



**Análisis de Perturbaciones Rápidas de Voltaje (Flicker) y su incidencia en el
comportamiento operativo dentro del área de concesión de la Corporación Nacional de
Electricidad Bolívar.**

Bastidas Chiluisa, Diego Javier

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

Latacunga, 16 de marzo del 2021



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE PERTURBACIONES RÁPIDAS DE VOLTAJE (FLICKER) Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO OPERATIVO DENTRO DEL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD BOLÍVAR”** fue realizado por el señor **Bastidas Chiluisa, Diego Javier**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Washington R. Freire Llerena', is written over a horizontal line.

Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.: 180191088-4

Urkund Analysis Result

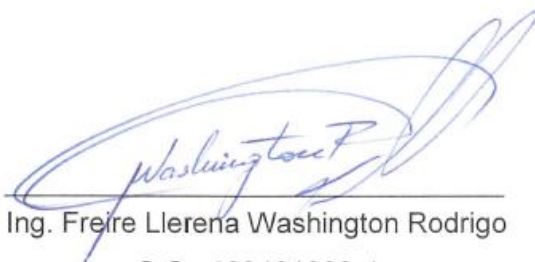
Analysed Document: TESIS - ESPEL - EMI - D1J.pdf (D98047631)
Submitted: 3/12/2021 3:17:00 AM
Submitted By: wrfreire@espe.edu.ec
Significance: 8 %

Sources included in the report:

TESIS - ESPEL - EMI - DJ.pdf (D97925242)
TESIS - ESPEL - EMI - DJ.pdf (D97403985)
TESIS FINAL xy.docx (D59580056)
Tesis IESS_FINAL_FINAL.pdf (D32754482)
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1765>
https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html
<https://docplayer.es/63453911-Escuela-politecnica-nacional.html>
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2375/3/>
Fernandez_Faletto_Francisco_Jose.pdf
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11919/1/T-ESPEL-EMI-0323.pdf>

Instances where selected sources appear:

26



Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo
C.C.: 180191088-4



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Bastidas Chiluisa, Diego Javier**, con cédula de ciudadanía N°. 0504080227, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE PERTURBACIONES RÁPIDAS DE VOLTAJE (FLICKER) Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO OPERATIVO DENTRO DEL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD BOLÍVAR”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

Bastidas Chiluisa, Diego Javier

C.C.: 050408022-7



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Bastidas Chiluisa, Diego Javier**, con cédula de ciudadanía N°. 0504080227, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE PERTURBACIONES RÁPIDAS DE VOLTAJE (FLICKER) Y SU INCIDENCIA EN EL COMPORTAMIENTO OPERATIVO DENTRO DEL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD BOLÍVAR”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Diego Bastidas Chiluisa', is written over a horizontal line.

Bastidas Chiluisa, Diego Javier

C.C.: 050408022-7

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios por haberme dado la vida, la salud y fortaleza para poder seguir adelante cumpliendo todas mis metas propuestas. A mis madres Yolanda y María por haberme brindado su apoyo incondicional en todo momento y en todo lugar, por aquellas palabras de aliento que me ayudaron de mucho, por los valores inculcados en mí, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero ante todo esto, muchas gracias por su inmenso amor. A mi querida tía Roció porque me motivó a seguir adelante y a esforzarme más cada día. A mis primas queridas Joselyn y Micaela por el cariño que me tienen, a las que les deseo mucha suerte en transcurso de su vida.

Javier

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por guiar mi camino y por todas las bendiciones que he recibido, mismas que me han ayudado para poder culminar mis estudios. A mi querida familia, principalmente mi Madre por su gran esfuerzo, valentía, su amor incondicional, por todas sus palabras de aliento que me ayudaron a seguir adelante, por todos sus consejos y valores que me ha brindado.

Agradezco a Mayra (Maya) por haberme brindado su apoyo, amistad y amor incondicional, gracias por aquellas palabras de aliento, por la paciencia que has tenido, juntos hemos compartido muchos momentos felices durante nuestra formación como profesionales, momentos que nunca se me van a olvidar.

Agradezco a la Universidad, porque en ella pude formarme como un profesional, a sus docentes, por transmitir sus conocimientos y experiencias; a mi Director de Trabajo, al Ing. Washington Freire por su paciencia, colaboración y sus consejos impartidos, un agradecimiento especial al Ing. Vicente Quispe, por su paciencia, sus conocimientos, apoyo incondicional y su ayuda me permitieron culminar este trabajo de investigación.

Javier

TABLA DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de urkund.....	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras.....	17
Resumen	21
Abstract.....	22
Contenidos generales	23
Planteamiento del Problema.....	23
Antecedentes.....	24
Justificación e Importancia	24
Objetivos.....	25
<i>Objetivo General</i>	25
<i>Objetivos Específicos</i>	25
Marco teórico.....	27
Antecedentes Investigativos	27
Fundamentación Teórica	28
<i>Perturbaciones</i>	28

<i>Clasificación de las Perturbaciones de Red</i>	30
Perturbaciones No Periódicas y Periódicas	32
<i>Definición del Flicker</i>	36
Índice de Severidad de Corta Duración (P_{st})	37
Índice de Severidad de Larga Duración (P_{lt})	38
<i>La Fluctuación Relativa de Tensión</i>	40
<i>Explicación Matemática del Origen del Flicker</i>	41
<i>Caracterización del Flicker</i>	43
<i>El Medidor de Parpadeo Según la Norma IEC 61000-4-15</i>	46
El Diagrama de Bloques	46
<i>Normativa Sobre la Calidad de Energía</i>	52
Perturbación Rápida de Voltaje (Flicker)	52
<i>Orígenes de las Fluctuaciones de Tensión</i>	53
<i>Fuentes Productoras de Flicker</i>	54
Fuentes Industriales Grandes	57
Fuentes de Menor Tamaño	59
<i>Técnicas de Mitigación y/o Solución al Parpadeo</i>	59
Elección del Sistema de Iluminación	61
Ondulador	61
Inclusión de un Volante de Inercia	61
Convertor Rotativo	61
Modificación de la Red	61
Capacidad en Serie	62
Reactancia en Serie	63
Compensador Estático (SVC)	64

	10
<i>Equipo de Medición</i>	66
<i>Software CYME – CYMDIST</i>	69
<i>Matlab</i>	71
<i>Características Principales</i>	71
<i>Simulink</i>	72
<i>Fundamentación Legal</i>	73
<i>Sistema de Variables</i>	74
<i>Hipótesis</i>	74
<i>Cuadro de Operacionalización de las Variables</i>	75
Metodología	76
Modalidad de investigación	76
<i>Método Bibliográfico Documental</i>	76
<i>Método Experimental</i>	76
Tipo de investigación	77
<i>Investigación Cuantitativa</i>	77
Diseño de la Investigación	77
Población y Muestra	77
Técnicas de Recolección de Datos	80
<i>Variables Cuantitativas</i>	80
<i>Validez y Confiabilidad</i>	80
Técnica de Análisis de Datos	80
<i>Modelamiento del Flickermeter IEC</i>	81
<i>Modelamiento del Sistema Eléctrico de Distribución</i>	88
Técnica de Comprobación de Hipótesis	94
<i>Comprobación Cuantitativa</i>	94

	11
Resultados de la investigación	95
Análisis de Resultados	95
<i>Transformador 50 kVA 0302930.....</i>	<i>95</i>
<i>Transformador 37,5 kVA 0302951.....</i>	<i>98</i>
<i>Transformador 50 kVA 0304701.....</i>	<i>101</i>
<i>Transformador 75 kVA 0304739.....</i>	<i>104</i>
<i>Transformador 50 kVA 0304680.....</i>	<i>109</i>
<i>Transformador 40 kVA 0304747.....</i>	<i>113</i>
<i>Transformador 50 kVA 0302807.....</i>	<i>117</i>
<i>Transformador 50 kVA 0304753.....</i>	<i>121</i>
<i>Transformador 75 kVA 0304752.....</i>	<i>125</i>
<i>Transformador 10 kVA 0303167.....</i>	<i>129</i>
<i>Transformador 10 kVA 0303169.....</i>	<i>132</i>
<i>Resumen de los Resultados Obtenidos por el Análisis.....</i>	<i>135</i>
Condiciones de Operación Actual del Sistema de Distribución	136
Evaluación de Datos Utilizando el Flickermeter IEC.....	139
Discusión de los Resultados.....	144
Propuesta.....	146
Datos Informativos	146
Objetivos.....	146
<i>Objetivo General.....</i>	<i>146</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>146</i>
Fundamentación de la Propuesta	147
Diseño de la Propuesta.....	147
Ejecución de la Propuesta.....	149

<i>Etapa 1 - Análisis del Entorno</i>	149
<i>Etapa 2 - Tratamiento ante una Fuente Perturbadora</i>	154
<i>Etapa 3 - Dimensionamiento de un Filtro</i>	154
Evaluación de los Resultados	161
Conclusiones.....	166
Recomendaciones.....	168
Bibliografía.....	169
Anexos	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores indicativos de los parámetros de las lámparas	50
Tabla 2 Características principales y comportamiento frente a las variaciones de tensión de las distintas fuentes luminosas.	60
Tabla 3 Niveles de compatibilidad para Pst y Plt en sistemas de alimentación de BT y MT	74
Tabla 4 Operacionalización de las variables	75
Tabla 5 Descripción de los transformadores de distribución de la CNEL EP Bolívar	78
Tabla 6 Descripción de los usuarios de medio voltaje de la CNEL EP Bolívar	79
Tabla 7 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303930	95
Tabla 8 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302930.....	95
Tabla 9 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303930	97
Tabla 10 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302930.....	97
Tabla 11 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0302951	98
Tabla 12 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302951.....	99
Tabla 13 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0302951	100
Tabla 14 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302951.....	100
Tabla 15 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304701	101
Tabla 16 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701.....	102
Tabla 17 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304701	103
Tabla 18 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701.....	103
Tabla 19 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304739	104
Tabla 20 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739.....	105
Tabla 21 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304739	106

Tabla 22	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739.....	106
Tabla 23	Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304739	107
Tabla 24	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739.....	107
Tabla 25	Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304680	109
Tabla 26	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680.....	109
Tabla 27	Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304680	110
Tabla 28	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680.....	110
Tabla 29	Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304680	111
Tabla 30	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680.....	112
Tabla 31	Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304747	113
Tabla 32	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747.....	113
Tabla 33	Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304747	114
Tabla 34	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747.....	114
Tabla 35	Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304747	115
Tabla 36	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747.....	116
Tabla 37	Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0302807	117
Tabla 38	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807.....	117
Tabla 39	Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0302807	118
Tabla 40	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807.....	118
Tabla 41	Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0302807	119
Tabla 42	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807.....	120
Tabla 43	Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304753	121
Tabla 44	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753.....	121
Tabla 45	Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304753	122
Tabla 46	Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753.....	122

Tabla 47 Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304753	123
Tabla 48 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753.....	124
Tabla 49 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304752	125
Tabla 50 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752.....	125
Tabla 51 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304752	126
Tabla 52 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752.....	126
Tabla 53 Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304752	127
Tabla 54 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752.....	128
Tabla 55 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303167	129
Tabla 56 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303167.....	129
Tabla 57 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303167	130
Tabla 58 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303167.....	130
Tabla 59 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303169	132
Tabla 60 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303169.....	132
Tabla 61 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303169	133
Tabla 62 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303169.....	134
Tabla 63 Resumen de Flicker en cada transformador	136
Tabla 64 Evaluación del Transformador 0302930 50 kVA.....	140
Tabla 65 Evaluación del Transformador 0302951 37,5 kVA.....	141
Tabla 66 Evaluación del Transformador 0304701 50 kVA.....	143
Tabla 67 Resumen del estado de los transformadores	150
Tabla 68 Características del cobre y del aluminio	152
Tabla 69 Aplicaciones de los filtros activos	156
Tabla 70 Datos del Transformador 0304739	157
Tabla 71 Datos obtenidos de los cálculos para armónicos de corriente	158

Tabla 72 Comparación de varios modelos de filtros activos	160
Tabla 73 Materiales utilizados para efectuar el mantenimiento conductivo	162
Tabla 74 Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304701	162
Tabla 75 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701	162
Tabla 76 Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304701	163
Tabla 77 Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701	164
Tabla 78 Resumen de los resultados obtenidos para el Transformador 0304701	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perturbaciones más frecuentes en la red eléctrica.....	31
Figura 2 Huecos e interrupciones cortas.....	33
Figura 3 Ejemplos de variación rápida de tensión y transitorios.....	34
Figura 4 Ejemplo de variación rápida de tensión	35
Figura 5 Fluctuaciones en el valor eficaz de la tensión	40
Figura 6 Fluctuaciones instantáneas de tensión	41
Figura 7 Las variaciones de tensión se deben a variaciones de intensidad I que recorren las impedancias de la red	42
Figura 8 Curva de tolerancia IEEE Std 141-1993	45
Figura 9 Curvas de umbrales de sensibilidad ante cambios de voltaje	46
Figura 10 Diagrama de bloques de un medidor de parpadeo, Flickermeter	48
Figura 11 Diagrama unifilar de un sistema donde se observan varios puntos donde es posible obtener fluctuaciones rápidas de voltaje	56
Figura 12 Capacidad en serie en la red	63
Figura 13 Reactancia en serie	64
Figura 14 Esquema de la instalación de un compensador estático.....	64
Figura 15 Esquema simplificado de un compensador estático.....	65
Figura 16 Analizador de redes móvil y registrador transitorio de redes PQ-BOX 150 ...	67
Figura 17 Diagrama de bloques del Flickermeter.....	81
Figura 18 Diagrama de bloques de la señal de entrada.....	82
Figura 19 Diagrama de bloques del adaptador del voltaje de entrada	82
Figura 20 Tensión de salida del bloque 1	83
Figura 21 Diagrama de bloques del demodulador cuadrático	83

Figura 22 Tensión de salida del bloque 2	84
Figura 23 Diagrama de bloques para la ponderación de frecuencia	85
Figura 24 <i>Estructura del bloque 4 del Flickermeter IEC</i>	87
Figura 25 Modelamiento de la Subestación Guaranda	89
Figura 26 Modelamiento de la Subestación Guanujo	90
Figura 27 Modelamiento de la Subestación Cochabamba	91
Figura 28 Modelamiento de la Subestación Sicoto	92
Figura 29 Modelamiento de la Subestación Echeandía	93
Figura 30 Modelamiento de la Subestación Caluma	94
Figura 31 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302930	96
Figura 32 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302930	98
Figura 33 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302951	99
Figura 34 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302951	101
Figura 35 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304701	102
Figura 36 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304701	104
Figura 37 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304739	105
Figura 38 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304739	107
Figura 39 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304739	108
Figura 40 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304680	110
Figura 41 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304680	111
Figura 42 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304680	112
Figura 43 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304747	114
Figura 44 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304747	115
Figura 45 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304747	116
Figura 46 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302807	118

Figura 47 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302807	119
Figura 48 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0302807	120
Figura 49 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304753	122
Figura 50 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304753	123
Figura 51 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304753	124
Figura 52 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304752	126
Figura 53 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304752	127
Figura 54 Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304752	128
Figura 55 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0303167	130
Figura 56 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0303167	131
Figura 57 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0303169	133
Figura 58 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0303169	135
Figura 59 Modelamiento del Alimentador Balsapamba	137
Figura 60 Evaluación de las perturbaciones en la red (lado de MV) para el transformador 0304701.....	138
Figura 61 Evaluación de las perturbaciones en la red (lado de BV) para el transformador 0304701.....	139
Figura 62 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador 0302930	140
Figura 63 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador 0302930	141
Figura 64 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador 0302951	142
Figura 65 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador 0302951	142

Figura 66 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador 0304701	143
Figura 67 Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador 0304701	144
Figura 68 Diseño de la propuesta	148
Figura 69 Pirámide de calidad de energía	152
Figura 70 Niveles máximos de distorsión armónica de corriente.....	158
Figura 71 Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304701	163
Figura 72 Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304701	164

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta el análisis de las Perturbaciones Rápidas de Voltaje en los transformadores de distribución de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocios Bolívar. Para el modelamiento del Sistema de Distribución se emplea el software CYMDIST, por medio del cual se hace uso de la herramienta *Evaluación de las perturbaciones en la red D-A-CH-CZ* para analizar los puntos de acoplamiento común tanto en la red de medio y bajo voltaje del transformador en donde se pueden tener posibles perturbaciones de voltaje, en donde la muestra a modelar es obtenida acorde la campaña de medición. Adicional a ello en Simulink se realiza el modelamiento matemático de un Flickermeter acorde la normativa IEC, para posteriormente evaluar los datos obtenidos mediante el analizador de energía, dando un porcentaje de error menor del $\pm 5\%$ acorde las recomendaciones del protocolo IEC en cada uno de los datos analizados. En base a todos los resultados obtenidos se elabora un plan para mitigar el efecto flicker en los transformadores de distribución, el mismo que cuenta con tres etapas diferentes distribuidas acorde las condiciones de operación del transformador y considerando la Regulación ARCONEL No. 005/18 con respecto al límite que debe tener el índice de severidad del flicker. Finalmente se determina el correctivo más apropiado, para luego implementarlo y posteriormente comprobar la efectividad del mismo, teniendo así un modelo base para aplicarlo en otros transformadores de distribución.

Palabras clave:

- **PERTURBACIONES RÁPIDAS DE VOLTAJE**
- **PUNTO DE ACOPLAMIENTO COMÚN**
- **ANALIZADOR DE ENERGÍA**
- **ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER**

ABSTRACT

This research work presents the analysis of the Fast Voltage Disturbances in the distribution transformers of the Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocios Bolívar. The CYMDIST software is used for the modeling of the Distribution System, by means of which the tool *Evaluation of disturbances in the D-A-CH-CZ network* is used to analyze the common coupling points in both the medium and low voltage network of the transformer where possible voltage disturbances may occur, where the sample to be modeled is obtained according to the measurement campaign. In addition to this, the mathematical modeling of a Flickermeter according to IEC standards is performed in Simulink, to subsequently evaluate the data obtained by the energy analyzer, giving an error percentage of less than $\pm 5\%$ according to the IEC protocol recommendations in each of the analyzed data. Based on all the results obtained, a plan is developed to mitigate the flicker effect in distribution transformers, which has three different stages distributed according to the operating conditions of the transformer and considering the ARCONEL Regulation No. 005/18 regarding the limit that the flicker severity index should have. Finally, the most appropriate corrective is determined, to then implement it and later check its effectiveness, thus having a base model to be applied in other distribution transformers.

Key words:

- **FAST VOLTAGE DISTURBANCES**
- **COMMON COUPLING POINT**
- **POWER ANALYZER**
- **FLICKER SEVERITY INDEX**

CAPÍTULO I

1. CONTENIDOS GENERALES

1.1. Planteamiento del Problema

Debido al crecimiento constante de la población los sistemas de distribución eléctrica deben expandirse día a día, para lo cual es necesario realizar estudios que permitan determinar la calidad de producto que entregan los transformadores de distribución existentes en la red eléctrica, dependiendo de los requerimientos de clientes actuales y nuevos, crecimiento urbanístico, modificación de las características de la carga y cambios operativos. En base a registros antiguos y la presencia de reclamos por parte de usuarios se evidencia que este fenómeno de parpadeo está presente en diferentes puntos de iluminación presentando así un deterioro paulatino en las lámparas que operan a bajo voltaje, ante la presencia de flicker en la red eléctrica y la nueva Regulación No. ARCONEL 005/18 se hace imprescindible realizar un estudio que permita formular una propuesta para la CNEL EP Bolívar que pueda mitigar las perturbaciones rápidas de voltaje existentes en su sistema eléctrico y a su vez pueda mantener los límites expuestos en dicha regulación, por ello la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocio Bolívar requiere del análisis de calidad de energía acerca de la calidad de producto, con mayor enfoque a las perturbaciones rápidas de voltaje ya que la empresa no posee un estudio de este tipo.

Las fuentes perturbadoras que producen este efecto de parpadeo se las puede encontrar conectadas a cualquier nivel de voltaje, de forma general el flicker no producen daños irreversibles a menos que la variación sea pronunciada, también causa cierta molestia en la vista a los usuarios que lo perciben y también se puede llegar a

visualizar hasta en monitores y receptores de televisión. Para poder mitigar las perturbaciones de voltaje existe métodos como el aislamiento de la carga perturbadora, aumentar la potencia del transformador o en algunos casos la implementación de filtros, cualquier correctivo a aplicar ayudará a conseguir el cumplimiento de la regulación.

1.2. Antecedentes

En los últimos años han existido diversos estudios referentes al tema de Perturbaciones de voltaje, pero dentro de ello no se ha encontrado una investigación aplicada al Sistema Eléctrico de la y en base al crecimiento de la demanda dentro de su área de concesión y la importancia de cumplir con los límites establecidos por las Regulaciones Nacionales en cuanto a la calidad del producto que la empresa brinda a sus consumidores, es necesario que se realice una propuesta de estudio que ayude a reducir el fenómeno de Flicker en los transformadores de distribución.

En la actualidad el Sistema Eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocios Bolívar posee 6 Subestaciones y a sus respectivos alimentadores están conectados transformadores de distribución monofásicos y trifásicos que son encargadas de abastecer de energía eléctrica a toda su área de concesión, llegando a un total de 5691 transformadores de distribución obteniendo así una potencia instalada de 83,36 MVA hasta la fecha

1.3. Justificación e Importancia

Considerando que es necesario asegurar un nivel satisfactorio de los servicios eléctricos brindados a los diferentes tipos de usuarios y teniendo un enfoque en las disposiciones legales establecidas en la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, resulta importante realizar un análisis de calidad del producto del sistema

eléctrico en medio y bajo voltaje que poseen las empresas de distribución hacia sus diferentes consumidores. En el proyecto se analizará los parámetros eléctricos como niveles de voltaje y perturbaciones rápidas de voltaje en los transformadores de distribución ya que con anterioridad no se ha realizado ningún análisis de calidad de producto para prevenir que a futuro se produzcan problemas con los consumidores.

La metodología empleada para realizar el análisis de los datos obtenidos en las mediciones se basa en determinar si el valor de las perturbaciones rápidas de voltaje sobrepasa los valores límites que se establece en la Regulación No. ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”.

El proyecto permitirá determinar la presencia de las fluctuaciones rápidas de voltaje acorde normativas que rigen en el sistema eléctrico ecuatoriano, para lo cual, se planificará una propuesta para disminuir el aporte de Flicker al Sistema Eléctrico de la CNEL EP Bolívar y un estudio técnico – económico dará soporte a la misma y con esto mejorar la calidad de energía eléctrica del sistema.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar las perturbaciones rápidas de voltaje mediante la aplicación de equipos de monitoreo de energía eléctrica para establecer los índices de calidad de producto que tiene la red eléctrica de la CNEL EP Bolívar.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de la información de los transformadores de distribución y usuarios de medio voltaje de la CNEL EP Bolívar.

- Realizar mediciones de las variables eléctricas en las partes representativas mediante registradores digitales.
- Analizar el comportamiento operativo de los transformadores de distribución y usuarios de medio voltaje sobre la base de la Regulación No. ARCONEL 005/18.
- Modelar el fenómeno de las perturbaciones rápidas de voltaje en un software de simulación eléctrica.
- Proponer una alternativa de solución a la empresa para atenuar las perturbaciones rápidas de voltaje.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Antecedentes Investigativos*

Para el desarrollo de dicho estudio se tomará en cuenta la Regulación No. ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”; y en base de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula. La presente Regulación deroga a la Regulación No. CONELEC 004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución”, la cual contiene los estándares mínimos de calidad, evaluación de cada uno de los índices establecidos y el respectivo procedimiento técnico para su medición.

El autor (Terán Espinoza, 2012) presenta una propuesta de mejora en base al análisis de la calidad de energía de los alimentadores de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. usando la regulación del CONELEC No. 004/01; donde luego de analizar los datos previamente adquiridos concluye que los niveles de voltaje se encuentran dentro del rango de la Regulación, mientras que en lo referente a perturbaciones de voltaje posee mediciones fuera del límite menores al 5% del total de mediciones, también menciona que es indispensable manejar un correcto balance de carga en los alimentadores.

El autor (Castañeda Ordóñez, 2009) presenta un análisis de calidad de energía acerca de la calidad de producto de la zona urbana de la Empresa Eléctrica Milagro usando la Regulación del CONELEC No. 004/01; presentando un mayor enfoque a la reducción de Armónicos y Flickers, llegando a la conclusión que los consumidores de medio y bajo voltaje presentan mediciones fuera del límite que se estipula en la

Regulación. Una de las soluciones para mejorar estos límites en usuarios de bajo voltaje fue la colocación de sistemas de puesta a tierra, adicional a esto se mejoró el factor de potencia.

Los autores (Pila Pila & Zambrano Reasco, 2010) presentan un estudio del Flicker en una instalación eléctrica de la Empresa Andec S.A., con la finalidad de dar cumplimiento a la Regulación del CONELEC No. 004/01. Adicional a esto se presentan métodos de atenuación del Flicker y metodología del Flickermeter; entre ellos recomiendan utilizar el método de la capacitancia en serie, esto ayuda a reducir las fluctuaciones de voltaje considerablemente, este tipo de método es técnicamente posible y varias veces rentable.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Perturbaciones

El comportamiento de una red de alimentación ideal debería ser como una fuente de tensión con salida sinusoidal y una tensión constante en todos los puntos de suministro. Sin embargo, esta señal se encuentra distorsionada por diversos motivos; siendo las propias cargas una de las causas principales de la distorsión de la tensión de la red eléctrica, por la conmutación de corriente, por su forma de funcionar en los momentos de sus arranques y paradas, siendo estos los causantes de las caídas de tensión en las impedancias del sistema. Existen otras veces donde las causas de perturbaciones son de tipo externo, las más comunes son las perturbaciones atmosféricas y las elevaciones del potencial de tierra en condiciones de defecto.

Algunos tipos de distorsión en la red eléctrica ocasionan pérdidas innecesarias, y esto afecta de forma negativa el rendimiento de las instalaciones. Otros tipos de perturbaciones ocasionan problemas denominados de "Compatibilidad

Electromagnética”, esto es, problemas de mal funcionamiento o funcionamiento errático de algunos equipos cuando se alimentan de una red muy perturbada. Estos problemas, a pesar de no ser cuantificables en términos de rendimiento, ocasionan pérdidas importantes de eficacia en los sistemas de producción por averías o paros intempestivos (Balcells, y otros, 2016).

Según el autor (Tenorio Zurita, 2002), el término “Compatibilidad Electromagnética”, abreviatura EMC, se asocia normalmente a perturbaciones de alta frecuencia en circuitos electrónicos, pero incluye también todo tipo de perturbaciones generadas y propagadas por la red de alimentación.

Según (Balcells, y otros, 2016), es muy importante tener en cuenta que el primer paso para resolver un problema generado por perturbaciones es hacer un buen diagnóstico del problema. Es habitual que aparezcan diversos tipos de perturbaciones juntos y sus efectos mezclados, lo cual hace que a veces se atribuyan determinados efectos a determinado tipo de perturbación sin haber estudiado suficientemente el caso. Un mal diagnóstico lleva consigo que las medidas correctoras que se apliquen tampoco serán acertadas. Para realizar dicho diagnóstico de forma correcta es importante conocer los posibles problemas producidos por los diversos tipos de perturbaciones, pero resulta fundamental disponer de instrumentos de medida que ayuden a detectar y a cuantificar el fenómeno.

Debe recalcar que las perturbaciones que se tratara según se establece en el Capítulo I, serán únicamente las perturbaciones rápidas de voltaje detectadas por el fenómeno Flicker.

2.2.2. Clasificación de las Perturbaciones de Red

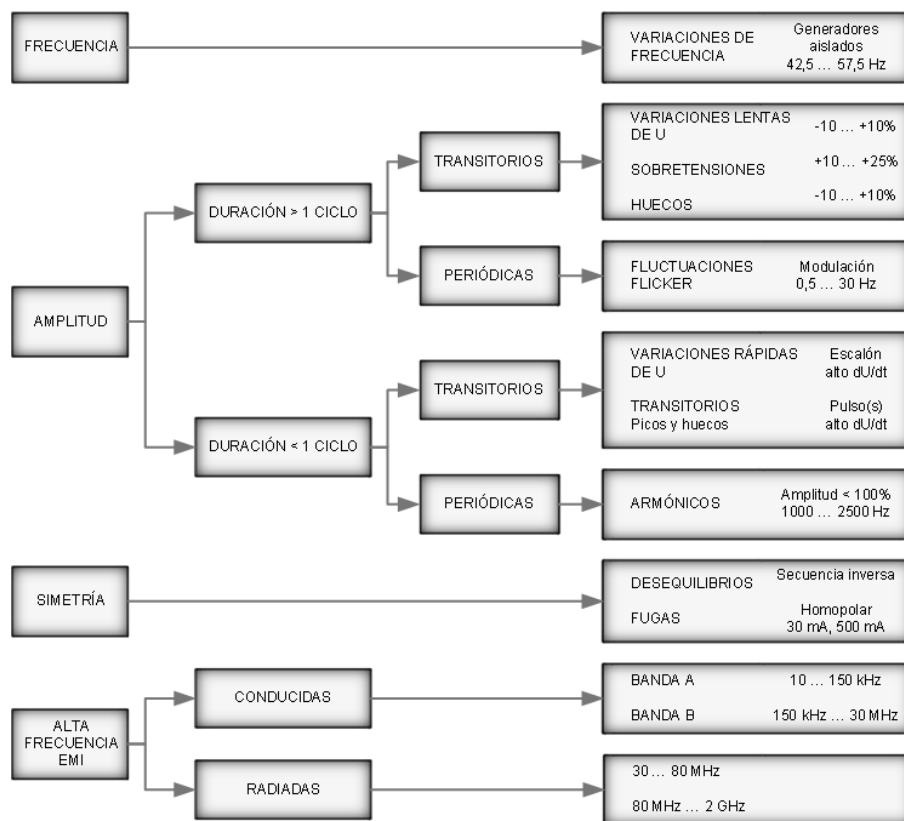
Los principales parámetros de la red (según se define en la norma EN-50.160), que pueden verse alterados por algún tipo de perturbaciones son los siguientes:

- Frecuencia
- Amplitud
- Forma de onda
- Simetría del sistema trifásico

Todos ellos pueden verse afectados de forma transitoria, es decir sin ninguna cadencia de repetición denominada, o de forma periódica (Figura 1). Por otro lado, la duración puede ser de fracciones de ciclo o de varios ciclos o incluso periodos de varios segundos o minutos (Balcells, y otros, 2016).

