaje ARCONEL 005/18

Nivel de Voltaje	Rango Admisible
Bajo Voltaje	$\pm 8 \%$
Medio Voltaje	$\pm 6 \%$
Alto Voltaje	$\pm 5 \%$

Fuente:[13]

### 1.7.11.1.1 Armónicos

Representa los niveles de voltaje armónico individual y THD, expresados en porcentaje del voltaje nominal del punto de medición r, no deberán superar los valores límites señalados en la siguiente Tabla 16.

**Tabla 16.** Límite máximo de armónicos ARCONEL 005/18

Nivel de Voltaje	Armónicos Individuales (% Voltaje Nominal)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo I)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo II)	1.0	1.5

Fuente:[13]

**Tabla 17.** Valores individuales de Armónicas.

Orden (n) de la Armónica y TD	% Tolerancia	% Tolerancia
Impares no múltiplos de 3	V > 40 kV	V ≤40 Kv
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1 + 0.6 * s25 / n$	$0.2 + 1.3 * 25 / n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	3	0.5
THD	3	8

Fuente:[13]

### 1.7.11.1.2 Flicker

El índice de severidad de un Flicker  $P_{st}$  no deberá superar la unidad, en estudios realizados de superar la unidad la irritabilidad asociado a esta desviación luminosa que puede causar molestias al ojo humano.

### 1.7.11.1.3 Factor de Potencia

El factor de potencia que durante el periodo de evaluación tenga una desviación inferior al 5% del valor mínimo de 0.92, representa una desviación que es penalizada por el ente regulador de energía.

## 1.7.11.2 Calidad del Servicio Técnico

Dentro de la calidad del servicio técnico, es importante evaluar el tiempo de interrupción y la frecuencia de pérdida de servicio, los índices se calculan tomando como base los kVA nominales desconectados y kVA nominales instalados.

El índice de calidad se calcula a las interrupciones que se han superado un tiempo mayor a 3 minutos, se divide en dos etapas de evaluación de calidad del servicio técnico.

### 1.7.11.2.1 Etapa 1

Se valida el cumplimiento de los indicadores calidad asociados a la frecuencia de interrupciones y duración de las mismas, ocurridas por alimentador primario y a nivel de la red de distribución:

- Frecuencia media de interrupciones por kVA nominal instalado (FMIK) ecuación 1.

(8)

$$FMIK = \frac{\sum kVA_i}{kVA_T}$$

- Tiempo total de interrupciones por kVA nominal instalado (TTIK) ecuación 2.

### 1.7.11.2.2 Etapa 2

Se evalúa en esta etapa la frecuencia de interrupciones y duración de las mismas en un intervalo de horas en las cuales el suministro no fue entregado.

- Frecuencia de interrupciones.

FAIC = indica el número de interrupciones que afectaron al consumidor.

Tiempo de duración de las interrupciones por consumidor.

DAIC= sumatoria del tiempo de duración ponderado de las interrupciones que afectaron al consumidor.

Estarán excluidas en este cálculo las interrupciones menores o iguales a 3 minutos, sean estas originados en las instalaciones de los consumidores finales o suspensiones generales del servicio debido a interrupciones por eventos externos al ente generador.

### 1.7.12 ANSI/NETA ATS 2017

La normativa ANSI/NETA ATS-2017 es una guía para el examen de equipos eléctricos y mecánicos con termografía infrarroja, enumera las responsabilidades del usuario final al examinar la electricidad y sistemas mecánicos, describe el contenido específico requerido para documentar inspecciones infrarrojas tanto cualitativos como cuantitativos de equipos eléctricos y mecánicos.[41]

**Tabla 18.** Tabla de especificaciones ANSI NETA AST - 2017

Nivel	Diferencia Temperatura	Acción Recomendada	Medición
1	1°C – 10 ° C	Posible deficiencia, Investigación	-----
2	11°C – 20 ° C	Probable, reparación según lo permita el tiempo.	-----
3	21°C – 40°C	Monitorear hasta ejecutar las medidas correctivas.	-----
4	>40 ° C	Reparación Inmediata	59.7 ° C

Fuente:[41]

## 1.8 Eficiencia Energética

La eficiencia energética, viene acompañado del sistema de gestión de la energía como lo muestra la normativa ISO 50001.

Dentro de los beneficios son:

- Reducir los gastos energéticos.
- Aumentar la rentabilidad.
- Aporte medio ambiental.
- Mejorar la imagen de la compañía.
- Aumento de Productividad

### Los requisitos del sistema de gestión de la energía

- Un análisis del servicio energético donde se puedan identificar las oportunidades de mejora.
- Apoyar el sistema de gestión energética
- Política energética.
- Planificación energética.
- Implementación y operación.
- Verificación.



## **CAPITULO II SIGMAPLAST**

La empresa Sigmaplast elabora envolturas flexibles para alimentos, en Ecuador opera 45 años, es una empresa que dentro del mercado se ha convertido como una de las empresas más grandes productoras de plástico.

Cuenta con una extensa planta de producción, dentro de la organización cuenta las siguientes áreas:

- Preimpresión.
- Impresión.
- Laminación.
- Corte y rebobinado.
- Sellado.
- Mantenimiento.
- Calidad.
- Áreas complementarias como despacho y bodega.

La empresa Sigmaplast fue fundada en el año 1975, inicia su producción con envolturas de polietileno para el empaque de productos alimenticios primarios. [42]

En el año 1982 inicia la fabricación de laminados y da un paso pionero para los productos que hoy los conocemos como empaques flexibles, su impresión se realiza el polietileno, polipropileno, papel y aluminio.

En el año 1995 inicia su cadena de exportación, buscando encaminarse dentro del mercado de exportación, actualmente mantiene dos sucursales en República Dominicana y Brasil.

### **2.1. Ubicación de la Empresa Sigmaplast**

La empresa Sigmaplast se encuentra ubicada en la Parroquia de Pifo en la Pasaje El Recuerdo S/N y Calle Ignacio Fernández Salvador, Barrio Chaupimolino.

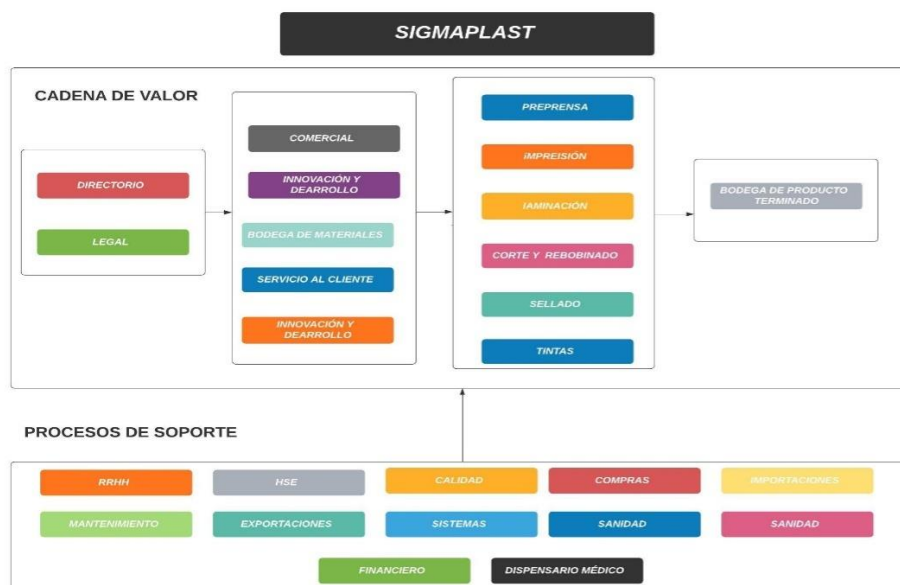


**Figura 1.** Ubicación Planta Sigmaplast referencia Google Map.

Fuente:[43]

## 2.2 Proceso Productivo

La empresa Sigmaplast mantiene el siguiente mapa de proceso.



**Figura 2.** Mapa de procesos sistema de gestión de calidad.

Fuente: Autor

## 2.3 Cámara de Transformación

La empresa Sigmaplast tiene instalada una cámara de transformación de 2000 kVA, con suministro 1651119-6 y código único eléctrico 1401651119.

Transformador trifásico de clase ONAN, marca Ecuatran de aceite mineral, voltaje primario de 22860 V, corriente 50.51 Amp., salida del secundario 220/ 127V y una corriente 5213.5 Amp.

**Tabla 19.** Datos de la Cámara de Transformación de la empresa Sigmoidplast.

Cámara de Transformación	
Primario	36 E
Marca	ECUATRAN
Número de Serie	974411
Numero de Empresa	167674-C
Año	2011
Fases	3
Grupo	Dyn5
Potencia (kVA)	2000
Medio voltaje (V)	22860
Bajo voltaje (V)	220/127
Impedancia	5 %

**Fuente: Autor**



**Figura 3.** Cámara de transformación Empresa Sigmoidplast 2000 kVA.

**Fuente: Autor**

La cámara de transformación contiene dos protecciones cada una de 2500 Amp. que divide al sistema en dos tableros de distribución primario (TDP).

Las protecciones son de la marca EATON serie G capacidad máxima de 2500 Amp. contiene un dispositivo electrónico Digitrip que permite activar la protección cuando esta supere  $2I_n$ , es una protección en caso de existir una sobrecarga.



**Figura 4.** Protección Cámara de Transformación Sigmaplast 2000 kVA.

**Fuente:** Autor

## 2.4 Unidades Electrónicas

La empresa Sigmaplast posee dos unidades electrónicas deshabilitadas por falta de manteniendo.

## 2.5 Unidad Electrónica Caterpillar

La unidad electrónica se encuentra deshabilitada, posee la siguiente información técnica, potencia aparente 681 kVA, corriente nominal de 819 Amp. esta unidad requiere mantenimiento para ser habilitada, no contiene un tablero de transferencia automático (TTA) esto incumple con las normas NFPA 70E Plan de Mantenimiento que permitan realizar alguna maniobra con este equipo.

**Tabla 20.** Unidad electróno Caterpillar

Caterpillar		
Modelo	SR4B	
Serial	AGE01460	
Número	136-6625	
Potencia	681	kVA
Potencia	564	kW
3 fases		
Voltaje	480	V
Corriente	819	Amp.

**Fuente:** Autor

## 2.6 Unidad Electrónica FG WILSON

La unidad electrónica FG WILSON se encuentra deshabilitada, posee una potencia aparente 75 kVA con una corriente nominal de 197Amp. esta unidad requiere

mantenimiento para ser habilitada, contiene un tablero de transferencia automático (TTA) que permite realizar cualquier tipo de maniobra y mantenimiento al equipo.

**Tabla 21.** Tabla Electrógena FG Wilson

FG WILSON		
Modelo	P65E5	
Serial	FGWPEPP7JBA502200	
Número	5039868/0080	
Año	2010	
Potencia	75	kVA
Potencia	60	kW
Voltaje	220/ 127	V
Amp	197	Amp.
Frecuencia	60	Hz

**Fuente: Autor**

En caso de ocurrir cualquier tipo de interrupción de largo plazo sea esta interna o externa, la empresa pararía sus actividades, considerando pérdidas económicas.

## **2.7 Medición Malla Puesta a Tierra**

En el informe emitido por la Empresa Eléctrica Quito S.A. el 14 de mayo del 2018, la medición de la malla del sistema puesta a tierra en la cámara de transformación posee un valor de 0.92 ohmios, encontrándose dentro de los valores recomendados por el Std. IEEE 142-1991 para las instalaciones subterráneas de 1 a 5 Ohmios.

## **2.8 Análisis de la Calidad de Energía Cámara de Transformación**

La Empresa Eléctrica Quito S.A. emite el 14 de mayo del 2018 el análisis de la calidad de energía realizado a la cámara de transformación de la empresa Sigmaplast correspondiente al periodo comprendido entre el miércoles 21 de febrero del 2018 hasta el lunes 27 de febrero del 2018, donde se establecen las siguientes observaciones, el nivel de voltaje, factor de potencia, distorsión armónica THD fases 1- 2 y Flicker están dentro de los límites establecidos en la regulación 004/01 del CONELEC.

Las corrientes se encuentran balanceadas, están dentro de la regulación 003/008 del CONELEC, la distorsión armónica THD en la fase 3, no están dentro de los límites establecidos en la regulación 004/01.

**Tabla 22.** Reporte de Análisis de Energía EEQ.

Descripción Parámetros Analizados					
Descripción	Mínimo	Promedio	Máximo	Cumple Regulación CONELEC	
Demanda (kVA)	342.85	796.89	1380.38		
Demanda (kW)	311.49	746.9	1314.88		
Voltaje (V) Fase 1	126.78	130.22	133.28	SI	± 8%
Voltaje (V) Fase 2	126.32	129.51	132.26	SI	± 8%
Voltaje (V) Fase 3	124.32	127.9	131.35	SI	± 8%
Factor de Potencia	0.88	0.93	0.96	SI	mín. 0.92
Distorsión Armónica Voltaje (THD) Fase 1 (%)	1.79	3.14	3.93	SI	± 8%
Distorsión Armónica Voltaje (THD) Fase 2 (%)	1.56	3.01	3.73	SI	± 8%
Distorsión Armónica Voltaje (THD) Fase 3 (%)	1.7	2097	3.85	NO	± 8%
Flicker Corta Duración Fase 1	0.14	0.418	4.92	SI	PST < 1
Flicker Corta Duración Fase 2	0.15	0.411	4.92	SI	PST < 1
Flicker Corta Duración Fase 3	0.15	0.424	5	SI	PST < 1
Corriente (A) Fase 1	906.63	2117.753	3695.33	SI	CM2 < 3%
Corriente (A) Fase 2	949.08	2142.563	3729.29	SI	CM2:
Corriente (A) Fase 3	806.42	1965.552	3462.32	SI	2.67%

Fuente: [44]

## 2.9 Unifilar Actual de la Planta

La distribución eléctrica está de acuerdo a la Tabla 21, donde se encuentra la cámara de transformación y su derivación a los dos tableros de distribución primaria.

**Tabla 23.** Distribución Eléctrica planta Sigmaplast.

Elemento	Denominación	Cantidad
Transformador EEQ	T1	1
Tablero de Distribución Principal	TDP-BT- A	1
Tablero de Distribución Principal	TDP-BT- B	1

Fuente: Autor

En la Tabla 24, Tablero de Distribución Primario (TDP-BT-A) con 11 protecciones que se derivan a máquinas y tableros de distribución secundaria.

**Tabla 24.** Tablero de Distribución Primario TDP- BT-A

#	Máquina	Protección	Cantidad
1	Chiller Soma1	80 Amp.	1

2	Chiller Soma 2	80 Amp.	1
3	Chiller Soma 3	80 Amp.	1
4	Transformador Impresora Miraflex	630 Amp.	2
5	Transformador Impresora Soma 1	800 Amp.	1
6	Transformador Impresora Soma 2	800 Amp.	1
7	Transformador Impresora Soma 3	800 Amp.	1
8	Transformador Impresora Omet	630 Amp.	1
9	Impresora Sirio	630 Amp.	1
10	Laminadora Jet	630 Amp.	1
11	Compresores	1000 Amp.	1

**Fuente: Autor**

En la Tabla 25, Tablero de Distribución Primaria (TDP-BT-B) con 13 protecciones que alimentan a máquinas y derivación a tableros de distribución secundaria.

**Tabla 25.** Tablero de Distribución Primaria TDP- BT-B

#	Equipo	Protección	Cantidad
1	Sistemas	600 Amp.	1
2	Corte Bobinado	600 Amp.	1
3	Laminadora Super 2	400 Amp.	1
4	Laminadora Combi – Laminadora Super 3	1600 Amp.	1
5	Recuperadoras	1000 Amp.	1
6	Rotograbado	600 Amp.	1
7	Laminadora SEN	400 Amp.	1
8	Taller de Mantenimiento	256 Amp.	1
9	Impresora FW1508	800 Amp.	1
10	Impresora Omet	400 Amp.	1
11	Parafinadora	400 Amp.	1
12	Laminadora ECO	200 Amp.	1
13	Impresora Roto	1000 Amp.	1

**Fuente: Autor**

La Tabla 26, se describe el Tablero de Distribución Secundario (TDS-BT) con 13 protecciones que alimentan a máquinas y derivación a tableros de distribución secundaria.

**Tabla 26.** Tablero de Distribución Secundarios

#	Equipo		Cantidad Protecciones
1	Tablero Sistemas	TDS-BT- SIS	6
2	Tablero Rotograbado	TDS-BT- ROT	6
3	Tablero Compresores	TDS-BT- COM	10
4	Tablero de Mantenimiento	TDS-BT- MAT	6
5	Tablero de Corte Rebobinado	TDS-BT-CORT	2

**Fuente: Autor**



### CAPITULO III INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

#### 3.1 Analizador de Energía Fluke 435 II

Para la medición de las diferentes variables eléctricas se realizará a través de un analizador de energía marca Fluke serie 435 -II este equipo cumple con la normativa IEC 61000-4-30 Clase A, es un equipo de alta precisión.

En la Tabla 27, se detalla las especificaciones técnicas del equipo analizador de energía marca Fluke 435-II, que será colocado en los dos tableros de distribución primaria ubicados en la planta Sigmplast.

**Tabla 27.** Especificación técnica del equipo analizador de energía Fluke 435 II.

Variable	Magnitud	Rango de Operación	Precisión	
Tensión	V rms (CA+CC)	1- 1000V fase-neutro	± 0.1 % del voltaje nominal	
	Voltaje Pico	1- 1400 V pico	5% del voltaje nominal	
	Factor de cresta (CF) de voltaje	1.0 > 2.8	± 5%	
	V Fundamental	1- 1000 V fase - neutro	± 0.1 % del voltaje nominal	
Corriente	Corriente de pico (1mV/A)	5500 A pico	± 5%	
	Factor de cresta (CF) de corriente	1 10	± 5%	
	A fundamental	5- 2000 A	± 0.5%	
Frecuencia	Hz 60 Hz nominal	51.00 - 69.00 Hz	± 0.01 Hz	
Potencia	más 2000 MW	0.1 W 1 MW	± 1 % ±1 0	
Armónicos	% Voltaje	F	0.0% -100%	± 0.1 % ± máx. 0.1 %
		Absoluta	0.0 -1000 V	± 5% <sup>1</sup>
		THD	0.0% -100%	± 2.5%
	% A	F	0.0% -100%	± 0.1 % ± máx. 0.1 %
		Absoluta	0.0 - 600A	± 5% ± 5 cuentas
		THD	0.0% -100%	± 2.5%
	% W	para	0.0% -100%	± max.2%
THD		0.0 -1000 W	± 5%	
Ángulo de fase		360° - + 0°	± máx. 1°	
Flicker	Plt, Pst (1 min) P inst	0.00-20.00	± 5%	
Desbalance	% Voltaje	0.0% -20%	± 0.1 %	
	% A	0.0% -20%	± 1%	

Fuente:[44]

### 3.1.1 Método de medida analizador de calidad Fluke 435 II

El analizador de energía cumple con las siguientes normativas, la medición de las variables eléctricas que se detallan en la Tabla 28.

**Tabla 28.** Normativas que maneja el Analizador de Energía Luke 435 II.

VARIABLES ELÉCTRICAS	NORMATIVA
Voltaje – Corriente rms	Normativa IEC 61000-4-30
Frecuencia 10 segundos	Normativa IEC 61000-4-30
Armónicos	Normativa IEC 61000-4-7.
Factor de potencia	Relación entre la potencia activa y la potencia aparente.
Desequilibrio	Normativa IEC 61000-4-30
Parpadeo	Normativa IEC 61000-4-15

Fuente:[44]

### 3.2 Telurómetro Equipo 1625-2

Equipo que permite realizar la medición del sistema puesta a tierra Fluke 1625-2, permite realizar mediciones de resistencias entre sus características tenemos:

- Caída de potencial.
- Resistividad del terreno.

Las especificaciones del equipo se encuentran en la Tabla 60.

**Tabla 29.** Especificaciones del Equipo 1625-2

<b>Medición de la resistencia (R~)</b>	
Método de medición	Medición de corriente y voltaje
Medición de voltaje	20 V CA, impulso cuadrado
Corriente de cortocircuito	> 250 mA CA
Frecuencia de medición	94, 105, 111, 128 Hz seleccionada manual o automáticamente (AFC)
Rango de medición	0.020 $\Omega$ a 300 k $\Omega$
Rango de la pantalla	0.001 $\Omega$ a 2.999 $\Omega$
	3.00 $\Omega$ a 29.99 $\Omega$
	30.0 $\Omega$ a 299.9 $\Omega$
	300 $\Omega$ a 2999 $\Omega$
	3.00 k $\Omega$ a 29.99 k $\Omega$
	30.0 k $\Omega$ a 299.9 k $\Omega$

Resolución	0.001 $\Omega$
	0.01 $\Omega$
	0.1 $\Omega$
	1 $\Omega$
	10 $\Omega$
	100 $\Omega$
Precisión	$\pm$ (2 % de la lectura + 2 dígitos)
Error de operación	$\pm$ (5 % de la lectura + 5 dígitos)
Tiempo de medición	Típica: 6 segundos
Voltaje máximo de interferencia	24 V, con mediciones de voltaje superiores no se iniciará
Sobrecarga máx.	V rms máx. = 250 V

**Autor :**[45]

### 3.3 Cámara Termográfica Fluke Ti450

La cámara captura el campo de visión, integra un láser que mide la distancia del objetivo de una forma exacta, contiene lentes inteligentes 2x y 4x.

Las características de medición se encuentran en la Tabla 30.

**Tabla 30.** Características de la cámara termográfica Fluke Ti450.

Características	Valor	Medida
Resolución del detector	320 x 240	píxeles
Super resolución	640 x 480	píxeles
Temperatura para medición del objeto	-10 a 1500	$^{\circ}\text{C}$
Precisión	$\pm$ 2	$^{\circ}\text{C}$
Sensibilidad térmica	$\leq$ 0,025	$^{\circ}\text{C}$
Campo de visión del lente estándar	24 x 17	$^{\circ}\text{H x }^{\circ}\text{V}$
Distancia focal mínima del lente estándar	15	cm
Autonomía de la batería	3 – 4	horas
Alimentación con la red eléctrica	100 – 240	V
Banda espectral infrarroja	7,5 – 14	$\mu\text{m}$
Temperatura de funcionamiento	-10 a 50	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura de almacenamiento	-20 a 50	$^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	10 – 95	%

**Fuente:** [45]

### 3.4 Pinza Amperimétrica Fluke 902 FC.

Dispositivo que permite medir las diferentes variables de voltaje o corriente, contiene una interface que permite tener la comunicación remota a través del teléfono, sobre toda precautelando las condiciones en las cuales es inaccesible la medición.

Las características de medición se encuentran en la Tabla 30.

**Tabla 31.** Características Fluke 902 FC

CA (mediante mordaza)	Resolución	0,1 Amp
	Exactitud	2,0 % ± 5 dígitos (45 a 65 Hz)
		2,5 % ± 5 dígitos (65-400 Hz)
Rango	600,0 Amp	
V CA	Factor de cresta (50 Hz o 60 Hz)	2,5 MIN a 220 Amp
		> 1,4 MIN a 600 A
		Agregar 2 % para CF>400 A
	Resolución	0,1 V
	Precisión	1,5 % ±5 dígitos
	Rango	600,0 V
V CC	Resolución	0,1 V
	Precisión	1,5 % ±5 dígitos
	Rango	600,0 V
Ohmios	Resolución	0,1/1/10
	Precisión	1 % ±5 dígitos
	Rango	600/6000/60,00 kΩ
Capacitancia	Resolución	0,1/1 μF
	Precisión	1 % ± 4 dígitos
	Rango	100,0/1000 μF
μA	Resolución	0,1 μA
	Precisión	1 % ±5 dígitos
	Rango	200 μA

Fuente: [45]

### 3.5 Multímetro Fluke 789.

Multímetro digital de alta precisión que permite medir las diferentes variables eléctricas.

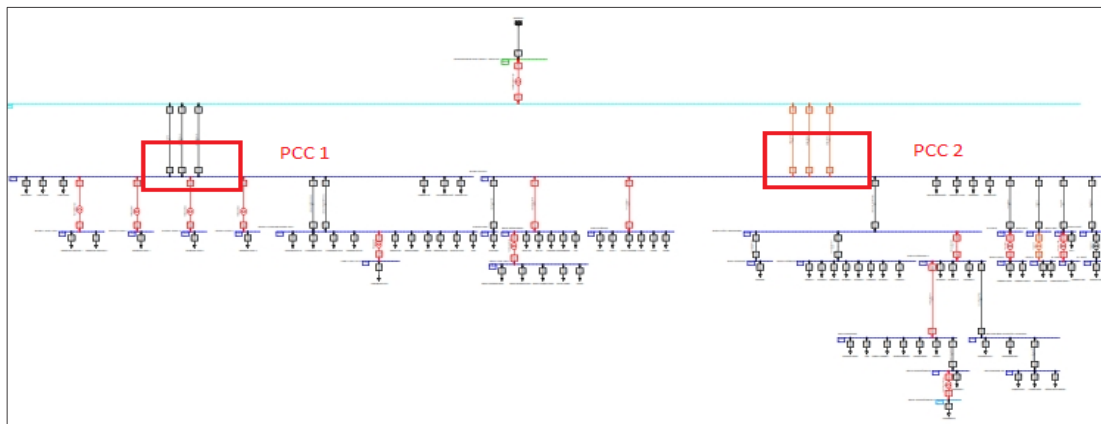
**Tabla 32.** Características Multímetro Fluke 789.

<b>Especificaciones</b>		
Medición de corriente	Rango	0 a 1 A CA o CC
	Resolución	1 mA
	Precisión	0.2 % + 2 LSD (CC)
	Rango	0 a 30 mA
	Resolución	0.001 mA
	Precisión	0.05 % + 2 LSD
Generación de corriente	Rango	0 a 20 mA o 4-20 mA
	Resolución	0.05 % de amplitud
	Capacidad de señal	Cumplimiento con 24 V, o 1200 $\Omega$ en 20 mA
Frecuencia	hasta 19.999 kHz, 0.005 % + 1 LSD	
Medida de voltaje	Rango	0 a 1000 V CA (verdadero valor eficaz) o CC
	Resolución	0.1 mV a 1.0 V
	Precisión	0.1 % lectura + 1 LSD (VCC)
Medida de resistencia	hasta 40 M $\Omega$ , 0.2 % + 1 LSD	

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1 Punto de Acoplamiento Común (PCC)

Para el estudio de calidad de energía se realizará la medición en el punto acoplamiento común, es decir un punto entre la cámara de transformación que en este caso es el sistema externo que suministra energía y los tableros de distribución primaria, en el caso de Sigmaplast tendremos mediciones en el tablero de distribución primario A y en el tablero de distribución primario B.



**Figura 5.** Punto de Acoplamiento Tableros Distribución Primarios.

**Fuente:** Autor

### 4.2 Periodo de Análisis

El periodo de análisis está comprendido de acuerdo a la regulación ARCONEL 005/2018, periodo comprendido de 7 días consecutivos con intervalos de medición de 10 minutos, los intervalos de medición que se han realizado en el caso de este estudio es cada 30 segundos.

Para el tablero de distribución primario A se contempla la medición a partir del 18 de diciembre del 2019 al 26 de diciembre del 2019 y para el tablero de distribución primario B entre el 26 de diciembre 2019 hasta del 2 de enero del 2020.

### 4.3 Resultados obtenidos Tablero de Distribución Primario A.

En base a la normativa ARCONEL 005/18 se realizará un análisis continuo alrededor de 7 días, es recomendable que la carga no sea inferior al 40%, las variables eléctricas a medir son las siguientes:

- Voltaje.
- Corriente.
- Frecuencia.
- Desequilibrio de voltaje.
- Desequilibrio de corriente.
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Potencia aparente.
- Factor de potencia.
- Distorsión Armónica de voltaje. (THD)
- Flicker de corta duración.

Los datos obtenidos podrán ser recopilados y exportados a cualquier hoja de cálculo, se utilizará como medio gráfico el programa **Matlab**.

#### 4.3.1 Tablero de Distribución Primario A Variable Voltaje

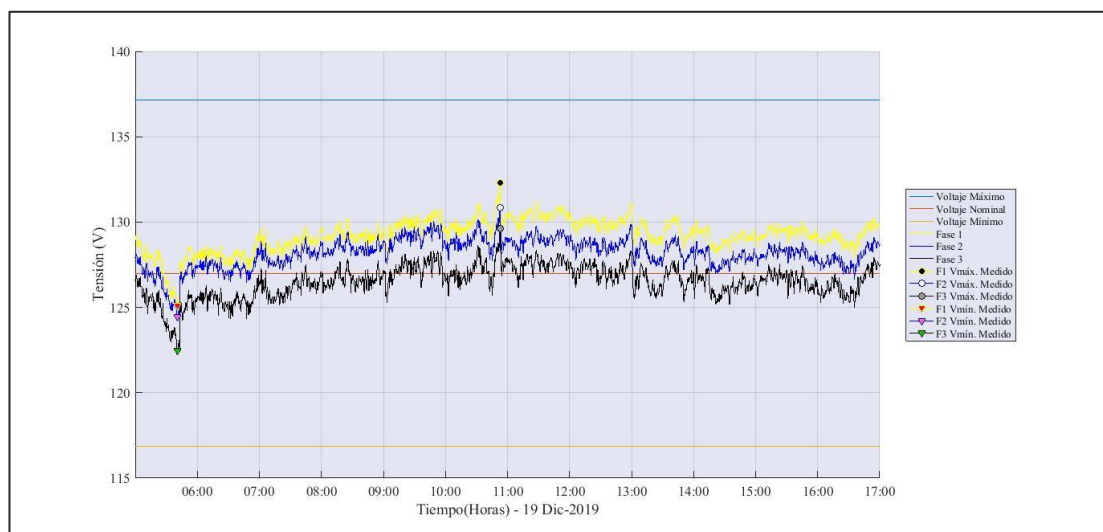
En la Tabla 33, se muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL005/18, el rango permitido es del 8% , los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, por consiguiente, podemos decir la Fase 1 posee por valor medio de 130.22V, Fase 2 posee un valor medio 129.12 V y Fase 3 posee un valor medio de 127.62 V, frente al valor máximo permitido de 137.16V.

**Tabla 33.** Valores de la variable de voltaje Tablero Distribución Primario A

Variable Eléctrica (Voltaje)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Voltaje Nominal	Rango	Cumple Normativa
Fase 1	125.12	130.22	135.51	127	±8 %	SI
Fase 2	124.20	129.12	134.13	127	±8 %	SI
Fase 3	122.48	127.62	133.26	127	±8 %	SI

**Fuente:** Autor

En la Figura 6, del 19 de diciembre muestra los valores más bajos durante el periodo análisis, la Fase 1 muestra un 125.12 V, Fase 2 muestra un 124.20 V y Fase 3 muestra un valor de 122.48V, lo más significativo en esta grafica es observar la disminución de voltaje, sin llegar a la interrupción del sistema, en este mismo día podemos observar un aumento del voltaje Fase1 132.3V, Fase 2 130.84V y Fase 3 129.60V sin llegar a la interrupción del sistema, este fenómeno es característico cuando se energiza o desenergiza grandes cargas.



**Figura 6.** Variable eléctrica de voltaje Tablero Distribución Primario A.

**Fuente:** Autor

#### 4.3.2 Tablero de Distribución Primario A Variable Corriente

En la Tabla 34, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido para la Fase 1 con un valor medio de 1355.72 Amp, Fase 2 con un valor medio de 1341.50 Amp y para la Fase 3 de 1221.73 Amp.

El valor medio de corriente neutro es de 48.54 Amp. y con un valor máximo a 103 Amp.

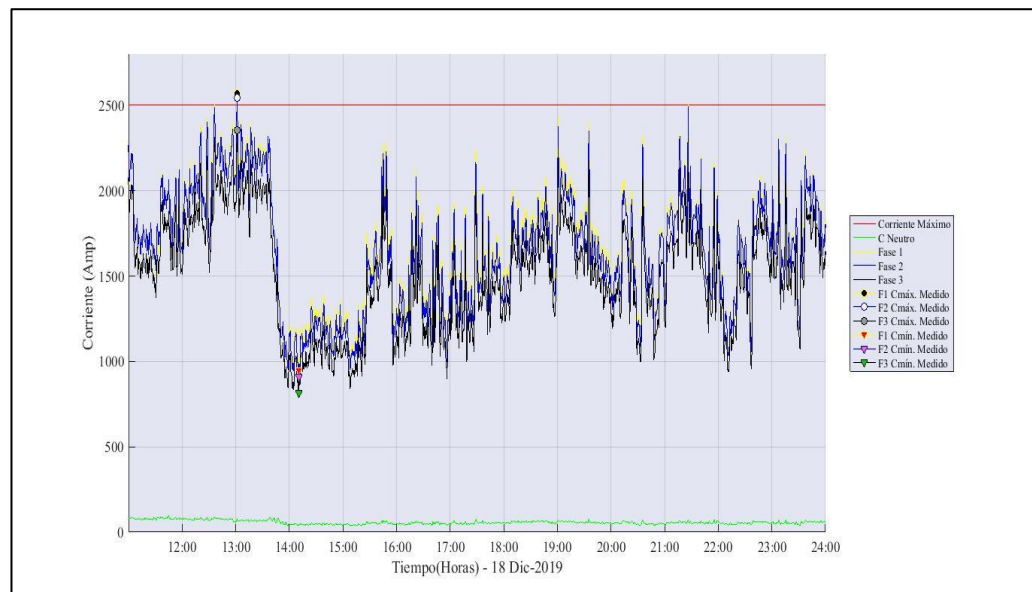


**Tabla 34.** Valores de la variable de Corriente Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica (Corriente)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Corriente Máxima	Cumple Normativa
Fase 1	105.00	1355.72	2569	2500	SI
Fase 2	104	1341.50	2545	2500	SI
Fase 3	99	1221.73	2352	2500	SI
Neutro	8	48.54	103.00	0	No

**Fuente: Autor**

La Figura 7, del 18 de diciembre muestra los valores más altos durante el periodo de análisis la Fase 1 con un valor máximo de 2569 Amp., Fase 2 con un valor máximo de 2545Amp. y Fase 3 con un valor máximo 2352 Amp, lo más significativo que podemos observar es cómo se incrementa la corriente por el ingreso de carga al sistema y de la misma manera al ser desconectada disminuye. Estas variaciones no permiten la desconexión del sistema de protección, el breaker de la cámara de transformación posee un sistema de Digitrip – RMS 310 posee un tiempo de retraso largo de 10 segundos y no supera el Short Delay Pickup de 2 In.



**Figura 7.** Variable eléctrica de Corriente Tablero Distribución Primario A.

**Fuente: Autor**

### 4.3.3 Tablero de Distribución Primario A Variable Frecuencia

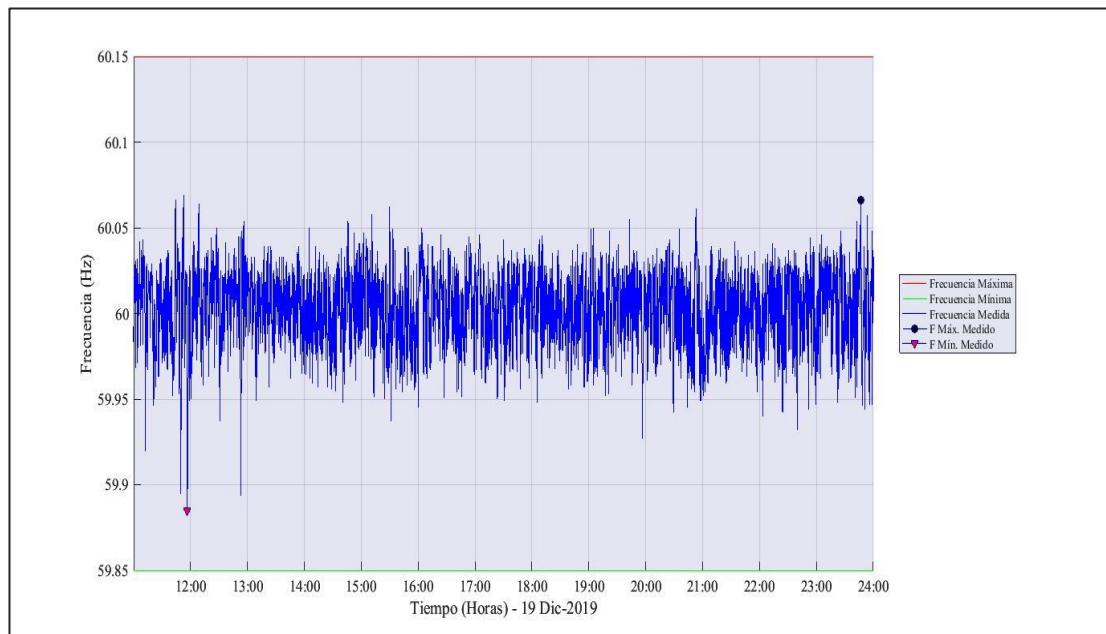
En la Tabla 35, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18 los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, el valor medio obtenido es de 60.01 Hz.

**Tabla 35.** Valores de la variable de Frecuencia

Variable Eléctrica (Frecuencia)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Frecuencia Nominal Máximo	Frecuencia Nominal Mínimo	Cumple Normativa
Tablero 1	59.88	60.01	60.09	60.15	59.85	SI

**Fuente: Autor**

En la Figura 8, del 25 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis es de 59.88 Hz. y el valor más alto alcanzado en ese día es de 60.08 Hz.



**Figura 8.** Variable eléctrica de Frecuencia Tablero Distribución Primario A.

**Fuente: Autor**

#### 4.3.4 Tablero de Distribución Primario A Desequilibrio de Voltaje

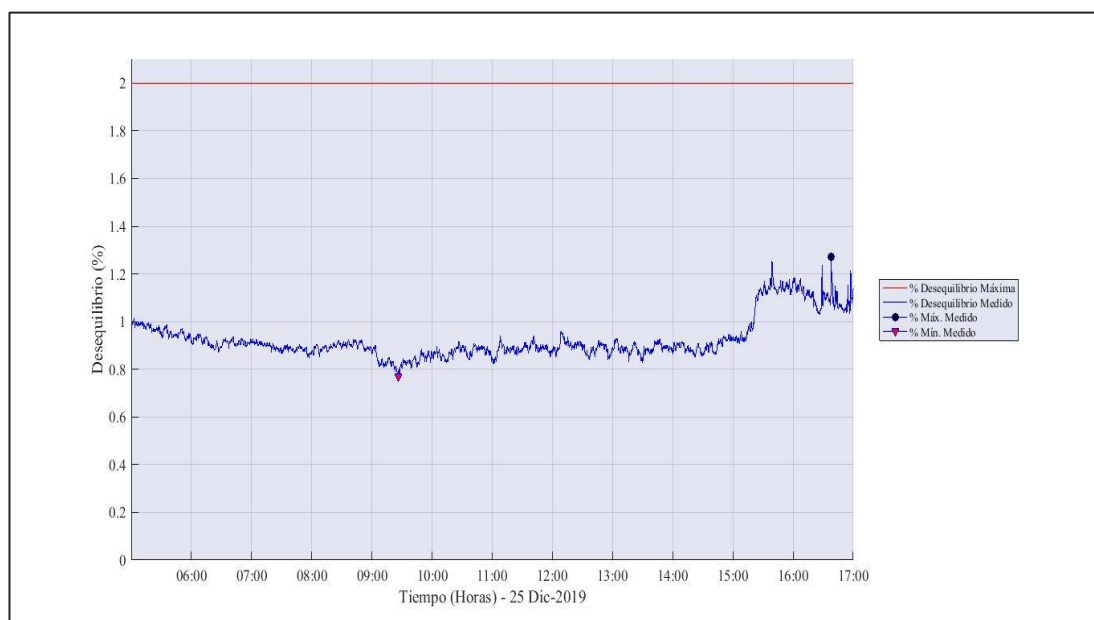
En la Tabla 36, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, el porcentaje medio es 0.97% mientras que su valor mínimo es 0.71% y el valor máximo se encuentra con un porcentaje del 1.27%.

**Tabla 36.** Valores de la variable de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica (Desequilibrio Voltaje %)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Máximo Permitido	Cumple Normativa
Tablero A	0.71 %	0.97 %	1.27 %	2%	SI

**Fuente: Autor**

En la Figura 9, del 25 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 0.77% y el valor más alto alcanzado en ese día es de 1.27% considerando que el porcentaje máximo permitido es del 2%.



**Figura 9.** Variable eléctrica de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario A.

**Fuente: Autor**

### 4.3.5 Tablero de Distribución Primario A Desequilibrio de Corriente

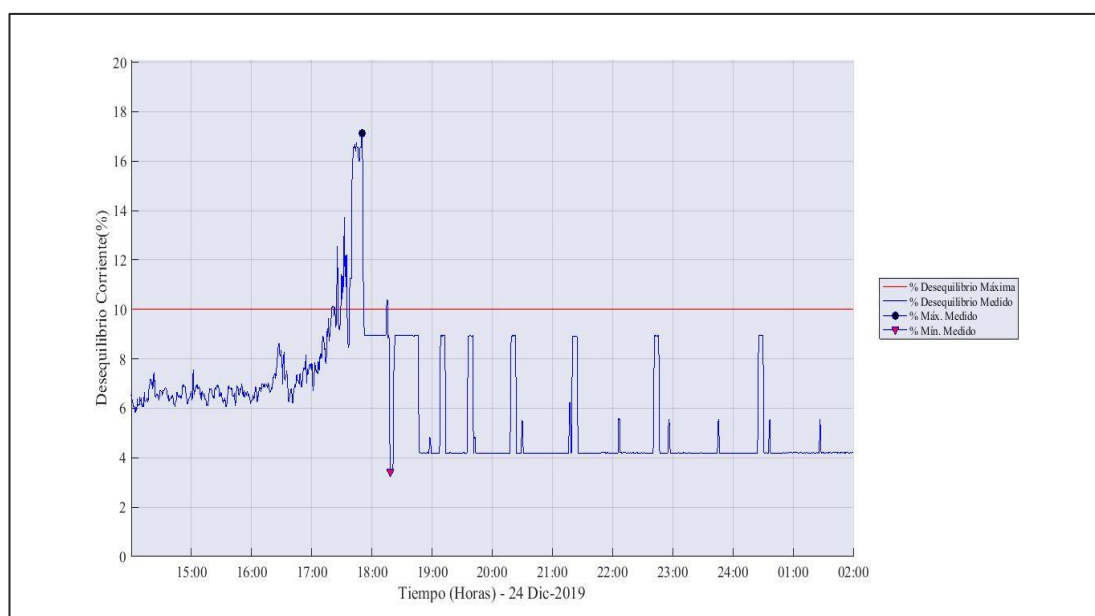
En la Tabla 37, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores no se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, el porcentaje medio es 6.34% mientras que su valor mínimo es 3.42% y el valor máximo se encuentra dentro del 17.18%, esto hace mucha referencia a lo que observamos durante el análisis que existe un desequilibrio de la corriente negativa A Zero con un valor máximo de 50%.

**Tabla 37.** Valores de la variable Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica (Desequilibrio Corriente %)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Máximo Permitido	Cumple Normativa
Tablero A	3.42 %	6.34 %	17.18 %	10%	SI

**Fuente:** Autor

La Figura 10, del 24 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 3.42% y el valor más alto alcanzado en ese día es de 17,18 % considerando que el porcentaje máximo permitido es del 10%.



**Figura 10.** Variable eléctrica de Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario A.

Fuente: Autor

#### 4.3.6 Tablero de Distribución Primario A Potencia Activa

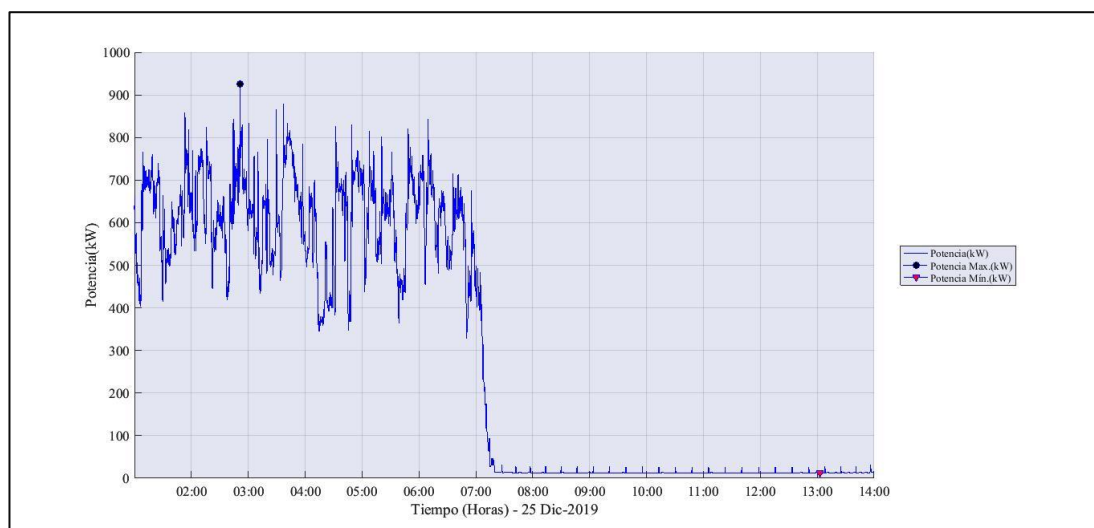
En la Tabla 38, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 18 de diciembre 2019 hasta el 26 diciembre 2019, los valores muestran un valor medio de 472 kW.

**Tabla 38.** Valores de la variable de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica Potencia Activa(kW)	Valor Mínimo(kW)	Valor Medio(kW)	Valor Máximo(kW)
Tablero A	11.8	472.40	926

Fuente: Autor

La Figura 11, del 25 de diciembre del 2019 se puede observar el descenso de la potencia a medida de la desenergización de la planta, las cargas de la planta han sido desconectadas.