Figura 1

Perturbaciones más frecuentes en la red eléctrica



Nota. El gráfico representa las perturbaciones más frecuentes que se pueden encontrar en una red eléctrica. Tomado de (Balcells, y otros, 2016).

Las perturbaciones presentan una amplia variedad y en la Figura 1 se muestra un resumen de los principales tipos de perturbaciones de red, de los cuales nos concentraremos únicamente a las perturbaciones de amplitud que se presentan con una duración mayor a 1 ciclo; siendo estas de carácter periódico y en donde presentan origen las fluctuaciones y el flicker que actúan en un rango de frecuencia desde 0,5 hasta 30 Hz.

Perturbaciones No Periódicas y Periódicas

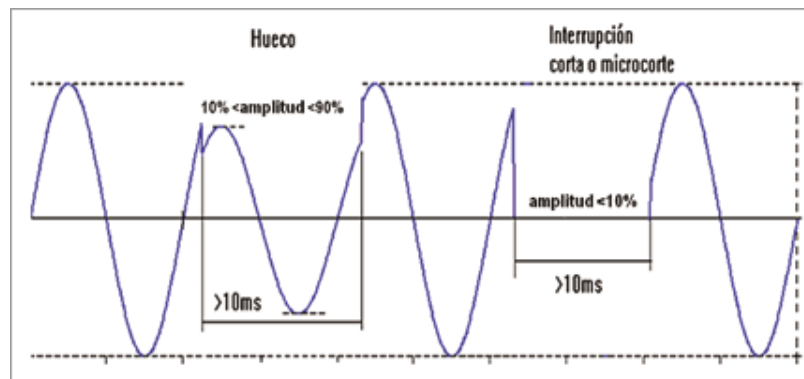
Las definiciones presentadas a continuación acerca de las perturbaciones no periódicas y perturbaciones periódicas son tomadas en base a las normas de la serie EN-61000.

a. Perturbaciones No Periódicas:

- **Variación de Tensión:** Aumento o disminución de tensión, provocada normalmente por la variación de la carga total de la red de distribución o de una parte de esa red. Suele medirse en promedios de 10 segundos. En general, en distribución, se exige mantener la tensión dentro de un $\pm 10\%$ durante el 95% del tiempo (ElectroIndustria, 2012).
- **Sobretensión Temporal a Frecuencia Industrial (Swell):** Sobretensión de una duración relativamente larga en un lugar dado. Las sobretensiones temporales son habitualmente debidas a maniobras o defectos (por ejemplo, reducción súbita de la carga, defectos monofásicos, no linealidades, etc.) (ElectroIndustria, 2012).
- **Hueco de la Tensión de Alimentación (Sag):** Disminución de la tensión de la alimentación a un valor situado entre el 90% y el 10% de la tensión nominal, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de tensión dura entre 10 ms y 1 minuto (concepto ilustrado en la Figura 2) (ElectroIndustria, 2012).

Figura 2

Huecos e interrupciones cortas



Nota. El gráfico representa el concepto de un hueco de tensión de alimentación.

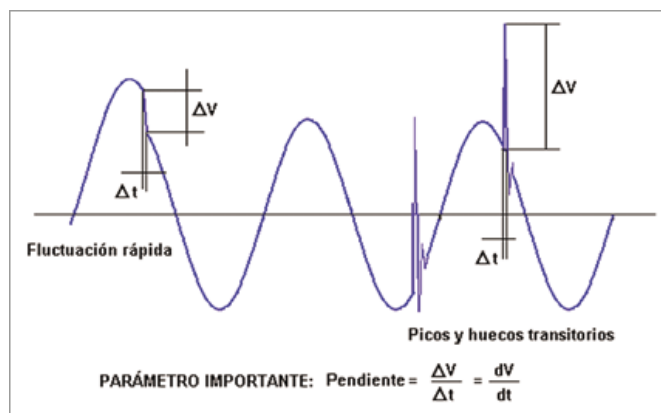
Tomado de (ElectroIndustria, 2012)

- **Interrupción de Alimentación:** Condición en la que la tensión de las tres fases en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión nominal (ElectroIndustria, 2012).
- **Microcorte:** Este término no aparece propiamente definido en la norma comentada, pero suele aplicarse como sinónimo de interrupción corta con duración de algunos milisegundos. Este tipo de perturbación aparece típicamente en los disparos de protecciones con reenganche automático (ElectroIndustria, 2012).
- **Variación Rápida de Tensión:** Variación del valor eficaz de una tensión entre dos niveles consecutivos mantenidos durante intervalos de tiempo definidos, pero sin una cadencia de repetición especificada (ElectroIndustria, 2012).
- **Sobretensión Transitoria (Surge):** Sobretensión oscilatoria, o no, de corta duración, generalmente fuertemente amortiguada y que dura como máximo algunos milisegundos (ElectroIndustria, 2012).

- Picos (Surges) y Huecos (Notch) Transitorios:** No los define la norma señalada. Se trata de variaciones de tensión de corta duración (menos de 10 ms), por encima o por debajo del valor instantáneo de la tensión, con o sin oscilación, causadas por conexión-desconexión de cargas inductivas o capacitivas, o por descargas atmosféricas (concepto ilustrado en la Figura 3.). Este tipo de perturbaciones, conocidas también como "parásitos" o con mayor propiedad "EMI" ("Electromagnetic Interferences") sólo son medibles con osciloscopios o registradores que permitan ver la forma de onda. La correcta cuantificación se la debe hacer midiendo el espectro de amplitudes entre 10 kHz y 30 MHz con analizadores de espectro apropiados (ElectroIndustria, 2012).

Figura 3

Ejemplos de variación rápida de tensión y transitorios



Nota. El gráfico describe un ejemplo de la variación rápida de tensión, los picos y huecos transitorios de tensión. Tomado de (ElectroIndustria, 2012).

b. Perturbaciones Periódicas:

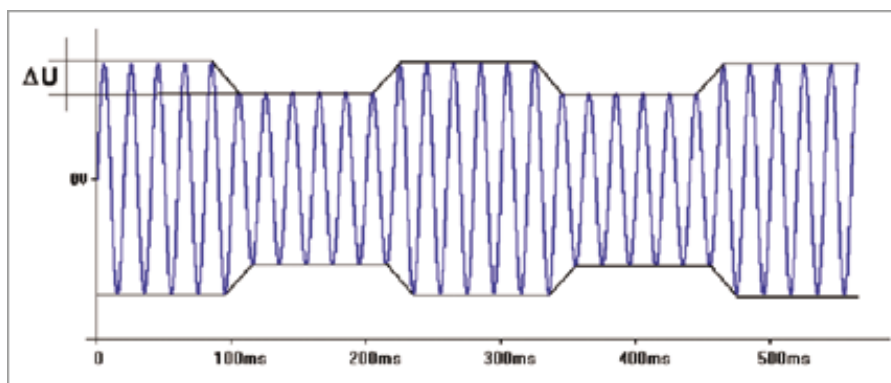
- Fluctuación de Tensión:** Es una serie de variaciones de la tensión o variación cíclica de la envolvente de la tensión como lo muestra la Figura 4. Esta

envolvente puede variar de forma aleatoria o de forma periódica siguiendo determinados perfiles de envolvente (ElectroIndustria, 2012).

- **Parpadeo (Flicker):** Es una impresión de inestabilidad de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el que la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo. Dicho parpadeo se debe en general a las fluctuaciones de la tensión de la red, y es perceptible para frecuencias entre 0,5 Hz y 25 Hz. Al parámetro de medida del Flicker se lo llama perceptibilidad. Para tiempos cortos (10 minutos), el parámetro se llama Pst y para tiempos largos (2 horas), se llama Plt (ElectroIndustria, 2012).

Figura 4

Ejemplo de variación rápida de tensión



Nota. El gráfico describe un ejemplo de la variación rápida de tensión. Tomado de (ElectroIndustria, 2012)

- **Tensión Armónica:** Es la tensión sinusoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental de la tensión de alimentación (ElectroIndustria, 2012).
- **Tensión Interarmónica:** Se la llama a la tensión sinusoidal cuya frecuencia se sitúa entre las frecuencias de los armónicos, es decir, cuya frecuencia no es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (ElectroIndustria, 2012).

- **Desequilibrio de Tensión:** En un sistema trifásico, condición en la que los valores eficaces de tensión de las tres fases no son iguales o los ángulos entre fases consecutivas no son iguales (ElectroIndustria, 2012).

2.2.3. Definición del Flicker

Entre las definiciones del efecto flicker se hace mención las siguientes:

Según (Pila Pila & Zambrano Reasco, 2010), el flicker o parpadeo de luz se define como “la impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia”, de acuerdo con la CEI-555-1 (Comisión de Electrotecnia Internacional). Es un fenómeno de origen fisiológico, visual que se presenta en los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a los circuitos de iluminación y también a algún tipo de carga.

El autor (Segarra Cusanguá, 2001), define al flicker o parpadeo se define como una variación del flujo luminoso causado por perturbaciones eléctricas y por lo tanto produce una sensación fisiológica al individuo que es sometido a aquella variación. Los cambios de la intensidad en la iluminación producen una sensación de molestia a la vista (excepto cuando se busca ese efecto, por ejemplo, en las discotecas).

Por consiguiente, el fenómeno flicker es el resultado de la variación de la intensidad del flujo luminoso que afecta a la visión humana generado por las fluctuaciones de voltaje en la red eléctrica; convirtiéndose en un problema de percepción visual, ya que este fenómeno va a depender principalmente de las personas que lo puedan percibir o apreciar, y son causadas principalmente por:

1. La variación fluctuante de potencia que absorben diversas cargas como: hornos de arco, máquinas soldadoras eléctricas, motores eléctricos (arranque principalmente), etc.

2. La desconexión o puesta en marcha de cargas importantes como: arranques de motores, maniobras de bancos de capacitores, etc.

Como se mencionó el flicker es el producto de las perturbaciones rápidas de voltaje, entre ellas tenemos las variaciones cíclicas del valor eficaz, los cambios aleatorios y momentáneos de voltaje, por lo tanto, el fenómeno flicker se puede categorizar en:

- **Flicker Cíclico:** es aquel resultante de las fluctuaciones periódicas del voltaje, tales como las que pueden ser causadas por la operación de un motor accionado a un compresor alterno (Garrido Almeida, 1998).
- **Flicker no Cíclico:** es aquel que corresponde a las fluctuaciones ocasionales del voltaje, tales como las que pueden ser causadas por el encendido o arranque de un motor (Garrido Almeida, 1998).

Índice de Severidad de Corta Duración (P_{st})

El Índice de Severidad de Corta Duración se lo define como una unidad de medida para la evaluación de severidad del Flicker en un tiempo establecido de 10 minutos según la Norma IEC 61000-4-15 (sustituye a la IEC 868). Y está dada por la siguiente ecuación experimental:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Según (Tenorio Zurita, 2002) los valores de $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} , se los denomina como Percentiles de *Perceptibilidad máxima* los cuales representan la sensación instantánea del flicker. Son valores que indican cual es la máxima Perceptibilidad alcanzada durante 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50% del tiempo programado, distribuido de la siguiente forma:

- **P_{0.1}**: el valor máximo de la Perceptibilidad durante el 0.1% del tiempo programado; es decir a los 0.6" primeros segundos en caso de asumirse 10' de programación.
- **P₁**: el valor máximo de la Perceptibilidad durante el 1% del tiempo programado; es decir a los 6" primeros segundos.
- **P₃**: el valor máximo de la Perceptibilidad durante el 3% del tiempo programado; es decir a los 18" primeros segundos.
- **P₁₀**: el valor máximo de la Perceptibilidad durante el 10% del tiempo programado; es decir a los 60" primeros segundos.
- **P₅₀**: el valor máximo de la Perceptibilidad durante el 50% del tiempo programado; es decir a los 600" primeros segundos (Tenorio Zurita, 2002).

Índice de Severidad de Larga Duración (P_{lt})

“En la práctica cuando la perturbación es producida por diversas cargas que funcionan de manera aleatoria o cuando las fuentes de Flicker tienen ciclos de trabajo largos y variables, entonces es necesario realizar otro análisis más minucioso con el Índice de Severidad de Larga Duración” (Segarra Cusanguá, 2001).

Para periodos largos generalmente de 2 horas según la Norma IEC 61000-4-15 se debe hacer un promedio de tercer orden de los P_{sti} (12 valores), obteniendo así el parámetro P_{lt} definido por la siguiente ecuación:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

P_{sti} : son los valores calculados de índices de Corta Duración de algún tiempo establecido.

N: es el número de periodos de integración durante el tiempo que establece las normativas en el correspondiente análisis.

Por lo tanto, la anterior ecuación queda:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{Sti}^3}{12}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Para determinar el P_{lt} se debe considerar la ecuación del P_{st} , porque estos valores determinados son los que se introducen en la Ecuación (2) para el cálculo del índice de larga duración. Se debe calcular con la ecuación del P_{st} durante 2 horas con una toma de datos de 10 minutos, y dado como resultado un $P_{st}1'$ donde los primeros minutos hasta el $P_{st}12'$ de los 10 últimos minutos durante las 2 horas (Tenorio Zurita, 2002).

A continuación, se detalla a través de un ejemplo cómo se determina con valores supuestos los $P_{st}1'$ hasta $P_{st}12'$ de las 2 horas.

$P_{st}1' = 0.3$ de los primeros 10 minutos

.

.

.

$P_{st}12' = 0.6$ de los últimos 10 minutos durante las 2 horas

Al final se recopila todos los datos calculados por la Ecuación (1) y al final se puede determinar el P_{lt} por medio de la Ecuación (4).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{(P_{St1'})^3 + (P_{St2'})^3 + \dots + (P_{St12'})^3}{12}} \quad \text{Ec. (4)}$$

2.2.4. La Fluctuación Relativa de Tensión

El fenómeno del parpadeo o flicker guarda una relación con las variaciones del valor eficaz de la tensión y la frecuencia con la que estas ocurren.

Según (Cidrás & Carrillo, 2002), las fluctuaciones de tensión se pueden suponer como una modulación de la tensión de la red, prácticamente sinusoidal, en un punto con otra señal de más baja frecuencia cuya forma es, en principio aleatoria. La presencia de esta última hace que la tensión eficaz no tenga un valor constante si no que oscila entre unos determinados valores. Para medir la severidad de estas perturbaciones que se manifiestan en formas de variaciones en la tensión eficaz se define el término *Variación Relativa de Tensión*, valor que se suele dar en tanto por ciento.

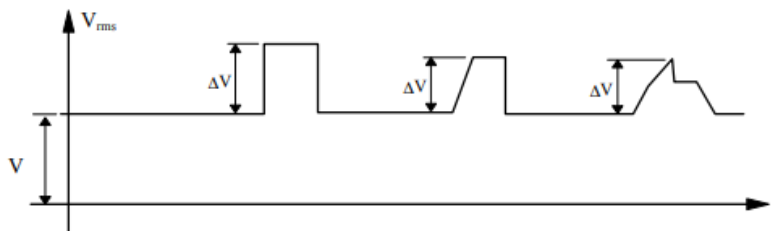
La expresión que la define es la siguiente:

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100(\%) \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde V es la tensión cuando no hay perturbaciones, por ejemplo, la que hay en el punto de la red objeto del estudio antes de conectar la carga que provoca las fluctuaciones de tensión (Véase la Figura 5). Por el contrario, la ΔV es la excursión de dichas fluctuaciones (Cidrás & Carrillo, 2002).

Figura 5

Fluctuaciones en el valor eficaz de la tensión



Nota. El gráfico representa las fluctuaciones en el valor eficaz de la tensión. Tomado de (Cidrás & Carrillo, 2002).

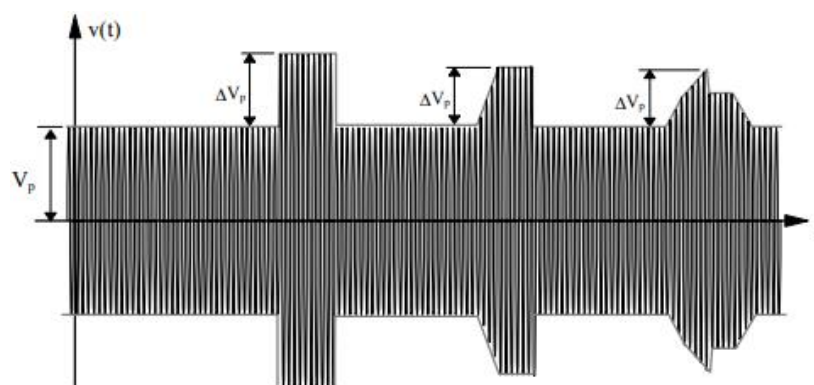
El valor de la variación relativa de tensión también se puede calcular a partir de los valores de tensión instantáneos, tomando en vez de los valores eficaces los de pico, como se muestra en la Ecuación (6) (Cidrás & Carrillo, 2002).

$$\frac{\Delta V_p}{V_p} \times 100(\%) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde las fluctuaciones de voltaje están tomadas según las correspondientes en la Figura 6.

Figura 6

Fluctuaciones instantáneas de tensión



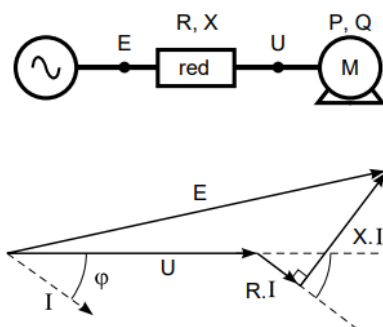
Nota. El gráfico representa las fluctuaciones instantáneas de tensión. Tomado de (Cidrás & Carrillo, 2002).

2.2.5. Explicación Matemática del Origen del Flicker

Los orígenes de estas fluctuaciones son equipos electrónicos cuyo funcionamiento necesita importantes variaciones cíclicas de intensidad. Estas, al recorrer la impedancia de la red (R, X), provocan variaciones de tensión ΔV (Wierda, 2001).

Figura 7

Las variaciones de tensión se deben a variaciones de intensidad I que recorren las impedancias de la red



Nota. El gráfico representa las variaciones de tensión (origen del flicker), se deben a variaciones de intensidad I que recorren las impedancias de la red. Tomado de (Wierda, 2001).

A continuación, se define las variables de la siguiente manera:

V = voltaje nominal de la red (de funcionamiento)

E = tensión en vacío de la red

ΔV = caída de voltaje (= $E - V$)

P = potencia activa de la carga bajo el voltaje nominal V

Q = potencia reactiva de la carga bajo el voltaje nominal V

$\cos \varphi$ = factor de potencia de la carga

I = corriente nominal de carga

S_{cc} = potencia de cortocircuito de la red aguas arriba

R = resistencia total de la red aguas arriba

X = reactancia de la red aguas arriba

Si se considera que el ángulo entre E y V es pequeño:

$$\Delta V = E - V \approx RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \quad \text{Ec. (7)}$$

Se puede escribir:

$$P = VI \cos \varphi \quad \text{y} \quad Q = VI \sin \varphi \quad \text{Ec. (8)}$$

De donde resulta:

$$\Delta V = \frac{RP + XQ}{V} \quad \text{Ec. (9)}$$

Y el valor relativo:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{RP + XQ}{V^2} \quad \text{Ec. (10)}$$

Notas:

1. En alta tensión, la resistencia R es despreciable frente a la impedancia X, y la ecuación se transforma: (Beltrán Navarrete, 2005).

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{XQ}{V^2} = \frac{Q}{S_{cc}} \quad \text{Ec. (11)}$$

Es decir; la variación de la potencia reactiva es preponderante y se ha de controlar.

2. En baja tensión, no es despreciable, de modo que hay que actuar sobre la potencia activa P y la potencia reactiva Q (Beltrán Navarrete, 2005).

2.2.6. Caracterización del Flicker

El efecto fisiológico es el más importante de la variabilidad del flujo luminoso, porque afecta la ergonomía del entorno de producción, provocando fatiga y reducción

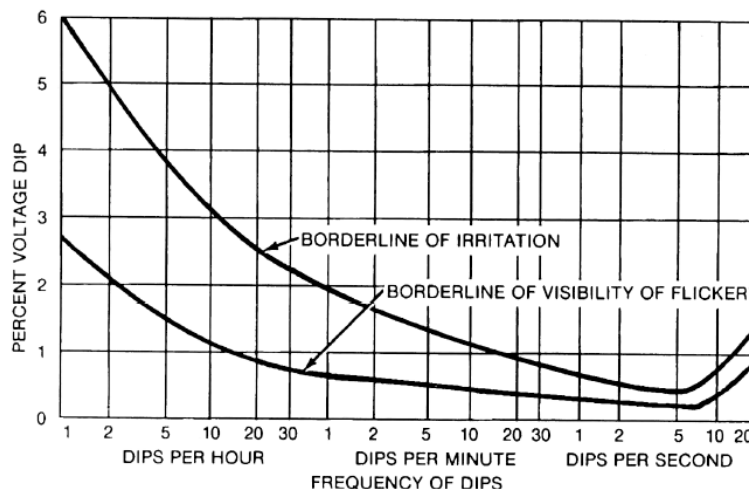
del nivel de concentración de los trabajadores. Las frecuencias a las cuales se perciben las fluctuaciones son relativamente bajas (0,5 – 30 Hz aproximadamente).

Diversos estudios señalan que las frecuencias inferiores a 0,5 Hz no alcanzan a producir molestia porque la cadena ojo-cerebro es capaz de separar los destellos producto de las fluctuaciones; pero a partir de una cierta frecuencia, que se conoce como frecuencia de fusión, aparece el fenómeno de Flicker causando una sensación desagradable en quien lo percibe. Superada una cierta frecuencia de parpadeo, que no tiene un valor fijo sino que depende de las condiciones ambientales de iluminación, y que está alrededor de los 25 a 30 Hz, la sensación de Flicker desaparece y el sistema ojo-cerebro percibe una iluminación promedio constante (Oviedo Castillo & Rueda Acosta, 2009).

Algunos experimentos realizados han entregado como resultado las curvas de tolerancia, que son gráficos que enseñan los valores de modulación y frecuencia de fluctuación para los cuales hay un nivel de percepción común, según las condiciones específicas de los experimentos, como el tipo de carga responsable de la fluctuación, el tipo de lámpara empleada, o el tipo de espacio en el que se encuentre la misma y los participantes del ensayo, ya que no todos los individuos responden de igual forma ante las fluctuaciones en la intensidad lumínica (Oviedo Castillo & Rueda Acosta, 2009).

Figura 8

Curva de tolerancia IEEE Std 141-1993



Nota. El gráfico muestra la curva de tolerancia acorde la norma IEEE Std 141-1993.

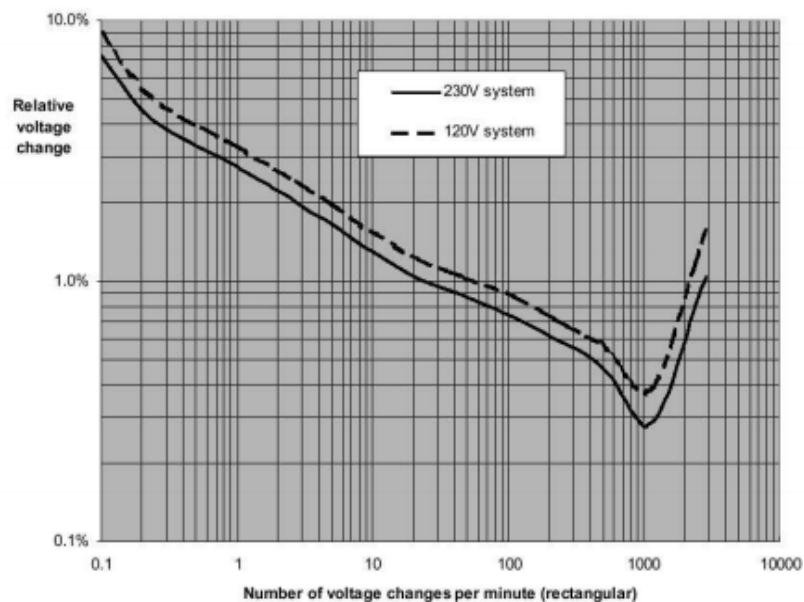
Tomado de (IEC, 61000-4-15, 2004).

En la Figura 8 se presentan las curvas de límites de sensibilidad e irritabilidad de estándar IEEE 141-1993. En ella se muestran dos umbrales de sensibilidad de percepción de flicker para sistemas de suministro en baja tensión. La grafica se define con el porcentaje de variación de tensión (eje de las ordenadas) y de la frecuencia de tal variación (eje de las abscisas).

Cuando el punto definido por la magnitud y la frecuencia de las variaciones de voltaje queda por encima de la curva umbral de sensibilidad, es probable que el efecto resulte molesto para la gran mayoría de los observadores humanos. Por lo contrario, si el punto está debajo de la curva del umbral, lo más probable es que el efecto resulte imprescindible (Ferreyra, Gudiño, & Sada, 2013).

Figura 9

Curvas de umbrales de sensibilidad ante cambios de voltaje



Nota. El gráfico muestra las curvas de umbrales de sensibilidad ante cambios de voltaje. Tomado de (Ferreyra, Gudiño, & Sada, 2013).

2.2.7. El Medidor de Parpadeo Según la Norma IEC 61000-4-15

La Norma IEC 61000-4-15 muestra las especificaciones funcionales y de diseño de un dispositivo destinado a medir el nivel de parpadeo en un punto de la red eléctrica sin importar cuál sea su forma de onda, se trata del medidor de parpadeo (flicker), en inglés “*flickermeter*”.

El Diagrama de Bloques

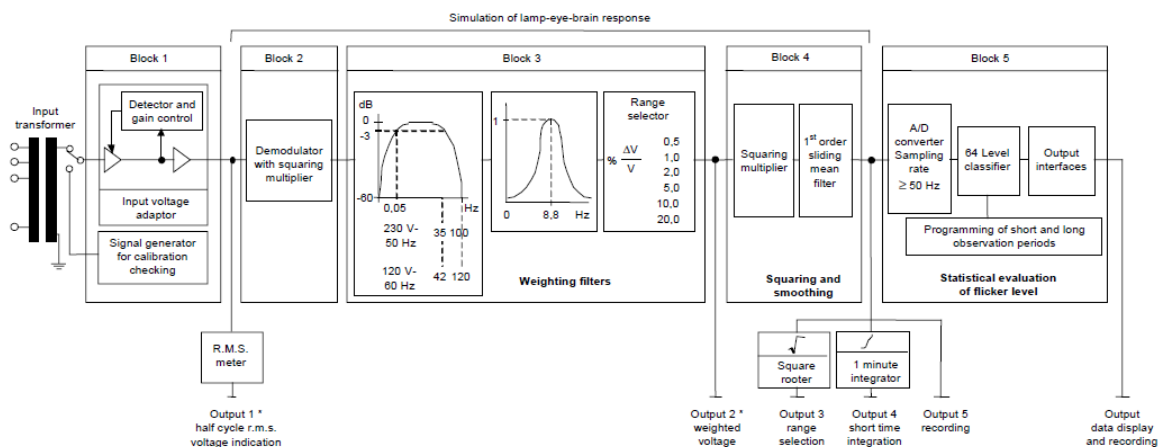
En la Figura 10 se puede observar el diagrama de bloques que conforma el medidor de parpadeo (flickermeter) acorde la Norma IEC 61000-4-15, los distintos bloques que forman parte de este medidor principalmente son:

- **Transformador de Entrada:** Se usa para adaptar los niveles de tensión de entrada (red eléctrica) a los niveles admisibles del medidor (Cidrás & Carrillo, 2002).
- **Bloque 1. Adaptación de la Tensión de Entrada y Circuito de Chequeo:** Posee un generador de señales para calibración del equipo “in situ”, también contiene un circuito que adapta el nivel de tensión del secundario a un nivel de referencia, esto hace que las medidas sean independientes del punto que se realiza la medición (Cidrás & Carrillo, 2002).
- **Bloque 2. Demodulador:** El objetivo de este bloque es obtener una señal que represente el parpadeo de una lámpara incandescente ante las perturbaciones que tenga la señal de tensión de alimentación (Cidrás & Carrillo, 2002).
- **Bloque 3. Filtro de Simulación del Ojo:** Este bloque posee dos filtros en cascada que simulan el comportamiento del ojo ante el parpadeo de una lámpara. Contiene, además, otro bloque encargado de ajustar el rango de medida (Cidrás & Carrillo, 2002).
- **Bloque 4. Simulación del Cerebro:** Este bloque eleva la señal obtenida de la etapa anterior al cuadrado, luego esta señal ingresa por un filtro pasa bajo de 1er orden. La salida de este bloque representa la sensación de parpadeo instantánea a la que es sometida un observador medio, a esta salida se la conoce como IFL (Instantaneous Flicker Level) (Cidrás & Carrillo, 2002).
- **Bloque 5. Análisis Estadístico:** Este bloque emite una medida cuantitativa de la severidad del parpadeo o una serie de ellas. Estos resultados se obtienen a partir de un histórico de la evolución de la sensación del parpadeo; puede o no hacerse en línea, por lo tanto, es necesario tener todos los datos almacenados.