**Figura 11.** Variable eléctrica de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A.

Fuente: Autor

#### 4.3.7 Tablero de Distribución Primario A Potencia Reactiva

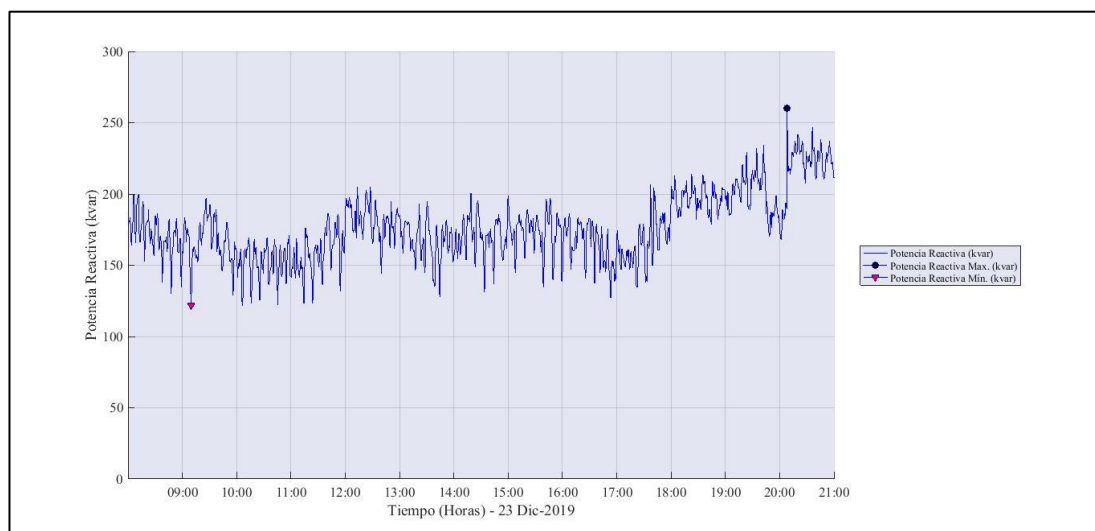
En la Tabla 39, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 18 de diciembre 2019 hasta el 26 diciembre 2019, el valor medio de 142 kvar.

**Tabla 39.** Valores de la variable de Potencia Reactiva.

Variable Eléctrica Potencia Reactiva	Valor Mínimo(kvar)	Valor Medio(kvar)	Valor Máximo(kvar)
Tablero A	110	142.67	260.4

**Fuente:** Autor

En la Figura 12, del 23 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 110 kvar y el valor más alto alcanzado en ese día es de 260.4 kvar.



**Figura 12.** Variable eléctrica de Potencia Reactiva Tablero Distribución Primario A.

**Fuente:** Autor

#### 4.3.8 Tablero de Distribución Primario A Potencia Aparente

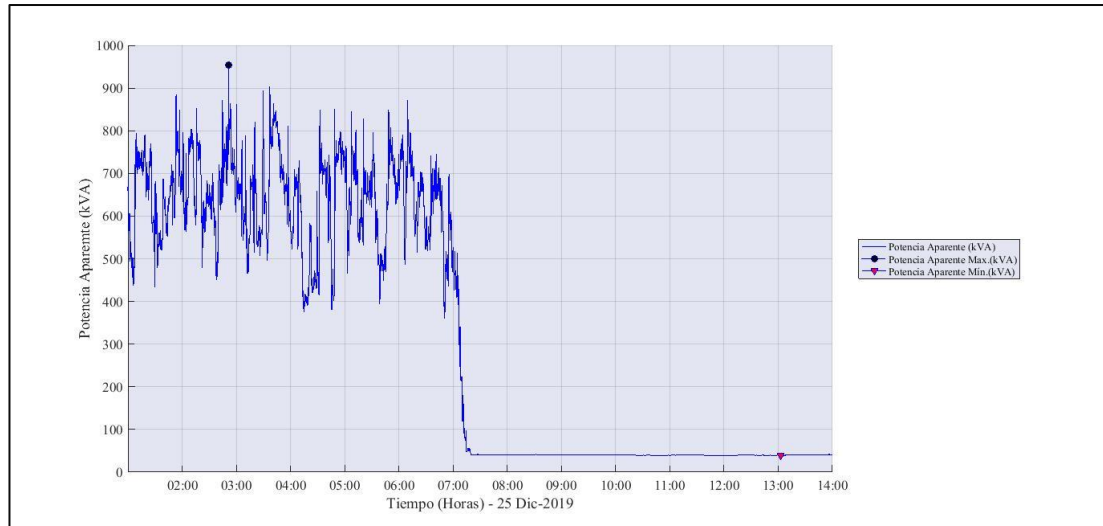
En la Tabla 40, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición, los valores muestran un valor medio de 500.20 kVA.

**Tabla 40.** Variable eléctrica de Potencia Activa Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica Potencia Aparente (kVA)	Valor Mínimo(kVA)	Valor Medio(kVA)	Valor Máximo(kVA)
Tablero A	38.9	500.20	914.3

**Fuente: Autor**

En la Figura 13, del 25 de diciembre del 2019 se puede observar el descenso de la potencia a medida que las cargas de la planta han sido desconectadas, el valor más alto alcanzado se puede observar con un valor de 914.3 kVA.



**Figura 13.** Variable eléctrica de Potencia Aparente Tablero Distribución Primario A.

**Fuente: Autor**

#### 4.3.9 Tablero de Distribución Primario A Factor de Potencia

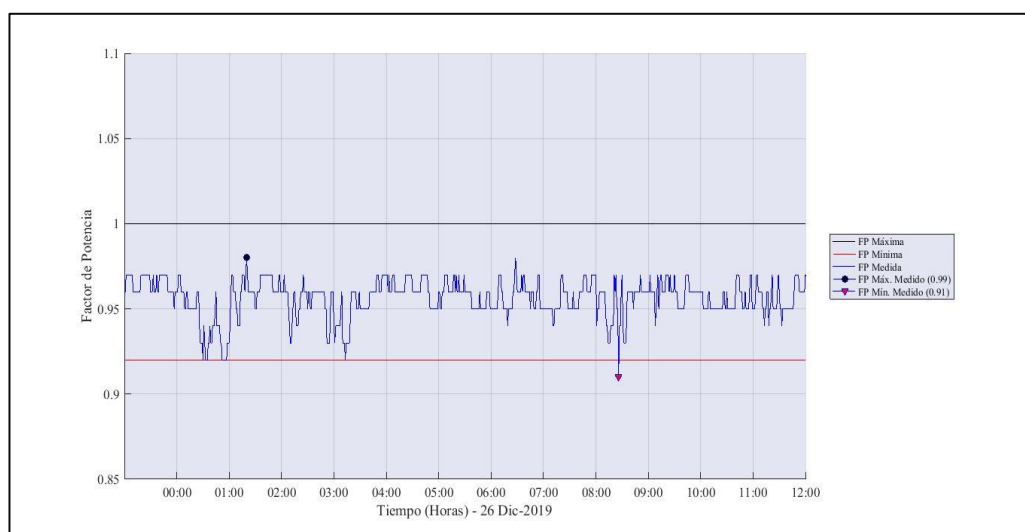
En la Tabla 41, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 18 de diciembre 2019 hasta el 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 2018, los valores se encuentran fuera del rango de tolerancia permitido con un valor medio de 0.85, valor máximo 0.99 y un valor mínimo 0.28, el valor más bajo se reporta el 25 de diciembre donde se realiza la desenergización de la planta.

**Tabla 41.** Valores de la variable Factor de Potencia

Variable Eléctrica Factor de Potencia	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Min. Permitido	Cumple Normativa
Tablero A	0.28	0.85	0.99	0.92	NO

**Fuente: Autor**

En la Figura 14, del 26 de diciembre del 2019 se puede observar el comportamiento del factor de potencia con un valor mínimo de 0.91 y un máximo de 0.99.



**Figura 14.** Variable eléctrica de Factor de Potencia Tablero Distribución Primario A.

**Fuente:** Autor

#### 4.3.10 Tablero de Distribución Primario A Distorsión Armónica de Voltaje (THD)

En la Tabla 42, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 18 de diciembre 2019 hasta el 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 2018, los valores se encuentran dentro del valor permitido Fase 1 con un valor medio de 3.69%, Fase 2 con un valor medio de 3.57% y la Fase 3 con un valor de 3.79% el valor máximo permitido es del 8%.

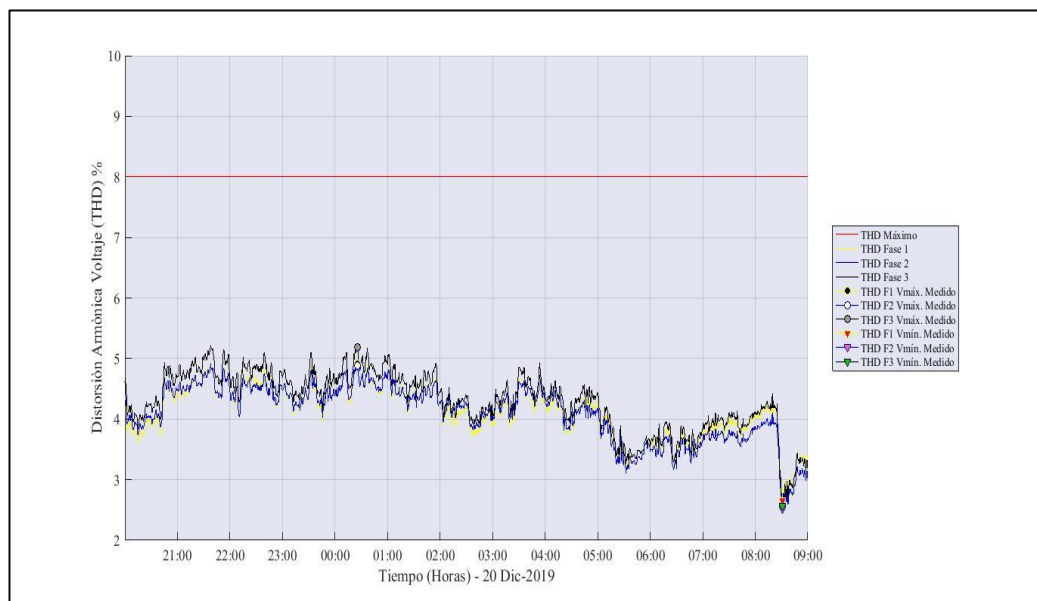
**Tabla 42.** Valores de la variable Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario A.

Variable Eléctrica Distorsión Armónica de Voltaje (THD)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Máx. Permitido	Cumple Normativa
FASE 1	1.50 %	3.69 %	4.92 %	8%	SI
FASE 2	1.58 %	3.57 %	4.91 %	8%	SI
FASE 3	1.69 %	3.79 %	5.21 %	8%	SI



**Fuente: Autor**

La Figura 15, del 20 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más alto comprendido durante este periodo de análisis Fase 1 con un valor máximo de 4.92%, Fase 2 el valor máximo de 4.89% y Fase 3 con un valor máximo de 5.19%, considerando que el porcentaje máximo permitido es del 8%.



**Figura 15.** Variable eléctrica de Distorsión Armónica (THD) Tablero Distribución Primario A.

**Fuente: Autor**

#### 4.3.11 Tablero de Distribución Primario Armónicos Individuales.

En la Tabla 43, muestra el valor de distorsión armónica individual por cada línea, donde el 5°. armónico muestra un porcentaje representativo del 3.5%, observamos que por el neutro tenemos un THD 31.07%, el 3°. armónico del 8%, 5°. armónico del 12.5% y 7°. armónico del 10%.

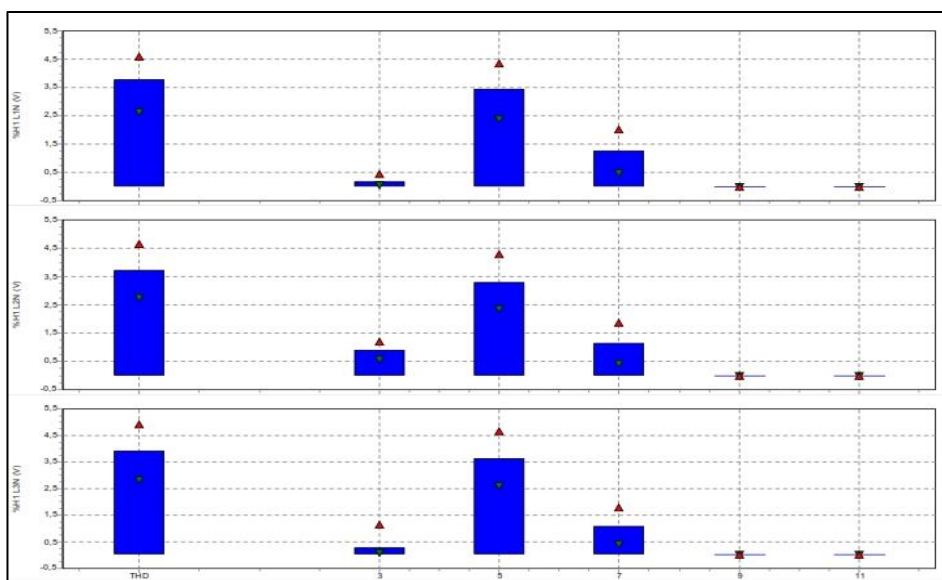
**Tabla 43.** Análisis individual de Armónicos Tablero Distribución Primario A.

FASE	THD	3°. Armónico	5°. Armónico	7°. Armónico	Cumple con la Normativa
L1	3.75%	0.16%	3.43%	1.25%	SI

L2	3.75%	0.90%	3.30%	1.13%	SI
L3	3.75%	0.28%	3.63%	1.08%	SI
Neutro	31.07%	8.81%	13.65%	10.48%	NO

**Fuente: Autor**

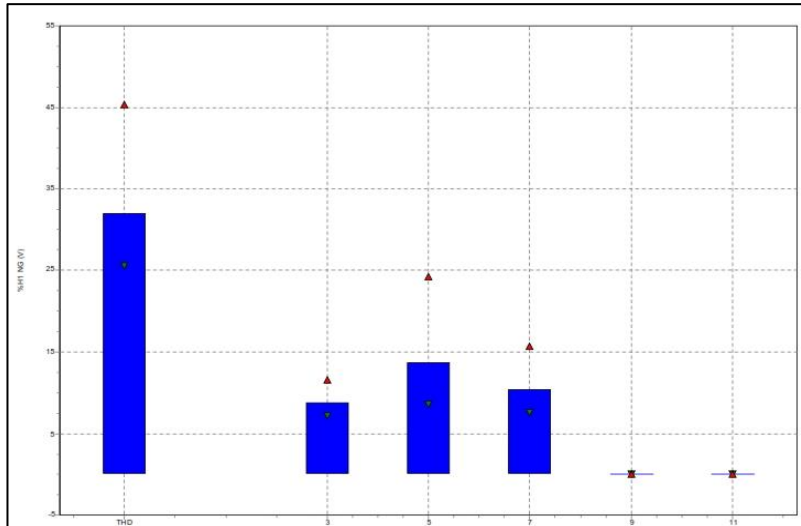
En la Figura 16, se puede evidenciar que el 5° Armónico con un porcentaje del 3.50 %, la Fase 2 se puede ver un incremento del 3° Armónico a 0.90 % frente a las dos líneas, en ambos casos no supera los límites establecidos en la ARCONEL 005/18 con respecto armónicos individuales.



**Figura 16.** Armónicos Impares - Múltiplos de 3 Tablero de Distribución Primario A.

**Fuente:** [44]

En la Figura 17, se puede evidenciar que THD del conductor del neutro, el cual se encuentra con un porcentaje del 31.07% fuera de los parámetros establecidos en la Normativa ARCONEL 005/18, como se puede evidencia en la Tabla 43, existe un retorno de Armónicos por el conductor del neutro.



**Figura 17.** Armónico en el neutro Tablero de Distribución Primario A

**Fuente:** [44]

#### 4.3.12 Tablero de Distribución Primario A Flicker de Corta Duración

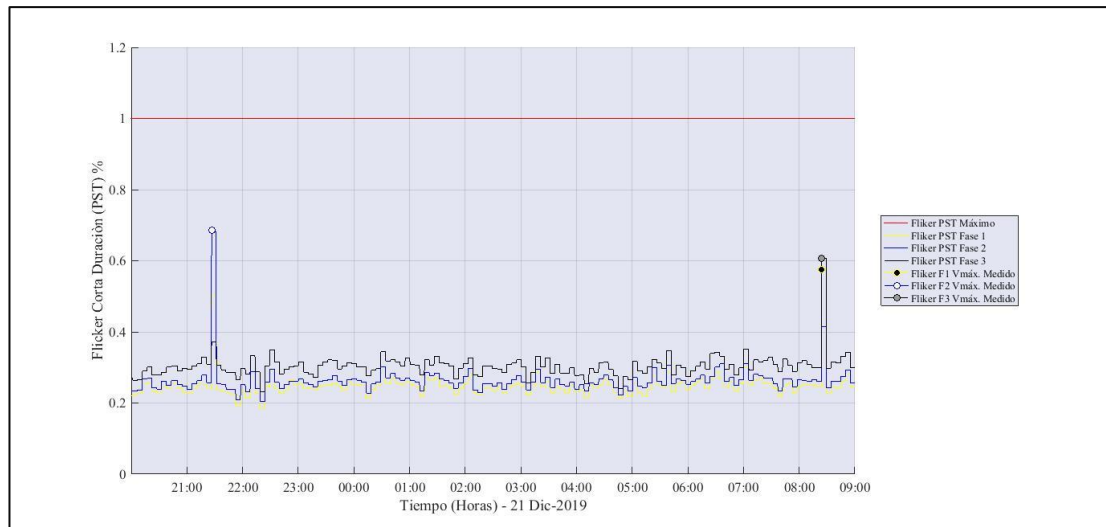
En la Tabla 44, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 18 de diciembre 2019 al 26 diciembre 2019, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 2018, los valores se encuentran dentro del valor permitido Fase 1 con un valor medio de 0%, Fase 2 con un valor medio de 0.23% y la Fase 3 con un valor de 0.57 % el valor máximo permitido debe ser < 1%.

**Tabla 44.** Valores de la variable Flicker de Corta Duración.

Variable Eléctrica Flicker Corta Duración	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Ideal	Cumple Normativa
FASE 1	0 %	0.23 %	0.57 %	< 1	SI
FASE 2	0 %	0.24 %	0.68 %	<1	SI
FASE 3	0 %	0.28 %	0.60 %	<1	SI

**Fuente:** Autor

La Figura 18, del 21 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más alto comprendido durante este periodo de análisis, Fase 1 con un 0.57%, Fase 2 con un 0.68% y Fase 3 con un valor de 0.60%, considerando que el valor ideal debe ser menor al 1%.



**Figura 18.** Variable eléctrica Flicker de Corta Duración Tablero de Distribución Primario A.

**Fuente:** Autor

#### **4.4 Resultados obtenidos Tablero de Distribución Primario B**

En base a la normativa ARCONEL 005/18 se realizará un análisis continuo alrededor de 7 días, es recomendable que la carga no sea inferior al 40%, las variables eléctricas a medir son las siguientes:

- Voltaje.
- Corriente.
- Frecuencia.
- Desequilibrio de voltaje.
- Desequilibrio de corriente.
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Potencia aparente.
- Factor de potencia.
- Distorsión Armónica de voltaje. (THD)
- Flicker de corta duración.

Los datos obtenidos podrán ser recopilados y exportados a cualquier hoja de cálculo, se utilizará como medio gráfico el programa **Matlab**.

#### 4.4.1 Tablero de Distribución Primario B Variable Voltaje

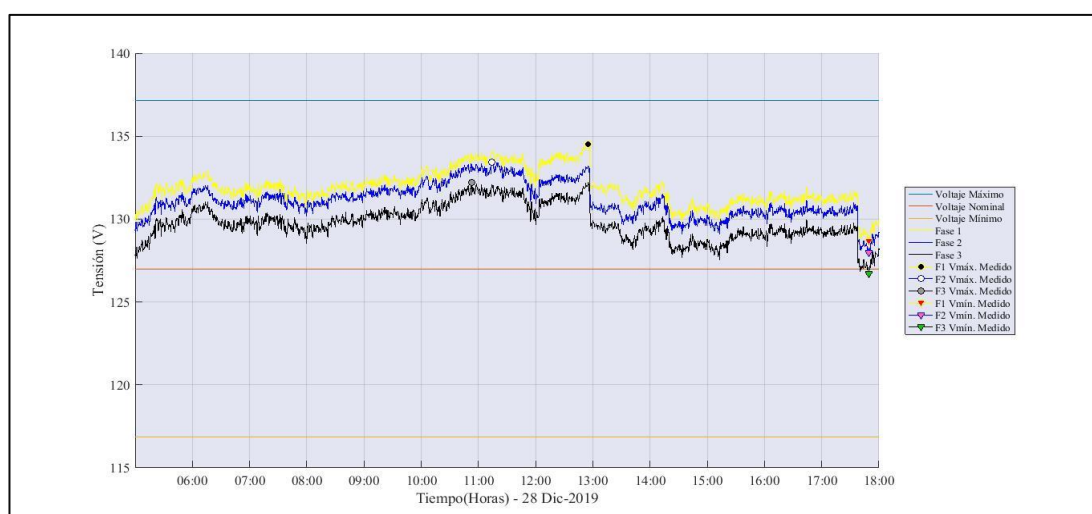
En la Tabla 45, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 02 de enero del 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, por consiguiente, podemos decir la Fase 1 posee por valor medio de 131.86 V, Fase 2 130.91 V y Fase 3 de 129.74 V frente al valor máximo permitido de 137.16V

**Tabla 45.** Valores de la variable de Voltaje Tablero de Distribución Primario B.

Variable Eléctrica (Voltaje)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Voltaje Nominal	Rango	Cumple Normativa
Fase 1	127.09	131.86	135.45	127	±8 %	Si
Fase 2	126.65	130.91	135.36	127	±8 %	Si
Fase 3	124.36	129.74	134.36	127	±8 %	Si

**Fuente:** Autor

En la Figura 19, del 28 de diciembre muestra los valores más bajos durante el periodo de análisis la Fase 1 muestra un 127.09 V, Fase 2 muestra un 126.65 V y Fase 3 muestra un valor de 124.36V, lo más significativo en esta grafica es observar la disminución de voltaje, sin llegar a la interrupción del sistema, en este mismo día podemos observar los valores máximos.



**Figura 19.** Variable eléctrica de voltaje Tablero Distribución Primaria A.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.2 Tablero de Distribución Primario B Variable Corriente

En la Tabla 46, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 02 enero del 2020, los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido para la Fase 1 con un valor medio de 177.23Amp, Fase 2 con un valor medio de 217.00 Amp y para la Fase 3 de 174.55Amp.

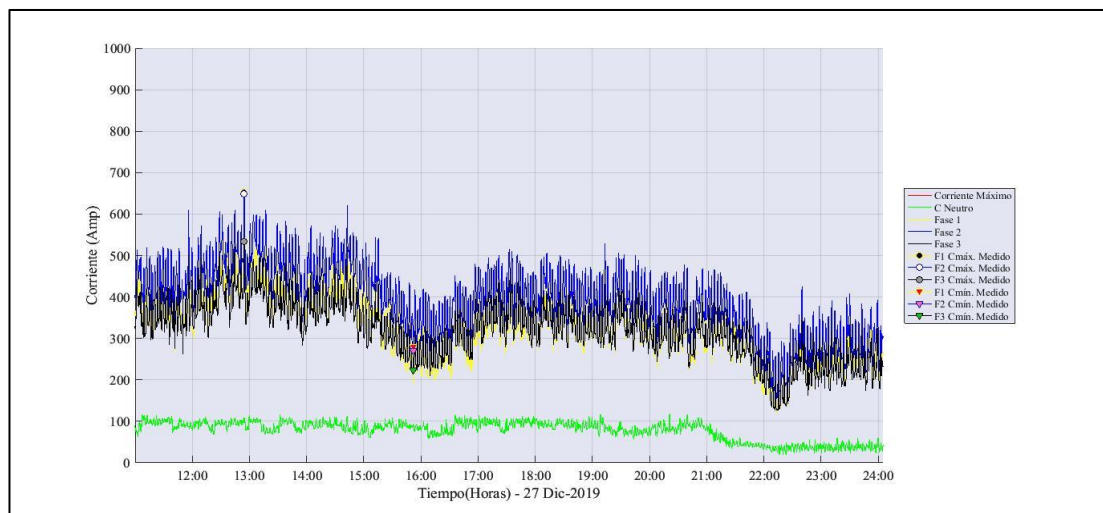
El valor medio de corriente neutro es de 39.27Amp. y con un valor máximo a 118 Amp.

**Tabla 46.** Valores de la variable de Corriente Tablero de Distribución Primario B.

Variable Eléctrica (Corriente)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Corriente Máxima	Cumple Normativa
Fase 1	22	177.23	596	2500	Si
Fase 2	49	217.00	649	2500	Si
Fase 3	49	174.55	534	2500	Si
Neutro	10	39.27	118	0	No

**Fuente: Autor**

La Figura 20, del 27 de diciembre muestra los valores más altos durante el periodo de análisis la Fase 1 con un valor máximo de 596Amp, Fase 2 con un valor máximo de 649Amp. y Fase 3 con un valor máximo 534Amp, observando un retorno por el neutro de una corriente con un valor máximo de 118 Amp.



**Figura 20.** Variable eléctrica de Corriente Tablero Distribución Primario B.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.3 Tablero de Distribución Primario B Variable Frecuencia

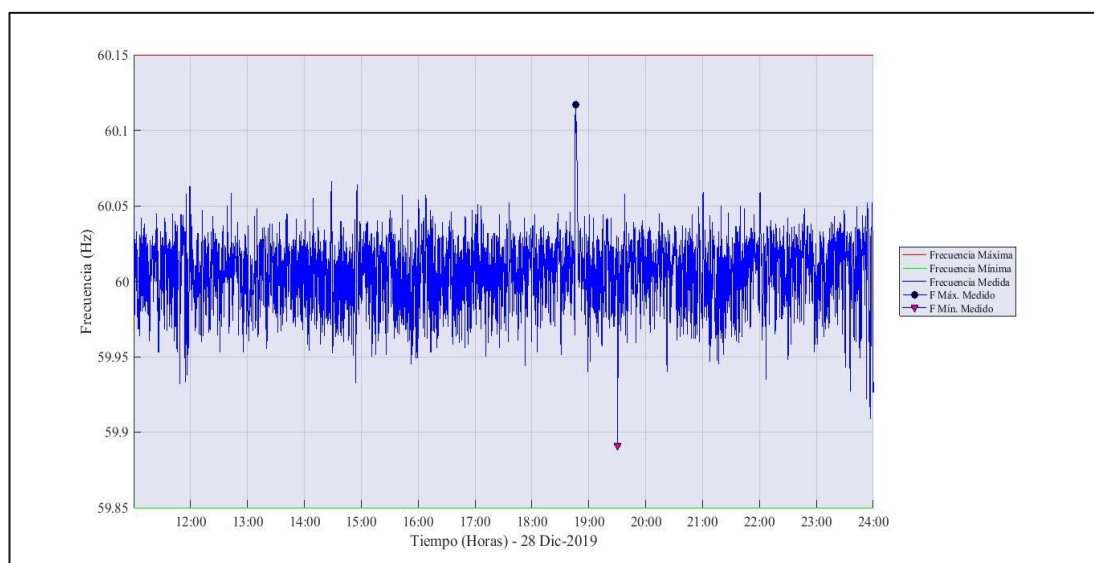
En la Tabla 47, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 03 enero 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18 los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos, el valor medio obtenido es de 60.00 Hz.

**Tabla 47.** Valores de la variable de Frecuencia Tablero de Distribución Primario B.

Variable Eléctrica (Frecuencia)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Voltaje Nominal Máximo	Valor Mínimo Permitido	Cumple Normativa
Tablero B	59.89	60.00	60.12	60.15	59.85	Si

**Fuente:** Autor

En la Figura 21, del 25 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 59.89 Hz. y el valor más alto alcanzado en ese día es de 60.15 Hz.



**Figura 21.** Variable eléctrica de Frecuencia Tablero distribución primaria B

**Fuente:** Autor

#### 4.4.4 Tablero de Distribución Primario B Variable Desequilibrio de Voltaje

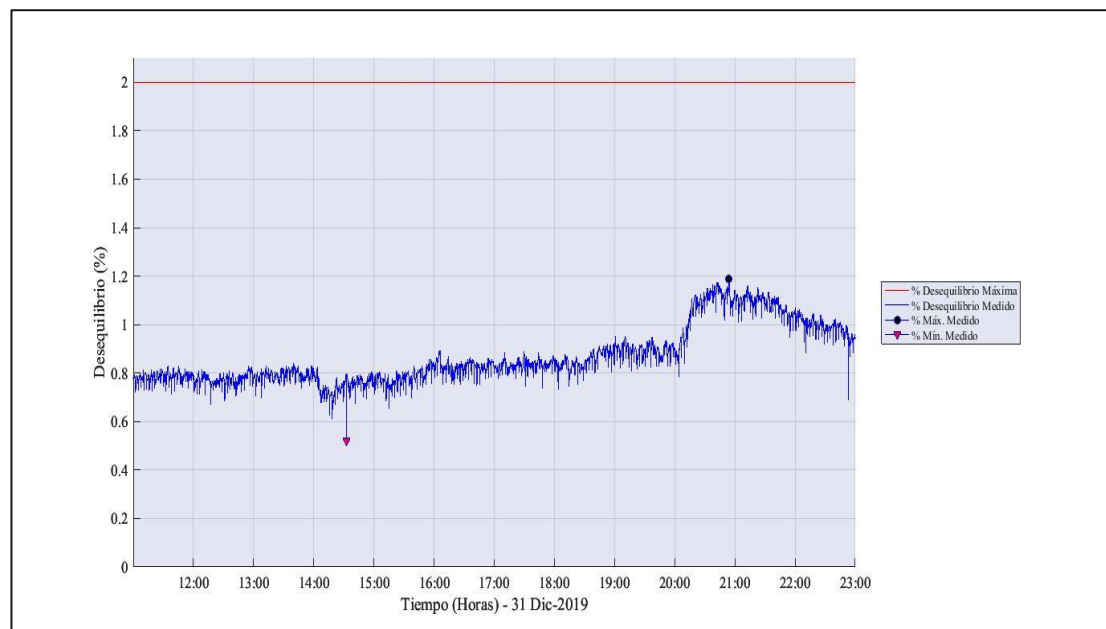
En la Tabla 48, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 26 de diciembre 2019 al 03 enero de 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, el porcentaje medio es 0.86 % mientras que su valor mínimo es 0.52% y el valor máximo se encuentra dentro del 1.19%.

**Tabla 48.** Valores de la variable de Desequilibrio de Voltaje Tablero de Distribución Primaria B.

Variable Eléctrica (Desequilibrio Voltaje %)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Máximo Permitido	Cumple Normativa
Tablero B	0.52 %	0.86 %	1.19 %	2%	Si

**Fuente: Autor**

En la Figura 22, del 31 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 0.52% y el valor más alto alcanzado en ese día es de 1.19% considerando que el porcentaje máximo permitido es del 2%.



**Figura 22.** Variable eléctrica de Desequilibrio de Voltaje Tablero Distribución Primario B.

**Fuente: Autor**



#### 4.4.5 Tablero de Distribución Primario B Variable Desequilibrio de Corriente.

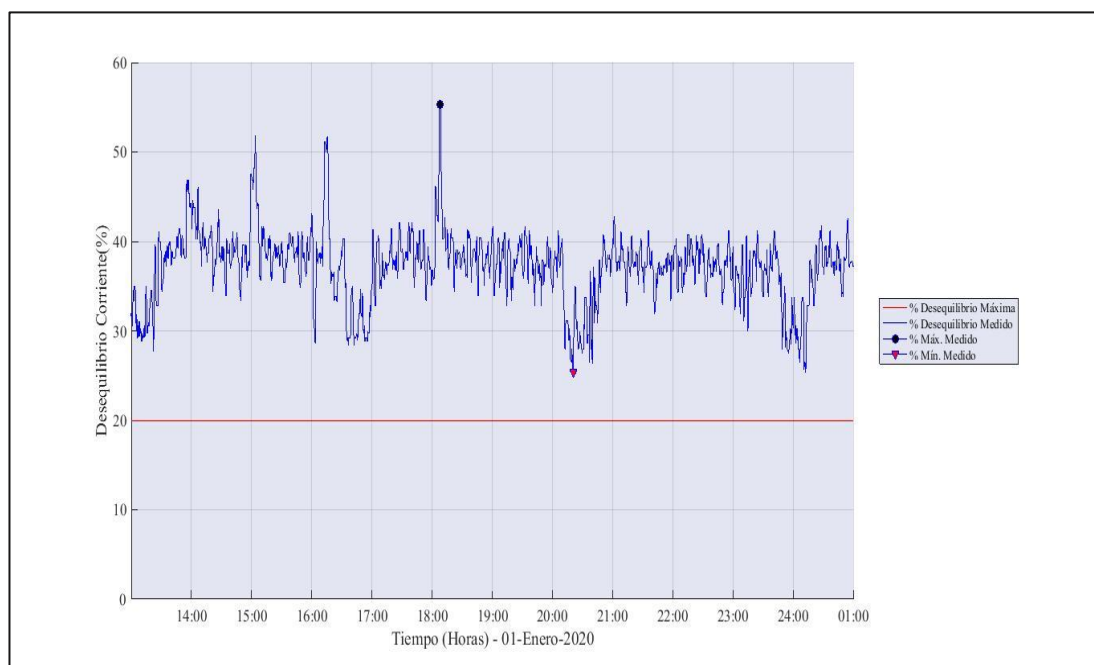
En la Tabla 49, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 26 de diciembre 2019 al 03 de enero 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores no se encuentran dentro del rango de tolerancia permitido, el porcentaje medio es 25.50 % mientras que su valor mínimo es 7.37 % y el valor máximo se encuentra en 55.26%, las cargas se encuentran desequilibradas.

**Tabla 49.** Valores de la variable de Desequilibrio de Corriente Tablero de Distribución Primario B.

Variable Eléctrica (Desequilibrio Corriente %)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Máximo Permitido	Cumple Normativa
Tablero B	7.37 %	25.50 %	55.26 %	10%	No

**Fuente: Autor**

La Figura 23, del 01 de enero del 2020 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 25.5% y el valor más alto alcanzado en ese día es de 55.26 % considerando que el porcentaje máximo permitido es del 10%.



**Figura 23.** Variable de Desequilibrio de Corriente Tablero Distribución Primario B.

**Fuente: Autor**

#### 4.4.6 Tablero de Distribución Primario B Potencia Activa

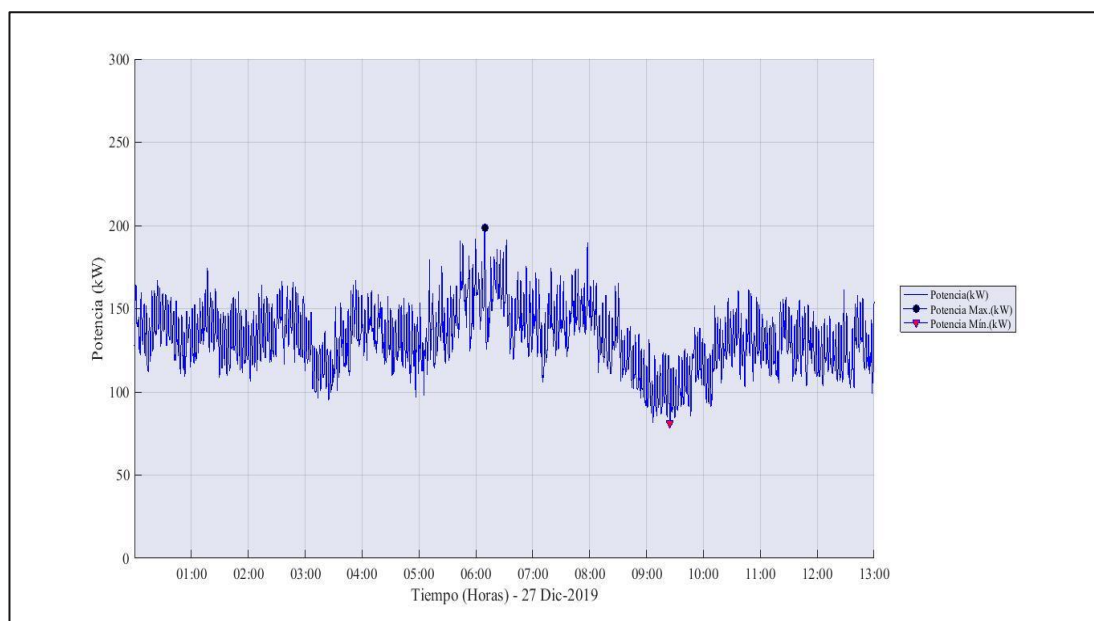
En la Tabla 50, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 26 de diciembre 2019 al 03 de enero 2020, los valores muestran un valor medio de 65.58 kW.

**Tabla 50.** Valores de la variable de Potencia Activa Distribución Primario B.

Variable Eléctrica Potencia Activa	Valor Mínimo(kW)	Valor Medio(kW)	Valor Máximo(kW)
Tablero B	14.7	65.58	198.5

**Fuente:** Autor

La Figura 24, del 27 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más alto alcanzado durante la medición de 198.5 kW.



**Figura 24.** Variable de Potencia Activa Tablero Distribución Primario B.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.7 Tablero de Distribución Primario B Potencia Reactiva

En la Tabla 51, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre el 26 de diciembre 2019 al 03 enero del 2020, el valor medio de 29.83 kvar.

**Tabla 51.** Valores de la variable de Potencia Reactiva Distribución Primaria B.

Variable Eléctrica Potencia Reactiva	Valor Mínimo(kvar)	Valor Medio(kvar)	Valor Máximo(kvar)
Tablero B	3.6	29.83	108.40

Fuente: Autor

En la Figura 25, del 28 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más bajo obtenido durante el periodo de análisis de 29.83kvar y el valor más alto alcanzado en ese día es de 108.40kvar

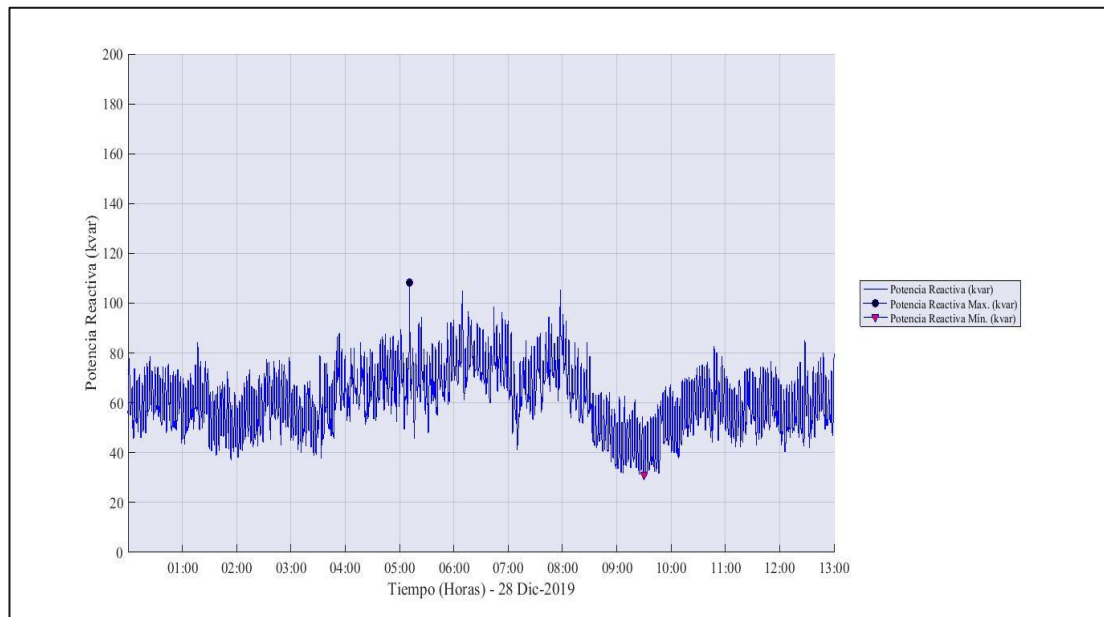


Figura 25. Variable de Potencia Reactiva Tablero Distribución Primario B.

Fuente: Autor

#### 4.4.8 Tablero de Distribución Primario B Potencia Aparente

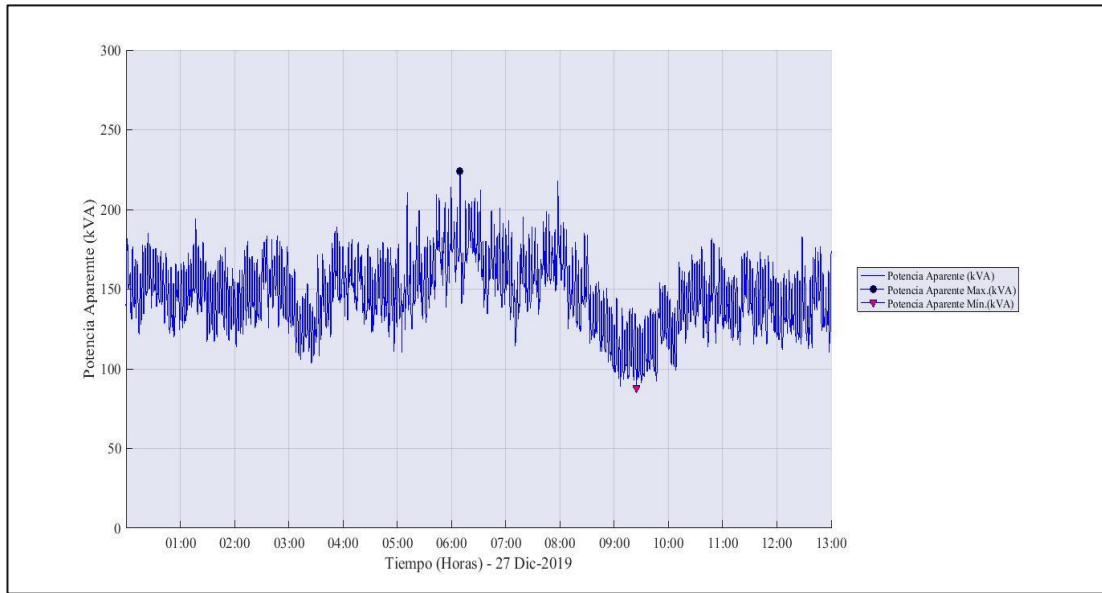
En la Tabla 52, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición, los valores muestran un valor medio de 73.02 kVA.

Tabla 52. Valores de la variable de Potencia Aparente Distribución Primaria B.

Variable Eléctrica Potencia Aparente	Valor Mínimo(kVA)	Valor Medio(kVA)	Valor Máximo(kVA)
Tablero B	15.70	73.02	224.20

Fuente: Autor

En la Figura 26, del 27 de diciembre del 2019, el valor más alto alcanzado se puede observar con un valor de 224.20 kVA.



**Figura 26.** Variable de Potencia Aparente Tablero Distribución Primario B.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.9 Tablero de Distribución Primario B Factor de Potencia

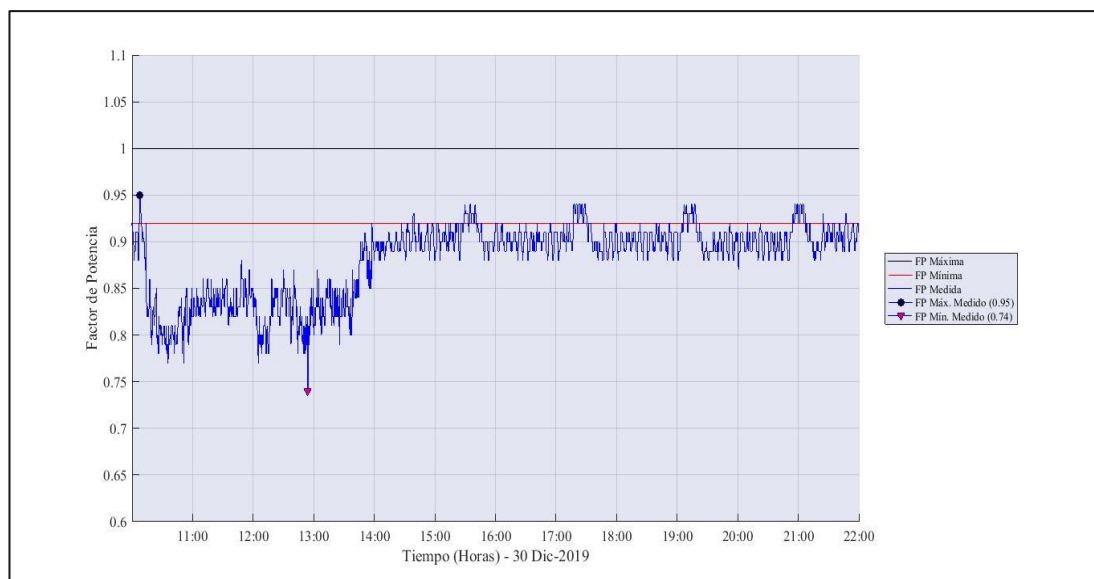
En la Tabla 53, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 02 enero del 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran fuera del rango de tolerancia permitido con un valor medio de 0.89, valor máximo 0.95 y un valor mínimo 0.79, el valor más bajo se reporta el 30 de diciembre.