De acuerdo con el periodo de medición se obtendrá el P_{st} (periodo corto) o el P_{lt} (periodo largo) (Cidrás & Carrillo, 2002).

Figura 10

Diagrama de bloques de un medidor de parpadeo, Flickermeter



Nota. El gráfico representa el diagrama de bloques de un medidor de parpadeo, Flickermeter. Tomado de (IEC, 61000-4-15, 2004).

Una vez descritos los bloques presentes en un medidor de parpadeo se pretende que, a partir de las fluctuaciones de voltaje de la red de un determinado punto, se detecten sus variaciones de amplitud. A partir de estos valores se toma una lámpara eléctrica como referencia para poder simular su efecto y se obtiene un valor de salida que permita representar la sensación visual que podría experimentar un observador medio (Cidrás & Carrillo, 2002).

A continuación, se realiza una descripción con mayor detalle de cada uno de los bloques que está compuesto este medidor de parpadeo:

a. Bloque 1: Adaptación de la Tensión de Entrada y Circuito de Chequeo.

Este bloque contiene un generador de señal para la calibración del medidor de parpadeo “in situ”, de forma que se puede conmutar y realizar las medidas en el

secundario del transformador o con el generador de señal. Este generador proporciona una onda sinusoidal a la frecuencia de red modulada por una onda cuadrada de 2.94 Hz con un valor de fluctuación relativa de tensión, $\Delta V/V$ (%) del 1% (Cidrás & Carrillo, 2002).

Por último, (Cidrás & Carrillo, 2002) menciona que este bloque tiene un adaptador de niveles de tensión. Este circuito se encarga de adaptar el nivel de tensión en el secundario del transformador a un nivel de referencia constante, sin modificar la fluctuación relativa de tensión $\Delta V/V$ (%). Este circuito tiene un tiempo de respuesta de 1 minuto.

b. Bloque 2. Demodulador

El demodulador cuadrático que corresponde a este bloque tiene el propósito de reestablecer la fluctuación de tensión. Esto significa que la salida de este bloque es una tensión proporcional a la amplitud de la fluctuación de modulación de la entrada. En este bloque se debe elevar la señal de entrada al cuadrado para poder recuperar el valor de la fluctuación de tensión de entrada escalada al nivel de referencia y, luego se hace pasar la señal por un filtro pasa bajas. Este filtro se emplea para eliminar componentes de distorsión de frecuencia que se originan al elevar la señal al cuadrado (Oviedo Castillo & Rueda Acosta, 2009).

c. Bloque 3. Filtros de Simulación del Ojo

En esta etapa se simula la percepción del ojo humano ante la sensación instantánea de parpadeo, y este se compone de tres filtros en cascada más un selector de rango, este puede estar antes o después de los filtros que a continuación se describe.

Los autores (Cidrás & Carrillo, 2002), describen que el primero de los filtros en un Paso Alto de Butterworth de 1^{er} orden, cuya frecuencia de corte es de 0.05 Hz. Este filtro tiene como propósito eliminar la componente continua de la señal de entrada. La salida de este filtro va a un filtro Paso Bajo de Butterworth de 6^{to} orden, cuya misión es la de eliminar las frecuencias cercanas a las del doble de la frecuencia de red. Con estos dos primeros filtros se realiza un prefiltrado de aquellas fluctuaciones no perceptibles por el ojo humano. Además de los dos filtros anteriores se puede añadir un filtro Rechaza Banda, sintonizado al doble de la frecuencia de red, para suplir las deficiencias de la demodulación.

En cascada con los filtros anteriores se tiene un filtro que pondera, en el dominio de la frecuencia, las fluctuaciones de tensión. Esta función se ha obtenido a partir de análisis estadísticos realizadas sobre poblaciones. Y representa la sensibilidad de un individuo medio al parpadeo producido por una lámpara de incandescencia cuya tensión de alimentación está modulada sinusoidalmente (Cidrás & Carrillo, 2002).

Tabla 1

Valores indicativos de los parámetros de las lámparas

Variable	230 V lamp 50 Hz system	120 V lamp 60 Hz system
k	1,74802	1,6357
λ	$2\pi \times 4,05981$	$2\pi \times 4,167375$
ω_1	$2\pi \times 9,15494$	$2\pi \times 9,077169$
ω_2	$2\pi \times 2,27979$	$2\pi \times 2,939902$
ω_3	$2\pi \times 1,22535$	$2\pi \times 1,394468$
ω_4	$2\pi \times 21,9$	$2\pi \times 17,31512$

Nota. Esta tabla muestra los valores indicativos de los parámetros de las lámparas.

Tomado de (IEC, 61000-4-15, 2004).

La función de transferencia de este filtro está dada por la Ecuación 12 y en la Tabla 1 se dan valores indicativos acorde los parámetros de las lámparas.

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad \text{Ec. (12)}$$

d. Bloque 4: Simulación del Cerebro.

En este bloque se simula la sensación de parpadeo procesada por el cerebro. Para ello se dispone un parte en la que se eleva al cuadrado la señal de entrada para simular el comportamiento no lineal de la percepción del ojo y del cerebro conjuntamente. Seguidamente se tiene un filtro de 1^{er} orden que simula el efecto de almacenamiento o memoria de las sensaciones visuales. Este filtro es equivalente a un filtro paso bajo compuesto por una resistencia y un condensador (de 1^{er} orden) con una constante de tiempo de 300 milisegundos (Cidrás & Carrillo, 2002).

e. Bloque 5: Análisis Estadístico

Este tratamiento puede o no hacerse en línea, pero por la limitación y complejidad que este tiene, pero lo más conveniente es hacerse por separado, almacenando primero las señales de IFL para lo posterior ser tratadas por este bloque. La salida de este bloque nos indica el nivel de severidad del parpadeo y el mismo que puede darse de dos formas según su periodo, uno es de corto periodo y el otro de largo periodo (Obando Acevedo, 2008).

La señal IFL se muestrea para poder ser tratada en un computador de forma digital. Posteriormente se debe analizar, de tal forma que quede consignada la severidad o intensidad del parpadeo y la duración del mismo, para ello se elige el

periodo de observación el cual puede ser corto (Pst) o largo Plt (Obando Acevedo, 2008).

2.2.8. Normativa Sobre la Calidad de Energía

En Ecuador, la entidad encargada de regular las normas que rigen en el uso de electricidad es el ARCONEL. La regulación vigente para la calidad de energía eléctrica es la No. ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, en la que se detalla los atributos a evaluar de la calidad de prestación del servicio de energía eléctrica, aquí se considera la calidad de producto, servicio técnico y comercial.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se consideró lo relacionado con la calidad del producto, el literal que se refiere a la perturbación rápida de voltaje, dentro del cual estudiaremos el efecto del Flicker.

Perturbación Rápida de Voltaje (Flicker)

a. Índice

Se evaluará mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (P_{st}), el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos. El P_{st} se evalúa conforme la norma IEC 61000-4-15 (ARCONEL, 2019).

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

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

$P_{0,1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%,

1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

b. Límite

El valor límite para el índice de severidad del flicker P_{st} en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad (ARCONEL, 2019).

c. Cumplimiento del Índice de Flicker en el Punto de Medición

La distribuidora cumple con el índice de severidad por flicker en un punto de medición cuando el 95% o más de los valores registrados, en el período de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, es menor al límite establecido (ARCONEL, 2019).

2.2.9. Orígenes de las Fluctuaciones de Tensión

El parpadeo (flicker) puede ser motivado por perturbaciones introducidas durante la generación, transmisión o distribución de energía, pero que generalmente son provocadas por el uso de grandes cargas fluctuantes, es decir, cargas cuya demanda de potencia activa o reactiva fluctúa rápidamente (Ferreyra, Gudiño, & Sada, 2013).

En el caso de cargas fluctuantes de cierta envergadura (magnitud), la principal causa de tales variaciones de tensión es la variabilidad en el tiempo de la componente reactiva de la potencia de tales cargas. Entre estas cargas están, por ejemplo, los hornos de arco, los motores de laminadoras, grandes bobinadoras, etc. (Ferreyra, Gudiño, & Sada, 2013).

Es muy importante observar que las cargas de pequeña potencia, tales como soldadoras, reguladores de potencia, sierras y martillos eléctricos, bombas, compresores, grúas, elevadores, etc., pueden también ser fuentes productoras de parpadeo (flicker). De hecho, el simple arranque de cualquier motor de inducción puede clasificarse de ese modo, aunque la transitoriedad de tal fenómeno hace que por lo general no tenga un efecto permanente significativo (Ferreyra, Gudiño, & Sada, 2013).

Se puede generalizar diciendo que el parpadeo es provocado por cargas con una elevada relación de cambio de potencia con respecto a la capacidad de cortocircuito instaladas en el punto de conexión a la red de suministro, dicho punto se denomina habitualmente punto de acoplamiento común dentro del ámbito de estudio de la calidad de energía eléctrica, relacionado entre una carga contaminante y otra sensible.

2.2.10. Fuentes Productoras de Flicker

Al conectar al Sistema de Distribución algunos equipos eléctricos de los diferentes consumidores (residencial, comercial e industrial), pueden provocar oscilaciones durante su operación normal de funcionamiento, esto trae como consecuencia el fenómeno de parpadeo (flicker) que como se ha definido anteriormente es una impresión visual de una luminosidad oscilante que puede ser regular o irregular.

De entre los equipos eléctricos que son utilizados en la red de distribución se destacan aquellos que, en su régimen normal de operación, puede provocar oscilaciones de voltaje, como son: hornos de arco, motores (en el arranque o al accionar cargas variables tales como laminadores, compresores alternativos, sierras alternativas, excavadoras y otros), aparatos de solda, rayos X, etc. (Segarra Cusanguá, 2001)

Las oscilaciones de voltaje son ocasionadas por la operación de estos dispositivos eléctricos, estos a su vez pueden producir perturbaciones a cualquier momento y afecta al funcionamiento de las instalaciones eléctricas de los diferentes consumidores que están conectados a una misma red de distribución; por ejemplo, se puede mencionar los receptores de televisión, computadoras u otro tipo de equipamientos electrónicos.

Entretanto la sensibilidad al fenómeno del flicker varia de persona a persona, pudiendo ser que el descontento o la situación desagradable para una puede no ser perceptible para la otra. Siendo así el problema de tratamiento estadístico, no siendo posible decir si una cantidad particular de flicker causará o no quejas, mas solamente dará una probabilidad de surgimiento de reclamaciones (Segarra Cusanguá, 2001)

A continuación, se examinará algunas consideraciones de la caída de voltaje con las que se podrá determinar si una fuente de flicker puede producir una cantidad de flicker notable o incluso irritante.

- Cargas más grandes producen fluctuaciones de voltaje más grandes, comparadas con las cargas más pequeñas (Segarra Cusanguá, 2001).
- Cargas conectadas a sistemas débiles son más probables a producir cantidades notables de flicker cuando son comparadas a las mismas cargas conectadas a sistemas más fuertes (Segarra Cusanguá, 2001).
- La cantidad de flicker será mayor cerca de la fuente de flicker. Los usuarios conectados al mismo transformador son más propensos a percibir el flicker causado por los usuarios adyacentes que si cada uno de los consumidores fuera de servicio por su propio transformador (Segarra Cusanguá, 2001).
- La magnitud del cambio de voltaje producido en el primario, en general, será significativamente menor, que si es observada o medida en el secundario (Segarra Cusanguá, 2001).

Antes de desarrollar el tema de fuentes productoras de flicker se requiere definir términos como compatibilidad electromagnética y el punto de acoplamiento común.

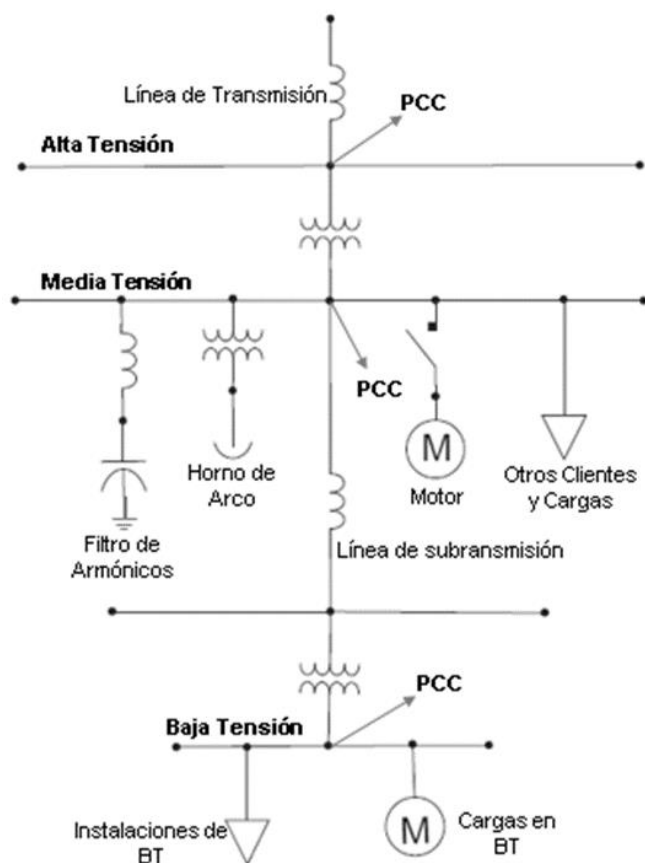
- **Compatibilidad Electromagnética (CEM):** Capacidad de un aparato o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético, de forma satisfactoria y

sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentra en este entorno (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

- **Punto de Acoplamiento Común (PCC):** Punto común entre el usuario o carga perturbadora y los posibles afectados. Este es el punto de la red de distribución, más próximo (eléctricamente) de un usuario, al que están o pueden ser conectados otros usuarios. El PCC se puede encontrar en el primario o secundario del transformador según donde se encuentre la carga perturbadora (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

Figura 11

Diagrama unifilar de un sistema donde se observan varios puntos donde es posible obtener fluctuaciones rápidas de voltaje



Los autores (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010), mencionan que el flicker depende ampliamente de la impedancia de la red en el punto de acoplamiento común (PCC), el cual está clásicamente relacionado con el nivel de cortocircuito. El valor de la potencia de cortocircuito debe ser mayor que la potencia de las cargas conectadas para que no ocurra este fenómeno. Es por esto que cuando se tiene una fuente con una alta potencia de cortocircuito y baja impedancia se obtiene menores fluctuaciones de tensión ante fluctuaciones en la corriente de la carga.

Fuentes Industriales Grandes

Es importante observar que las fluctuaciones de tensión causadas por las cargas industriales grandes podrían afectar a una gran cantidad de otros consumidores conectados a la misma red eléctrica. De estos equipos los que más comúnmente provocan este tipo de perturbación son: hornos de arco, soldadoras eléctricas, motores con cargas alternativas y arranques múltiples. En el caso de los hornos de arco y las soldadoras de arco las fluctuaciones de tensión causadas pueden ser pensadas como componentes Interarmónica de baja frecuencia (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

a. Hornos de Arco

Esta carga a menudo representa el usuario más grande que pueda tener una compañía distribuidora de energía eléctrica. Se encuentran en industrias siderúrgicas y generalmente la distribuidora les provee más de 100 MVA. Este tipo de horno es considerado como el mayor productor de fluctuaciones de tensión ya que posee un alto factor de carga y de potencia durante su operación (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

La operación de los hornos de arco posee dos periodos: fundición y refinación, pero resulta que en el primer periodo es cuando las perturbaciones de voltaje producidas por esta carga llegan a inquietar el funcionamiento del sistema eléctrico al que esté conectado, adicional a ello se produce el parpadeo.

Para determinar las fluctuaciones de tensión producidas por los hornos de arco existen dos parámetros que son: tanto la impedancia del transformador que posee el horno y la del sistema eléctrico por arriba del Punto de acoplamiento común.

b. Motores con Cargas Alternativas y Arranques Múltiples

Dentro de esta categoría se incluyen principalmente grandes motores asíncronos (inducción) entre ellos: bombas, compresores, ventiladores, ascensores, refrigeradores, maquinas herramientas y grúas.

En el momento del arranque un motor absorbe una corriente tan grande que puede llegar a siete veces la corriente nominal, desarrollando a su vez un gran torque que puede llegar a ser 160% de su valor nominal. Esto trae como consecuencia caídas momentáneas de tensión en el sistema de distribución principal, dependiendo de las características de la red eléctrica y de otros equipos conectados (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

Las caídas de tensión provocadas por estos motores pueden causar un mal funcionamiento de los dispositivos que estén conectados al mismo sistema eléctrico que estas cargas, y en ocasiones pueden llegar a la interrupción total o parcial del servicio eléctrico ocasionado por el disparo de protecciones de sobrecorriente.

c. Generadores

Para el caso de generadores movidos por motor, el origen de las fluctuaciones de tensión del generador se arraiga en el cambio de fuerzas tangenciales y la velocidad

angular. Recientemente, este problema se confina a sistemas de potencia muy pequeños o donde existan casos de generadores movidos por motor usados como reserva (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

d. Turbinas de Viento

Al igual que cualquier generador eléctrico, son elementos electromecánicos que introducen la energía generada a la red. Se utilizan en forma aislada o en una granja de viento, cuando la conexión eléctrica a la subestación más cercana de electricidad sea débil, y donde la demanda local de electricidad pueda ser mucho menor que la capacidad de generación del viento (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

En este caso la principal causa de flicker originado por estas turbinas se debe a la conmutación que realizan cada uno de sus elementos, en las ocasiones cuando el viento lleve al generador a alcanzar una velocidad aproximada a la velocidad de corte.

Fuentes de Menor Tamaño

Incluye todos los elementos de estado sólido gracias a los cuales es posible obtener fuentes de poder ininterrumpidas, inversores, rectificadores, controladores de velocidad para motores (Fernández Faletto & Toledo Arévalo, 2010).

A estos también se le puede añadir: máquinas fotocopiadoras, máquinas de rayos X, conmutación de bancos de capacitores utilizados para la corrección del factor de potencia y algunas clases de dispositivos residenciales de bajo voltaje.

2.2.11. Técnicas de Mitigación y/o Solución al Parpadeo

A continuación, se presenta algunas soluciones para mitigar el fenómeno del Flicker, comenzando con los más factibles de implementar:

Tabla 2

Características principales y comportamiento frente a las variaciones de tensión de las distintas fuentes luminosas.

Fuentes luminosas	Fluorescencia	Incandescencia	Vapor de sodio a baja presión	Vapor de sodio a alta presión	Vapor de mercurio a alta presión
Tipo de lámparas	Rectilínea, circular, de un solo casquillo, compacta, miniatura o de sustitución	Estándar, fantasía, halógena BT o MTB		Con distintos casquillos	Ampolla fluorescente, luz mixta con yoduros metálicos, con distintos casquillos
Potencia eléctrica (W)	De 45 a 65	De 5 a 2000	De 18 a 180	De 35 a 1000	De 35 a 3500
Eficiencia luminosa (lm.W⁻¹)	De 35 a 104	De 8 a 25	De 100 a 200	De 37 a 150	De 11 a 120
Comportamiento al ponerla en tensión	Después del cebado se obtiene el flujo luminoso completo. Una corriente de precalentamiento de algunos segundos puede alcanzar 2 I _n	El flujo luminoso es inmediato. La sobre intensidad puede alcanzar 14 I _n	Hay una espera de 5 y 10 minutos desde que se pone en tensión hasta que se obtiene el flujo luminoso completo. No hay una sobreintensidad notable.	Hay una espera de 5 y 7 minutos desde que se pone en tensión hasta que se obtiene el flujo luminoso completo. La sobreintensidad puede alcanzar 1,2 o 1,3 I _n	Hay una espera de 5 y 4 minutos desde que se pone en tensión hasta que se obtiene el flujo luminoso completo. La sobreintensidad puede alcanzar 1,5 o 1,7 I _n
Comportamiento frente a fluctuaciones de tensión de alimentación	Solo se perturba con fluctuaciones de 2 o 3 veces más fuertes que las que afectan a las lámparas de incandescencia. Esto es debido a la remanencia del depósito fluorescente	Especialmente sensible a las pequeñas variaciones de tensión repetidas. Esto se debe a la pequeña constante térmica de los filamentos	Muy sensible puesto que su inercia térmica es la del plasma de la descarga luminosa	Ídem que la lámpara de vapor de sodio de baja presión	Ídem que la lámpara de vapor de sodio de baja presión

Nota. Esta tabla muestra las principales características y comportamiento de la red frente a las variaciones de tensión de distintas fuentes luminosa. Tomado de (Wierda, 2001).

Elección del Sistema de Iluminación

Ya que existen fuentes luminosas más o menos sensibles al flicker, la solución evidente y la primera que hay que considerar es elegir bien estas fuentes. La Tabla 2 indica que las lámparas fluorescentes tienen una sensibilidad a las variaciones de tensión dos o tres veces menor que las lámparas de incandescencia. Así pues, se presentan como la mejor elección (Wierda, 2001).

Ondulador

En el caso en que la molestia debida a un flicker se limita a un grupo de usuarios bien identificado, se puede considerar “limpiar” la línea de salida para la iluminación por medio de la instalación de un regulador de tensión o de un ondulador. La inversión de una instalación como ésta puede ser relativamente pequeña, pero esta solución sólo es un remedio local (Villafuerte Noboa, 2008).

Inclusión de un Volante de Inercia

En ciertos casos particulares, una carga giratoria puede provocar fluctuaciones de tensión (por ejemplo, un compresor volumétrico); un volante de inercia sobre su árbol motor las reduce (Wierda, 2001).

Conversor Rotativo

Un grupo motor-generador reservado para la alimentación de la carga fluctuante es una solución válida si la potencia activa de esta carga es relativamente constante, pero su precio es elevado (Wierda, 2001).

Modificación de la Red

Según la estructura de la red, se pueden considerar dos métodos:

- Incremento de la capacidad de potencia de cortocircuito (con respecto a la potencia de la carga) en el punto de acoplamiento a que una carga fluctuante es conectada.

- Modificación de las características de operación de las cargas fluctuantes como, disminución de la capacidad de carga y/o disminución de la cantidad de operaciones efectuadas por minuto (Moreno Olmos, 2007).

El autor (Moreno Olmos, 2007) menciona que existen otras soluciones las que se recomienda en el caso de que sean aplicables y con preferencia a las demás por su simplicidad:

- Conexión de los circuitos de iluminación lo más cerca posible de la fuente de alimentación (transformador).
- Aislar la carga perturbadora de los circuitos de iluminación.
- Cambiando el tipo de iluminación.
- Aumento de la potencia del transformador común (con Vcc constante).
- Puesta en paralelo de transformadores suplementarios.
- Ajuste del tap en el transformador.
- En bajo voltaje, el aumento de la sección de los conductores.
- Conexión de la carga perturbadora a una red de voltaje más elevado.
- Alimentación de la carga por un transformador independiente (Moreno Olmos, 2007).

Capacidad en Serie

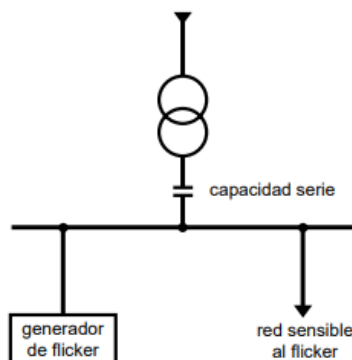
“La introducción de una capacidad en serie en la red (Figura 12) aguas arriba del PCC de la carga perturbadora y de los circuitos sensibles al flicker, puede reducir a la mitad las fluctuaciones de tensión” (Wierda, 2001). Esta solución presenta una ventaja suplementaria, pero también un inconveniente:

- **La ventaja:** asegura, además, una producción de energía reactiva (Wierda, 2001).

- **El inconveniente:** hay que proteger los condensadores contra los cortocircuitos aguas abajo (Wierda, 2001).

Figura 12

Capacidad en serie en la red



Nota. El gráfico representa la capacidad en serie conectada a la red eléctrica sensible al flicker. Tomado de (Wierda, 2001).

Reactancia en Serie

Se la utiliza en combinación con hornos de arco y puede reducir en un 30% la tasa de flicker.

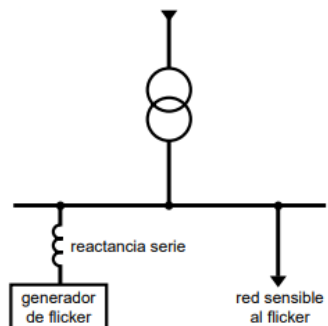
Según (Wierda, 2001), la reactancia se inserta en serie con la alimentación de AT del horno aguas abajo del PCC (Figura 13). Puede incluirse en el transformador del horno. Con frecuencia comporta un dispositivo de reglaje sin tensión (tomas atornilladas) y una posibilidad de cortocircuitado.

Su principal efecto positivo sobre las variaciones de tensión es que reduce la potencia de cortocircuito demandada por el horno. Además, estabiliza el arco del horno. Así las fluctuaciones de tensión son menos bruscas y el funcionamiento aleatorio (del arco) se reduce. La influencia de la reactancia sobre la emisión de flicker del horno puede estimarse por la modificación de la reactancia X_f o S_{ccf} (Villafuerte Noboa, 2008).

El inconveniente que se presenta ante esta solución es que la reactancia es atravesada por la corriente de carga del horno y por ende va consumir energía reactiva.

Figura 13

Reactancia en serie



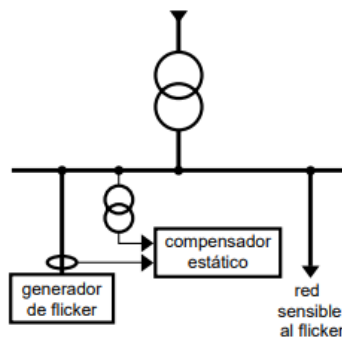
Nota. El gráfico representa la reactancia en serie conectada a la red eléctrica sensible al flicker. Tomado de (Wierda, 2001).

Compensador Estático (SVC)

El equipo SVC Static Var Compensator sirve para compensar automáticamente la energía reactiva (Figura 14). Su uso también permite reducir el flicker entre un 25% y un 50% (Wierda, 2001).

Figura 14

Esquema de la instalación de un compensador estático



Nota. El gráfico representa el esquema de instalación de un compensador estático.

Tomado de (Wierda, 2001).

La siguiente fórmula da un valor estimado del coeficiente de reducción del flicker que se obtiene con un SVC:

$$R_{svc} = 1 + 0,75 \cdot \frac{S_{svc}}{S_f} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

R_{svc} = factor de reducción de P_{st} ,

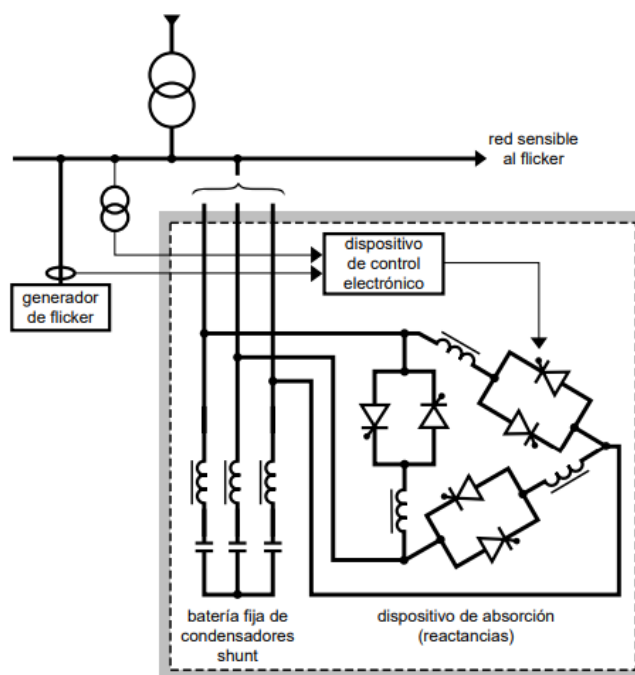
S_{svc} = potencia del compensador (en VAR),

S_f = potencia del horno (en VA).