**Tabla 53.** Valores de la variable de Factor de Potencia Distribución Primario B.

Variable Eléctrica Factor de Potencia	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Min. Permitido	Cumple Normativa
Tablero B	0.79	0.89	0.95	0.92	No

**Fuente:** Autor

En la Figura 27, del 26 de diciembre del 2019 se puede observar el comportamiento del factor de potencia con un valor mínimo de 0.91 y un máximo de 0.99



**Figura 27.** Variable de Factor de Potencia Tablero Distribución Primario B.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.10 Tablero de Distribución Primario B Distorsión Armónica de Voltaje (THD)

En la Tabla 54, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 02 enero del 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran dentro del valor permitido Fase 1 con un valor medio de 2.21%, Fase 2 con un valor medio de 2.73 % y la Fase 3 con un valor de 3.05% el valor máximo permitido es del 8%.

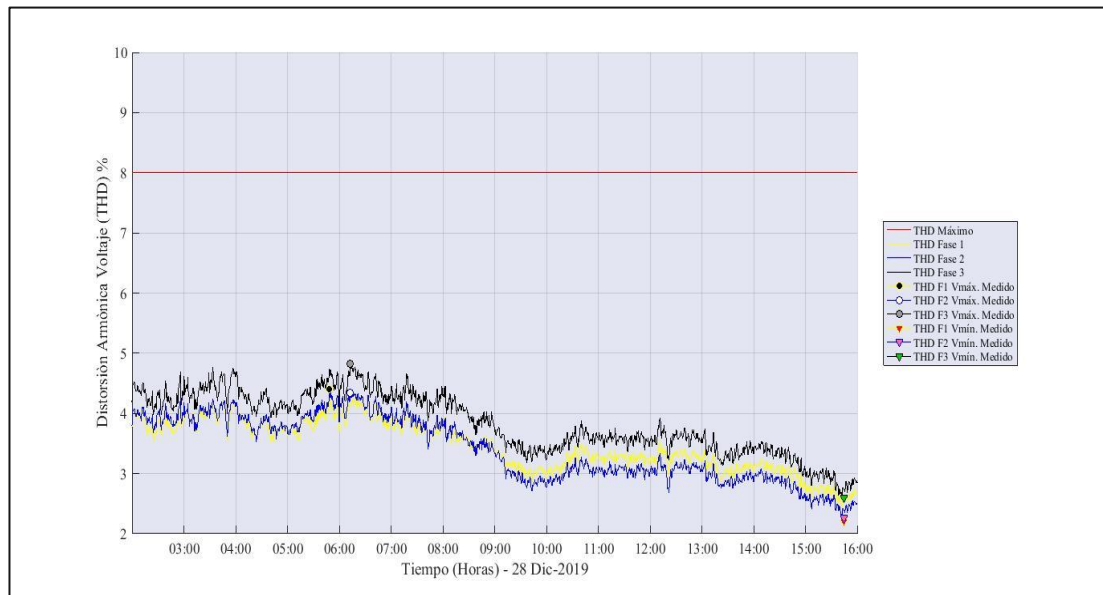
**Tabla 54.** Valores de Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario B

Variable Eléctrica Distorsión Armónica de Voltaje (THD)	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Ideal	Cumple Normativa
FASE 1	0.82	2.71	4.41	8%	SI
FASE 2	0.99	2.73	4.36	8%	SI
FASE 3	0.99	3.05	4.86	8%	SI

**Fuente:** Autor

La Figura 28, del 28 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más alto comprendido durante este periodo de análisis Fase 1 con un valor máximo de 4.92%,

Fase 2 el valor máximo de 4.89% y Fase 3 con un valor máximo de 5.19%, considerando que el porcentaje máximo permitido es del 8%.



**Figura 28.** Variable de Distorsión Armónica de Voltaje (THD) Tablero Distribución Primario B.

**Fuente:** Autor

#### 4.4.11 Tablero de Distribución Primario Armónicos Individuales.

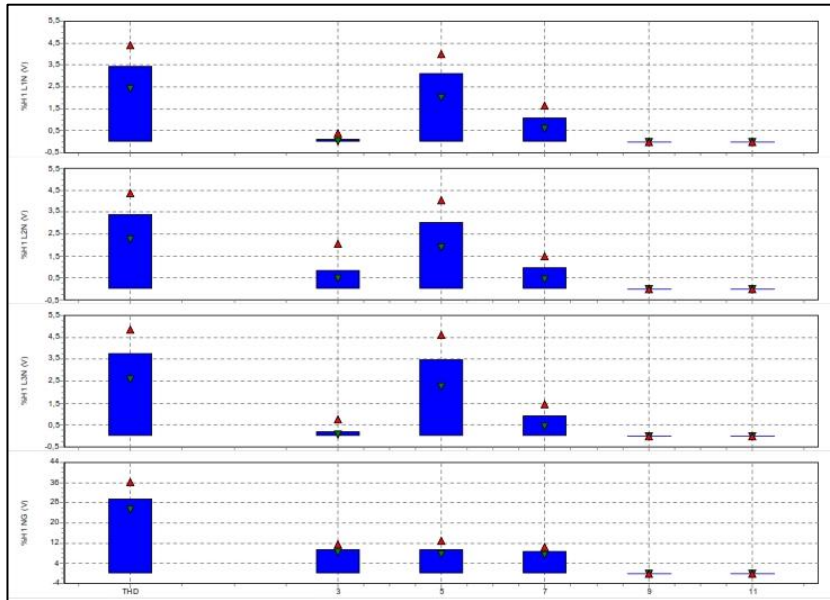
En la Tabla 59, muestra el valor de distorsión armónica individual por cada línea, donde el 5°. armónico muestra un porcentaje representativo del 3.5%, observamos que por el neutro tenemos un THD 31.07%, el 3°. armónico del 8%, 5°. armónico del 12.5% y 7°. Armónico del 10%.

**Tabla 55.** Análisis individual de Armónicos Tablero Distribución Primario B.

FASE	THD (%)	3° Armónico (%)	5° Armónico (%)	7° Armónico (%)	Cumple con la Normativa
L1	3.5	0.25	3.0	0.75	SI
L2	3.5	0.75	3.0	0.75	SI
L3	3.75	0.25	3.5	0.75	SI
Neutro	26	8	8	8	NO

**Fuente:** Autor

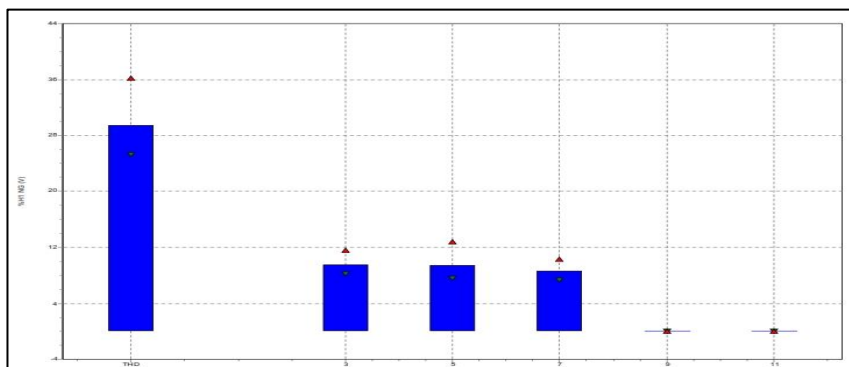
En la Figura 29, se puede evidenciar que el 5° Armónico con un porcentaje del 3.50 %, la Fase 2 se puede ver un incremento del 3° Armónico a 0.75 % frente a las dos líneas, en ambos casos no supera los límites establecidos en la ARCONEL 005/18 con respecto armónicos individuales.



**Figura 29.** Armónicos Impares - Múltiplos de 3 Tablero de Distribución Primario B.

Fuente: [44]

En la Figura 29, se puede evidenciar que THD del conductor del neutro, el cual se encuentra con un porcentaje del 26% fuera de los parámetros establecidos en la Normativa ARCONEL 005/18, como se puede evidencia en la Tabla 55, existe un retorno de Armónicos por el conductor del neutro.



**Figura 30.** Armónico en el neutro Tablero de Distribución Primario B.

Fuente: [44]

#### 4.4.12 Tablero de Distribución Primario B Flicker de Corta Duración

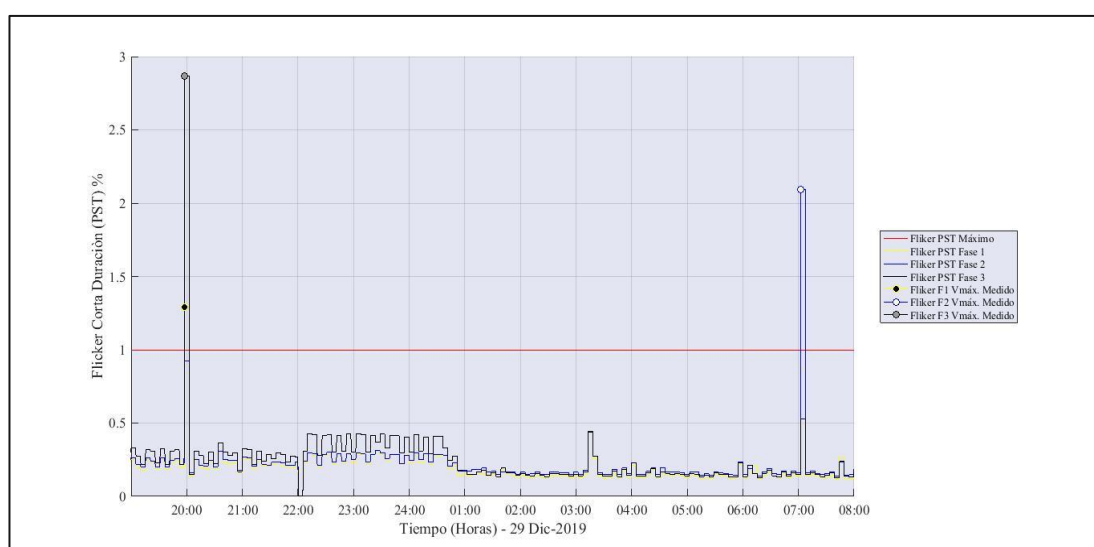
En la Tabla 56, muestra los valores obtenidos durante el periodo de medición entre 26 de diciembre 2019 al 02 enero del 2020, de acuerdo a la normativa vigente del ARCONEL 005/18, los valores se encuentran dentro del valor permitido Fase 1 con un valor medio de 0.20%, Fase 2 con un valor medio de 0.21% y la Fase 3 con un valor de 0.26% el valor máximo permitido debe ser < 1%.

**Tabla 56.** Valores Flicker de Corta Duración Tablero Distribución Primario B.

Variable Eléctrica Flicker Corta Duración	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Valor Ideal	Cumple Normativa
FASE 1	0	0.20	1.29	< 1	SI
FASE 2	0	0.21	2.01	< 1	SI
FASE 3	0	0.26	2.87	< 1	SI

**Fuente: Autor**

La Figura 31, del 29 de diciembre del 2019 se puede observar el valor más alto comprendido durante este periodo de análisis, Fase 1 con un 1.29%, Fase 2 con un 2.01% y Fase 3 con un valor de 2.87%, considerando que el valor ideal debe ser menor al 1%, estos valores no son constantes durante el periodo de análisis.



**Figura 31.** Variable Flicker de Corta Duración Tablero Distribución Primario B.

**Fuente: Autor**



## 4.5 Resultado de Calidad de Servicio Técnico

### 4.5.1 Resultado de Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)

En la Tabla 57, las interrupciones consecutivas que se han presentado lo largo del primer semestre del año, de acuerdo a la regulación vigente por ARCONEL 005/18 los límites máximos del indicador FMIK es de 4.0 y un límite máx. de indicar TTIK es de 8.0, los valores obtenidos durante este periodo de análisis cumplen con la normativa vigente, el mes de mayo es el que más incidencia de interrupciones externas reportado.

**Tabla 57.** Interrupciones FMIK

Mes	Número de Interrupciones Externas	kVA	kVA (Perdida)	FMIK ( $\frac{Fallas}{kVA}$ )	Cumple Normativa
Diciembre	0	0	0	0	SI
Enero	0	0	0	0	SI
Febrero	1	1500	1500	1.0	SI
Marzo	1	1500	431,42	0.29	SI
Abril	1	1500	1500	1,0	SI
Mayo	4	1500	1500	1.0	SI
Junio	1	1500	607.83	0,41	SI

**Fuente:** Autor

### 4.5.2 Resultado de Tiempo total de interrupción por kVA nominal instalado (TTIK)

En base a la regulación del ARCONEL 005/18 las interrupciones con un valor igual o mayor a 25 minutos serán tratadas independientemente, con el fin de determinar las causas y responsabilidades.

En la Tabla 58, se evidencia cuatro interrupciones consecutivas en el mes de mayo como un tiempo de interrupción de 2.5 horas, como consecuencia la pérdida total de suministro, siendo la mayor interrupción que se presentó en el sistema, pero cumple con los índices de calidad de servicio.

**Tabla 58.** Interrupciones TTIK

Mes	Número de Interrupciones Externas	kVA	kVA (Perdida)	Tiempo (Horas)	TTIK ( $\frac{\text{hora}}{\text{kVA}}$ )	Cumple Normativa
Diciembre	0	0	0	0	0	SI
Enero	0	0	0	0	0	SI
Febrero	1	1500	1500	1	1.0	SI
Marzo	1	1500	431.42	0.25	0.07	SI
Abril	1	1500	1500	1.25	1.25	S
Mayo	4	1500	1500	2.5	2.5	SI
Junio	1	1500	607.83	0.5	0.10	SI

Fuente: Autor

En caso de no cumplir con los límites admisibles de los indicadores de calidad de servicio, se deberá calcular la energía no suministrada (ENS), con dos indicadores como son el índice de frecuencia anual de interrupción (FAIc) y el índice de duración anual de interrupción (DAIc).

En la Tabla 59, el costo de la energía no suministrada es menor al costo de producto no producido durante el periodo de interrupción.

**Tabla 59.** Costo de las interrupciones.

Mes	Energía no Suministrada (kWh)	Valor no Facturado (\$)	Producto No Producido (kg)	Costo de Producto no Producido (\$)
Febrero	1200	\$ 96.0	6000	\$ 24000
Marzo	345.136	\$ 27,61	6000	\$ 24000
Abril	1200	\$ 96.0	12000	\$ 48000
Mayo	3600	\$ 288.0	18000	\$ 72000
Junio	486.26	\$ 38.90	6000	\$ 24000
	<b>Total</b>	<b>\$ 546.51</b>		<b>\$ 192000</b>

Fuente: Autor

#### 4.6 Resultado de la Demanda Periodo de Análisis

En la Tabla 60, muestra el factor de demanda, siendo la relación de la demanda mínima, máxima y media de la carga total conectada expresada en porcentaje, el porcentaje medio es de 29.53 % de la carga que se está alimentada y el valor máximo corresponde al 57.88 % de la carga que se está alimentada.

**Tabla 60.** Factor de uso de demanda Tablero de distribución Primario A.

Demanda	Valor Mínimo (kW)	Valor Medio (kW)	Valor Máximo (kW)
Tablero A	11.8	472.4	926
Factor de uso a Demanda %	0.74%	29.53%	57.88%

**Fuente: Autor**

En la Tabla 61, obtenemos el factor de utilización que indica la capacidad máxima de utilización del sistema durante el pico de carga en este caso es del 77.2 %, el factor de carga que es la tasa de utilización o eficiencia del sistema frente al uso de energía, el valor obtenido es del 51 % y el factor de planta se encuentra en el 39.37 % indica la relación entre la energía real consumida frente a su capacidad.

**Tabla 61.** Análisis de Demanda Tablero distribución Primaria A

Factor de Utilización	77.2%
Factor de Planta	39.37 %
Factor de Carga	51%

**Fuente: Autor**

En la Tabla 62, muestra el factor de demanda, siendo la relación de la demanda en este caso mínima, máxima y media de la carga total conectada expresada en porcentaje, el porcentaje medio es de 4.10% de la carga que se está alimentada y el valor máximo corresponde al 11.41% de la carga que se está alimentada.

**Tabla 62.** Factor de uso de demanda Tablero de distribución Primaria B

Demanda	Valor Mínimo (kW)	Valor Medio (kW)	Valor Máximo (kW)
Tablero B	14.7	65.58	198.5
Factor de uso a Demanda %	0,92%	4.10%	11.41%

**Fuente: Autor**

En la Tabla 63, obtenemos el factor de utilización que indica la capacidad máxima de utilización del sistema durante el pico de carga en este caso es del 16.54%, el factor de carga que es la tasa de utilización o eficiencia del sistema frente al uso de energía, el valor obtenido es del 33%, el factor de planta se encuentra en el 5.47% indica la relación entre la energía real consumida frente a su capacidad.

**Tabla 63.** Análisis de Demanda Tablero distribución Primaria B

Factor de Utilización	16.54%
Factor de Planta	5.47 %
Factor de Carga	33%

Fuente: Autor

#### 4.7 Resultado de la Demanda Anual Planta Sigmplast

En la tabla 64, se muestra los meses en el año donde la demanda ha sido la más alta con referencia a otros meses entre ellos el me de octubre del 2019 con el 57% y un factor de planta de 76%.

**Tabla 64.** Análisis de la demanda anual

FECHA	Potencia Activa (KW)	Energía (KWh)	Factor de Demanda (%)	Factor de Planta (%)
Enero 19	671.61	483557.2	42%	56%
Febrero 19	727.57	523853.6	45%	61%
Mazo 19	706.96	509013.8	44%	59%
Abril 19	716.46	515848.2	45%	60%
Mayo 19	751.47	541059.2	47%	63%
Junio 19	788.69	567856.6	49%	66%
Julio 19	787.04	566671.6	49%	66%
Agosto 19	885.51	637566.4	55%	74%
Septiembre 19	881.42	634620.4	55%	73%
Octubre 19	916.34	659764.0	57%	76%
Noviembre 19	750.32	540232.9	47%	63%
Diciembre 19	816.16	587633.4	51%	68%
Enero 20	637.86	459256.0	40%	53%
Febrero 20	709.39	510758.8	44%	59%
Marzo	719.49	518035.6	45%	60%

Fuente: Autor

En la Tabla 65, se muestra el factor de utilización anual de la empresa que indica la capacidad máxima de utilización del sistema durante el pico de carga en este caso es del 76.36%, el factor de carga que es la tasa de utilización o eficiencia del sistema frente al uso de energía, el valor obtenido es del 69.61%.

**Tabla 65.** Factores de la demanda anual.

Factor de Utilización	76.36%
Factor de Carga	69.61%

Fuente: Autor

La Figura 32, se muestra el consumo de energía en lo que corresponde al año 2019, siendo el mes de octubre su mayor consumo energético.

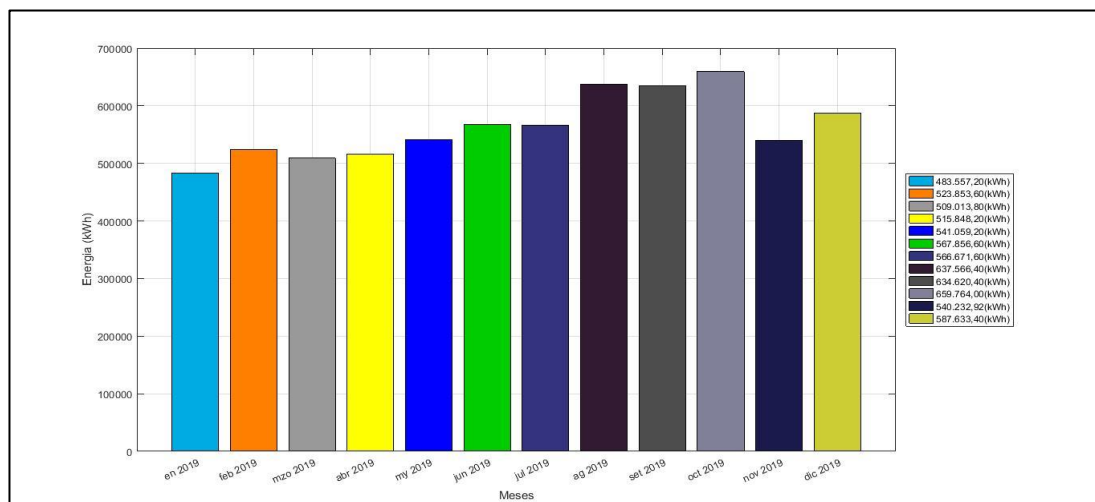


Figura 32. Consumo energético de la empresa Sigmaplast.

Fuente: Autor

#### 4.8 Resultado Sistema Puesto a Tierra Integrado

El sistema puesto a tierra tiene que garantizar la seguridad de las personas y equipos, que son parte de la normativa IEEE 142-2007 el valor máximo permitido de resistencia de puesta a tierra es de 5 Ohmios.

Tabla 66. Valores máximos de resistencia de puesta a tierra.

Utilización	Valor máximo de resistencia de puesta a tierra $\Omega$
Estructuras de líneas de transmisión	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión $V \geq 115kV$	1
Subestaciones de media tensión	10
Subestaciones de media tensión de uso interior	10
Protección contra rayos	4
Neutro de acometida en baja tensión	25
Descargas electroestáticas	25
Equipos electrónicos sensibles	5

Fuente: [27]

De acuerdo a los valores de la Tabla 66, los equipos electrónicos sensibles deben poseer una resistencia de puesta a tierra de 5 Ohmios el cual hemos considerado como valor máximo dentro de nuestro estudio.

Los valores obtenidos en la cámara de transformación son de 0.718 ohmios muy cercano al valor obtenido por el mantenimiento realizado a la cámara de transformación en el año 2018 que fue de 0.92 ohmios

En la Tabla 67, los valores obtenidos durante el análisis en los tableros principales y tableros secundarios se encuentran dentro del valor máximo de 5 ohmios, cumpliendo de acuerdo a la norma IEEE 142 para equipos electrónicos.

**Tabla 67.** Valores de resistencia

		Distancia (3m)	Distancia (6m)	Distancia (9m)
#	Ubicación Sigmaplast	Resistencia (Ohm)	Resistencia (Ohm)	Resistencia (Ohm)
1	Cámara de Transformación	0.93	0.82	0.70
2	TDP A	2.92	2.88	1.77
3	TDP B	2.86	2.12	1.66
4	TDS Corte	2.78	2.02	1.56
5	TDS Mantenimiento	2.82	2.01	1.45
6	TDS Fotopolímeros	2.95	2.32	1.68

**Fuente: Autor**

En la Tabla 63, de acuerdo con la resistividad del suelo este cumple con las características de un suelo tipo humus de 10 a 150  $\Omega \cdot m$ .

**Tabla 68.** Tabla de Resistividad del Suelo.

#	Ubicación Sigmaplast	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Promedio Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$
1	Cámara de Transformación	17.53	30.91	39.58	29.34
2	TDP A	55.04	89.72	100.09	81.61
3	TDP B	53.90	79.92	93.87	75.90
4	TDS Corte	52.40	75.77	88.21	72.13
5	TDS Mantenimiento	53.15	75.77	81.99	70.30
6	TDS Fotopolímeros	55.60	87.46	95.00	79.35

**Fuente: Autor**

En la figura 33, se puede observar un extracto de las mediciones realizadas.