Su esquema de principio es el de la Figura 15.

Figura 15

Esquema simplificado de un compensador estático



Nota. El gráfico representa el esquema simplificado de un compensador estático.

Tomado de (Wierda, 2001).

El SVC incorpora unas inductancias de compensación, una batería fija de condensadores shunt con un filtro y un dispositivo electrónico a base de tiristores o de IGBT. El dispositivo electrónico sirve para variar el consumo de energía reactiva de las inductancias para mantener prácticamente constante la potencia reactiva absorbida por el conjunto de generador de flicker, batería fija de condensadores e inductancias de compensación (Wierda, 2001).

2.2.12. Equipo de Medición

El analizador utilizado para la adquisición de las variables eléctricas es el modelo PQ-Box 150 de la marca a-eberle; a continuación, se menciona detalles del dispositivo:

a. Aplicación

El dispositivo PQ-Box 150 es un analizador de redes, medidor de energía y registrador de transientes portátil de alto rendimiento. La facilidad de uso fue uno de los principales objetivos en el desarrollo del producto (a-eberle, 2016).

El modelo PQ-Box 150 se ha diseñado para un funcionamiento móvil (grado de protección IP 65). Puede utilizarse para realizar mediciones en redes públicas (de hasta 600 V CAT IV) o en entornos industriales (de hasta 1.000 V CAT IV) (a-eberle, 2016).

Figura 16

Analizador de redes móvil y registrador transitorio de redes PQ-BOX 150



Nota. El gráfico representa el analizador de redes móvil y registrador transitorio de redes PQ-BOX 150. Tomado de (a-eberle, 2016).

El modelo PQ-Box 150 satisface el 100 % los requisitos de la norma IEC 61000-4-30 tercera edición en relación con otros dispositivos de Clase A, siendo estos los siguientes:

- Precisión en medición de tensión
- Determinación de intervalos de tiempo
- Indicación de los valores medidos en los eventos
- Armónicos e interarmónicos
- Flicker
- Frecuencia
- Asimetría de tensión
- Registro de errores
- Sincronización temporal

Su tamaño compacto permite instalar el dispositivo en espacios reducidos, como cajas de aparellaje eléctrico. La carcasa no conductora de la caja permite utilizarlo junto a conductores eléctricos. Mediante la configuración específica para la aplicación de las condiciones de disparo, el dispositivo resulta muy fácil de manejar (a-eberle, 2016)

b. Características

- Tarjeta de memoria microSD de 4 GB.
- Ranura para tarjeta de memoria SD de 1 a 32 GB.
- Interfaz USB 2.0 y TCP/IP.
- Interfaz RS232 para conectar a un reloj radiocontrolado o reloj GPS.
- Carcasa de clasificación IP 65.
- Suministro eléctrico ininterrumpido.
- Conjunto de cables USB y TCP/IP.
- Cable de conexión con conector de tipo banana de 4 mm para tensión (fusible de potencia interno de 50 kA).
- 5 pinzas tipo delfín.
- Software de evaluación WinPQ mobil (a-eberle, 2016).

c. Funciones de Medición

El modelo PQ-Box 150 está disponible con mediciones de frecuencia permanentes de 2 a 9 kHz.

- Análisis de energía
- Registro de datos.
- Detección de fallos.
- Datos en línea.

- Disparo programable para el registrador de osciloscopio.
- Disparo programable para el registrador de RMS de 10 ms.
- Ajuste automático del disparo de señal de medición.
- Informes estándar conforme a las normas EN 50160 y CEI 61000-2-2/-2-4 para redes públicas e industriales (a-eberle, 2016).

2.2.13. Software CYME – CYMDIST

El software CYME es una herramienta muy eficiente que se utiliza para modelar y simular cualquier tipo de sistema eléctrico, abordando así diferentes campos de análisis acorde las necesidades del usuario. Dispone de varios módulos que permiten crear un modelo detallado de un sistema eléctrico. “CYME posee una serie de aplicaciones entre ellas consta de un editor de redes, módulos de análisis y de bibliotecas de modelos personalizables para que el usuario pueda obtener una solución más eficiente” (EATON, 2018).

CYMDIST es el paquete base para el análisis de sistemas eléctricos del software CYME, permite realizar varios tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica.

El paquete CYMDIST contiene los siguientes análisis:

- Flujo de carga balanceado y desbalanceado
- Distribución y estimación de carga
- Análisis de fallas
- Flujo de falla/cortocircuito
- Localizador de fallas
- Falla serie y falla simultánea
- Caídas de tensión

- Balance de carga
- Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador, entre otros.

Es posible agregar módulos opcionales a CYMDIST con el propósito de extender su funcionalidad y desarrollar análisis mejor detallados, entre ellos se menciona el módulo de Evaluación de las perturbaciones en la red D-A-CH-CZ el cual será utilizado en el desarrollo el presente trabajo de titulación.

a. Evaluación de las Perturbaciones en la Red D-A-CH-CZ

Además de la interconexión de cargas no lineales, la instalación de generación distribuida y aplicaciones de electrónica de potencia han aumentado la probabilidad con respecto a los problemas de calidad de energía, tales como sobre y baja tensión, distorsión armónica, parpadeo y desequilibrio de tensión en el sistema de energía (EATON, 2018).

El módulo usa simulaciones de flujo de carga y cortocircuito para evaluar las variaciones y aumento de tensión, los niveles de parpadeo y la distorsión armónica para ayudar a determinar si la interconexión de una carga o del generador es aceptable o no (EATON, 2018).

También produce un reporte simple de la instalación analizada, si su funcionamiento es recomendado o no, también codifica por colores el estado de “aprobado” o “desaprobado” de cada prueba para alertar situaciones inaceptables. Adicional a esto el módulo puede realizar la evaluación conforme el estándar D-A-CH-CZ: *reglas técnicas para la evaluación de perturbaciones en la red*, para instalaciones nuevas o existentes (EATON, 2018).

Además puede realizar las siguientes verificaciones para determinar si la instalación tiene un impacto negativo en la calidad de energía del sistema, de modo que

se puede definir diferentes límites de aceptabilidad para sistemas de baja y media tensión (EATON, 2018).

- Límites de variación de tensión
- Restricción de parpadeo
- Restricción armónica
- Aumento de tensión

2.2.14. Matlab

MATLAB proviene de la abreviatura “MATrix LABoratory”, se trata de una plataforma utilizada para resolver problemas de ingeniería y científicos. El lenguaje utilizado por MATLAB está basado en matrices, que es la forma sencilla de expresar las matemáticas computacionales. La integración de gráficos facilita la visualización de datos y un mejor manejo de la información a partir de ellos. Posee una amplia biblioteca de herramientas (*Toolboxes*) que permiten el manejo de algoritmos esenciales para su dominio. El entorno de escritorio contiene diferentes herramientas y funciones probadas y diseñadas para trabajar en conjunto (MathWorks, R2019b).

Características Principales

Dentro de las herramientas que tiene la plataforma MATLAB tenemos las siguientes:

- Lenguaje de alto nivel para cálculos científicos y de ingeniería.
- Entorno de escritorio optimizado para la exploración iterativa, el diseño y la solución de problemas.
- Gráficas para visualizar datos y herramientas para crear diagramas personalizados.

- Aplicaciones para ajustar curvas, clasificar datos, analizar señales, ajustar sistemas de control y muchas otras tareas.
- Toolboxes complementarias para una amplia variedad de aplicaciones científicas y de ingeniería.
- Herramientas para crear aplicaciones con interfaces de usuario personalizadas.
- Opciones de implementación libres de derechos para compartir programas de MATLAB con los usuarios finales. (MathWorks, R2019b)

Simulink

Simulink® es un entorno de diagramas de bloques usado para el diseño basado en modelos y simulación multidominio. Soporta el diseño a nivel de sistema, la generación automática de código, la simulación, y las pruebas y verificaciones continuas de sistemas embebidos. Simulink posee un editor gráfico con librerías de bloques personalizables y solucionadores usados para modelar y simular sistemas dinámicos. Está integrado con MATLAB, lo que le permite incorporar diferentes algoritmos que posee dicha plataforma tanto en modelos y la exportación de resultados de la simulación a MATLAB para su posterior análisis (MathWorks, R2020a).

Un diagrama de bloques está compuesto de iconos que puede representar diferentes acciones de un proceso (entrada, salida, funciones de transferencia, operaciones matemáticas, etc.) y tener conexiones entre iconos; cada icono contiene un parámetro específico acorde a las especificaciones del usuario y el sistema de análisis.

La herramienta Simulink posee diferentes aplicaciones, entre ellas se mencionan las siguientes:

- Comunicaciones inalámbricas
- Diseño de sistemas de control para electrónica de potencia

- Sistemas de control
- Procesamiento de imágenes
- Robótica
- Sistemas avanzados de conducción aislada
- Procesamiento de imágenes y Visión Artificial
- Gemelos digitales

2.3. Fundamentación Legal

En base a la necesidad de realizar una actualización a la regulación sobre la calidad del servicio eléctrico de distribución y comercialización, a fin de armonizarla con el marco legal vigente en Ecuador, se emite la *Regulación No. ARCONEL 005/18 “Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”* la cual deroga a la Regulación No. CONELEC 004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución”, en todos sus numerales. (ARCONEL, 2019)

El presente trabajo investigativo se enfoca en el análisis de perturbaciones rápidas de voltaje (flicker) y su incidencia en el comportamiento operativo dentro del área de concesión de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocio Bolívar, a través de este estudio se pretende realizar el cumplimiento de los índices de calidad de producto establecido por la regulación No. ARCONEL 005/18 acerca de las perturbaciones voltaje admitidas en el sistema eléctrico, considerando además que en la misma se hace referencia a la norma IEC 61000-4-15 indicando los valores admitidos como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3

Niveles de compatibilidad para Pst y Plt en sistemas de alimentación de BT y MT

Niveles de compatibilidad	
Pst	1.0
Plt	0.8

Nota. Esta tabla muestra los niveles de compatibilidad para para Pst y Plt en sistemas de alimentación de BT y MT. Tomado de (IEC, 61000-4-15, 2004).

2.4. Sistema de Variables

Variable Independiente: Analizar las perturbaciones rápidas de voltaje mediante la aplicación de equipos de monitoreo de energía eléctrica.

Variable Dependiente: Establecer los índices de calidad de producto que tiene la red eléctrica de la CNEL EP Bolívar.

2.5. Hipótesis

Mediante el análisis de las perturbaciones rápidas de voltaje, y la aplicación de equipos de monitoreo de energía eléctrica, se podrá establecer los índices de calidad de producto que tiene la red eléctrica de la Corporación Nacional Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar.

2.6. Cuadro de Operacionalización de las Variables

Tabla 4

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
<p>Variable independiente:</p> <p>Analizar las perturbaciones rápidas de voltaje mediante la aplicación de equipos de monitoreo de energía eléctrica.</p>	<p>El estudio permite realizar el análisis de flicker con la finalidad de reducir las variaciones moderadas de voltaje del sistema eléctrico.</p> <p>La aplicación de equipos de monitoreo ayuda a medir y registrar los parámetros de calidad eléctrica de forma rápida y fiable.</p>	<p>Parámetros eléctricos</p>	<p>Índice de severidad de flicker de corta duración</p>	<p>Tablas de datos</p> <p>Guía de observación</p> <p>Gráficas de datos obtenidos</p>
<p>Variable dependiente:</p> <p>Establecer los índices de calidad de producto que tiene la red eléctrica de la CNEL EP Bolívar.</p>	<p>Al establecer los índices de calidad de producto del sistema en estudio acorde la Regulación No. ARCONEL 005/18, los consumidores obtendrán un producto y servicio eléctrico confiable.</p>	<p>Parámetros eléctricos</p>	<p>Resultados obtenidos durante las mediciones</p>	<p>Tabla de datos</p>

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. *Modalidad de investigación*

La modalidad presente para este proyecto tiene como base y fundamento de su desarrollo realizar la adquisición de datos reales y actualizados del Sistema Eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocios Bolívar, y desarrollar el modelamiento del sistema en el software CYME - CYMDIST, mismo que posee las herramientas apropiadas para realizar el análisis de perturbaciones rápidas de voltaje y efectuar una propuesta de mitigación para el mismo.

3.1.1. **Método Bibliográfico Documental**

La recolección de los fundamentos teóricos es la etapa inicial del proceso de investigación, que se basa en la recopilación de material bibliográfico, trabajos de investigación de repositorios institucionales, artículos científicos, libros de ingeniería, revistas de carácter científico, documentación legal como Regulaciones publicadas en portales oficiales y páginas web con información fiable que ayudaran al desarrollo del proyecto.

3.1.2. **Método Experimental**

Este método es utilizado en la adquisición y recopilación de los datos correspondientes al sistema en estudio como parámetros del sistema de distribución, equivalentes del punto de conexión común, datos de los transformadores, porcentajes de cargabilidad y dimensionamiento de filtros para desarrollar el modelamiento en el software CYME – CYMDIST.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación Cuantitativa

Para este tipo de investigación se utilizan variables medibles, es decir que se puede expresar en magnitud y unidades correspondientes, en el presente trabajo de titulación se utilizan valores de voltaje, corriente, potencia, etc., estos valores serán utilizados en tablas estadísticas, curvas y patrones de comportamiento de las variables con el fin de realizar un análisis para establecer las conclusiones correspondientes.

3.3. Diseño de la Investigación

Mediante el respectivo análisis de las variables eléctricas obtenidas a partir de los equipos de monitoreo de energía, gráfica de datos y modelación del Sistema Eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocio Bolívar ante la presencia de perturbaciones de voltaje, se logrará determinar un método de reducción para este fenómeno eléctrico.

3.4. Población y Muestra

La población para el presente proyecto se determina mediante la información adquirida del sistema eléctrico de la CNEL EP Bolívar dentro de su área de concesión. En la Tabla 5 se muestra de una manera resumida la cantidad de transformadores de distribución que posee las 6 Subestaciones, llegando a un total de 5691 transformadores y una potencia instalada de 83,36 MVA hasta la fecha, y la Tabla 5 se muestra información sobre los usuarios de medio voltaje.

Tabla 5

Descripción de los transformadores de distribución de la CNEL EP Bolívar

Subestación	Alimentador	Número de transformadores			Potencia de los transformadores (MVA)		
		Monofásicos	Trifásicos	Total	Monofásicos	Trifásicos	Total
Guaranda	Vinchoa	191	6	197	3,19	0,32	3,51
	Cdla. 1º de Mayo	34	29	63	0,78	2,12	2,90
	Maldonado	65	44	109	1,79	3,26	5,05
	Chimbo	468	29	497	6,72	1,89	8,60
Guanujo	Guanujo Centro	105	31	136	2,56	2,54	5,10
	La Cena	233	3	236	2,96	0,20	3,15
	Salinas	23	6	29	0,53	0,40	0,92
	Cuatro Esquinas	253	14	267	4,22	0,87	5,08
	Simiatug	666	8	674	6,09	0,71	6,80
Cochabamba	Asunción	167	12	179	2,62	1,06	3,69
	San Miguel	162	18	180	3,64	1,32	4,96
	Balsapamba	262	2	264	2,39	0,55	2,94
	Telimbela	45	-	45	0,40	-	0,40
	Chillanes	390	7	397	4,03	0,47	4,50
Sicoto	San Pablo	563	2	565	5,00	0,08	5,08
	San José de Tambo	221	-	221	2,08	-	2,08
Echeandía	Las Naves	580	6	586	5,78	0,43	6,21
	Sabanetillas	262	6	268	3,00	0,40	3,40
	Camarón	98	1	99	1,24	0,05	1,29
	Echeandía Centro	163	-	163	1,16	-	1,16
Caluma	Pita	148	2	150	1,72	0,10	1,81
	Pasagua	189	-	189	1,27	-	1,27
	Caluma Centro	42	16	58	0,96	1,11	2,06
	Echeandía	118	1	119	1,38	0,03	1,41
Total		5448	243	5691	65,49	17,87	83,36

Tabla 6

Descripción de los usuarios de medio voltaje de la CNEL EP Bolívar

Nombre de usuario	Alimentador	Subestación	Provincia	Cantón
Hospital Provincial	Cdla. 1° de Mayo	GUARANDA	Bolívar	Guaranda
Hospital Básico	Cuatro Esquinas	GUANUJO	Bolívar	Guaranda
Universidad Estatal	Cuatro Esquinas	GUANUJO	Bolívar	Guaranda
CNEL EP Unidad De Negocio	Las Naves	ECHEANDÍA	Bolívar	Echeandía
Empresa Pública De Turismo	Balsapamba	COCHABAMBA	Bolívar	San Miguel
Dirección Distrital 02D01	Simiatug	GUANUJO	Bolívar	Guaranda
GAD Del Cantón Guaranda	Guanujo Centro	GUANUJO	Bolívar	Guaranda
GAD Municipal	San Miguel	COCHABAMBA	Bolívar	San Miguel

Con lo que respecta a la muestra se tomará como referencia la Regulación No. ARCONEL 005/18, en donde se menciona que para transformadores de distribución se debe realizar un muestreo mensual del 0,15% del total de transformadores de distribución (No menos de 5), y acorde la población obtenida en la Tabla 5 se requiere 8 mediciones mensuales.

En el Anexo A se detalla el formato de la campaña de medición del presente año donde se hace constancia las mediciones que se realizaran a los transformadores de distribución por cada mes, cabe destacar que en ocasiones se sustituye la medición de ciertos transformadores por cuestiones de reclamo con respecto al servicio recibido, por usuarios particulares, entre otros.

3.5. Técnicas de Recolección de Datos

3.5.1. Variables Cuantitativas

En la obtención de información técnica y estadística, las variables y parámetros tomados en cuenta son netamente variables eléctricas como niveles de voltaje, corrientes nominales, potencias de transformadores, equivalentes de red, impedancia de las líneas, entre otros.

3.5.2. Validez y Confiabilidad

Para obtener resultados válidos y que sea de utilidad para la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocio Bolívar, los datos utilizados han sido recolectados acorde la situación actual de los transformadores de distribución por lo tanto son considerados totalmente auténticos y confiables.

3.6. Técnica de Análisis de Datos

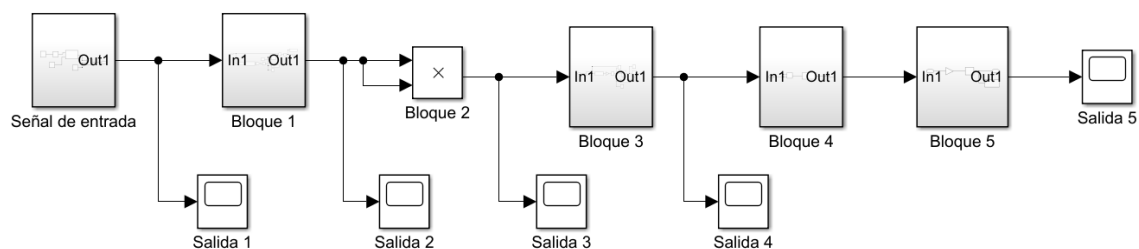
La técnica empleada para el análisis de los datos obtenidos mediante el analizador de energía se basa en la cuantificación del índice de perceptibilidad de corta duración de cada transformador de distribución, posteriormente se realiza el modelamiento del medidor de parpadeo acorde la metodología presentada en la norma IEC 61000-4-15 para corroborar los datos adquiridos por el registrador. Una vez culminado esta etapa, se procede a simular el sistema eléctrico a analizar, el software empleado permitirá obtener los resultados deseados referente a las perturbaciones de voltaje, a su vez ayudará a determinar una alternativa para mitigar este fenómeno eléctrico.

3.6.1. Modelamiento del Flickermeter IEC

En la Figura 17 se muestra el diagrama de bloques del Flickermeter acorde la norma IEC, desarrollado en el entorno de Matlab-Simulink. En el desarrollo del modelamiento los bloques 1, 2, 3 y 4 se los implemento en el entorno de Simulink acorde los datos expuestos en la norma, el bloque 5 a su vez, se lo implemento a través de líneas de código en el área de trabajo de Matlab.

Figura 17

Diagrama de bloques del Flickermeter

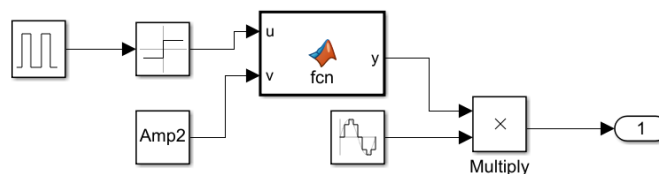


Para realizar el modelamiento del Flickermeter se utilizaron datos de la Norma IEC 61000-4-15, en la que consta las especificaciones de diseño y de funcionamiento de un medidor de parpadeo. Adicional a ello también se utilizó algunos datos expuestos por la (Fundação de Apoio Universitário, 2014), un informe que presenta los procedimientos para la adquisición de parámetros eléctricos relacionados con la calidad de producto, también presenta una metodología de medición y la precisión que debe cumplir los procedimientos de medición de cada fenómeno eléctrico.

La Figura 18 muestra el bloque que simula la señal de entrada y representa la tensión de la red, 127 voltios entre fase y neutro, la misma que se le superpone una señal de modulación cuadrática, para obtener una señal modulada con una amplitud $\Delta V/V$ igual a 0,253% a una frecuencia de 8,8 Hz, que acorde el protocolo IEC debe causar una sensación de parpadeo unitaria.

Figura 18

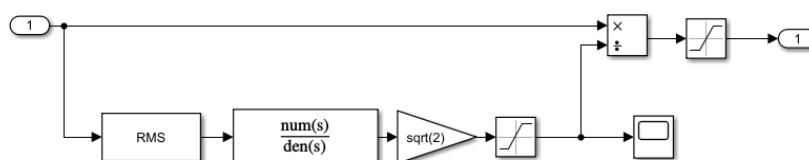
Diagrama de bloques de la señal de entrada



a. Implementación del Bloque 1 - (Adaptador del voltaje de entrada)

Figura 19

Diagrama de bloques del adaptador del voltaje de entrada



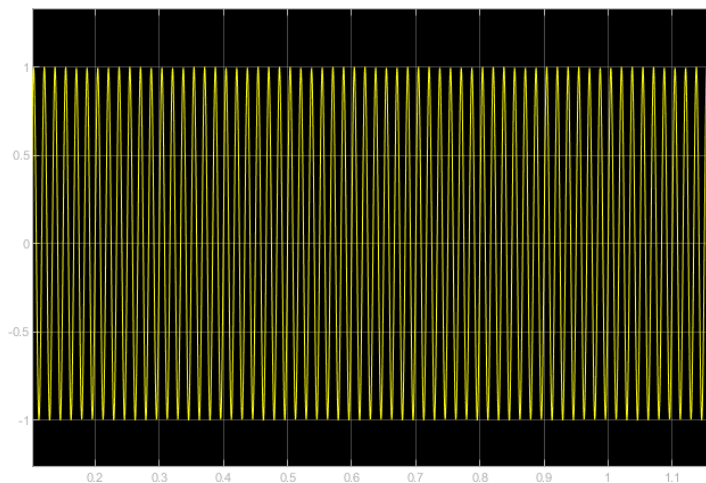
El objetivo del bloque 1 del Flickermeter es normalizar el voltaje de entrada a una señal de referencia, esta señal se calcula considerando el valor RMS de la tensión analizada, luego se introduce un filtro pasa bajo como se especifica en la norma IEC, que representa un sistema de tiempo en su respuesta del 10 al 90 por ciento del valor final igual a un minuto. A continuación, se presenta la función de transferencia que posee el filtro.

$$F(s) = \frac{1}{27,360552s + 1} \quad \text{Ec. (14)}$$

A la salida de este bloque hay un voltaje estándar en función del voltaje de referencia con su respectiva modulación, como lo muestra la Figura 20. Estos resultados serán la entrada para el procesamiento del bloque 2, que es responsable de la demodulación cuadrática.

Figura 20

Tensión de salida del bloque 1

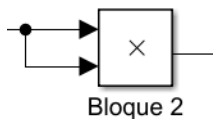


b. Implementación del Bloque 2 - (Demodulador cuadrático)

El objetivo del bloque 2 es simplemente extraer el rango de modulación, de modo que a este bloque se lo puede implementar fácilmente en Simulink, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

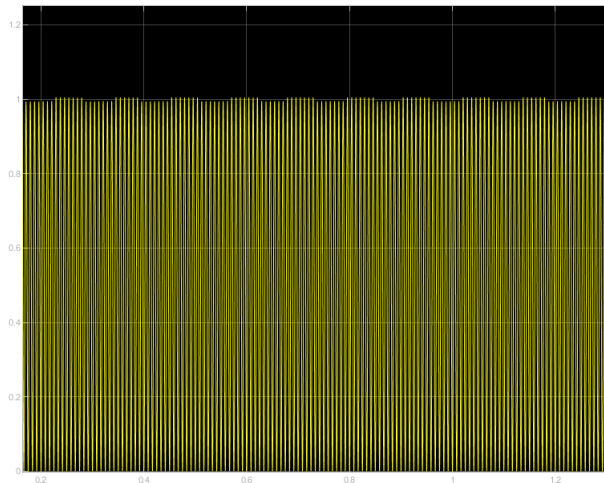
Diagrama de bloques del demodulador cuadrático



El resultado de salida de este bloque lo muestra la Figura 22 en base a la señal de entrada del bloque anterior, esta señal a su vez ingresa al bloque 3, el cual es el más importante del protocolo IEC ya que realiza la ponderación de la señal resultante en frecuencia.

Figura 22

Tensión de salida del bloque 2



c. Implementación del Bloque 3 - (Ponderación de frecuencias)

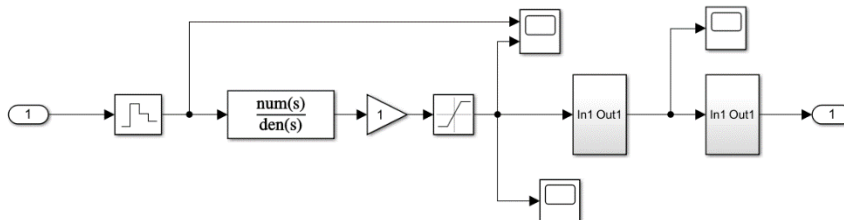
Este bloque resulta ser el principal ya que en él se representa el comportamiento ojo-cerebro, posee 3 filtros que atenúan la señal de entrada proporcionada por el bloque 2; a continuación, se describe la característica de cada filtro:

- Un filtro pasa alto de primer orden con una frecuencia de corte de 0,05 Hz, su propósito es suprimir la componente DC de la salida del bloque 2;
- Un filtro pasa bajo del tipo Butterworth de 6^o orden, posee una frecuencia de ruptura igual a 42 Hz (para redes de 120 V/60 Hz);
- Un filtro de ponderación de frecuencias.

La Figura 23 muestra la estructura funcional del bloque 3 compuesto por los tres filtros indicados anteriormente.

Figura 23

Diagrama de bloques para la ponderación de frecuencia



Según la (Fundação de Apoio Universitário, 2014), la función de transferencia para el filtro pasa alto con frecuencia de corte igual a 0,05 Hz debe ser la siguiente:

$$F(s) = \frac{3,175s}{3,175s + 1} \quad \text{Ec. (15)}$$

Para el diseño del filtro Butterworth de 6^o orden, la función de transferencia puede ser obtenida a partir de una serie de polinomios indicados a continuación:

$$F(s) = \prod_{i=1}^3 \left[\frac{\omega_i^2}{\left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2 + 2\beta_i\omega_c\left(\frac{s}{\omega_c}\right) + \omega_i^2} \right] \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

ω_c = frecuencia de corte en *rad/seg*;

$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 1$;

$\beta_1 = 0,26$;

$\beta_2 = 0,71$;

$\beta_3 = 0,97$.

Remplazando los valores correspondientes y tomando en cuenta la frecuencia de corte igual a 42 Hz para una lámpara de 120 V/60 Hz, se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$F_{42Hz}(s) = \frac{1}{FA_{42Hz}(s)} \cdot \frac{1}{FB_{42Hz}(s)} \cdot \frac{1}{FC_{42Hz}(s)} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

$$FA_{42Hz}(s) = \frac{1}{0,0000143596s^2 + 0,00197049s + 1} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$FB_{42Hz}(s) = \frac{1}{0,0000143596s^2 + 0,00538095s + 1} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$FC_{42Hz}(s) = \frac{1}{0,0000143596s^2 + 0,00735144s + 1} \quad \text{Ec. (20)}$$

El ultimo filtro que compone el bloque 3 del protocolo IEC consiste en un filtro de ponderación de frecuencias cuya función de transferencia está definida por la Ecuación 11 y representa la sensibilidad visual a las variaciones de luz emitidas por una lámpara. La Tabla 1 muestra los parámetros que se debe usar para el análisis el cual dependen del tipo de lámpara, para el análisis se utilizara los datos de una lámpara de 120 V/60 Hz.

d. Implementación del Bloque 4 - (Promedio cuadrático)

El bloque 4 tiene dos funciones específicas, la primera es la evaluación cuadrada de la señal de salida del bloque 3 que simula la percepción no lineal del comportamiento del sistema ojo-cerebro frente a las variaciones de iluminación, y su segunda función está relacionada con la simulación del efecto de almacenamiento de información por parte del cerebro humano, relacionado con las variaciones de

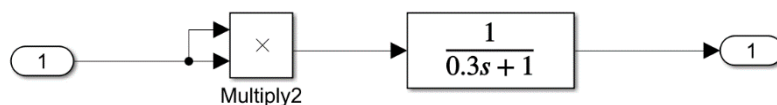
iluminación. Acorde la (Fundação de Apoio Universitário, 2014) esta función está representada por un filtro pasa bajo de primer orden con una constante de tiempo de 300 ms, la función de transferencia de este filtro es la siguiente:

$$F(s) = \frac{1}{0,3s + 1} \quad \text{Ec. (21)}$$

El diagrama de bloques resultante de la implementación del bloque 4 en el entorno de Simulink se lo muestra a continuación:

Figura 24

Estructura del bloque 4 del Flickermeter IEC



La señal de salida del bloque 4, posee un significado importante porque cuantifica la sensación de parpadeo instantáneo.

e. Implementación del Bloque 5 según el Protocolo de la IEC 61.000-4-15

El bloque 5 es el último bloque el cual es el responsable de calcular el indicador de la severidad del parpadeo a corto plazo. El cálculo de este indicador, según el protocolo IEC está definido analíticamente según la Ecuación 2, el cual ayuda a realizar el análisis estadístico de los registros de sensación de parpadeo instantáneo.

Para el desarrollo del modelamiento del Flickermeter se utilizó una estadística simplificada en base a la (Fundação de Apoio Universitário, 2014), que resulta ser una evaluación no menos funcional que la indicada en la IEC 61000-4-15. Esta metodología consiste en ordenar los datos de sensación de parpadeo instantáneo, y calcular los valores de los percentiles acorde las Ecuaciones 21 a 24. Estos valores se calculan

para buscar la nueva posición en el nuevo vector ordenado. Por último, el valor de P_{st} se estima como se indica en la Ecuación 2.

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \quad \text{Ec. (22)}$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{17})/5 \quad \text{Ec. (23)}$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3 \quad \text{Ec. (24)}$$

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3 \quad \text{Ec. (25)}$$

Este método fue implementado a través de Simulink, de forma general la función de esta modelación es importar los datos de la salida del bloque 4 acorde los literales anteriormente mencionados y obtener el indicador P_{st} . Como se mencionó anteriormente este bloque fue implementado bajo líneas de código en el área de trabajo de Matlab, dicho código se lo presenta en el Anexo B.

Modelamiento del Sistema Eléctrico de Distribución

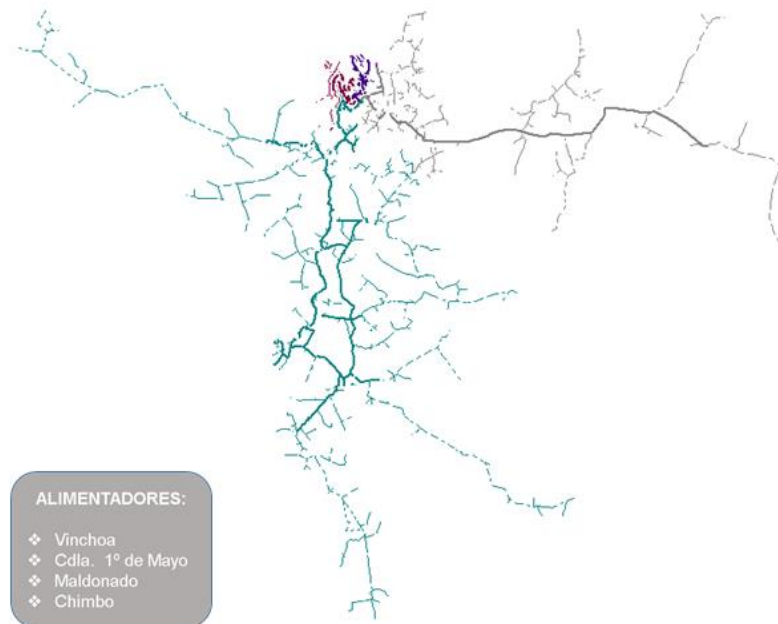
En este apartado se presenta el modelamiento de los alimentadores de cada subestación que componen la red eléctrica de la Corporación Nacional de Electricidad - Unidad de Negocios Bolívar. La información acerca de los equivalentes de red para cada subestación fue brindada por la empresa, una vez obtenido estos datos se procede a realizar el modelamiento del sistema eléctrico; también se obtuvo información acerca del sistema de distribución, que es el sistema de interés para el análisis de las perturbaciones rápidas de voltaje.

a. Subestación Guaranda

La Figura 25 muestra los alimentadores que posee la subestación Guaranda y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

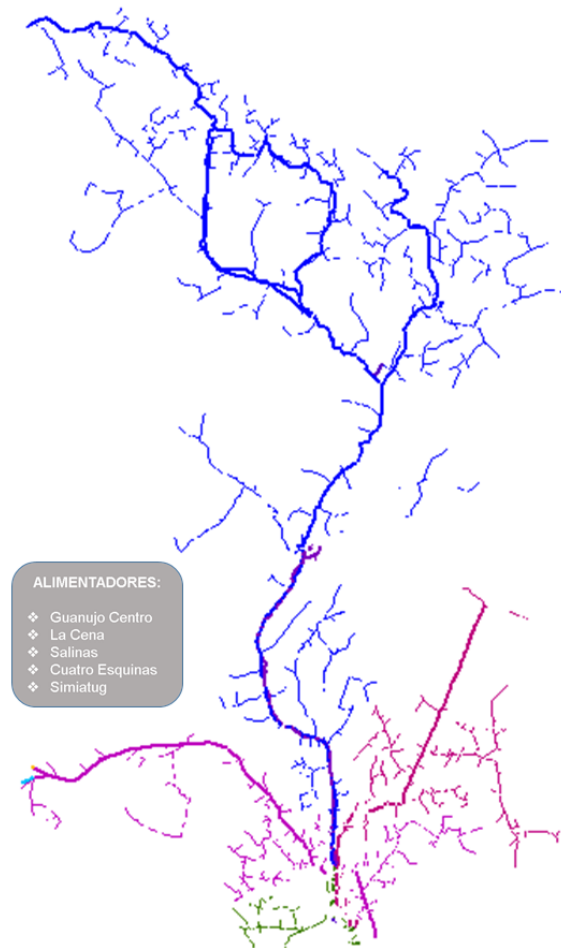
Figura 25

Modelamiento de la Subestación Guaranda

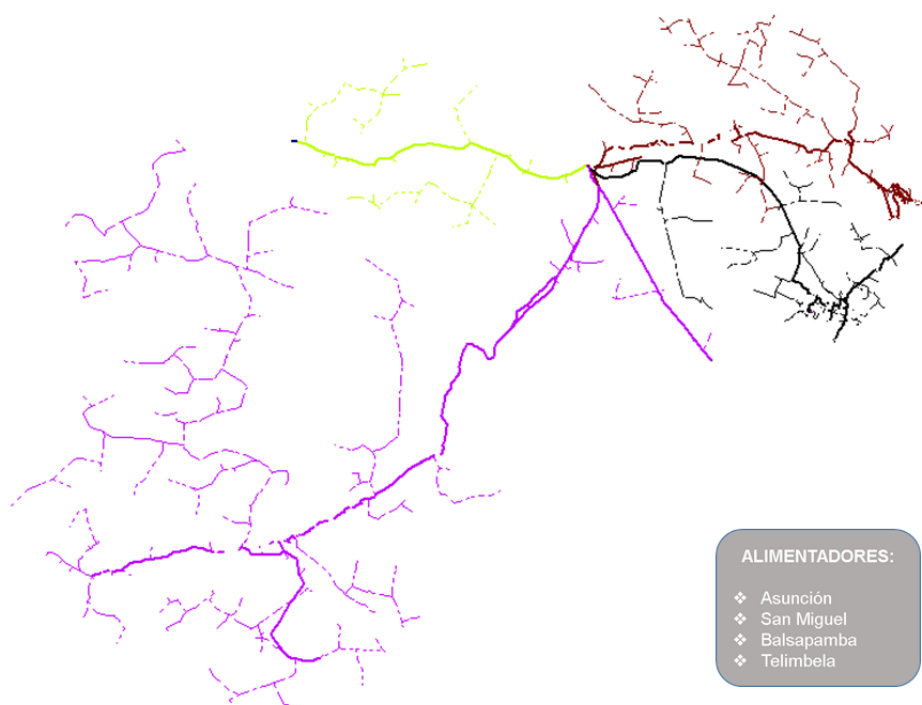


b. Subestación Guanujo

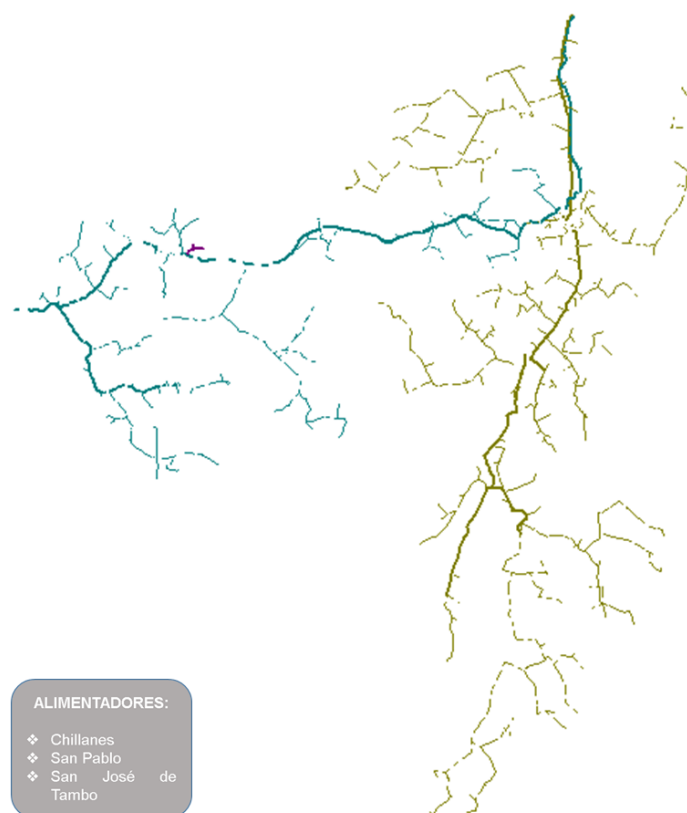
La Figura 26 muestra los alimentadores que posee la subestación Guanujo y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

Figura 26*Modelamiento de la Subestación Guanujo***c. Subestación Cochabamba**

La Figura 27 muestra los alimentadores que posee la subestación Cochabamba y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

Figura 27*Modelamiento de la Subestación Cochabamba***d. Subestación Sicoto**

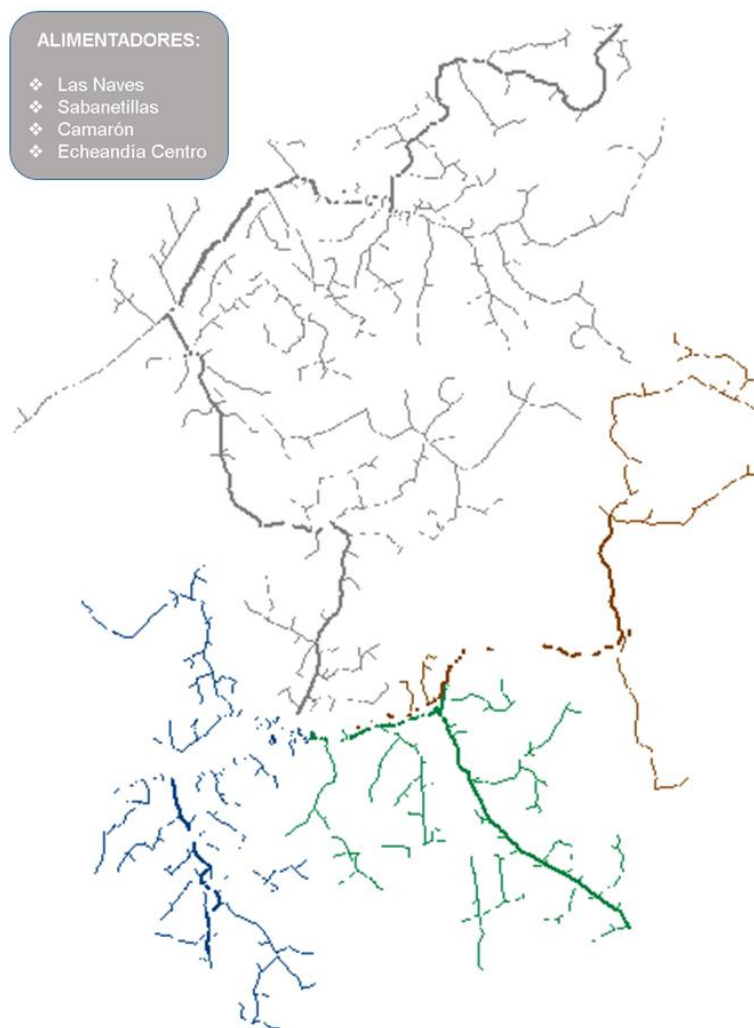
La Figura 28 muestra los alimentadores que posee la subestación Sicoto y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

Figura 28*Modelamiento de la Subestación Sicoto***e. Subestación Echeandía**

La Figura 29 muestra los alimentadores que posee la subestación Echeandía y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

Figura 29

Modelamiento de la Subestación Echeandía

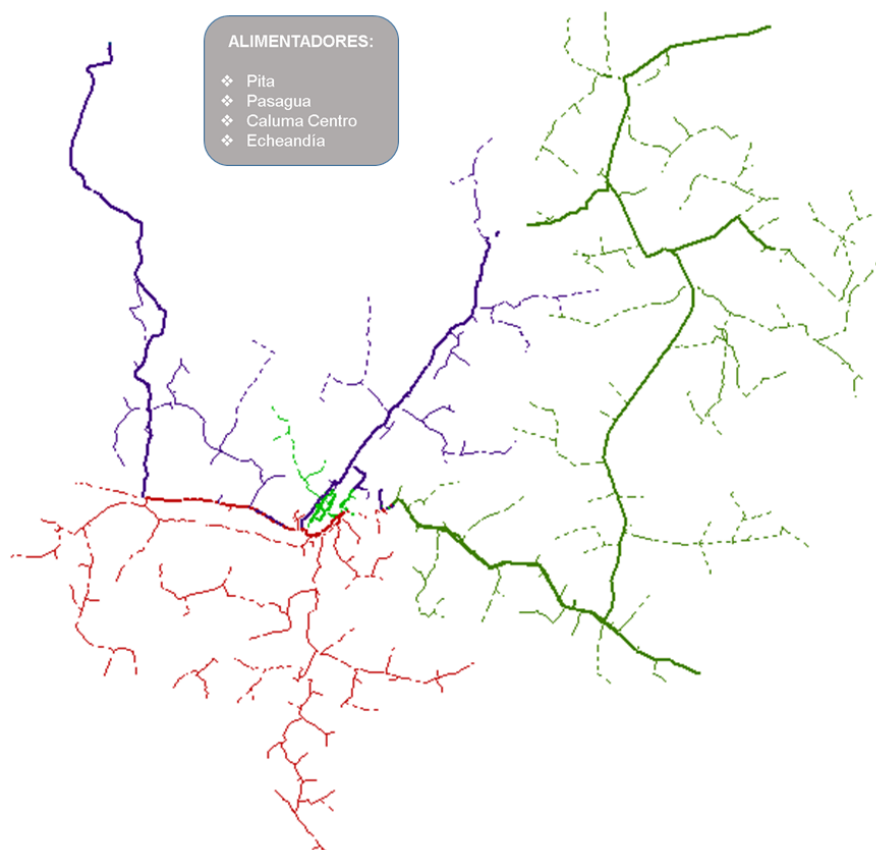


f. Subestación Caluma

La Figura 30 muestra los alimentadores que posee la subestación Caluma y el sistema de distribución que contiene cada uno de ellos, el diagrama unifilar fue modelado a través del software CYMDIST de forma georreferenciada.

Figura 30

Modelamiento de la Subestación Caluma



3.7. Técnica de Comprobación de Hipótesis

3.7.1. Comprobación Cuantitativa

Los parámetros eléctricos obtenidos a través de los analizadores permitirán determinar que transformadores de distribución poseen perturbaciones de voltaje, a su vez por medio del análisis mediante el software CYME - CYMDIST se podrá visualizar dicho fenómeno eléctrico permitiendo así desarrollar una propuesta para mitigar este efecto en el sistema eléctrico de la CNEL EP Bolívar y así establecer los índices de calidad de producto acorde la Regulación No. ARCONEL 005/18.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis de Resultados

El análisis de calidad de producto se realizó en base a la Campaña de Medición expuesta por la CNEL EP Bolívar (Anexo A), en donde se presenta los transformadores de distribución que se efectuaron las mediciones; a continuación, se detalla el análisis por fase de cada uno de los transformadores.

4.1.1. Transformador 50 kVA 0302930

El transformador monofásico está ubicado en el sector Las Antenas, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo C y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 7

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303930

Fase 1	
Pst máx.	699,879
Pst mín.	0,049
Pst promedio	14,346
Valores >1	142
%	85,57

Tabla 8

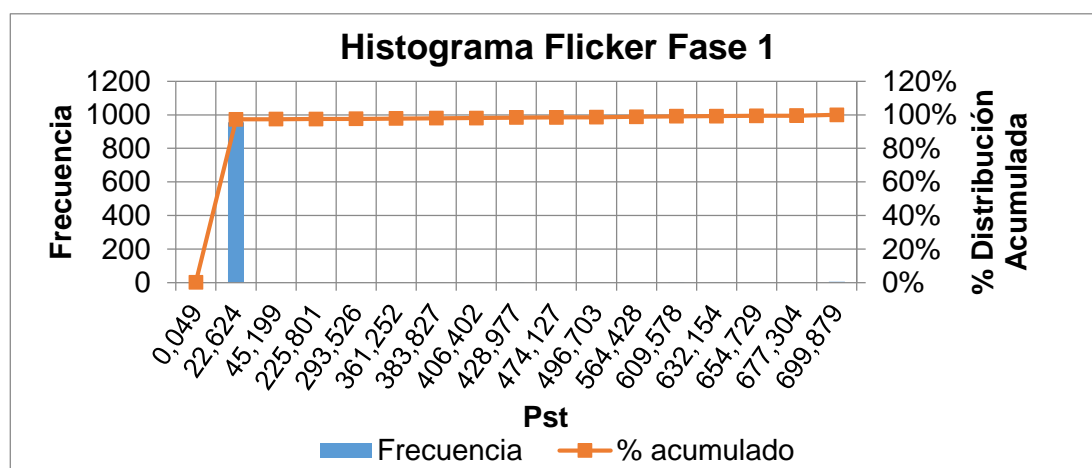
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302930

Clase	Frecuencia
0,049	2
22,624	955
45,199	1
225,801	1
293,526	1
361,252	2

Clase	Frecuencia
383,827	2
406,402	1
428,977	3
474,127	1
496,703	1
564,428	2
609,578	3
632,154	1
654,729	2
677,304	1
699,879	5

Figura 31

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302930



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 699,879. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 9*Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303930*

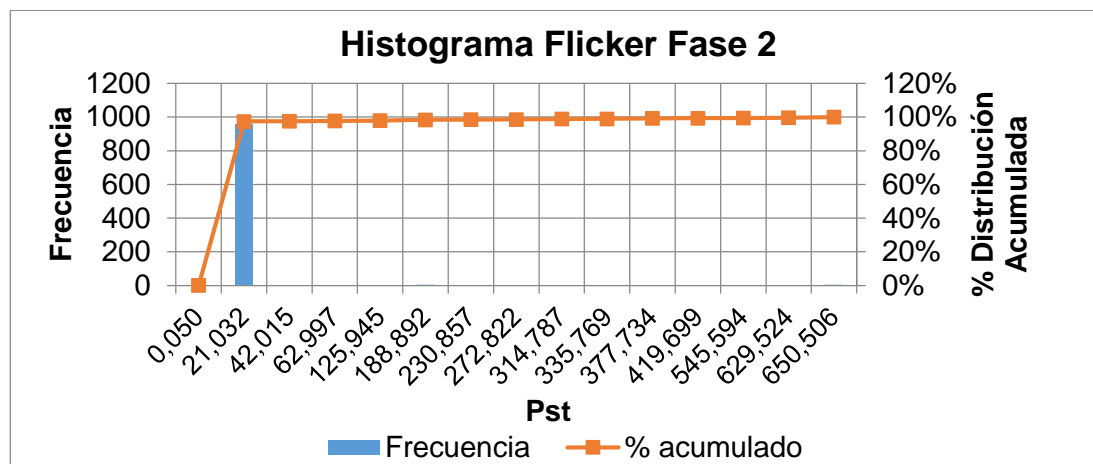
Fase 2	
Pst máx.	650,506
Pst mín.	0,05
Pst promedio	8,924
Valores >1	158
%	83,94

Tabla 10*Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302930*

Clase	Frecuencia
0,050	1
21,032	958
42,015	1
62,997	2
125,945	2
188,892	4
230,857	1
272,822	1
314,787	3
335,769	1
377,734	3
419,699	1
545,594	1
629,524	1
650,506	4

Figura 32

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302930



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 650,506. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

4.1.2. Transformador 37,5 kVA 0302951

El transformador monofásico está ubicado en el sector Balsapamba, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo D y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 11

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0302951

Fase 1	
Pst máx.	694,027
Pst mín.	0,05
Pst promedio	11,244
Valores >1	112
%	88,44

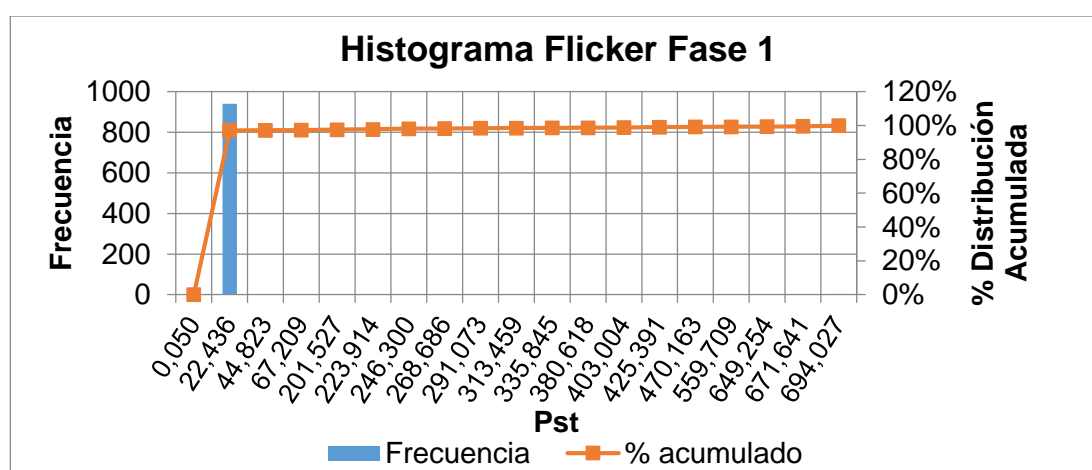
Tabla 12

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302951

Clase	Frecuencia
0,050	1
22,436	940
44,823	1
67,209	1
201,527	3
223,914	2
246,300	3
268,686	1
291,073	2
313,459	1
335,845	1
380,618	1
403,004	1
425,391	2
470,163	1
559,709	1
649,254	1
671,641	2
694,027	4

Figura 33

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302951



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el

analizador presentando un valor máximo igual a 694,027. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 13

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0302951

Fase 2	
Pst máx.	693,984
Pst mín.	0,053
Pst promedio	11,111
Valores >1	114
%	88,24

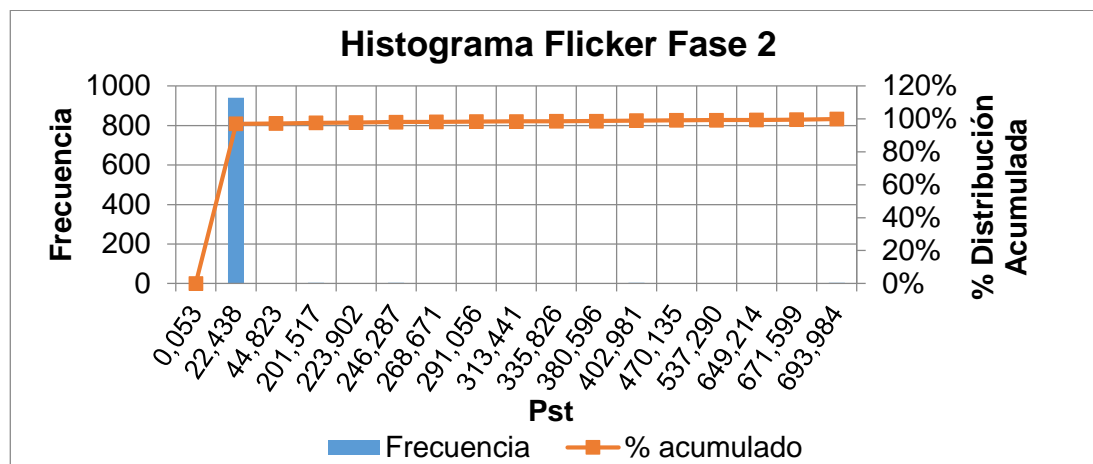
Tabla 14

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302951

Clase	Frecuencia
0,053	1
22,438	940
44,823	2
201,517	3
223,902	2
246,287	3
268,671	1
291,056	2
313,441	1
335,826	1
380,596	1
402,981	3
470,135	1
537,290	1
649,214	1
671,599	2
693,984	4

Figura 34

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302951



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 693,984. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

4.1.3. Transformador 50 kVA 0304701

El transformador monofásico está ubicado en el sector Balsapamba, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo E y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 15

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304701

Fase 1	
Pst máx.	693,942
Pst mín.	0,054
Pst promedio	9,953
Valores >1	103
%	89,24

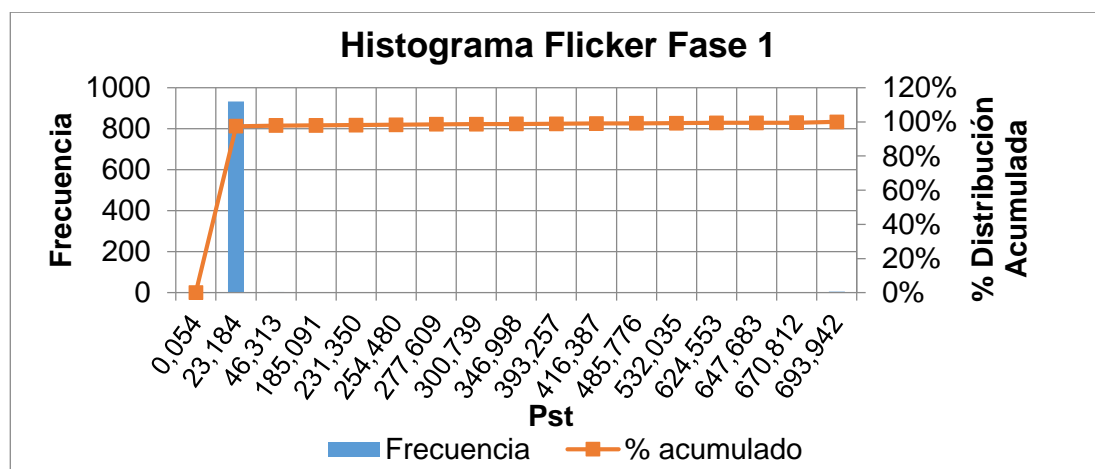
Tabla 16

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701

Clase	Frecuencia
0,054	1
23,184	932
46,313	3
185,091	1
231,350	2
254,480	2
277,609	2
300,739	1
346,998	1
393,257	1
416,387	2
485,776	1
532,035	1
624,553	1
647,683	0
670,812	1
693,942	5

Figura 35

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304701



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 693,942. Tomando en cuenta la

Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 17

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304701

Fase 2	
Pst máx.	693,943
Pst mín.	0,053
Pst promedio	9,950
Valores >1	105
%	89,03