**Figura 33.** Imágenes de las mediciones en el Sistema Integrado.

**Fuente: Autor**

#### **4.9 Resultado Sistema Puesto a Tierra Aislado**

Dentro del sistema a tierra aislado nombraremos todas las conexiones que se han realizado a través de barras enterradas directamente a tierra, que se conectan directamente a un centro de carga específico o a su vez sirve como medio de descarga estática que pueda producirse.

En la tabla 69, se puede observar los valores obtenidos que no superan los 5 ohmios cumpliendo con la normativa IEEE 142-2007.

**Tabla 69.** Valores del Sistema puesto a tierra aislado

		Distancia (3m)	Distancia (6m)	Distancia (9m)
#	Ubicación Sigmaplast	Resistencia (Ohm)	Resistencia (Ohm)	Resistencia (Ohm)
1	Pararrayos	0.96	0.57	0.27
2	Recuperadora 1	2.12	1.65	1.23
3	Recuperadora 2	0.87	0.64	0.20
4	Recuperadora 3	1.78	1.45	0.90
5	Bodega de Solventes	1.87	1.56	0.90
6	Bodega de Tintas	0.89	0.67	0.20
7	UPS Laboratorio	0.83	0.45	0.16
8	UPS Sistemas	0,95	0.68	0.12

**Fuente: Autor**

En la Tabla 70, de acuerdo con la resistividad del suelo este cumple con las características de un suelo tipo humus de 10 a 150  $\Omega \cdot m$ .

**Tabla 70.** Tabla de Resistividad del Suelo.

#	Ubicación Sigmaplast	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$	Promedio Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$
1	Pararrayos	18.10	21.49	15.27	18.28
2	Recuperadora 1	39.96	62.20	69.55	57.24
3	Recuperadora 2	16.40	24.13	11.31	17.28
4	Recuperadora 3	33.55	54.66	50.89	46.38
5	Bodega de Solventes	35.25	58.81	50.89	48.32
6	Bodega de Tintas	16.78	25.26	11.31	17.78
7	UPS Laboratorio	15.65	16.96	0.05	13.89
8	UPS Sistemas	17.91	25.64	6.79	16.78

**Fuente:** Autor

En la figura 34, se puede observar un extracto de las mediciones realizadas.



**Figura 34.** Imágenes de las mediciones en el Sistema Aislado.

**Fuente:** Autor

## 4.10 Resultado Termografía

Bajo la normativa AST 2017 se ha realizado la evaluación termográfica de los siguientes puntos.

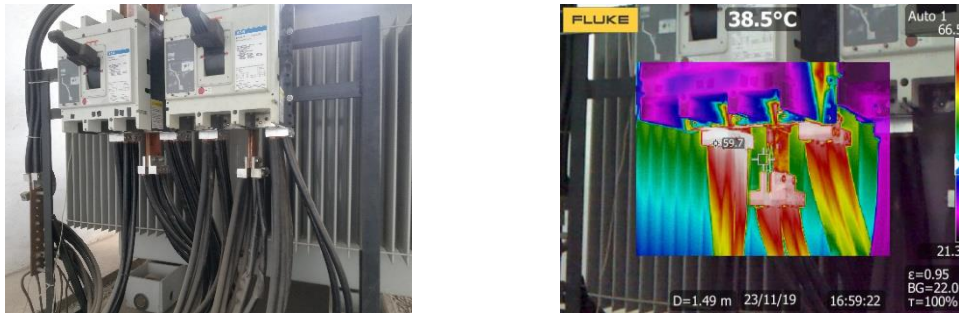
### 4.10.1 Termografía Breaker A Cámara de Transformación

Descripción Ubicación: Cámara de Transformación 2000 kVA  
Equipo Elemento: Breaker Cámara Transformación A



Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 35, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura superior a los 40°C considerado como nivel 4, acciones correctivas inmediatas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos se encuentra dentro de los parámetros establecidos, debe revisarse si existe un mal ajuste mecánico y realizar un nuevo monitoreo.



**Figura 35.** Termografía Cámara de Transformación Breaker A.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 71, muestra los valores durante la medición realizada el 23 de noviembre del 2019, la distancia de medición 1.49m la temperatura del objetivo 59.7 °C.

**Tabla 71.** Valores de la medición.

Fecha medición	23-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	59.7°C
Distancia del Objeto	1.49m

**Fuente:** Autor

#### **4.10.2 Termografía Breaker B Cámara de Transformación**

Descripción Ubicación: Cámara de Transformación  
Equipo Elemento: Breaker Cámara Transformación B  
Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 36, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura superior a los 33°C, considerado como nivel 3, se debe monitorear

hasta realizar las acciones correctivas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, debe revisarse si existe un mal ajuste mecánico y realizar un nuevo monitoreo.



**Figura 36.** Termografía Cámara de Transformación Breaker B.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 72, muestra los valores durante la medición realizada el 23 de noviembre del 2019, la distancia de medición 1.06m la temperatura del objetivo 33 °C.

**Tabla 72.** Valores de la medición

Fecha de medición	23-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	33 °C
Distancia del Objeto	1.06m

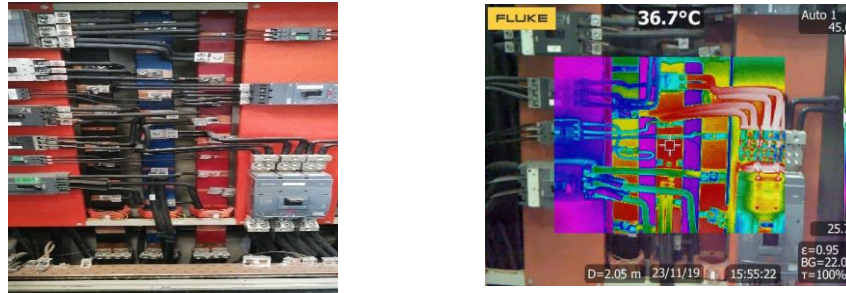
**Fuente:** Autor

#### 4.10.3 Termografía Tablero Distribución Primario A

Descripción Ubicación: Tablero Distribución Primaria A  
 Equipo Elemento: Barras de Conexión  
 Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 37, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura superior a los 36.5°C, considerado como nivel 3, se debe monitorear hasta realizar las acciones correctivas, no se evidencia un mal dimensionamiento de

los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, debe revisarse si existe un mal ajuste mecánico y realizar un nuevo monitoreo.



**Figura 37.** Termografía Tablero Distribución Primaria A

**Fuente:** Autor

En la Tabla 73, muestra los valores durante la medición realizada el 23 de noviembre del 2019, la distancia de medición 2.05 m la temperatura del objetivo 36.7 °C

**Tabla 73.** Valores de termografía Tablero Distribución Primaria A

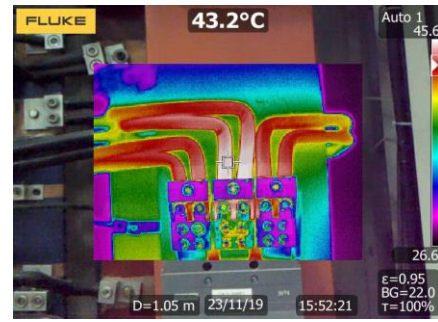
Fecha de medición	23-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	18°C
Temperatura medida del objeto	36.7 °C
Distancia del Objeto	2.05m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.4 Termografía Breaker Principal Facilidades

Descripción Ubicación: Tablero de Distribución Primario  
 Equipo Elemento: Breaker Principal Facilidades  
 Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 38, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura superior a los 43.2 °C, considerado como nivel 4, acciones correctivas inmediatas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, debe revisarse si existe un mal ajuste mecánico y realizar un nuevo monitoreo.



**Figura 38.** Termografía breaker principal facilidades.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 74, muestra los valores durante la medición realizada el 23 de noviembre del 2019, la distancia de medición 1.05 m la temperatura del objetivo 43.2 °C

**Tabla 74.** Valores de termografía breaker principal facilidades

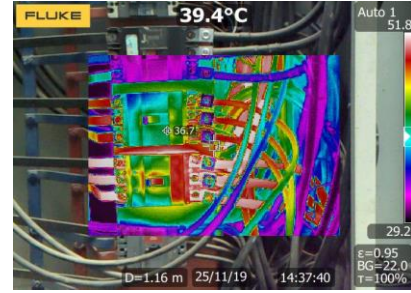
Fecha de medición	23-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	18°C
Temperatura medida del objeto	43.2°C
Distancia del Objeto	1.05 m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.5 Termografía Tablero Distribución Secundario Facilidades

Descripción Ubicación: Tablero Distribución Secundaria Facilidades  
 Equipo Elemento: Breaker Compresor GA 45  
 Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 39, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura superior a los 39.5°C, considerado como nivel 3, se debe monitorear hasta realizar las acciones correctivas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, debe revisarse si existe un mal ajuste mecánico y realizar un nuevo monitoreo.



**Figura 39.** Termografía tablero de distribución secundario Facilidades

**Fuente:** Autor

En la Tabla 75, muestra los valores durante la medición realizada el 25 de noviembre del 2019, la distancia de medición 1.16 m la temperatura del objetivo 39.4 °C.

**Tabla 75.** Valores de termografía tablero distribución secundario Facilidades

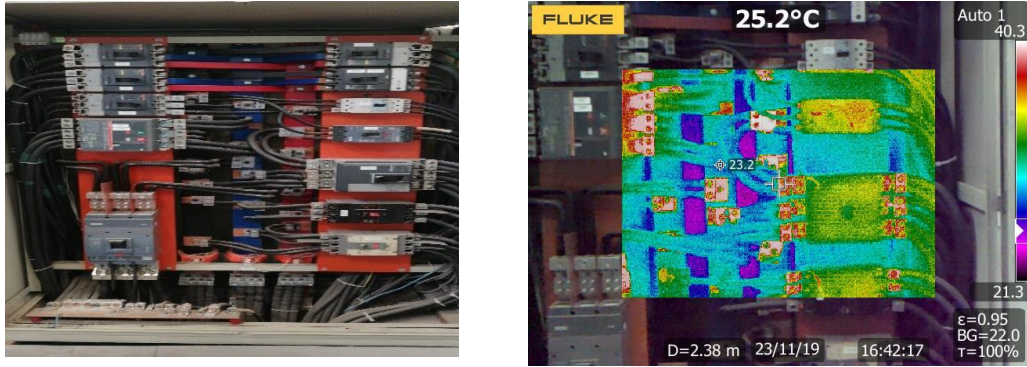
Fecha de medición	25-11-2019
Humedad Relativa	87%
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	39.4°C
Distancia del Objeto	1.16 m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.6 Termografía Tablero Distribución Primario B

Descripción Ubicación:	Tablero Distribución Principal B
Equipo Elemento:	Barras de Conexión
Tipo de Inspección:	Termografía Directa

En la Figura 40, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura de 25.2 ° C, considerado como nivel 3, se debe monitorear hasta realizar las acciones correctivas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, monitoreo y realizar un ajuste mecánico.



**Figura 40.** Termografía tablero de distribución primaria B.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 76, muestra los valores durante la medición realizada el 23 de noviembre del 2019, la distancia de medición 2.38 m la temperatura del objetivo 25.2 °C.

**Tabla 76.** Valores tablero de distribución primaria B.

Fecha de medición	23-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	25.2°C
Distancia del Objeto	2.38m

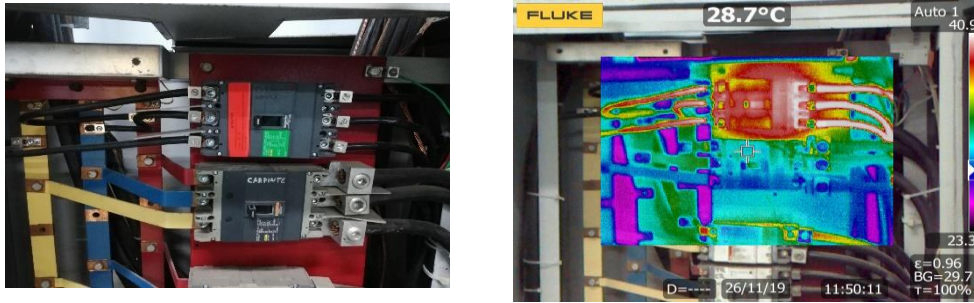
**Fuente:** Autor

#### 4.10.7 Termografía Tablero de Distribución Secundario Rotograbado

Descripción Ubicación:	Tablero de Distribución Secundario Rotograbado.
Equipo Elemento:	Breaker Maquina Desmetalizadora
Tipo de Inspección:	Termografía Directa

En la Figura 41, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura de 38.7 ° C, considerado como nivel 3, se debe monitorear hasta realizar las acciones correctivas, no se evidencia un mal dimensionamiento de los conductores, la presencia de armónicos está dentro de los parámetros establecidos, monitoreo y realizar un ajuste mecánico.





**Figura 41.** Termografía tablero de distribución secundario Rotograbado.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 77, muestra los valores durante la medición realizada el 26 de noviembre del 2019, la distancia de medición 0.56 m la temperatura del objetivo 38.7 °C.

**Tabla 77.** Valores termografía de distribución secundario Rotograbado

Fecha de medición	26-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	13°C
Temperatura medida del objeto	38.7°C
Distancia del Objeto	0.56 m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.8 Termografía Tablero de Distribución Secundario Selladoras

Descripción Ubicación: Tablero Distribución Secundario Selladoras  
 Equipo Elemento: Alimentación Caja Térmica  
 Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 42, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura de 43.5 °C, considerado como nivel 4, arreglo inmediato, no se evidencia un mal ajuste mecánico.



**Figura 42.** Termografía alimentación caja térmica.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 78, muestra los valores durante la medición realizada el 25 de noviembre del 2019, la distancia de medición 0.41 m la temperatura del objetivo 43.6 °C.

**Tabla 78.** Valores termografía tablero de distribución secundario selladoras

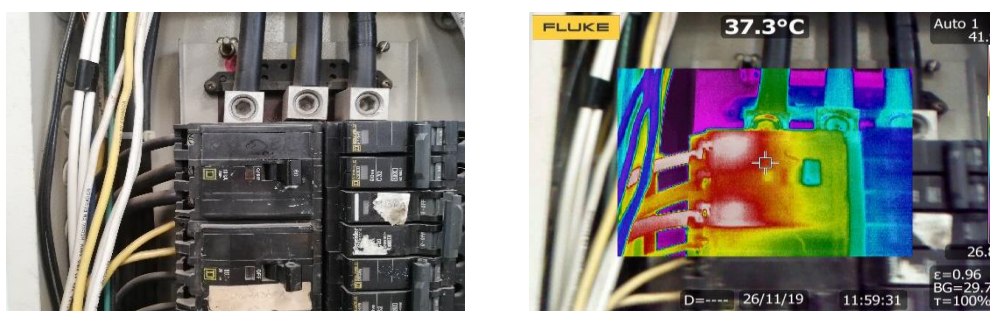
Fecha de medición	25-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	43.6°C
Distancia del Objeto	0.41 m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.9 Termografía Tablero Distribución Secundaria Derivación 380V.

Descripción Ubicación: Tablero Distribución Secundaria Derivación 380 V  
Equipo Elemento: Breaker Máquina Crobrizadora Simple  
Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 43, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura de 37.5°C, considerado como nivel 3, monitorear y tomar acciones correctivas, se evidencia un mal ajuste de las protecciones y centros de carga que deben ser cambiados ya que en el área hay la presencia de químicos.



**Figura 43.** Termografía tablero distribución secundario Crobrizadora Simple.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 79, muestra los valores durante la medición realizada el 26 de noviembre del 2019, la distancia de medición 0.45 m la temperatura del objetivo 37.3 °C.



**Tabla 79.** Valores de termografía tablero distribución secundario Crobrizadora Simple.

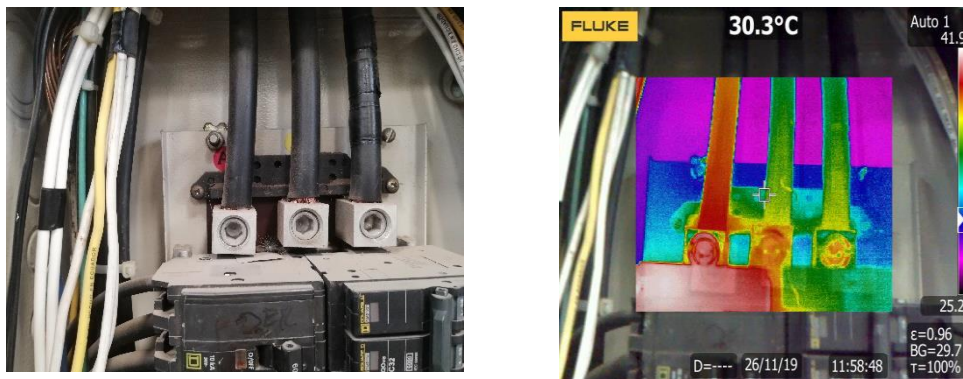
Fecha de medición	26-11-2019
Humedad Relativa	83%
Temperatura Ambiente	18°C
Temperatura medida del objeto	37.3°C
Distancia del Objeto	0.45 m

**Fuente:** Autor

#### 4.10.10 Termografía Tablero Distribución Secundario Derivación 380V.

Descripción Ubicación: Tablero Distribución Secundaria Derivación 380 V  
Equipo Elemento: Alimentación Caja Térmica 380V  
Tipo de Inspección: Termografía Directa

En la Figura 44, de acuerdo a la normativa ANSI NETA ATS-2017 se encuentra en una temperatura de 38.8 ° C, considerado como nivel 3, monitorear y tomar acciones correctivas, en la L1 se evidencia un desbalance de carga, las cargas no están repartidas en el centro de carga, hay máquinas que se encuentran deshabilitadas.



**Figura 44.** Termografía Alimentación centro de carga 380V.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 80, muestra los valores durante la medición realizada el 26 de noviembre del 2019, la distancia de medición 0.45 m la temperatura del objetivo 38.8 ° C.

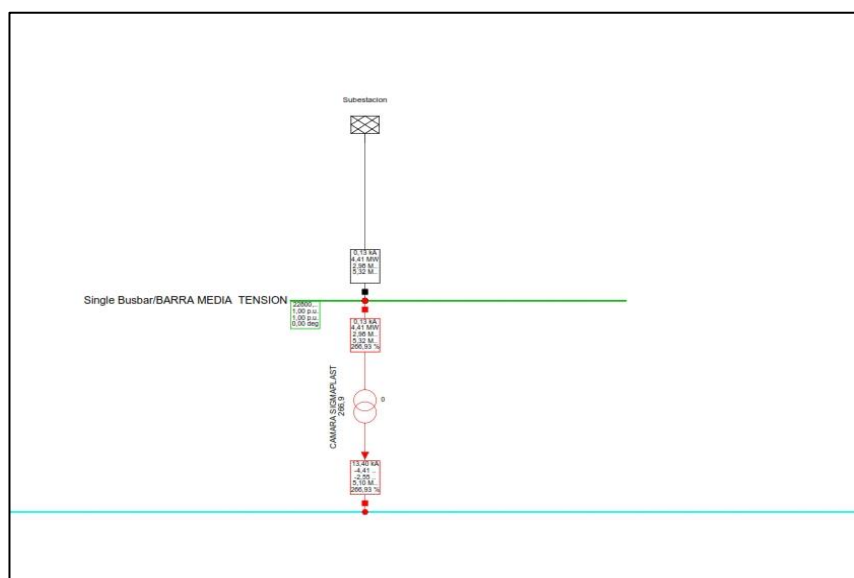
**Tabla 80.** Valores de termografía alimentación centro de carga 380V

Fecha de medición	26-11-2019
Humedad Relativa	83 %
Temperatura Ambiente	17°C
Temperatura medida del objeto	38.8°C
Distancia del Objeto	0,45 m

**Fuente: Autor**

#### 4.11 Flujo de Potencia.

Tal como lo muestra la Figura 45, si la planta operaría a su máxima capacidad la cámara de transformación estaría con un porcentaje de carga del 266.93% excediendo su capacidad de operación.



**Figura 45.** Cámara de Transformación 2000 kVA simulación DigSilent.

**Fuente: Autor**

En la Figura 46, se muestra que la línea que se dirige al área de Rotograbado, se encuentra con un porcentaje de carga 107.99% y una caída de voltaje 0.91 p.u., el transformador que eleva el voltaje a 380 V de 206.11%, el mismo que trabajando a la máxima capacidad, presentaría mucha ineficiencia.

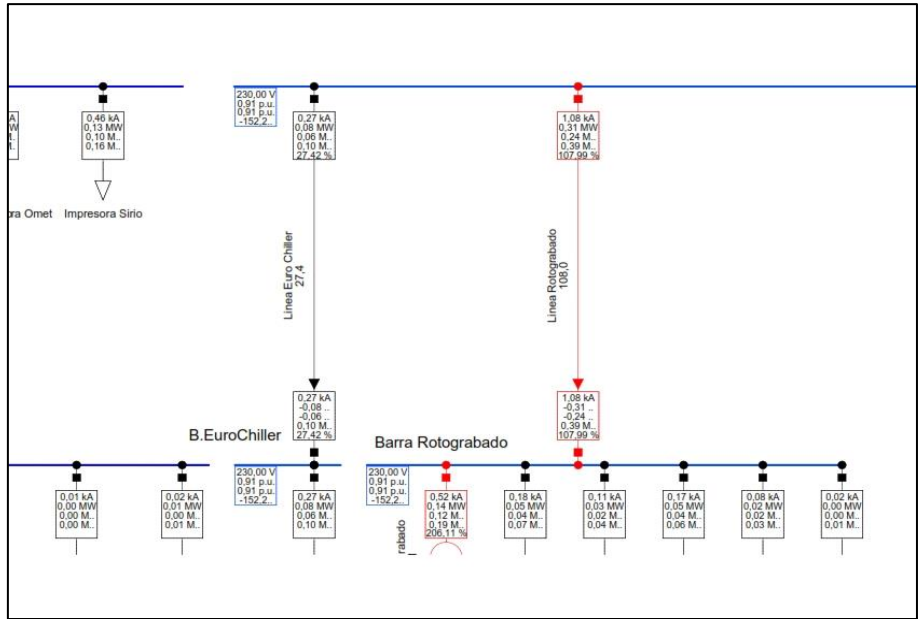


Figura 46. Línea del Área Rotograbado Simulación DigSilent.

Fuente: Autor

En la Figura 49, se muestra que la línea que se dirige al área de Sistemas, se encuentra con un porcentaje de carga 105.45% y una caída de voltaje 0.91 p.u. considerando que se encuentre a su máxima capacidad de carga.