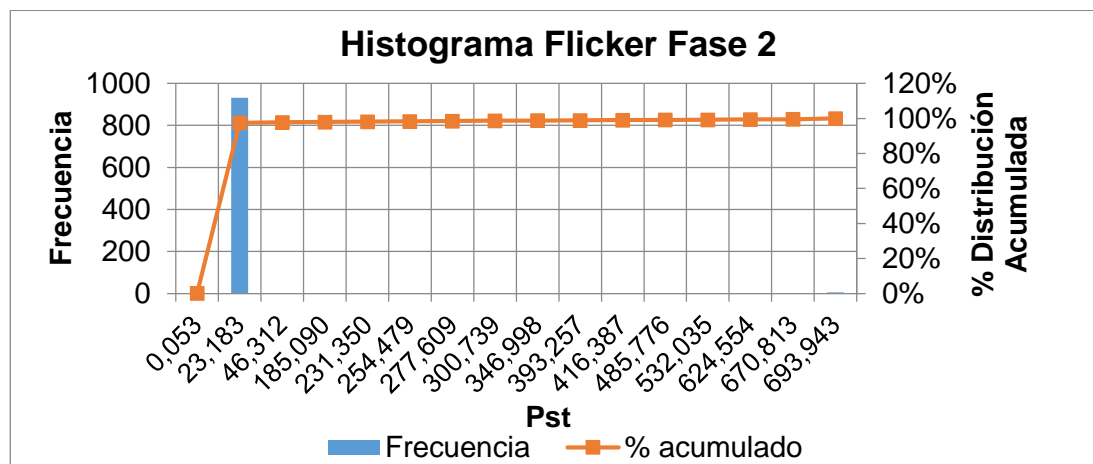
Tabla 18

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701

Clase	Frecuencia
0,053	1
23,183	932
46,312	3
185,090	1
231,350	2
254,479	2
277,609	2
300,739	1
346,998	1
393,257	1
416,387	2
485,776	1
532,035	1
624,554	1
670,813	1
693,943	5

Figura 36

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304701



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 693,943. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

4.1.4. Transformador 75 kVA 0304739

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo F y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 19

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304739

Fase 1	
Pst máx.	5,605
Pst mín.	0,077
Pst promedio	0,471
Valores >1	171
%	82,73

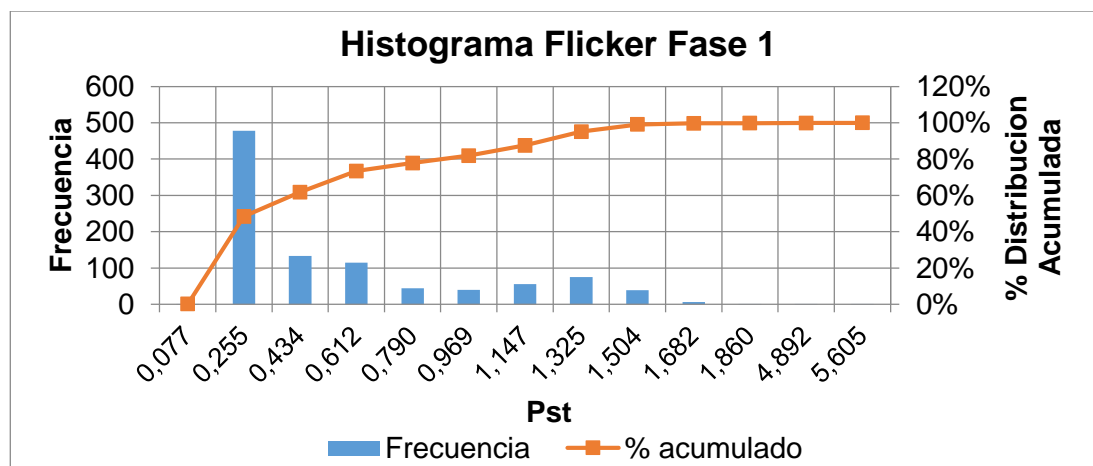
Tabla 20

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739

Clase	Frecuencia
0,077	1
0,255	478
0,434	133
0,612	115
0,790	44
0,969	40
1,147	56
1,325	75
1,504	39
1,682	6
1,860	1
4,892	1
5,605	1

Figura 37

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304739



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 5,605. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 21*Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304739*

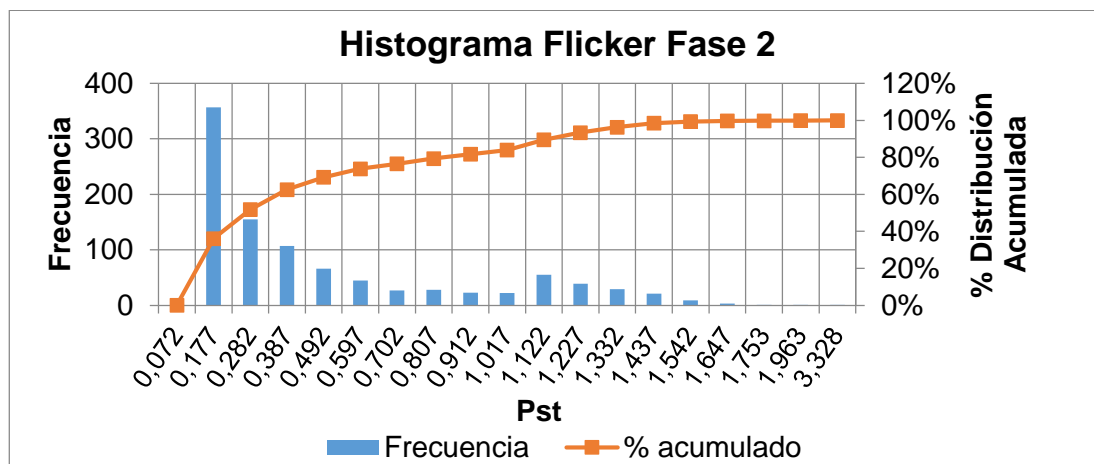
Fase 2	
Pst máx.	3,328
Pst mín.	0,072
Pst promedio	0,450
Valores >1	161
%	83,74

Tabla 22*Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739*

Clase	Frecuencia
0,072	1
0,177	357
0,282	155
0,387	107
0,492	66
0,597	45
0,702	27
0,807	28
0,912	23
1,017	22
1,122	55
1,227	39
1,332	29
1,437	21
1,542	9
1,647	3
1,753	1
1,963	1
3,328	1

Figura 38

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304739



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 3,328. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 23

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304739

Fase 3	
Pst máx.	4,899
Pst mín.	0,079
Pst promedio	0,489
Valores >1	175
%	82,32

Tabla 24

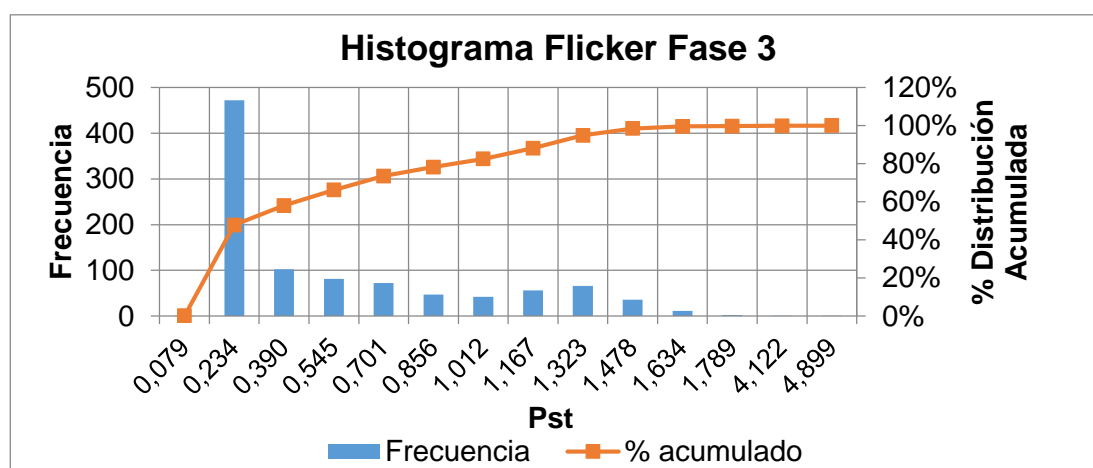
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304739

Clase	Frecuencia
0,079	1
0,234	472
0,390	102

Clase	Frecuencia
0,545	81
0,701	72
0,856	47
1,012	42
1,167	56
1,323	66
1,478	36
1,634	11
1,789	2
4,122	1
4,899	1

Figura 39

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304739



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 4,899. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.5. Transformador 50 kVA 0304680

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo G y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 25

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304680

Fase 1	
Pst máx.	10,15
Pst mín.	0,04
Pst promedio	0,422
Valores >1	166
%	83,22

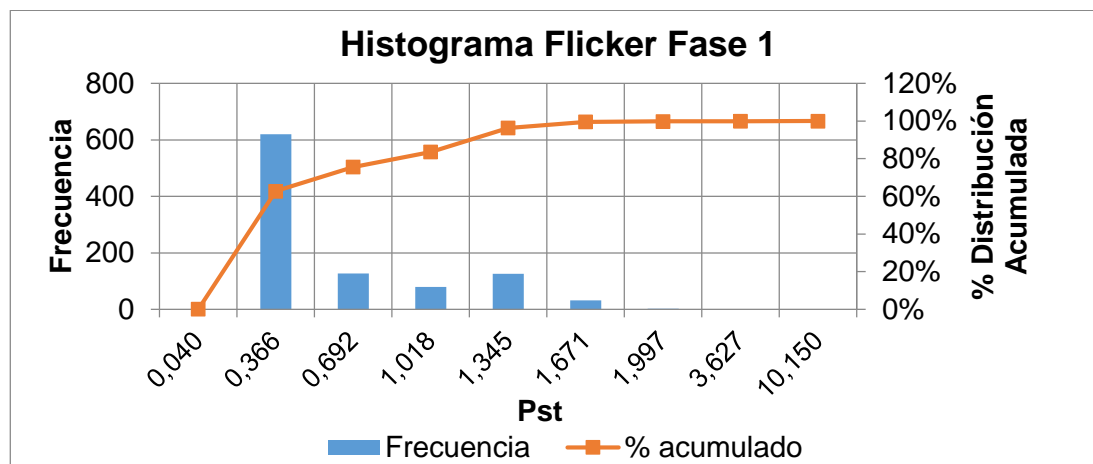
Tabla 26

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680

Clase	Frecuencia
0,040	1
0,366	620
0,692	127
1,018	79
1,345	126
1,671	32
1,997	2
3,627	1
10,150	1

Figura 40

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304680



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 10,150. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 27

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304680

Fase 2	
Pst máx.	14,177
Pst mín.	0,034
Pst promedio	0,478
Valores >1	184
%	81,40

Tabla 28

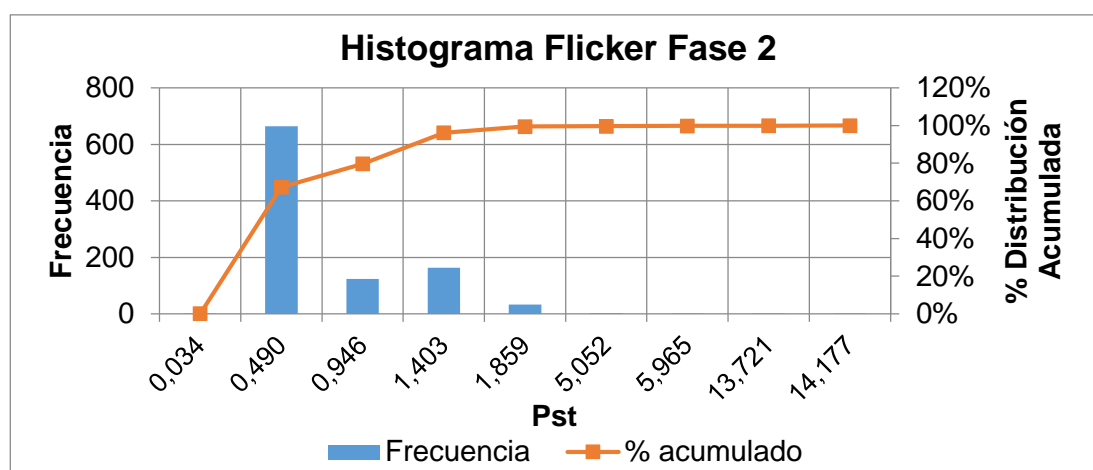
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680

Clase	Frecuencia
0,034	1
0,490	664
0,946	123

Clase	Frecuencia
1,403	163
1,859	33
5,052	2
5,965	1
13,721	1
14,177	1

Figura 41

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304680



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 10,150. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 29

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304680

Fase 3	
Pst máx.	15,096
Pst mín.	0,054
Pst promedio	0,474
Valores >1	181
%	81,70

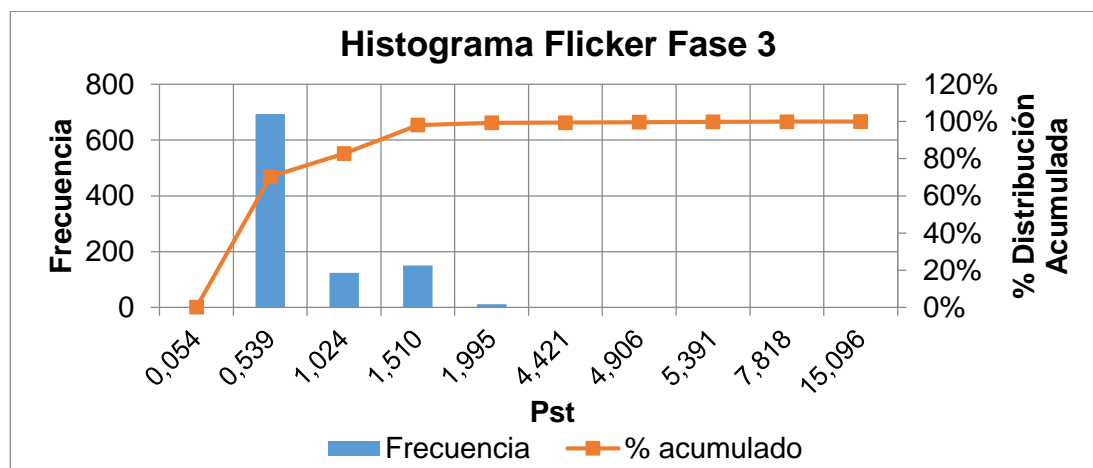
Tabla 30

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304680

Clase	Frecuencia
0,054	2
0,539	693
1,024	124
1,510	151
1,995	12
4,421	1
4,906	2
5,391	2
7,818	1
15,096	1

Figura 42

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304680



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 15,096. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.6. Transformador 40 kVA 0304747

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo H y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 31

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304747

Fase 1	
Pst máx.	46,676
Pst mín.	0,032
Pst promedio	0,406
Valores >1	119
%	88,03

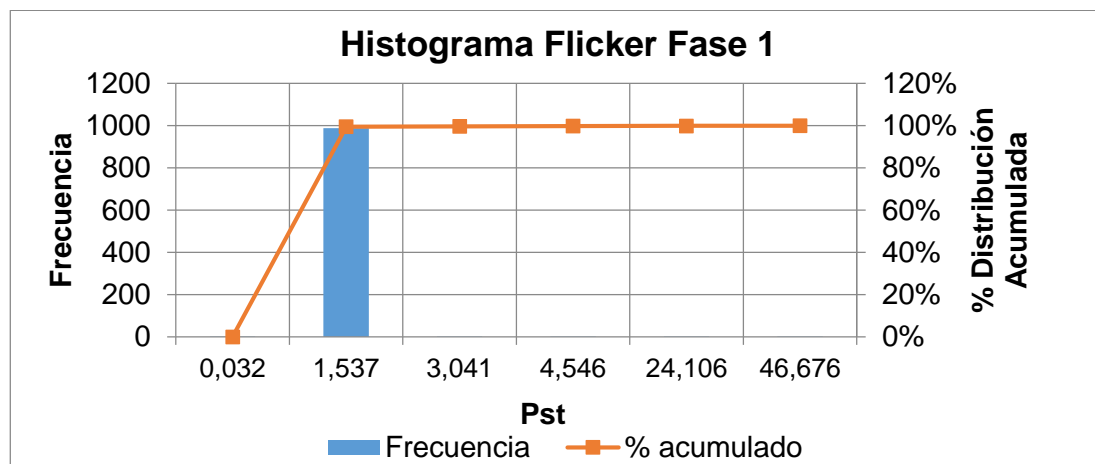
Tabla 32

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747

Clase	Frecuencia
0,032	1
1,537	988
3,041	2
4,546	1
24,106	1
46,676	1

Figura 43

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304747



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 46,676. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 33

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304747

Fase 2	
Pst máx.	40,843
Pst mín.	0,036
Pst promedio	0,420
Valores >1	129
%	87,02

Tabla 34

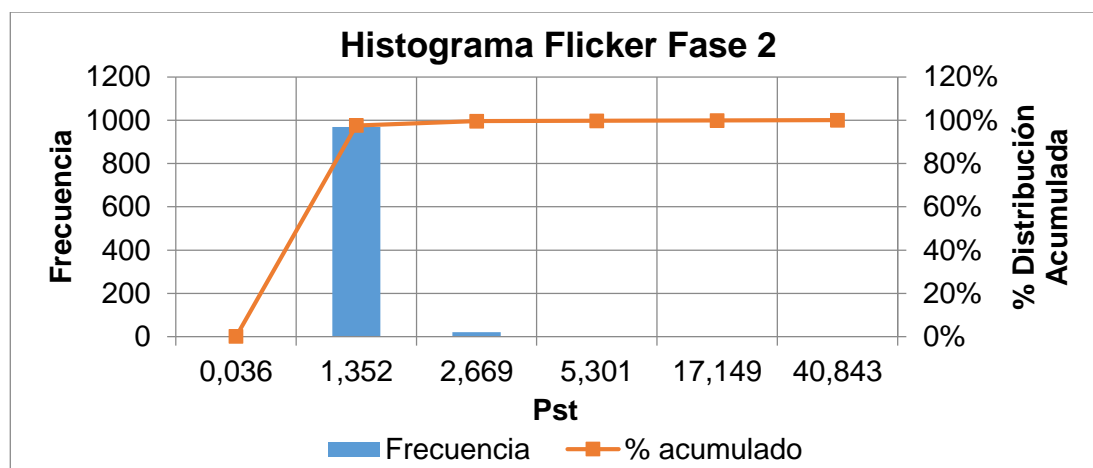
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747

Clase	Frecuencia
0,036	1
1,352	969
2,669	20

Clase	Frecuencia
5,301	1
17,149	2
40,843	1

Figura 44

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304747



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 40,843. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 35

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304747

Fase 3	
Pst máx.	77,559
Pst mín.	0,037
Pst promedio	0,469
Valores >1	111
%	88,83

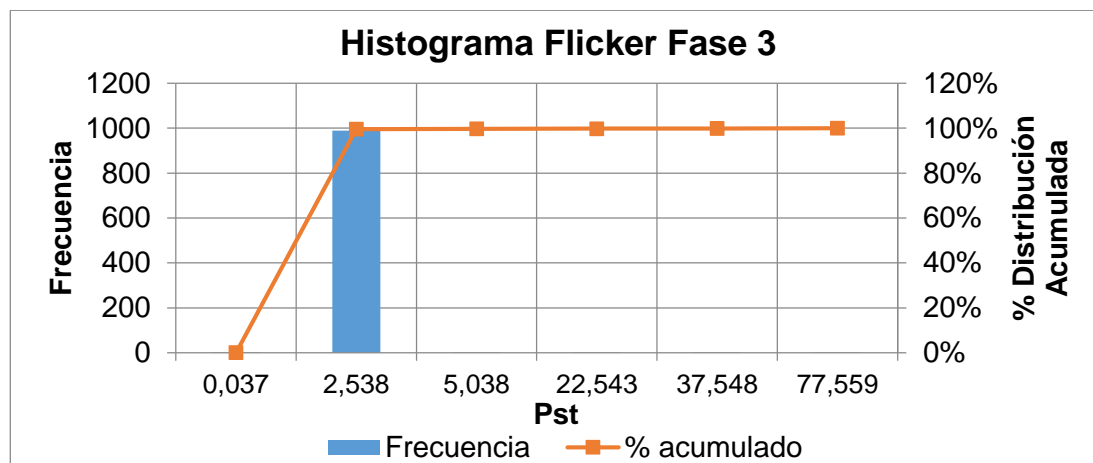
Tabla 36

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304747

Clase	Frecuencia
0,037	1
2,538	989
5,038	1
22,543	1
37,548	1
77,559	1

Figura 45

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304747



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 77,559. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.7. Transformador 50 kVA 0302807

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo I y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 37

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0302807

Fase 1	
Pst máx.	82,077
Pst mín.	0,036
Pst promedio	0,455
Valores >1	110
%	88,94

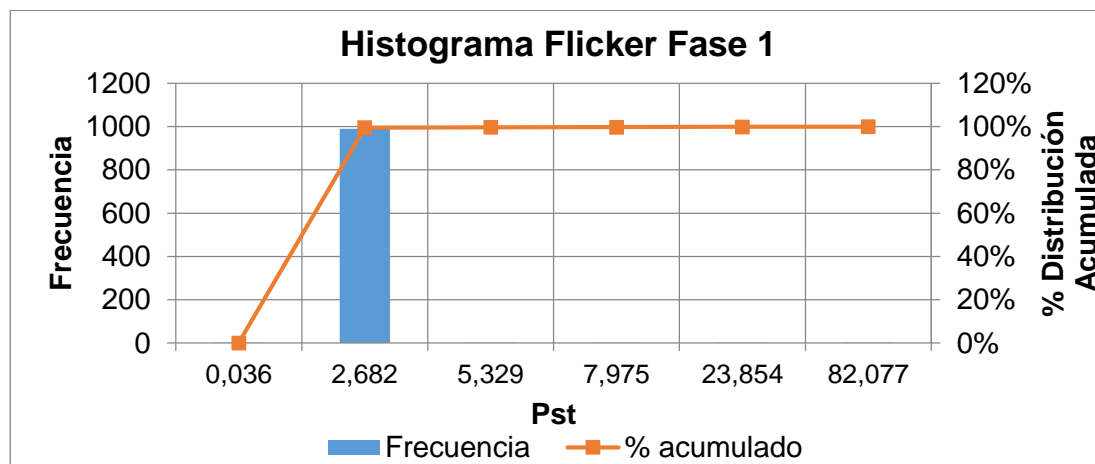
Tabla 38

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807

Clase	Frecuencia
0,036	1
2,682	990
5,329	1
7,975	1
23,854	1
82,077	1

Figura 46

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0302807



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 82,077. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 39

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0302807

Fase 2	
Pst máx.	57,81
Pst mín.	0,04
Pst promedio	0,559
Valores >1	156
%	84,32

Tabla 40

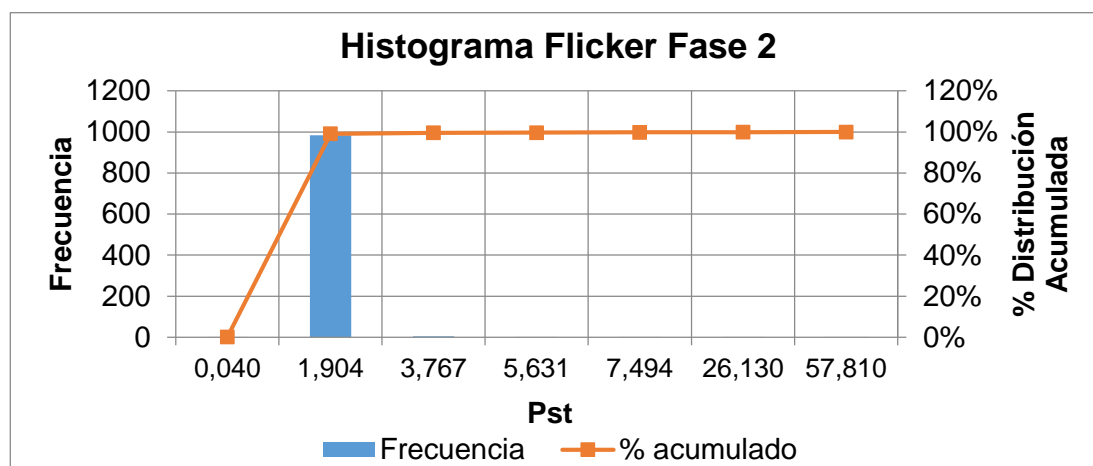
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807

Clase	Frecuencia
0,040	2
1,904	984
3,767	5

Clase	Frecuencia
5,631	1
7,494	1
26,130	1
57,810	1

Figura 47

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0302807



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 57,810. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 41

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0302807

Fase 3	
Pst máx.	40,72
Pst mín.	0,034
Pst promedio	0,428
Valores >1	132
%	86,73

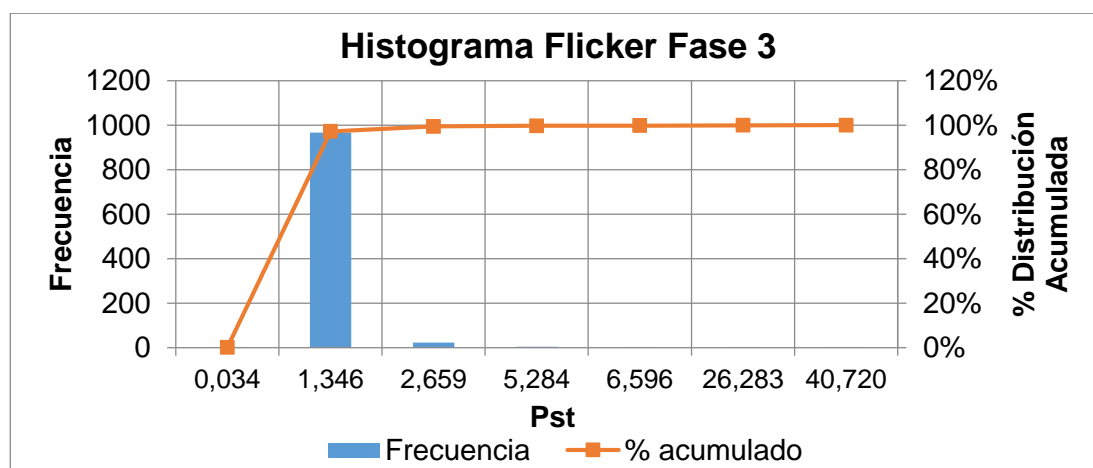
Tabla 42

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0302807

Clase	Frecuencia
0,034	1
1,346	966
2,659	22
5,284	3
6,596	1
26,283	1
40,720	1

Figura 48

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0302807



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 40,720. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.8. Transformador 50 kVA 0304753

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo J y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 43

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304753

Fase 1	
Pst máx.	47,431
Pst mín.	0,03
Pst promedio	0,413
Valores >1	124
%	87,55

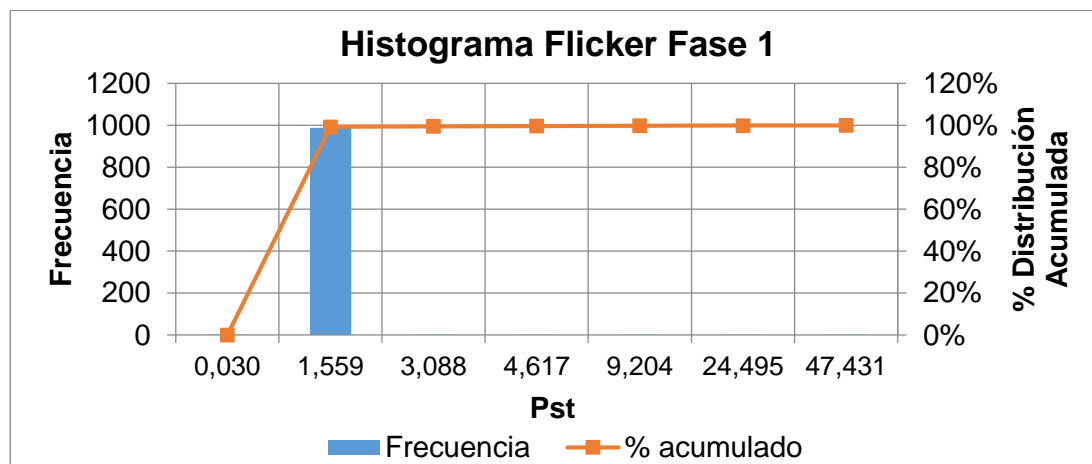
Tabla 44

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753

Clase	Frecuencia
0,030	1
1,559	988
3,088	2
4,617	2
9,204	1
24,495	1
47,431	1

Figura 49

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304753



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 47,431. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 45

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304753

Fase 2	
Pst máx.	40,841
Pst mín.	0,035
Pst promedio	0,423
Valores >1	129
%	87,05

Tabla 46

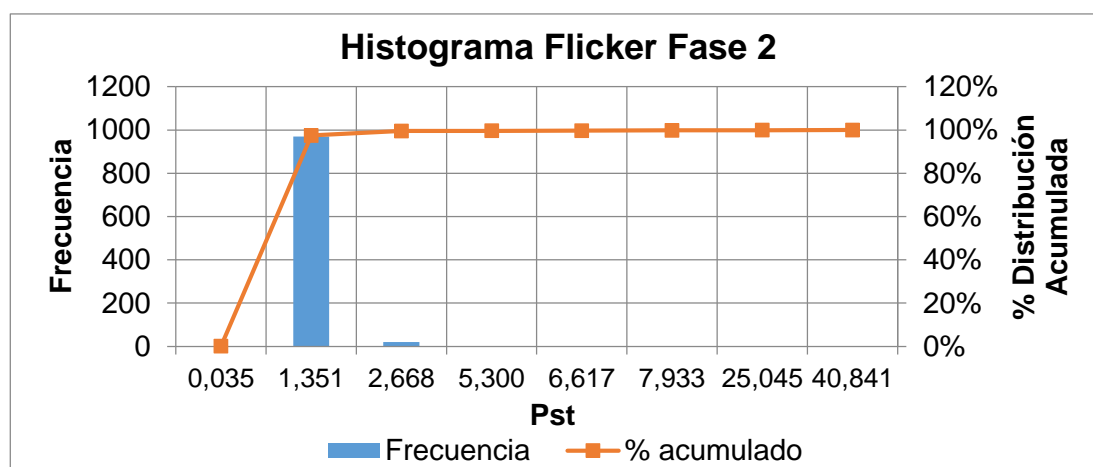
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753

Clase	Frecuencia
0,035	1
1,351	970
2,668	20

Clase	Frecuencia
5,300	1
6,617	1
7,933	1
25,045	1
40,841	1

Figura 50

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304753



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 40,841. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 47

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304753

Fase 3	
Pst máx.	79,535
Pst mín.	0,038
Pst promedio	0,442
Valores >1	109
%	89,06

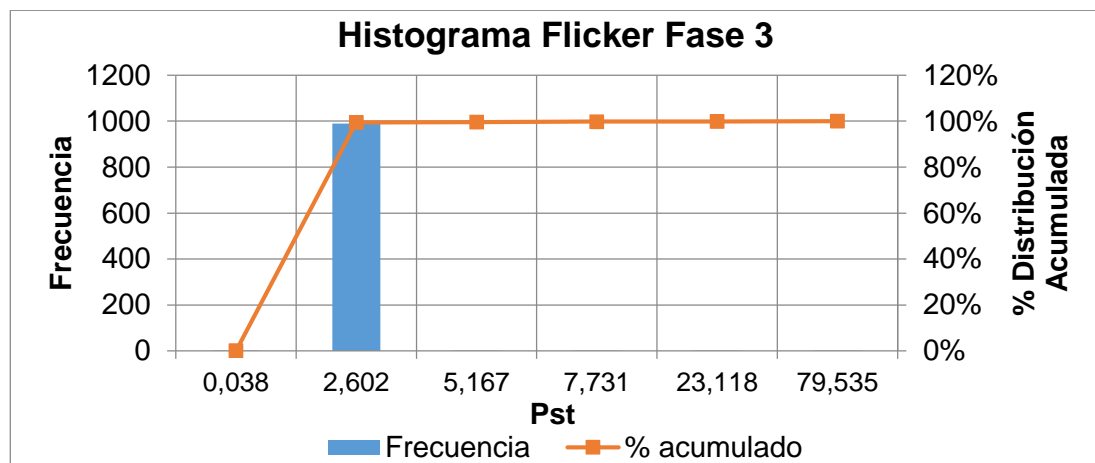
Tabla 48

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304753

Clase	Frecuencia
0,038	1
2,602	990
5,167	1
7,731	2
23,118	1
79,535	1

Figura 51

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304753



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 79,535. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.9. Transformador 75 kVA 0304752

El transformador trifásico está ubicado en el sector San Miguel, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo K y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 49

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304752

Fase 1	
Pst máx.	41,026
Pst mín.	0,055
Pst promedio	0,432
Valores >1	128
%	87,14

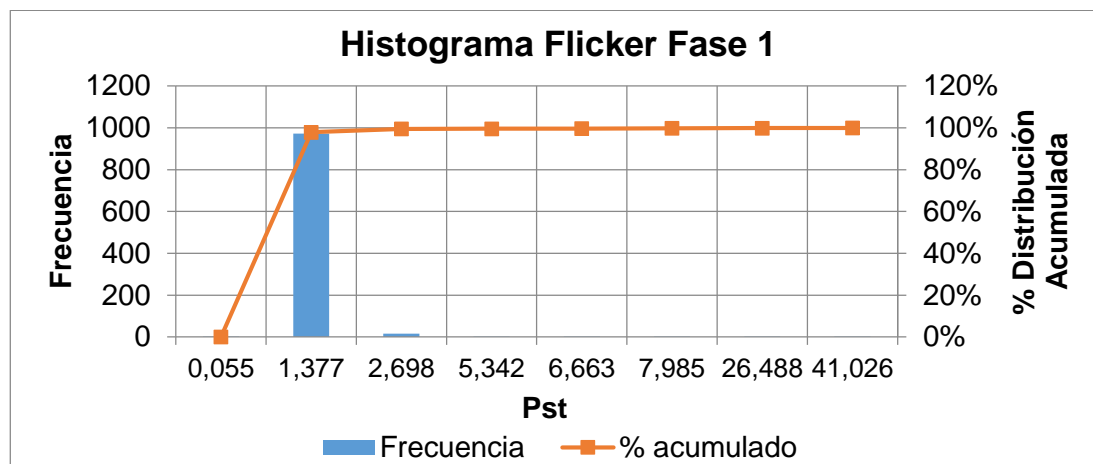
Tabla 50

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752

Clase	Frecuencia
0,055	1
1,377	973
2,698	16
5,342	1
6,663	1
7,985	1
26,488	1
41,026	1

Figura 52

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304752



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 41,026. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 51

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304752

Fase 2	
Pst máx.	49,469
Pst mín.	0,038
Pst promedio	0,424
Valores >1	121
%	87,84

Tabla 52

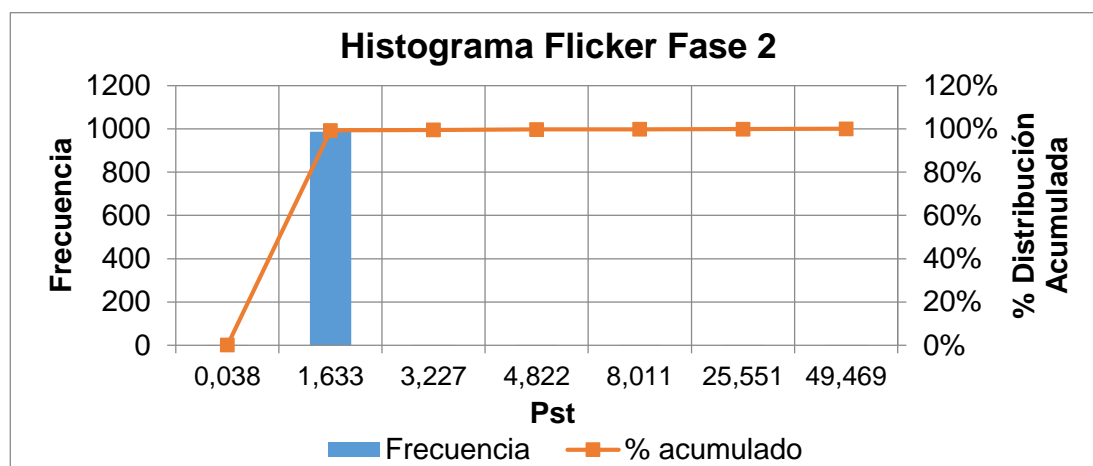
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752

Clase	Frecuencia
0,038	1
1,633	987
3,227	2

Clase	Frecuencia
4,822	2
8,011	1
25,551	1
49,469	1

Figura 53

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304752



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 49,469. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

Tabla 53

Flicker máximo y mínimo de la Fase 3 del transformador 0304752

Fase 3	
Pst máx.	82,816
Pst mín.	0,071
Pst promedio	0,460
Valores >1	105
%	89,45

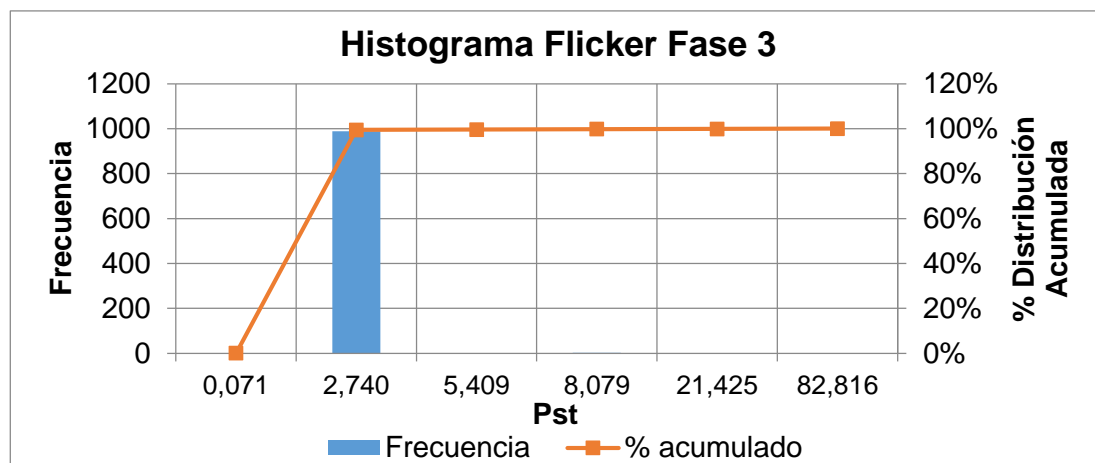
Tabla 54

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304752

Clase	Frecuencia
0,071	1
2,740	989
5,409	1
8,079	2
21,425	1
82,816	1

Figura 54

Histograma de Flicker de la Fase 3 del transformador 0304752



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 3 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 82,816. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 3 no cumple con lo establecido.

4.1.10. Transformador 10 kVA 0303167

El transformador trifásico está ubicado en el sector Telimbela, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo L y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 55

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303167

Fase 1	
Pst máx.	5,89
Pst mín.	0,027
Pst promedio	0,416
Valores >1	187
%	81,09

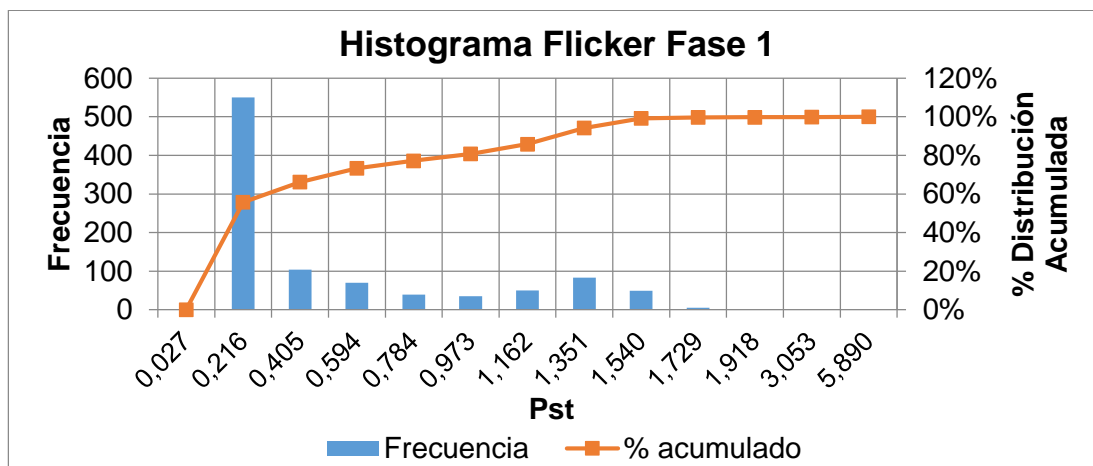
Tabla 56

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303167

Clase	Frecuencia
0,027	1
0,216	550
0,405	104
0,594	70
0,784	39
0,973	35
1,162	50
1,351	83
1,540	49
1,729	5
1,918	1
3,053	1
5,890	1

Figura 55

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0303167



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 5,890. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 57

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303167

Fase 2	
Pst máx.	5,89
Pst mín.	0,028
Pst promedio	0,416
Valores >1	187
%	81,09

Tabla 58

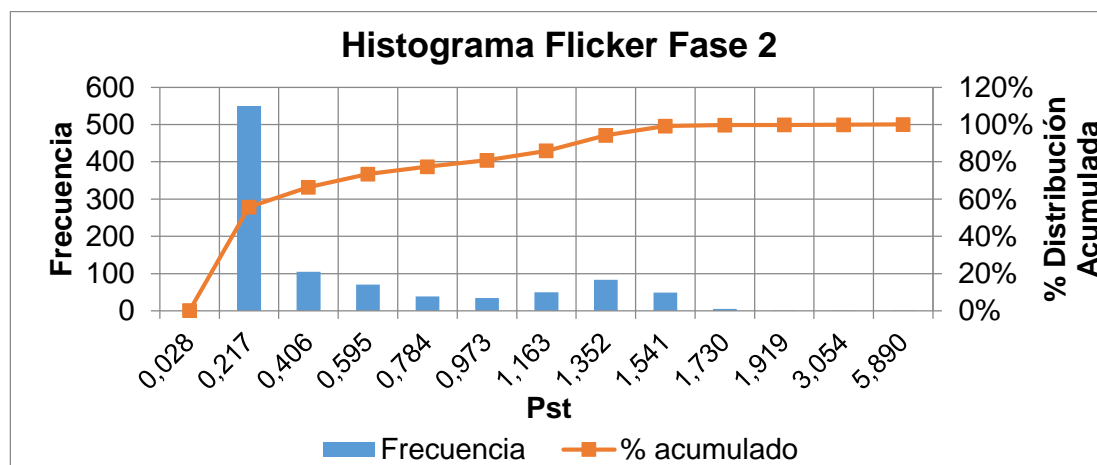
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303167

Clase	Frecuencia
0,028	1
0,217	550
0,406	105

Clase	Frecuencia
0,595	70
0,784	39
0,973	34
1,163	50
1,352	83
1,541	49
1,730	5
1,919	1
3,054	1
5,890	1

Figura 56

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0303167



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 5,890. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

4.1.11. Transformador 10 kVA 0303169

El transformador trifásico está ubicado en el sector Telimbela, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo M y en base a ello se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 59

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0303169

Fase 1	
Pst máx.	1,984
Pst mín.	0,042
Pst promedio	0,404
Valores >1	170
%	82,79

Tabla 60

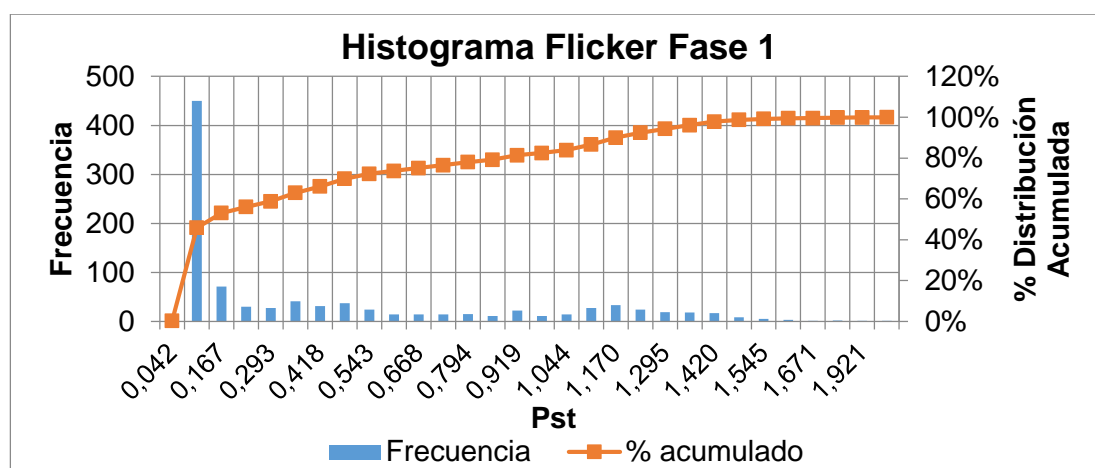
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303169

Clase	Frecuencia
0,042	3
0,105	450
0,167	71
0,230	30
0,293	27
0,355	41
0,418	31
0,481	37
0,543	24
0,606	14
0,668	14
0,731	14
0,794	15
0,856	11
0,919	22
0,982	11
1,044	14
1,107	27
1,170	33
1,232	24
1,295	19
1,358	18
1,420	17

Clase	Frecuencia
1,483	8
1,545	5
1,608	3
1,671	1
1,733	2
1,921	1
1,984	1

Figura 57

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0303169



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 1,921. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 no cumple con lo establecido.

Tabla 61

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0303169

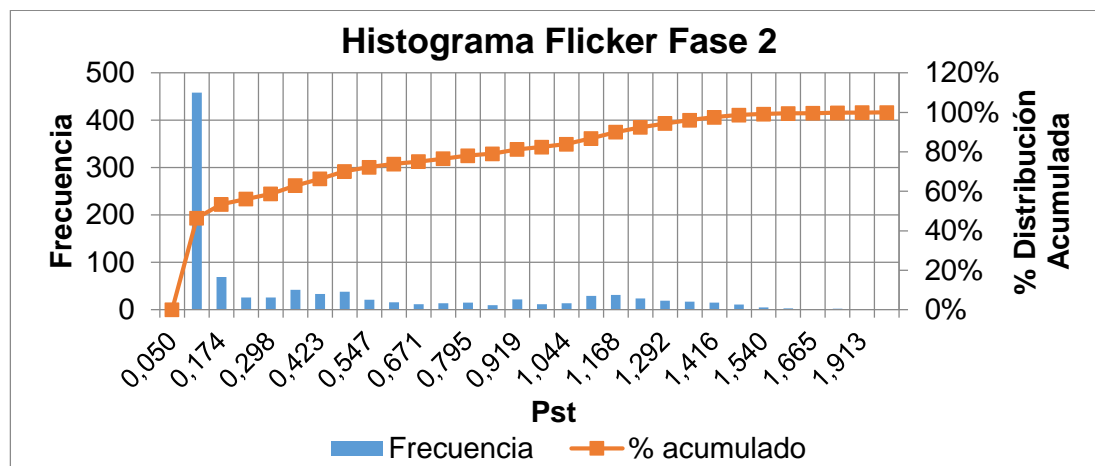
Fase 2	
Pst máx.	1,975
Pst mín.	0,05
Pst promedio	0,409
Valores >1	170
%	82,79

Tabla 62*Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0303169*

Clase	Frecuencia
0,050	1
0,112	458
0,174	69
0,236	26
0,298	26
0,360	42
0,423	33
0,485	38
0,547	21
0,609	16
0,671	12
0,733	14
0,795	15
0,857	10
0,919	22
0,981	12
1,044	14
1,106	29
1,168	31
1,230	24
1,292	19
1,354	17
1,416	15
1,478	11
1,540	5
1,602	3
1,665	1
1,789	2
1,913	1
1,975	1

Figura 58

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0303169



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenido por el analizador presentando un valor máximo igual a 1,913. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 no cumple con lo establecido.

4.1.12. Resumen de los Resultados Obtenidos por el Análisis

A continuación, se presenta un resumen del análisis de Flicker en los transformadores de distribución:

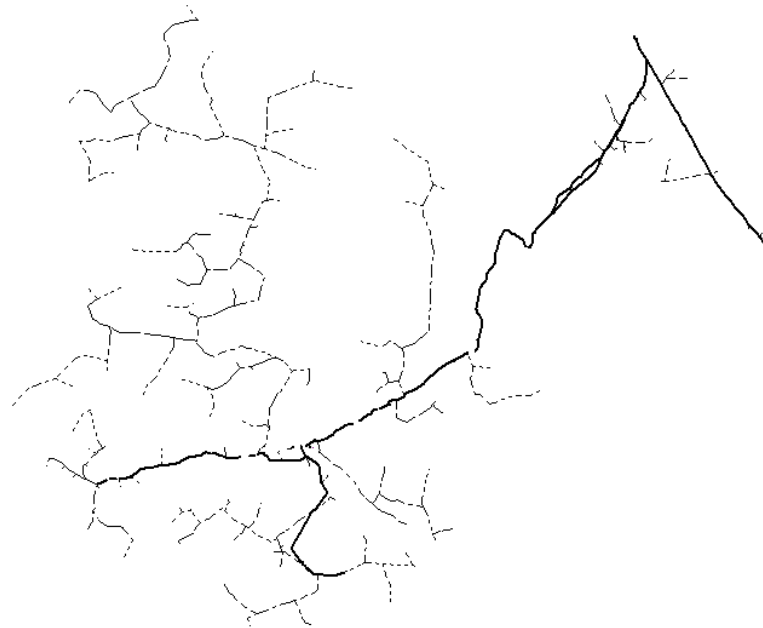
Tabla 63*Resumen de Flicker en cada transformador*

Transformadores	% Flicker			Cumple Si/No		
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
302930 - 50 kVA	85,57	83,94	-	No	No	-
302951 - 37,5 kVA	88,44	88,24	-	No	No	-
304701 - 50 kVA	89,24	89,03	-	No	No	-
304739 - 75 kVA	82,73	83,74	82,32	No	No	No
304680 - 50 kVA	83,22	81,4	81,7	No	No	No
304747 - 40 kVA	88,03	87,02	88,83	No	No	No
302807 - 50 kVA	88,94	84,32	86,73	No	No	No
304753 - 50 kVA	87,55	87,05	89,06	No	No	No
304752 - 75 kVA	87,14	87,84	89,45	No	No	No
303167 - 10 kVA	81,09	81,09	-	No	No	-
303169 - 37,5 kVA	82,79	82,79	-	No	No	-

Acorde los resultados obtenidos ninguno de los transformadores cumple con lo expuesto en la Regulación No. ARCONEL 005/18, eso quiere decir que es posible la existencia de cargas que ocasionan perturbaciones a la red eléctrica.

4.2. Condiciones de Operación Actual del Sistema de Distribución

Como se mencionó anteriormente, el Sistema eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar posee 6 subestaciones, y acorde la campaña de medición del presente año los transformadores que serán usados para el análisis pertenecen al Alimentador Balsapamba que proviene de la Subestación Cochabamba ubicada en el cantón San Miguel. A continuación, se muestra el esquema eléctrico realizado en el Software CYME:

Figura 59*Modelamiento del Alimentador Balsapamba*

Tras haber obtenido el modelamiento del Alimentador Balsapamba, se ejecuta la herramienta de CYMDIST, *Evaluación de las perturbaciones en la red D-A-CH-CZ*, y bajo las condiciones de operación actuales se presenta los siguientes resultados en base al reporte emitido por el software:

Figura 60

Evaluación de las perturbaciones en la red (lado de MV) para el transformador 0304701

Evaluación de las perturbaciones en la red Resumen	
Tipo de dispositivo	Motor de inducción
¿Nueva instalación?	Sí
Nudo de conexión	MTA_S_90383
Nombre del dispositivo	MONOFASICO
Parpadeo	Pasó
Armónicas	Pasó
Parpadeo	
Indicador de parpadeo de corta duración (Pst)	0,748
Indicador de parpadeo de corta duración - Límite	1,0
Parpadeo corta duración < 1,00	Pasó
Indicador de parpadeo de larga duración (Plt)	0,748
Indicador de parpadeo de larga duración - Límite	0,8
Parpadeo larga duración < 0,80	Pasó

Nota. En la figura se presenta el resumen de los resultados obtenidos luego de ejecutar la herramienta de CYMDIST en el punto de acoplamiento común del lado de medio voltaje del transformador 0304701.

Figura 61

Evaluación de las perturbaciones en la red (lado de BV) para el transformador 0304701

Evaluación de las perturbaciones en la red Resumen	
Tipo de dispositivo	Motor de inducción
¿Nueva instalación?	Sí
Nudo de conexión	MTA_L_90383
Nombre del dispositivo	MONOFASICO
Parpadeo	Falló
Armónicas	Pasó
Parpadeo	
Indicador de parpadeo de corta duración (Pst)	1,684
Indicador de parpadeo de corta duración - Límite	1,0
Parpadeo corta duración < 1,00	Falló
Indicador de parpadeo de larga duración (Plt)	1,684
Indicador de parpadeo de larga duración - Límite	0,8
Parpadeo larga duración < 0,80	Falló

Nota. En la figura se presenta el resumen de los resultados obtenidos luego de ejecutar la herramienta de CYMDIST en el punto de acoplamiento común del lado de bajo voltaje del transformador 0304701.

4.3. Evaluación de Datos Utilizando el Flickermeter IEC

Tras haber obtenido el modelamiento del Flickermeter en su totalidad, ahora se lo utilizará para evaluar los datos obtenidos por el analizador con la finalidad de corroborarlos y con la ayuda de la simulación se podrá verificar si el índice de perceptibilidad de corta duración resulta molesto o no. Para ello se utilizará los mismos transformadores modelados en el software CYME; cabe destacar que los datos presentados en las tablas son escogidos de forma aleatoria dentro de los adquiridos por el analizador.

Tabla 64

Evaluación del Transformador 0302930 50 kVA

Dato	Voltaje medido		Valor medido		Valor calculado		Error relativo	
	UL1	UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Error_UL1	Error_UL2
1	112,217	122,584	1,101	1,014	1,087	0,985	1,272%	2,860%
2	113,295	119,971	1,058	1,017	1,068	0,996	0,945%	2,065%
3	117,273	124,349	1,028	0,981	1,017	0,984	1,070%	0,306%
4	118,52	117,916	0,998	1,029	1,006	1,011	0,802%	1,749%
5	120,372	116,409	1,029	1,013	0,993	1,03	3,499%	1,678%
6	120,732	116,391	1,025	1,033	0,992	1,026	3,220%	0,678%
7	120,913	118,821	1,021	0,984	0,991	1,004	2,938%	2,033%
8	118,666	116,391	1,038	1,033	1,005	1,026	3,179%	0,678%
9	120,344	119,668	1,013	0,989	0,994	0,998	1,876%	0,910%
10	117,779	118,761	1,044	1,011	1,012	1,004	3,065%	0,692%
11	118,914	120,279	0,975	1,021	1,003	0,994	2,872%	2,644%
12	119,045	120,421	1	0,986	1,002	0,993	0,200%	0,710%
13	117,95	120,743	1,011	0,973	1,011	0,991	0,000%	1,850%
14	117,905	117,706	0,989	1,028	1,011	1,013	2,224%	1,459%
15	120,543	118,255	1,013	1,01	0,992	1,008	2,073%	0,198%

Figura 62

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador

0302930

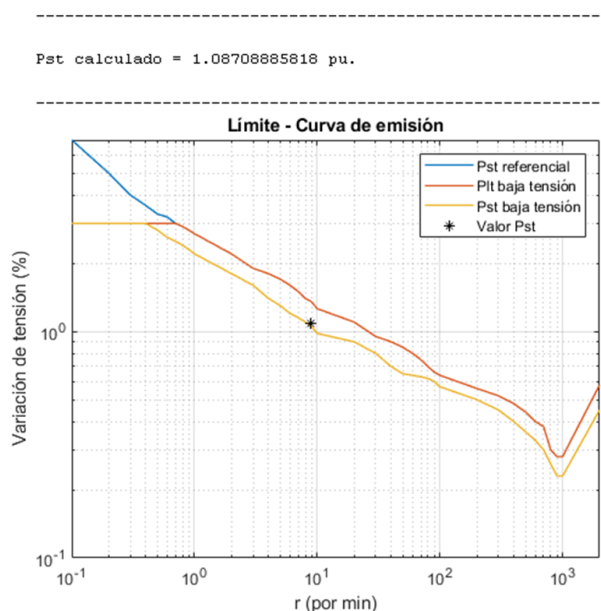


Figura 63

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador

0302930

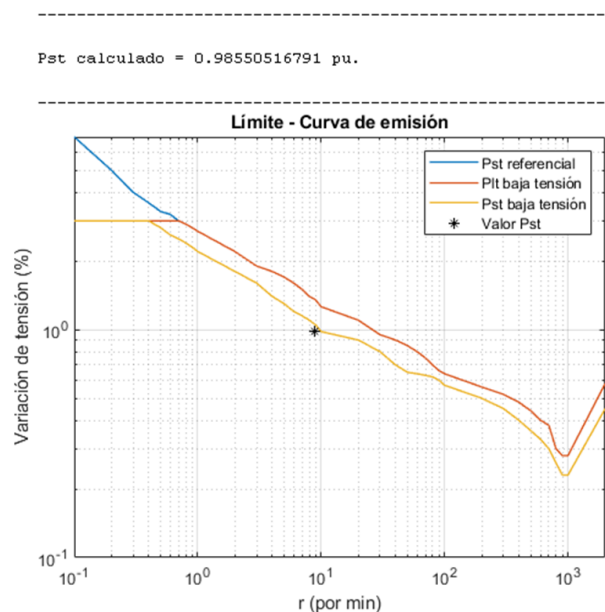


Tabla 65

Evaluación del Transformador 0302951 37,5 kVA

Dato	Voltaje medido		Valor medido		Valor calculado		Error relativo	
	UL1	UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Error_UL1	Error_UL2
1	119,497	118,899	1,005	0,991	0,999	1,003	0,597%	1,211%
2	118,786	119,791	0,993	1,02	1,004	0,997	1,108%	2,255%
3	118,398	120,228	1,024	0,982	1,007	0,998	1,660%	1,629%
4	120,055	117,201	0,982	1,009	0,995	1,018	1,324%	0,892%
5	119,67	117,768	1,019	1,032	0,998	1,012	2,061%	1,938%
6	117,613	119,658	1,03	1,003	1,014	0,996	1,553%	0,698%
7	117,036	119,839	1,009	0,967	1,019	0,996	0,991%	2,999%
8	120,338	118,53	1,023	1,025	0,994	1,006	2,835%	1,854%
9	118,896	120,534	0,973	1,025	1,003	0,993	3,083%	3,122%
10	119,709	119,043	0,968	0,972	0,997	1,002	2,996%	3,086%
11	120,924	121,057	1,01	1,013	0,991	0,99	1,881%	2,270%
12	120,663	118,137	1,018	1,024	0,992	1,009	2,554%	1,465%
13	119,679	119,19	1,019	0,985	0,997	1,001	2,159%	1,624%
14	119,906	120,805	1,027	1,018	0,996	0,991	3,019%	2,652%
15	118,004	120,003	1,021	1,028	1,01	0,995	1,077%	3,210%