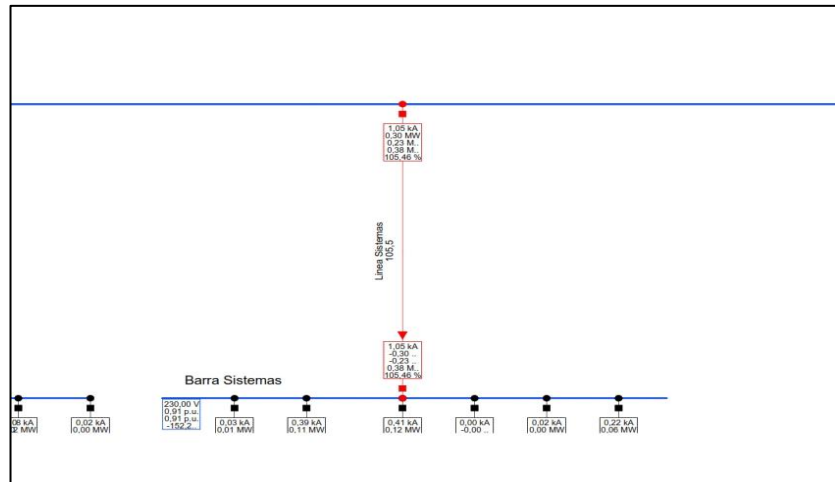
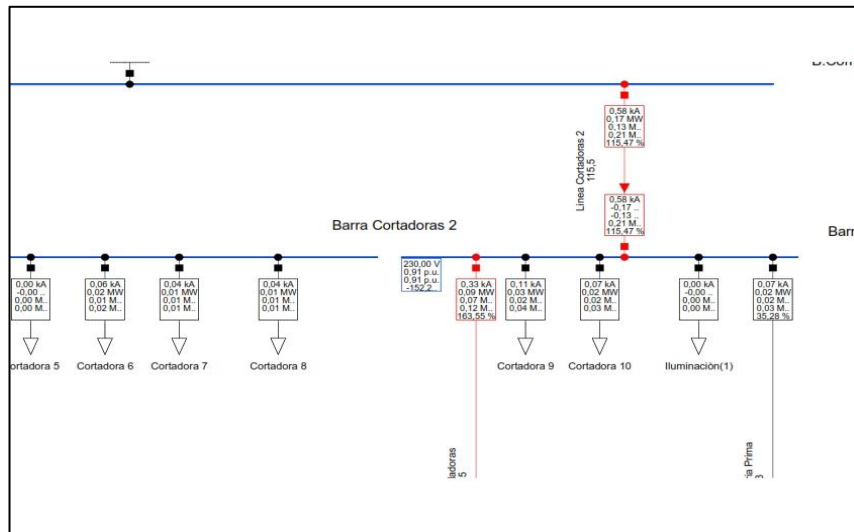


Figura 47. Línea de Sistemas Simulación DigSilent.

Fuente: Autor

En la Figura 48, se muestra que la línea que se dirige al área Corte, se encuentra con un porcentaje de carga 115.45% y una caída de voltaje 0.91 p.u. considerando que se encuentre a su máxima capacidad de carga.



**Figura 48.** Línea de Sistemas Simulación DigSilent.

**Fuente:** Auto

## ACCIONES CORRECTIVAS

Al hacer la evaluación técnica de los sistemas eléctricos de la empresa SIGMAPLAST se propone las siguientes acciones correctivas:

Implementar un procedimiento para desconexión de equipos, trabajos energizados y trabajos desenergizados tales como tableros de distribución primarios, tableros de distribución secundarios, equipos, paneles de control, centros de carga, medidores que requieran ser examinados, ajustados, reparados o mantenidos, para garantizar la seguridad de las personas y evitar accidentes, el procedimiento deberá incluir una metodología adecuada de identificación mediante el uso de dispositivos de bloqueo o etiquetas de acuerdo a la normativa NFPA 70E Artículo-130-5.

Se deberá mantener una capacitación continua al personal, disponer EPP adecuados, identificación de equipos, responsables directos, métodos de verificación, método desenergización, etiquetas, liberación para volver al servicio y proceso para restablecer el servicio en condiciones seguras, de acuerdo a la normativa NFPA 70E Artículo 120. Deberá mantener un diagrama unifilar en condición legible, accesible y actualizado que se disponga cuando se realicen los diferentes trabajos eléctricos respectivos, deberá incluir el voltaje nominal, frecuencia, corriente y potencial a la cual están los equipos, de acuerdo al Artículo 205 NFPA 70E

Se deberá implementar un programa de mantenimiento preventivo al Sistema puesto a tierra donde se realice ajuste, reemplazo de partes, mediciones, con una frecuencia definida, de acuerdo a la normativa NFPA 70E 205.6.

Se deberá aterrizar puertas de los gabinetes al sistema puesta a tierra, de igual manera existe puntos de descarga antiestática que necesitan ser reemplazados, cambio de conductores, lagartos y borneras.

Se deberá reemplazar los centros de carga que estén en malas condiciones internas que puedan exponer un peligro al intervenir en los trabajos, las protecciones que se encuentran destinadas para equipos breakers para tableros Square D deberán ser reemplazados por un centro de carga moldeada, se acuerdo a la NFPA 70E 205.13.

Se deberá realizar una inspección y análisis a los transformadores e interruptores automáticos y considéralos dentro del Programa de Mantenimiento Preventivo determinar frecuencias de inspecciones de acuerdo al Capítulo 5 NFPA 70.

Se deberá implementar la compra de equipos de instrumentación, que permitan la medición de torque, vibración, velocidad, termografía, sistema puesto a tierra de acuerdo al Capítulo 7 NFPA 70B.

Se deberá implementar un programa de mantenimiento eléctrico donde se evidencie la limpieza, evitar el contacto con el polvo donde pueda disminuir la capacidad de los motores o transformadores, tableros de potencia y disminuye su eficiencia de operación.

Se deberá analizar el aislamiento en los conductores donde se evidenció una temperatura excesiva, realizar el ajuste mecánico, reemplazar bornes, mejorar la ventilación, para la salida del tablero de distribución primario se deberá colocar canaleta que permitan que evite el calentamiento de cables.

Se deberá implementar un estudio de cortocircuito, bajos condiciones de falla, las corrientes de cortocircuito pueden causar ciertos daños al sistema y equipos.

Se deberá implementar el mantenimiento preventivo al sistema de iluminación, reemplazo de lámparas incandescentes, fluorescentes a lámparas led, permitirá mejorar la iluminación en el sitio de trabajo.

Se deberá corregir el factor de potencia, existen penalizaciones por el bajo factor de potencia por el ente regulador, la propuesta es colocar un banco capacitores considerando el siguiente cálculo, con los datos obtenidos durante el periodo de análisis de acuerdo a la siguiente Tabla 81.

**Tabla 81.** Variable eléctrica de potencia

VARIABLES ELÉCTRICAS	VALORES
Factor de Potencia	0.88
Potencia Activa (kW)	472.40
Potencia Reactiva (kvar)	142,67
Potencia Aparente (kVA)	500

**Fuente: Autor**

En la Tabla 82, se muestra la potencia activa por fases, la suma de potencia en cada una de las fases da como resultado la potencia activa trifásica de 472.40 kW.

**Tabla 82.** Potencia Activa

Potencia Activa	Valores (kW)
Fase A	161.93
Fase B	163.67
Fase C	146.80
Potencia Trifásica	472.40

**Fuente: Autor**

En la Tabla 83, se ha considerado el factor de potencia de 0.88 como valor específico para este caso de estudio, la suma de potencia en cada una de las fases da como resultado la potencia aparente trifásica de 536.80 kVA.

**Tabla 83.** Potencia Aparente.

Potencia Aparente	Valores (kVA)
Fase A	184.01
Fase B	185.98
Fase C	166.81
Potencia Trifásica	536.80

**Fuente: Autor**

En la Tabla 84, se muestra el cálculo realizado para obtener la potencia reactiva, considerando que el factor de potencia es 0.88 y el ángulo es  $31.50^\circ$ .

**Tabla 84.** Potencia Reactiva

Potencia Reactiva	Valores (kvar)
Q Fase A	96.14
Q Fase B	97.17
Q Fase C	87.15
Potencia Trifásica	280.46

**Fuente: Autor**

En la Tabla 85, se muestra la corrección del factor de potencia a 0.98 con un ángulo de  $12.73^\circ$ , obteniendo los valores que se describen en la siguiente Tabla.

**Tabla 85.** Potencia reactiva corrección factor de potencia

	Potencia Activa (kW)	Potencia Aparente (kVA)	Potencia Reactiva Q (kvar)
Fase A	161.93	165.23	36.40
Fase B	163.67	167.01	36.80
Fase C	146.80	149.79	33.00
Potencia Trifásica	472.40	482.03	106.20

Fuente: Autor

En la Tabla 86, se muestra los valores de potencia reactiva de compensación, siendo la diferencia entre la potencia reactiva real y la potencia de corrección, obteniendo  $Q_c$  en este caso de 174.26 kvar.

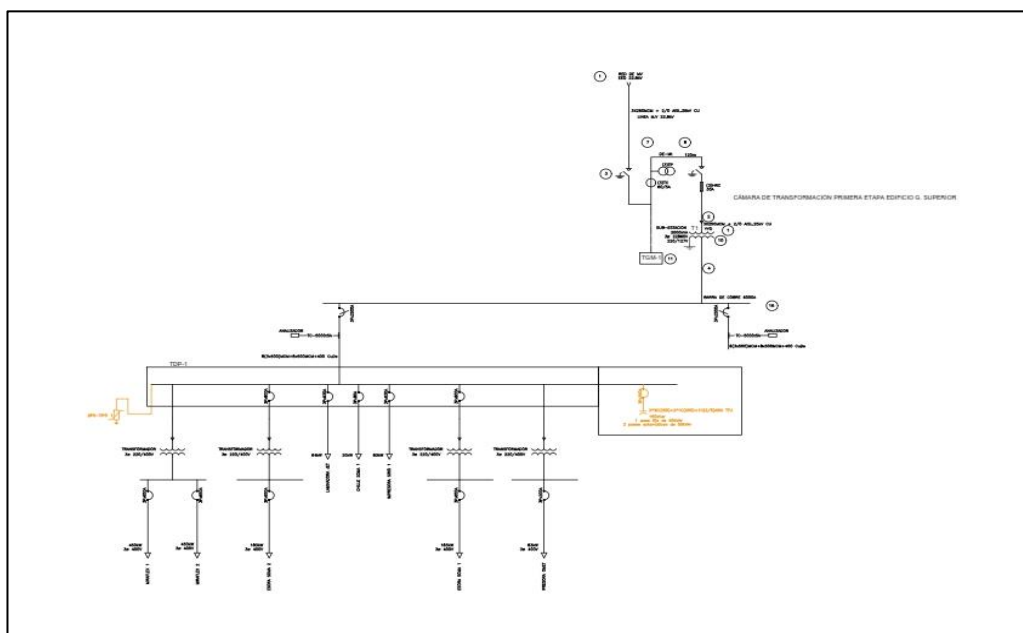
Tabla 86. Potencia reactiva  $Q_c$ .

Potencia Reactiva $Q_c$	Valores (kvar)
$Q_c$ Fase A	59.74
$Q_c$ Fase B	60.37
$Q_c$ Fase C	54.15
Potencia Trifásica	174.26

Fuente: Autor

Considerando lo expuesto se puede instalar un banco de capacitores de 180 kvar.

En la Figura 45, se muestra la ubicación en el Tablero de Distribución Primario A y posterior en el Tablero de Distribución Secundario B.





**Figura 49.** Banco de Capacitores.

**Fuente: Autor**

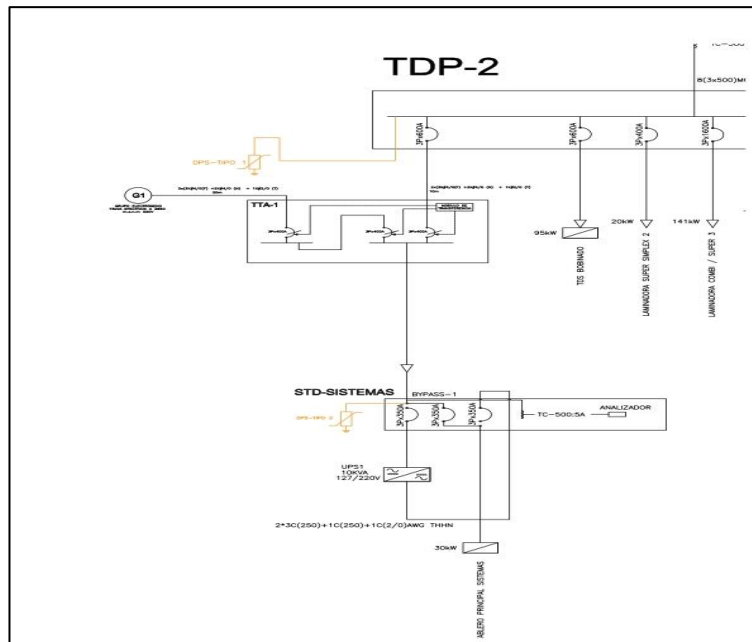
Se deberá implementar un análisis detallado por máquina e identificar qué equipo se encuentra generando la mayor cantidad de armónicos, en este caso por ser una planta que contiene una gran cantidad de equipo no lineales, se puede mejorar el blindaje de conductores, usar filtros para bloquear o derivar armónicos y equilibrio de cargas monofásicas.

Se deberá implementar filtros armónicos pasivos para la reducción de los armónicos de corriente de entrada de cargas no lineales, que puede causar el calentamiento de los conductores de energía, transformadores y motores.

Se deberá implementar un supresor de transientes, de acuerdo a la capacidad de corriente del tablero, es decir que deberá tener un supresor de transientes por cada tablero permitirá atenuar los voltajes transitorios de alta magnitud que se presenten en un tiempo muy corto que puedan dañar los elementos electrónicos.

Se deberá implementar como parte de mejora continua en caso de incrementar carga, equipos que permitan bajar el porcentaje de desequilibrio de tensiones con reguladores AVR, equilibrio de cargas. Se deberá implementar el cambio de luminarias incandescentes, fluorescentes a led esto permitirá bajar todavía más índices de perturbaciones por el efecto Flicker.

Se deberá habilitar la unidad electrógena Wilson con una potencia de 75kVA que se conectará a través del TTA al breaker de sistemas, permitiendo que el Servidor siempre este energizado, cuando existan interrupciones externas, posteriormente se deberá pensar si existe cargas adicionales que pueden ingresar entre ellas iluminación.



**Figura 50.** Generador 75kVA TTA- Breaker de Sistemas.

**Fuente:** Autor

La empresa Sigmaplast posee en sus tableros de distribución primaria dos medidores los cuales permiten visualizar el consumo energético y diferentes variables eléctricas, pero estos no registran valores ni acontecimientos que se pueden presentar en casos de desviaciones, para lo cual deberá implementar un monitoreo continuo o software que permita la recolección de datos.

Se deberá cambiar la iluminaria incandescente tipo campana con un consumo de 380 W, por una iluminaria led tipo campana con un consumo de 120 W, esto va acompañado con una automatización del sistema de iluminación, que permita un ahorro energético previsto del 10% del consumo actual.

Se deberá implementar un sistema de automatización de iluminación, que permita el apagado automático del sistema e implementar una sectorización por áreas que permita encender el sistema solo cuando sea necesario.

Se deberá cambiar los aires acondicionados obsoletos por unos más eficientes, se deberá verificar si en los sitios donde se encuentran no presentan fugas que permitan un excesivo consumo del equipo.

Se deberá realizar auditorías constantes para detectar oportunidades de mejora de ahorro energía no solo eléctrica, sino climatización, refrigeración, combustibles y agua.

Se deberá corregir el factor de potencia con la finalidad de mejorar la calidad de energía y una eficiencia energética.

Se deberá incluir durante la medición y monitoreo dispositivos que permitan la comunicación directa a través de una PC, determinar si los planes de eficiencia energética son efectivos, frente a las correcciones que se plantean en este estudio.

Se deberá analizar el dimensionamiento de una nueva cámara de transformación, si se desea adquirir maquinaria nueva o reemplazar las máquinas que ya han cumplido su ciclo de vida, como lo podemos ver en las simulaciones realizadas la cámara de transformación se encuentra en sobre carga si la planta estuviera en su máxima capacidad y si ingresará carga al mismo tiempo.

Se deberá realizar un análisis detallado a los transformadores elevadores que se encuentran en la planta, definir las pruebas eléctricas, planes de mantenimiento y limpieza que permita garantizar su eficiencia.

## CONCLUSIONES

En las conclusiones finales del proyecto de investigación se determina los siguientes aspectos:

Al realizar el levantamiento eléctrico una de la dificultades presentadas es no disponer de la información necesaria que permita ver el estado actual del sistema, el incremento en maquinaria y renovación de equipos ha llegado a tener al límite la capacidad de carga, se han presentado incidentes en la cámara de transformación por el ingreso de carga al mismo tiempo, al ser una planta industrial existe una variación de producción constante, equipos se energizaran y otros permanecerán apagados y el sistema pueden ver esos cambios como lo hemos demostrado en este análisis.

En el tablero de distribución primaria A, se puede apreciar una corriente de retorno por el neutro de 48.54 Amp, es una corriente producida por el desbalance de cargas.

En el tablero de distribución primario A, se puede apreciar un bajo factor de potencia de 0.85 lo que ha traigo consigo la penalización del ente regulador por varias ocasiones y el pago por el incumplimiento de esta variable eléctrica.

Armónicos en el neutro con un THD de 31.07% esto viene como consecuencia del desbalance de cargas, corriente de retorno por el neutro y bajo factor de potencia.

Al tener estas características si no se dispondría de un buen sistema puesta a tierra se apreciaría muchos más inconvenientes en el sistema como recalentamiento de conductores, desequilibrio de voltaje y armónicos presentes en las fases del sistema.

En el tablero de distribución primario B, se puede apreciar una corriente de retorno por el neutro de 39.27 Amp, observamos un desequilibrio de corriente de 25.50% y es donde se ha concentrado las interrupciones internas por el ingreso de carga.

En el tablero de distribución primaria B, se puede apreciar un bajo factor de potencia de 0.89 lo que ha traigo consigo la penalización del ente regulador por varias ocasiones y el pago por el incumplimiento de esta variable eléctrica.

Armónicos en el neutro con un THD de 26 % esto viene como consecuencia del desbalance de cargas, corriente de retorno por el neutro y bajo factor de potencia.

El sistema puesto a tierra es un sistema robusto que dentro de las mediciones realizadas en los puntos más alejados al tablero cumple con las especificaciones técnicas fijadas en la regulación ARCONEL 005/18 y por IEEE-142-2007.

No se evidencia programas de eficiencia energética, que permitan un ahorro constante para las energías que están presentes como son climatización, refrigeración, agua y combustibles.

Existen centros de carga que no se encuentran aterrizados, identificados y mantenidos, tenemos mediciones termográficas que evidencia el reemplazo de protecciones, ajuste mecánico y pérdida de aislamiento en conductores.

## RECOMENDACION

La empresa puede realizar un ahorro económico si mejora sustancialmente el factor de potencia, realiza las correcciones en el desbalance de cargas, considerando una redistribución de sus cargas bifásicas y monofásicas.

Estudios complementarios se pueden realizar que permitan tener alternativas de compensación de derivación capacitiva, compensadores de control automático, dispositivos de conmutación estática con convertidores de fuente de voltaje, convertidores Statcom, que permitan tener una alternativa viable al crecimiento de la compañía.

La implementación de filtros de armónicos activos para minimizar la corriente de retorno por el neutro.

La habilitación de los grupos electrógenos es crucial para mantener servicios auxiliares, equipos especiales, iluminación, señalética, analizando las interrupciones externas que afectan al sistema es importante mantener una visión a no interrumpir la línea de producción y tener un grupo electrógeno direccionado para algunas máquinas y equipos que conforman la cadena de producción,

La empresa debe encaminarse a un Sistema de Gestión de Energía, puede optar por la certificación ISO 50001.

La empresa puede participar en programas de eficiencia energética financiados por el Estado, en los cuales de ser aprobados puede tener incentivos económicos, mejorando la imagen de la compañía.

El mayor beneficio es mantener un monitoreo constante, realizar los arreglos necesario dentro del sistema y encaminarse al ahorro energético.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE Power and Energy Society, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2009.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Approved Draft Guide for Voltage Sag Indices*. 2014.
- [3] D. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems IEEE Power and Energy Society*, vol. 2015. 2015.
- [4] I. P. & E. Society, *IEEE standard Defs*. 2010.
- [5] “IEC 61000-2-5:2017,” in *Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 2-5: Environment— Classification of electromagnetic environments.*, 2017.
- [6] Naciones Unidas/CEPAL, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. 2019.
- [7] S. Pinzón, S. Yáñez, and M. Ruiz, “Optimal Location of Transformers in Electrical Distribution Networks Using Geographic Information Systems,” *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 1, pp. 84–95, 2020.
- [8] D. F. Vallejo, P. A. Morillo, and J. R. P. Eds, *Smart Technologies , Systems and Applications*. 2019.
- [9] M. G. Ruiz Maldonado and E. Inga, “Asignación óptima de recursos de comunicaciones para sistemas de gestión de energía,” *Enfoque UTE*, vol. 10, no. 1, pp. 141–152, 2019.
- [10] S. H. E. A. Aleem, A. F. Zobaa, S. Member, and E. Murat, “Harmonic Overloading Minimization of Frequency-Dependent Components in Harmonics Polluted Distribution Systems Using Harris Hawks Optimization Algorithm,” *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019.
- [11] D. Stet, L. Czumbil, D. D. Micu, A. Polycarpou, A. Ceclan, and M. Cretu, “Power Factor Correction Using EMTP-RV for Engineering Education,” *2019 54th Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2019 - Proc.*, pp. 1–5, 2019.
- [12] P. Bhagavathy, R. Latha, and S. Elango, “A Case Study on the Impact of Power Quality Analysis in Textile Industry,” *2018 13th Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIIS 2018 - Proc.*, no. 978, pp. 453–456, 2018.

- [13] “REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18,” *Agencia Regul. y Control Electr.*, p. 40, 2018.
- [14] E. Engineers, *Powering and Grounding Electronic Equipment*, vol. 2005. 2005.
- [15] CONELEC, “Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.” p. 25, 2001.
- [16] K. Ma, R. Li, I. Hernando-Gil, and F. Li, “Quantification of Additional Reinforcement Cost from Severe Three-Phase Imbalance,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 5, pp. 4143–4144, 2017.
- [17] M. Ruiz and I. Montalvo, “Electrical faults signals restoring based on compressed sensing techniques,” *Energies*, vol. 13, no. 8, 2020.
- [18] C. Nicola *et al.*, “Quality analysis of electric energy using an interface developed in LabVIEW environment,” *2016 Int. Conf. Appl. Theor. Electr. ICATE 2016 - Proc.*, 2016.
- [19] I. Rendroyoko and M. Rusli, “Development of power quality control procedures and standards to control the connection of non-linear loads in electric power systems,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, no. 615 CP, pp. 10–13, 2013.
- [20] J. C. H. Heredia, “Determinación de la potencia de cargas no lineales,” p. 318, 1997.
- [21] D. Kumar, F. Zare, and S. Member, “Harmonic Analysis of Grid Connected Power Electronic Systems in Low Voltage Distribution Networks,” vol. 6777, no. c, 2015.
- [22] M. S. Shadlu, “Harmonic and imbalance compensation in electric railway systems using modular multilevel converters under varying load conditions,” *9th Annu. Int. Power Electron. Drive Syst. Technol. Conf. PEDSTC 2018*, vol. 2018–Janua, pp. 363–368, 2018.
- [23] D. Lee, G. Li, and S. M. Halpin, “Flicker Limit Compliance Assessment in the Presence of Background Disturbances,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 33, no. 6, pp. 3028–3035, 2018.
- [24] “New flickermeter sensitive to high-frequency interharmonics and robust to fundamental frequency deviations of the power system,” pp. 783–793, 2019.
- [25] D. Dvorkin, S. Palis, M. Silaev, and V. Tulskey, “Balanced load identification based on the correlation of the phase currents,” *58th Annu. Int. Sci. Conference Power Electr. Eng. Riga Tech. Univ. RTUCON 2017 - Proc.*, vol.



- 2017–Novem, pp. 1–4, 2017.
- [26] D. Committee, I. Power, and E. Society, “IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992),” *IEEE Std 519-2014 (Revision IEEE Std 519-1992)*, vol. 2014, pp. 1–29, 2014.
- [27] IEEE, *IEEE Std 142<sup>TM</sup>-2007, IEEE Std 142<sup>TM</sup>-2007, Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*, vol. 2007. 2007.
- [28] S. B. Jarad, V. D. Lohar, S. P. Choukate, and S. D. Mangate, “Automatic Optimization and Control of Power Factor, Reactive Power and Reduction of THD for Linear and Nonlinear Load by Using Arduino UNO,” *Proc. Int. Conf. Inven. Commun. Comput. Technol. ICICCT 2018*, no. Icicct, pp. 1128–1132, 2018.
- [29] Y. Kabir, Y. M. Mohsin, and M. M. Khan, “Automated power factor correction and energy monitoring system,” *Proc. 2017 2nd IEEE Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Technol. ICECCT 2017*, 2017.
- [30] Y. Zhang, W. Tang, P. Wu, C. Wang, and K. Xiong, “Urban user and grid supply and demand friendly interaction system based on two-layer optimization model,” *2019 3rd IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. Ubiquitous Energy Netw. Connect. Everything, EI2 2019*, pp. 2065–2069, 2019.
- [31] D. Lei and M. Weng, “Coordinating supply chain with demand and price factor disruptions,” *Proc. 2006 Int. Conf. Manag. Sci. Eng. ICMSE’06*, pp. 498–503, 2006.
- [32] IEC 61000-4-7:2002+AMD1:2008, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto,” *61000-4-7:2002+AMD1:2008*, vol. 7, 2009.
- [33] IEC 61000-4-30:2015/COR1:2016, “Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-30. Testing and measurement techniques. Power quality measurement methods,” vol. 44, no. 0, 2015.
- [34] D. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Std 1453-2011, IEEE Recommended Practice,,Adoption of IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC),,Testing and measurement techniques,,Flickermeter,,Functional and design specifications*. 2011.
- [35] Y. Y. Chen, G. W. Chang, and S. C. Lin, “A digital implementation of IEC

- 61000-4-15 flickermeter,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2015–  
 Septe, pp. 4–8, 2015.
- [36] M. M. Islam, “Power Quality : Harmonics,” 2018.
- [37] IEC 61000-2-4:2002, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-4:  
 Environment - Compatibility levels in industrial plants for low-frequency  
 conducted disturbances,” 2010.
- [38] IEC 61000-2-2:2002, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Environment -  
 Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling  
 in public low-voltage power supply systems,” *Betonw. und Fert. Precast. Plant  
 Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 85–87, 1997.
- [39] IEC 61000-4-11:2004, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11:  
 Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and  
 voltage variations immunity tests,” *Informationstechnik*, vol. 11, no. 0847057,  
 2005.
- [40] FDA, “Code of Federal Regulations Benzoate,” *U.S. Food Drug Adm.*, pp. 8–  
 9, 2017.
- [41] T. Specifications, “ACCEPTANCE,” 2017.
- [42] M. D. E. La and E. Sigmaplast, “Comportamiento de la ética profesional en el  
 área de mantenimiento de la empresa sigmaplast.,” pp. 1–8, 2018.
- [43] Google Map,  
 “[https://www.google.com.ec/maps/place/Grupo+Sigmaplast+Pifo/@-  
 0.2170952,-  
 78.3423839,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d59381b78b5cc9:0x6605a2  
 00135f706c!8m2!3d-0.2171006!4d-78.3401952](https://www.google.com.ec/maps/place/Grupo+Sigmaplast+Pifo/@-0.2170952,-78.3423839,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d59381b78b5cc9:0x6605a200135f706c!8m2!3d-0.2171006!4d-78.3401952),” p. 3423839.
- [44] EEQ, “Informe Analisis de la Calidad de Energia EEQ.pdf.” .
- [45] Fluke Corporation, “[https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-  
 electrica/conexion-a-tierra/fluke-1625- 2-kit#](https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/conexion-a-tierra/fluke-1625-2-kit#),” p. 1625.

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Reporte de Análisis de la Calidad de Energía EEQ 2018. ....	100
<b>Anexo 2.</b> Reporte de Medición Puesta a Tierra EEQ 2018. ....	101
<b>Anexo 3.</b> Flujo de Potencia Planta Sigmaplast. ....	102
<b>Anexo 4.</b> Diagrama Unifilar Planta Sigmaplast.....	103
<b>Anexo 5.</b> Sistema de Iluminación Planta Sigmaplast. ....	104
<b>Anexo 6.</b> Sistema de Fuerza.....	105
<b>Anexo 7.</b> Sistema Puesta a Tierra .....	106
<b>Anexo 8.</b> Sistema de Riesgos.....	107

Anexo 1. Reporte de Análisis de la Calidad de Energía EEQ 2018.



EMPRESA  
ELÉCTRICA  
QUITO S.A.

**LABORATORIO DE TRANSFORMADORES**  
**REPORTE ANALISIS CALIDAD DE ENERGIA**

DATOS DEL REGISTRO DE MEDICIÓN			
Nombre del Registro:	INDUSTRIA SIGMAPLAST	Detalle	
Inicio del Registro:	20/02/2018 a las 11:10	Marca:	ECUATRAN
Fin del Registro:	27/02/2018 a las 13:30	No. de serie:	974411
Días de lectura:	7	No. de empresa:	167674-C
Registros procesados:	1008	Año:	2011
Intervalo de medición:	10min	Fases:	3
Potencia (kVA):	2000	Grupo:	Dyn5
Medio voltaje (V):	22860	Subestación:	TUMBACO
Bajo voltaje (V):	220	Primario:	36E
Sitio de instalación:	AV. INTEROCEÁNICA SECTOR DE PIFO		

ANÁLISIS DE DEMANDAS		ENERGÍAS	
Factor de uso a demanda mínima (%)	17,14	Potencia disponible (kVA):	619,62
Factor de uso a demanda media (%)	39,84	Factor de carga (%):	56,80
Factor de uso a demanda máxima (%)	69,02	Energía en el punto de medición:	105534,26

DESCRIPCIÓN PARÁMETROS ANALIZADOS				Cumple regulación	
	Mínimo	Promedios	Máximo	CONELEC	
Demanda (kVA)	342,85	796,89	1380,38		
Demanda (kW)	311,49	746,9	1314,88		
VOLTAJE (V) FASE 1	126,78	130,22	133,28	SI	+ - 8%
VOLTAJE (V) FASE 2	126,32	129,51	132,36	SI	+ - 8%
VOLTAJE (V) FASE 3	124,32	127,9	131,35	SI	+ - 8%
FACTOR DE POTENCIA	0,88	0,93	0,96	SI	min 0,92
DISTORSIÓN ARMÓNICA VOLTAJE (THD) FASE 1 (%)	1,79	3,14	3,93	SI	8%
DISTORSIÓN ARMÓNICA VOLTAJE (THD) FASE 2 (%)	1,56	3,01	3,73	SI	8%
DISTORSIÓN ARMÓNICA VOLTAJE (THD) FASE 3 (%)	1,7	2,097	3,85	NO	8%
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 1	0,14	0,418	4,92	SI	PST<1
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 2	0,15	0,411	4,92	SI	PST<1
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 3	0,15	0,424	5	SI	PST<1
CORRIENTE (A) FASE 1	906,63	2117,753	3695,33		CM2 <3%
CORRIENTE (A) FASE 2	949,08	2142,563	3729,29	SI	CM2
CORRIENTE (A) FASE 3	806,42	1965,552	3462,32		2,67%

**OBSERVACIONES**

Con los resultados obtenidos en la medición de bajo voltaje se determinó:  
El nivel de voltaje, factor de potencia, distorsión armónica THD fases: 1 - 2 y flickers están dentro de los límites establecidos en la regulación 004/01 del CONELEC.  
Las corrientes se encuentran balanceadas, están dentro de la regulación 003/08 del CONELEC.  
El distorsión armónica THD en la fase 3, no están dentro los límites establecidos en la regulación 004/01, favor realizar correctivos

<b>EJECUTADO Y ANALIZADO POR:</b> Ing. B. Proaño 	<b>REVISADO POR:</b> Ing. C. Tupiza 	<b>APROBADO POR:</b> Ing. L. Quisaguano 
Ing. P. Sotomayor		

**Anexo 2. Reporte de Medición Puesta a Tierra EEQ 2018.**



CRE- 18 - 0 5 6

Quito, D.M. 14 MAYO 2018

Ingeniero  
Paulo Quetal  
Jefe de Mantenimiento  
SIGMAPLAST  
Presente

De mi consideración:

Anexo se remite el informe de las actividades realizadas el 03 de enero del 2018, en el mantenimiento preventivo de la cámara de transformación de la Industria Sigmplast, con cargo al suministro 1651119-6 y código único eléctrico nacional: 1401651119.

- De acuerdo a los resultados de las pruebas de rutina efectuadas al transformador detallado a continuación, se determina que éste se encuentra en condiciones operativas:

MARCA	FASES	POTENCIA	No. EMPRESA	VOLTAJE
ECUATRAN	3	2000	167674-C	22860-220

- La medición de la malla de puesta a tierra de la cámara de transformación fue de 0.92 ohmios, encontrándose dentro de los valores recomendados por el Std IEEE 142-1991 para instalaciones subterráneas (1 a 5 ohmios).
- Se realizó la prueba cualitativa del contenido de PCB's en el aceite dieléctrico del transformador, la misma que indica que el líquido aislante se encuentran libre de esta sustancia, este ensayo se efectuó de acuerdo a lo establecido en el Manual de Procedimientos para el Manejo de Bifenilos Policlorados en el Sector Eléctrico Ecuatoriano.
- La rigidez dieléctrica del aceite del transformador es aceptable para el normal funcionamiento del equipo de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM D-877, el valor de voltaje de ruptura dieléctrica es de 40 kV, criterio para evaluar la condición del aceite en operación:

Aceptable  $\geq 30$ , cuestionable = 25-30, inaceptable  $< 25$ .

- Prueba de Factor de Potencia, se adjunta los resultados.
- Prueba de Espectroscopia Dieléctrica en el Dominio de la Frecuencia (Idax), se adjunta los resultados.
- El protocolo de ensayos eléctricos del transformador, se adjunta a este documento.

Observaciones:

- Se cargó USD 3973 19 más IVA al suministro 1651119-6 por el mantenimiento preventivo realizado a la cámara de transformación de la Industria Sigmplast.

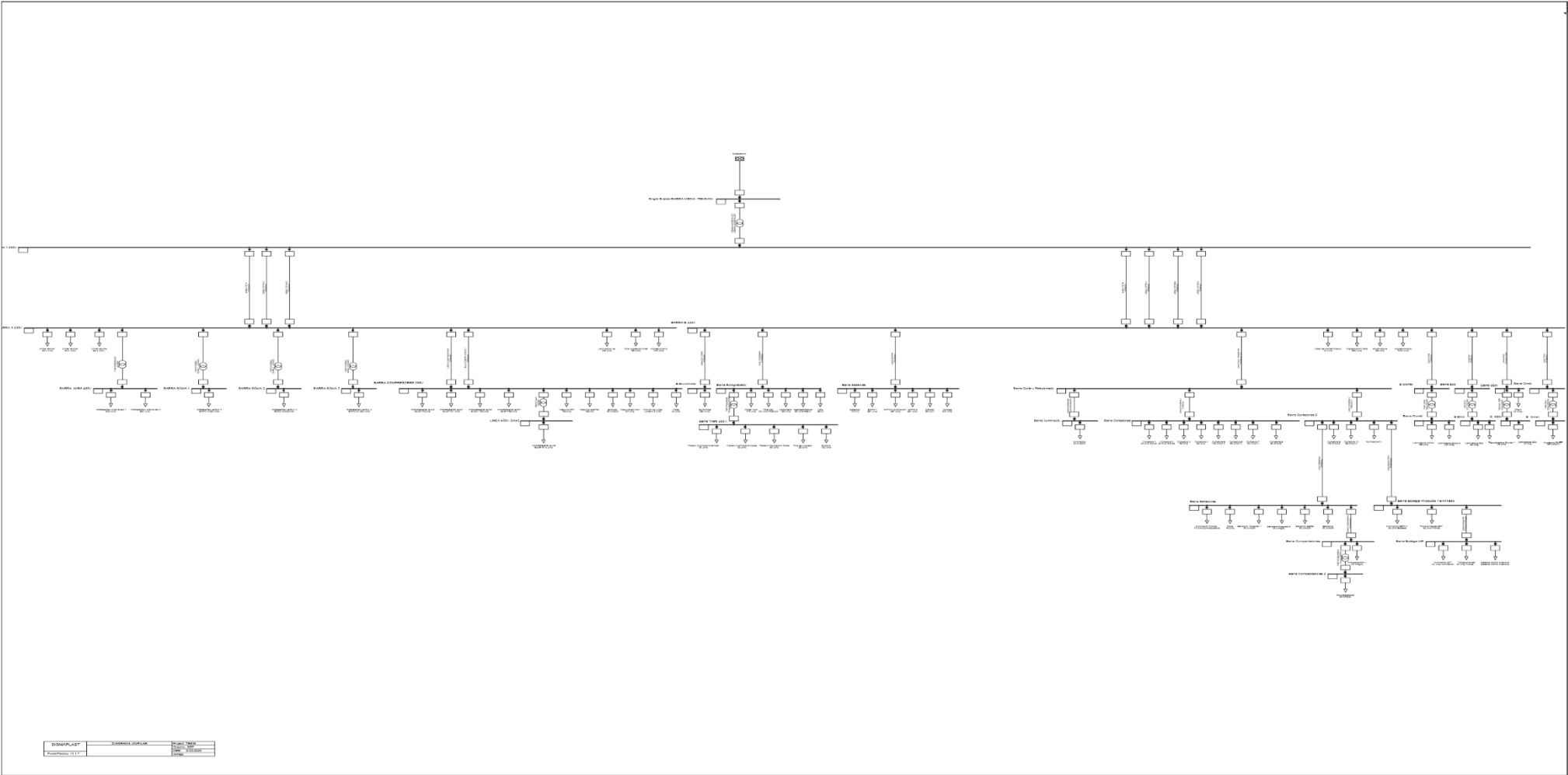
*RP*

Las Casas E1-24 y Av. 10 de Agosto  
PBX: 3964 - 700

Mariana de Jesús y Av. 10 de Agosto  
PBX: 2553 - 010

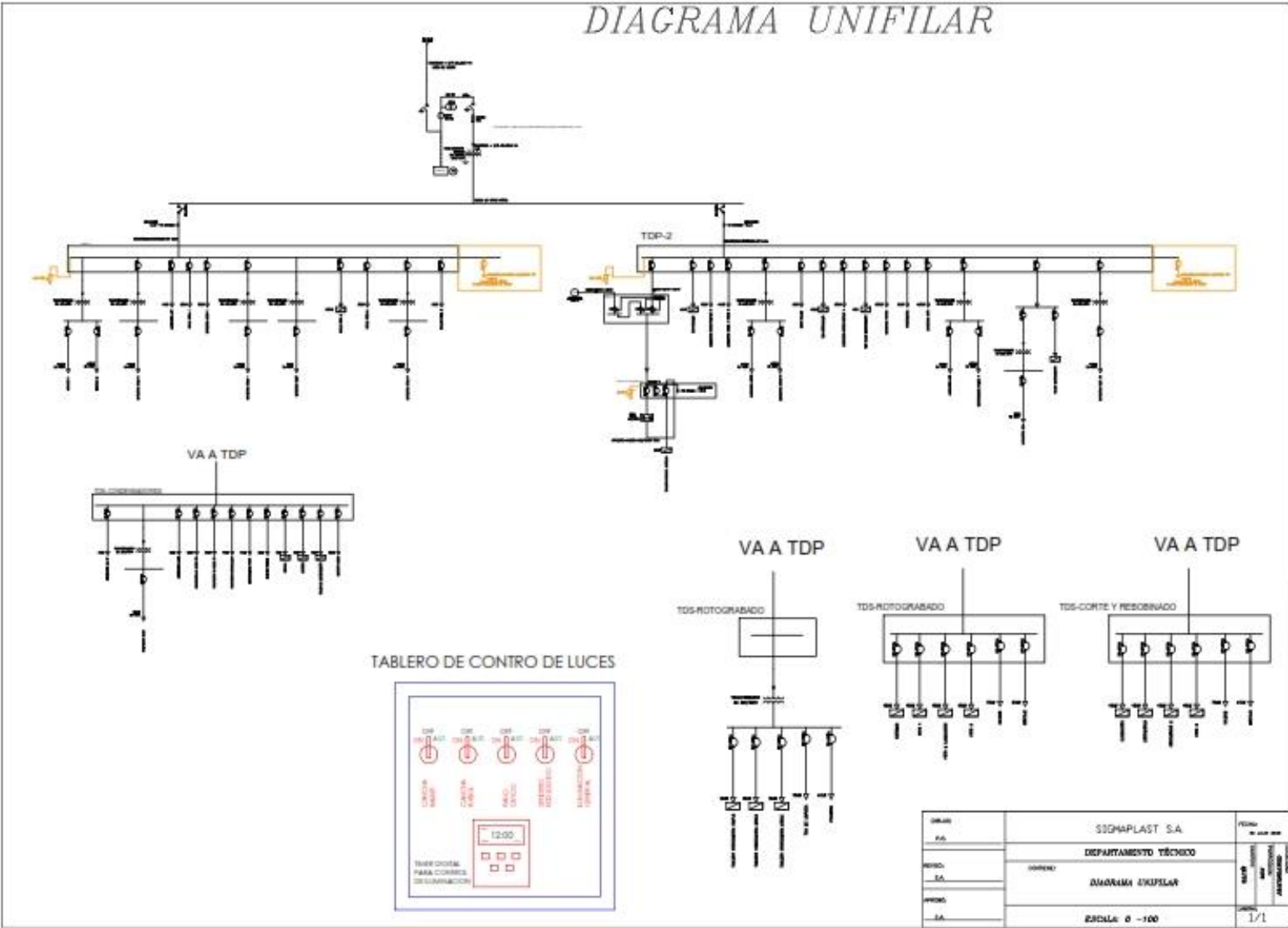
Casilla 17 01-473 • Quito-Ecuador

**Anexo 3. Flujo de Potencia Planta Sigmplast.**





Anexo 4. Diagrama Unifilar Planta Sigmoidplast

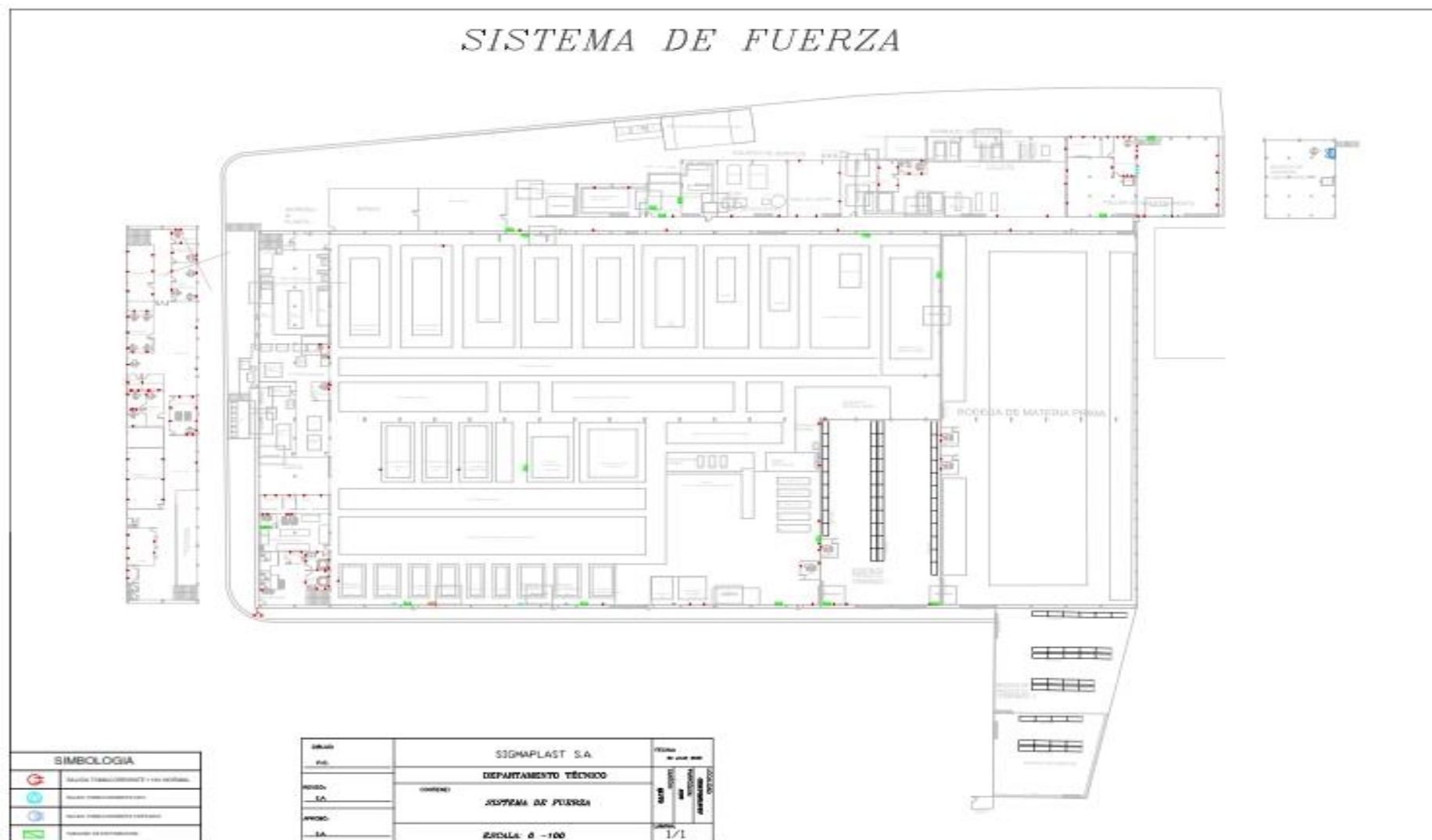


Anexo 5. Sistema de Iluminación Planta Sigmaplast.





Anexo 6. Sistema de Fuerza.



Anexo 7. Sistema Puesta a Tierra



Anexo 8. Sistema de Riesgos.