Figura 64

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador

0302951

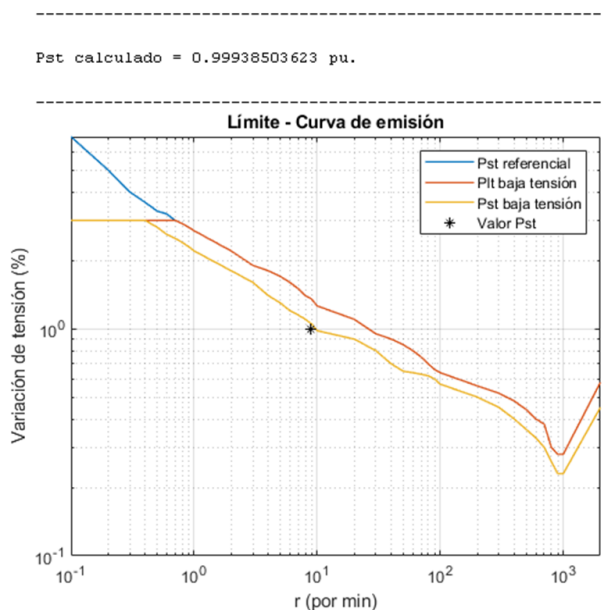


Figura 65

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador

0302951

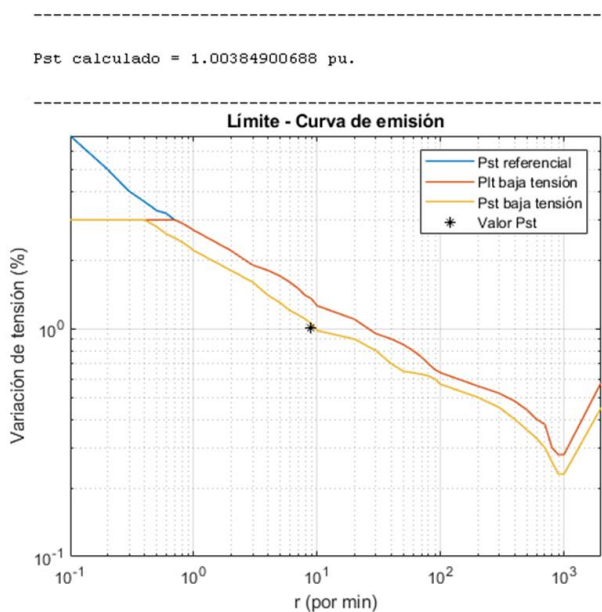


Tabla 66

Evaluación del Transformador 0304701 50 kVA

Dato	Voltaje medido		Valor medido		Valor calculado		Error relativo	
	UL1	UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Pst_UL1	Pst_UL2	Error_UL1	Error_UL2
1	125,347	125,379	1,005	1,004	0,994	0,989	1,095%	1,494%
2	124,892	124,967	1,001	1,001	0,996	0,991	0,500%	0,999%
3	126,127	126,16	1,025	1,024	0,99	0,986	3,415%	3,711%
4	124,848	124,858	0,972	0,971	0,996	0,991	2,469%	2,060%
5	125,51	126,135	0,968	0,953	0,993	0,986	2,583%	3,463%
6	125,16	125,797	0,973	0,963	0,995	0,987	2,261%	2,492%
7	126,105	125,545	0,955	0,967	0,99	0,988	3,665%	2,172%
8	125,764	126,473	0,964	1,02	0,997	0,985	3,423%	3,431%
9	126,434	124,752	1,021	0,961	0,986	0,992	3,428%	3,226%
10	124,708	125,967	0,962	0,965	0,997	0,987	3,638%	2,280%
11	125,636	125,698	1,008	1,008	0,992	0,988	1,587%	1,984%
12	124,059	125,192	0,973	0,972	1,001	0,99	2,878%	1,852%
13	125,921	124,666	0,966	0,981	0,985	0,992	1,967%	1,121%
14	124,601	125,363	0,982	0,962	0,998	0,989	1,629%	2,807%
15	125,349	124,089	0,96	0,972	0,989	1,001	3,021%	2,984%

Figura 66

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 1 del Transformador

0304701

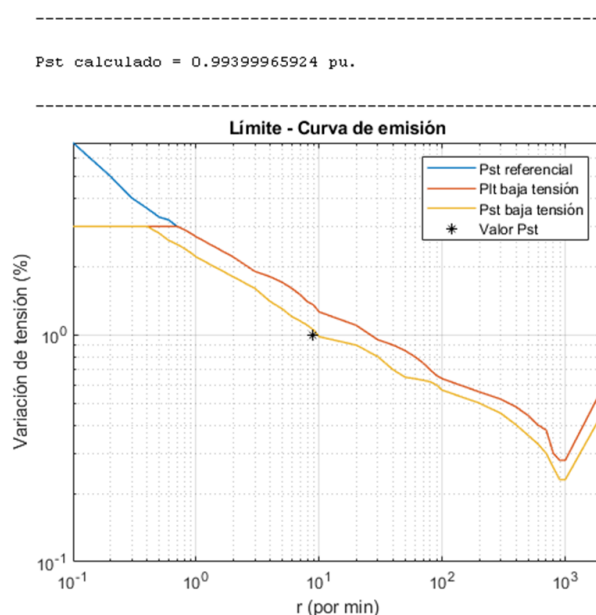
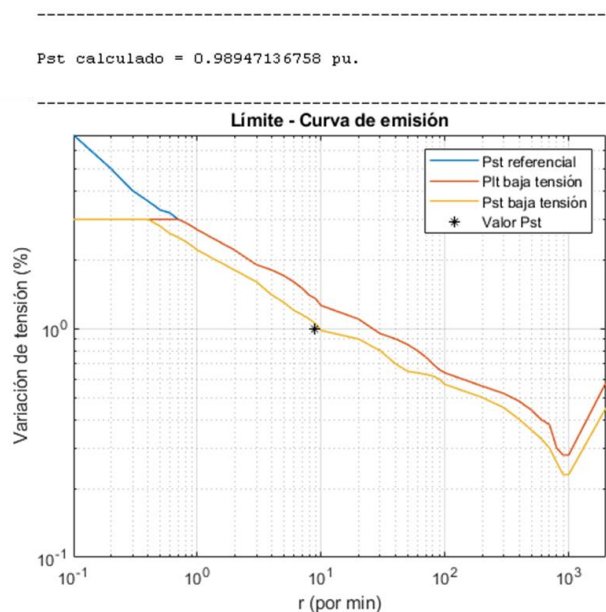


Figura 67

Gráfica del P_{st} calculado a través del Flickermeter de la Fase 2 del Transformador

0304701



4.4. Discusión de los Resultados

Tras haber culminado con la etapa de adquisición y procesamiento de datos, la comprobación de datos a través del modelamiento del medidor de parpadeo y efectuar la simulación del sistema eléctrico en estudio, se presenta un breve resumen del estado de operación actual de los transformadores de distribución inmersos en este capítulo.

Acorde los datos presentados en la Tabla 63 ninguno de los transformadores cumple con los límites establecidos en la Regulación No. ARCONEL 005/18. Los porcentajes de cargabilidad de los transformadores usados en la simulación no presentan sobrecarga, manteniéndose en condiciones normales de operación.

Por otra parte, la evaluación realizada a los datos obtenidos por el analizador de energía está dentro del rango de error sugerido, el protocolo IEC recomienda que el

valor obtenido para el indicador P_{st} debe poseer un porcentaje de error menor del $\pm 5\%$. Otros autores de trabajos similares plantean diferentes metodologías ante el diseño del Flickermeter, de igual manera obteniendo errores inferiores acorde los expuestos en la norma IEC.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1. Datos Informativos

- **Institución:** Corporación Nacional de Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar.
- **Ubicación:** Área de concesión en su totalidad, Provincia de Bolívar, Cantón Guaranda.
- **Beneficiario:** Corporación Nacional de Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar.

5.2. Objetivos

5.2.1. Objetivo General

Elaborar una metodología que permita atenuar las perturbaciones rápidas de voltaje existentes en los transformadores de distribución de la red eléctrica de la CNEL EP Bolívar.

5.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones de operación de los transformadores de distribución.
- Determinar las acciones que se puede ejecutar en base a la metodología sugerida para la atenuación de las perturbaciones rápidas de voltaje.
- Realizar un comparativo entre las alternativas presentes en la propuesta y determinar los factores que estos conllevan.
- Implementar la propuesta a un transformador de distribución y analizar los resultados obtenidos.

5.3. Fundamentación de la Propuesta

La propuesta que se presenta en este capítulo está vinculada con el análisis realizado en el Capítulo IV, donde se presenta el porcentaje de Flicker de cada transformador. En base a los resultados obtenidos se elabora una metodología para mitigar las perturbaciones rápidas de voltaje; resulta indispensable para toda empresa distribuidora mantener los límites de Flicker acorde lo establecido legalmente, de modo que se pueda conservar un sistema eléctrico en óptimas condiciones. Para ello se plantea el uso de la herramienta de análisis *Evaluación de las perturbaciones en la red D-A-CH-CZ* perteneciente al software computacional CYME – CYMDIST, mediante el cual es posible obtener el índice de severidad de flicker de los transformadores seleccionados para el análisis. Adicional a ello se utiliza el modelo de Flickermeter propuesto por la norma IEC 61000-4-15, para corroborar los datos obtenidos por el analizador de energía.

5.4. Diseño de la Propuesta

A continuación, se define el proceso a seguir de acuerdo con la propuesta:

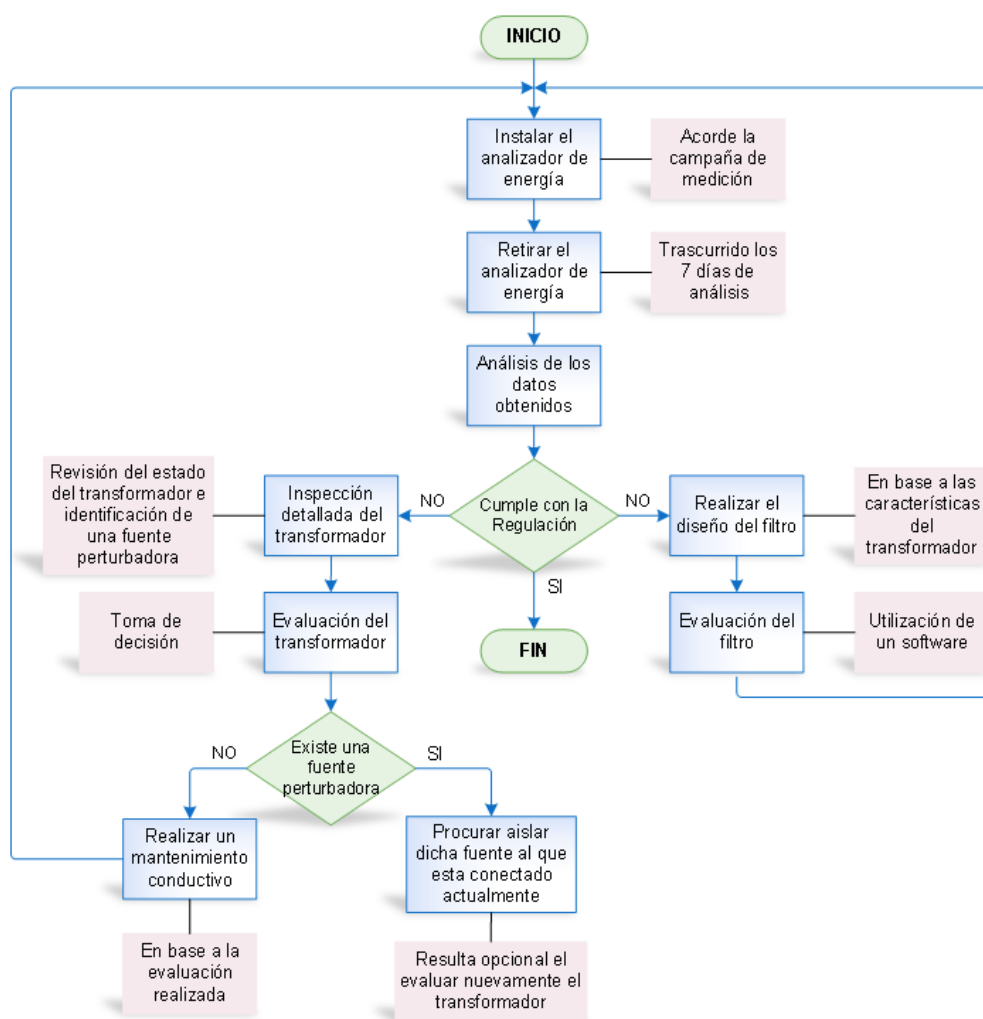
- **Inspección del estado del transformador:** Se tiene que determinar el estado físico del transformador y los elementos que lo conforman, a su vez identificar la existencia de una fuente perturbadora o carga especial que genere perturbaciones de voltaje.
- **Evaluación de la inspección:** A través de esta evaluación se puede definir las acciones a tomar; por ejemplo, ante la presencia de una fuente perturbadora se aplicaría correctivos para la misma, o realizar un mantenimiento al transformador, etc.

- **Determinación de la acción correctiva:** Antes de empezar con la corrección, se debe realizar una metodología la cual nos permite citar pautas para ejecutar de forma correcta el trabajo a realizar.
- **Análisis de resultados:** Se realiza la cuantificación de los resultados obtenidos ante la acción correctiva, evaluando de esta manera el estado del transformador.

En la Figura 54 se presenta una estructura secuencial mediante un diagrama de flujo, en la cual se visualiza de mejor manera la propuesta planteada.

Figura 68

Diseño de la propuesta



5.5. Ejecución de la Propuesta

Para el desarrollo de la propuesta se tomó en cuenta el proceso descrito en la Figura 54, el cual fue elaborado en base a actividades prácticas e investigaciones referentes al tema de estudio. También se considera el ámbito económico, dentro de este punto existe diferentes escenarios que dependerá de la inspección realizada al transformador. A continuación, se describe la propuesta a modo de etapas a seguir ante la presencia de perturbaciones rápidas de voltaje en transformadores de distribución.

5.5.1. Etapa 1 - Análisis del Entorno

Tras obtener el análisis de los datos adquiridos por el analizador y observando que no existe el cumplimiento de la Regulación, se procede a realizar una inspección visual del estado físico del transformador. Tomando en cuenta que el transformador es un equipo eléctrico del cual a menudo se abusa por descuido o desconocimiento; con protecciones inadecuadas, sobrecargas continuas y un pobre mantenimiento. Además, es un aparato estático, construido de manera robusta, por lo que sus posibilidades de fallas son mínimas. Sin embargo, tales abusos se reflejan en una disminución considerable en la vida útil del aparato.

Durante la inspección visual lo que se pretende observar son las partes externas del transformador, los puntos de interés de la inspección son:

- Las boquillas de alta tensión
- Las boquillas de baja tensión y la conexión de los cables
- Los accesorios de protección
- La existencia de fugas
- El sistema de puesta a tierra

Otro punto importante a observar es los tipos de usuarios y el tipo de alumbrado público, para ello se debe recorrer la red eléctrica que abastece el transformador. Entre los diferentes tipos de clientes tenemos:

- Residencial
- Comercial
- Industrial

Luego de haber culminado la inspección se emite un informe detallando las observaciones encontradas durante esta actividad. El paso a seguir a continuación será la evaluación del informe para poder tomar una decisión ante las fallencias existentes.

En la Tabla 67 se detalla el estado de los transformadores a los que se efectuó esta etapa, los mismos que son usados como un modelo base para la mitigación del efecto Flicker.

Tabla 67

Resumen del estado de los transformadores

Transformador		
0302930	0302951	0304701
<ul style="list-style-type: none"> • Puntos flojos en el sistema de puesta a tierra • Pararrayos de baja tensión flojo • Alimenta a una Torre de Telecomunicacion es 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de puesta a tierra sin conexión • Alimenta a clientes residenciales y comerciales 	<ul style="list-style-type: none"> • Varilla copperweld sin ser enterrada por completo • Pararrayo de baja tensión flojo • Alimenta a clientes residenciales y comerciales

Ante las fallencias encontradas en los transformadores se define que se requiere un mantenimiento conductivo, el cual trata de un conjunto de tareas de mantenimiento

básico del equipo que lo lleva a cabo el personal de operación. Las actividades a realizar en cada uno de los transformadores están en función de sus necesidades.

Dentro de las novedades encontradas en la inspección, las que guardan vínculo con el tema de estudio son las siguientes:

a. Sistema de Puesta a Tierra

Se entiende por calidad de la energía cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes (Telléz Ramirez, 2007).

Cuando hay la presencia de perturbaciones existe una mala calidad de energía entre ellas tenemos: variaciones de voltaje, armónicos, interrupciones, de forma general eventos transitorios en el sistema eléctrico. En base a diferentes estudios se ha determinado que la mayoría de los inconvenientes relacionados con la calidad de energía eléctrica proviene de forma directa de las instalaciones eléctricas y no del suministro eléctrico.

“También se puede definir a la calidad de energía como el proceso de energizar y poner a tierra el equipo sensible de una manera adecuada para la óptima operación del equipo” (Mercado Polo, Bernardo Peña , & Pacheco, 2015). En la Figura 61 se presenta la pirámide de la calidad de energía, allí se observa que la base de la calidad de energía son los sistemas de puesta a tierra (SPT); mientras el sistema eléctrico posea un diseño del SPT seguro, permitirá la disminución de fallas que tienen relación con las interrupciones, eventos transitorios y variaciones en los parámetros fundamentales.

Figura 69*Pirámide de calidad de energía***b. Tipo de Cable Instalado**

La función que lleva a cabo un conjunto de cables o un conductor, es la de transportar energía eléctrica. Entre los materiales más utilizados son el cobre y el aluminio. En la Tabla 68 se muestra las características más importantes de estos materiales, que son empleados en cables para media y baja tensión.

Tabla 68*Características del cobre y del aluminio*

		Cobre suave	Aluminio 1350
Densidad	<i>g/cm³</i>	8,89	2,705
Resistividad	<i>Ω.mm²/km</i>	17,141	28,172
Conductividad	<i>(%IACS)</i>	100	61,2
Tensión de rotura	<i>Mpa</i>	220	155 - 200
Elongación a rotura	<i>%</i>	25 - 30	1,4 - 2,3
Norma ASTM (NTC)		B3 (359)	B230 (360)
Resistencia a la corrosión		Excelente	Buena

Nota. Esta tabla muestra las características el cobre y del aluminio. Tomado de (CENTELSA, 2020).

Dentro de la inspección se observó que el cable utilizado en las boquillas de baja tensión es de aluminio, adicional a ello el conductor experimenta un nivel medio de corrosión debido a las condiciones ambientales en las que se encuentra ubicado, esta oxidación puede generar a la conexión una mayor resistencia. Ante estos factores encontrados, una de las alternativas a considerar es el cambio de conductor de las bajantes del transformados y utilizar un cable de cobre, este material por su composición presenta signos mínimos de desgaste que el aluminio.

Para excluir la corrosión electroquímica que llevara a cabo la unión de cobre (bajantes) y aluminio (cable preensamblado) se debe utilizar los conectores apropiados, lo que proporcionara un contacto duradero y confiable.

c. Falso Contacto Eléctrico

El falso contacto es un problema eléctrico muy común en las instalaciones eléctricas que están expuestas mucho a la intemperie, a los cambios de temperatura, a la humedad, a las vibraciones mecánicas, al polvo, a la falta de mantenimiento, a la inapropiada conexión o ajuste entre otros (Poma, 2020).

Hay que tener en cuenta, que toda conexión eléctrica sufre desgaste con el tiempo y puede generar un falso contacto. Con el pasar del tiempo los contactos en algún momento no estarán correctamente sujetos, eso quiere decir que existirá milésimas de segundo en que no pasará la energía eléctrica correctamente. Hablando en términos técnicos, un falso contacto representa una oposición al paso de la corriente eléctrica (Poma, 2020).

Para poder evitar un falso contacto eléctrico se debe realizar conexiones firmes y con el ajuste preciso, o en el caso de existir corrosión se debe limpiar las partes en contacto y volver a ajustarse de forma segura, obteniendo así una conexión de calidad.

5.5.2. Etapa 2 - Tratamiento ante una Fuente Perturbadora

Como se indicó en la etapa anterior, un transformador puede alimentar a clientes residenciales, comerciales e industriales. En el Capítulo 2 se mencionó algunos ejemplos de fuentes perturbadoras conectadas a la red, las mismas que deben ser identificadas durante la inspección. Los clientes a analizar en esta etapa son los de tipo comercial e industrial, ya que utilizan diversos tipos de maquinaria y dentro de estas pueden existir una carga fluctuante que ocasione el efecto flicker.

En esta etapa el procedimiento a realizar será la determinación de la carga instalada del consumidor comercial o industrial, y se debe establecer a través de un listado los artefactos, equipos, maquinaria, etc. que utiliza el consumidor. En el listado se debe incluir la descripción, la cantidad y la potencia nominal de la carga instalada, de esta forma se puede establecer la demanda del consumidor y poder aplicar un correctivo.

Se debe considerar algunas soluciones ante la presencia de una carga fluctuante; por lo general se procuraría aislarla del circuito al que está conectado o realizar un ajuste del tap y moverlo a la posición tap 1 (+2,5%). Entre otra alternativa esta aumentar la potencia nominal del transformador y realizar una distribución de carga adecuada.

5.5.3. Etapa 3 - Dimensionamiento de un Filtro

En las etapas anteriores presento unas posibles soluciones para reducir el efecto flicker, pero también se contempla la instalación de un filtro. En base a la bibliografía revisada se define que existe dos tipos de filtros básicos que pueden ayudar en solución a los problemas vinculados con la calidad de energía, y estos se clasifican acorde los elementos que lo constituyen. “Dentro del primer grupo están los filtros

pasivos, son aquellos que están constituidos por capacitores y bobinas, y se los aplica para dar solución a un solo tipo de armónico, pero presenta problemas de resonancia en la red eléctrica” (Guerra Chávez, 2019), estos filtros no son considerados como una solución aplicable para esta investigación.

“En el segundo grupo encontramos a los filtros activos, que están constituidos por elementos pasivos y convertidores con modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés), estos filtros permiten cancelar los armónicos de voltaje o corriente generados por las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica, equilibran las corrientes de fase y mejoran el factor de potencia” (Guerra Chávez, 2019).

Los filtros activos poseen una clasificación, pero antes de ello se presenta algunas de las funciones que cumplen estos filtros ante los distintos tipos de perturbaciones que se pueden presentar en la red eléctrica:

- Reducción de los armónicos de corriente que circulen por la red, entre el filtro activo y los centros de generación de energía.
- Reducción de la corriente por el neutro. Si este existe la amplitud de los armónicos de corriente múltiplos de tres se suman a través del neutro.
- Reducción de los armónicos de tensión en los puntos de conexión de las cargas.
- Corrección del factor de potencia provocado por un $\cos \varphi$ distinto de la unidad.
- Equilibrado de la corriente que circula por las distintas fases.
- Equilibrado de la tensión entre fases y con el neutro.
- Regulación de la tensión y reducción del Flicker (Hernández Curiel, 2014).

Ante las funciones expuestas se llega a la conclusión que el filtro activo es aplicable para brindar una alternativa de solución a la presente investigación. Y para ello se requiere conocer su clasificación, teniendo así filtros activos serie y paralelo. Los filtros serie se comportan como una fuente de tensión en serie con la propia red, y su

función principal es que la tensión en bornes de la carga sea senoidal. Por otro lado, un filtro paralelo actúa básicamente como una fuente de corriente, que tiene como misión contrarrestar los armónicos de corriente generados por la carga, de forma que, la corriente en la red (suma de corrientes de la carga y el filtro) sea senoidal. (Lamich , 2006)

La Tabla 69 muestra en forma general las aplicaciones que se les puede dar a los filtros activos.

Tabla 69

Aplicaciones de los filtros activos

Filtros serie	Filtros paralelo
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de armónicos de tensión en la carga • Regulación de la tensión • Reducción del Flicker y los microcortes de tensión 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los armónicos de corriente • Compensación del factor de potencia • Reducción de la corriente por el neutro

Nota. Esta tabla muestra las diferentes aplicaciones de los filtros activos en serie y paralelo. Tomado de (Lamich , 2006)

a. Cálculo del Filtro Activo

Para el dimensionamiento del filtro activo se requiere conocer las magnitudes de corriente que deberá soportar durante su funcionamiento. Primero se debe calcular la corriente armónica necesaria para el filtro, para efectuar este cálculo se utilizará la metodología presentada en el trabajo de (Zambrano Ibujés , 2014). Para obtener la distorsión armónica de corriente es necesario obtener la corriente de cortocircuito a través de la Ecuación 26.

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}} \quad \text{Ec. (26)}$$

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}} = \frac{1}{0,04} = 25$$

Los datos a utilizar en los siguientes cálculos se los presenta en la Tabla 70.

Tabla 70

Datos del Transformador 0304739

Transformador 0304739	
Potencia	75 kVA
Vn. Primario	13,8 kV
Vn. Secundario	220/127 V
Impedancia	4%

Luego se calcula el valor de la corriente de carga de cada línea utilizando la siguiente ecuación:

$$IL = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} \quad \text{Ec. (27)}$$

$$IL = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} = \frac{59639,40}{\sqrt{3} * 220} = 156,51A$$

Para encontrar la corriente de carga en p.u:

$$IL_{p.u.} = \frac{I_{fase}}{I_{línea sistema}} \quad \text{Ec. (28)}$$

A través de la Ecuación 29 se puede obtener el factor aproximado para el THDI

$\alpha = \text{distorsión armónica total de demanda (DATH o THD)}$:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{IL_{p.u.}} \quad \text{Ec. (29)}$$

Los resultados de los cálculos obtenidos por cada una de las fases se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 71

Datos obtenidos de los cálculos para armónicos de corriente

Fases	IL	IL _{p.u.}	α
F1	184,11	1,17	21,36
F2	209,06	1,33	18,79
F3	120,03	0,76	32,89
N	148,59	0,95	26,31

Existen criterios para la aprobación de ciertos parámetros, el índice de THD no debe sobrepasar un valor de porcentaje acorde lo especifica la Figura 62, como el resultado del DATD cabe en el intervalo entre 20-50, entonces el THD máximo de corriente debe ser 8. La siguiente tabla se debe utilizar para niveles de bajo voltaje según lo indica la IEEE Std. 519.

Figura 70

Niveles máximos de distorsión armónica de corriente

Nivel máximo de armónicos impares ^a (% de la corriente máxima de demanda)						
I_{CC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
<20 ^b	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

^a Los límites para armónicos pares corresponden al 25% de los límites indicados en la tabla

^b Todos los equipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente, donde: I_{CC} = corriente máxima de corto circuito en el PCC²; I_L = corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60 Hz).

Nota. En esta gráfica se muestra los niveles máximos de distorsión armónica de corriente. Tomado de (ARCONEL, 2019).

Luego de haber obtenido las corrientes armónicas, se procede a calcular la corriente nominal del filtro activo, para ello se utilizará la siguiente ecuación (Guerra Chávez, 2019):

$$I_{AF} = SF_h * I_{carga} * THDI\% \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde:

SF_h : Es un valor teórico que establece el factor de sobrecarga del filtro.

I_{carga} : Es la corriente de carga.

$THDI\%$: Es la distorsión armónica de corriente total expresado en porcentaje.

Acorde un criterio presentado por (Circutor, s.f.), en donde se menciona que el valor de SF_h tiene relación con el valor de $THDV$ como se lo presenta a continuación:

- Si el THDV = 3% el factor de seguridad a aplicar es de 1,2.
- Si el THDV = 5% el factor de seguridad a aplicar es de 1,5.
- Si el THDV > 5% el factor de seguridad a aplicar es de 1,8 a 2,0.

Los valores de THDV registrados por el analizador para la Fase 1 es de 1,85%, para la Fase 2 es de 2,03% y para la Fase 3 es de 1,95%. El factor de sobre carga asignado para el filtro en base a los datos del THDV mencionados será de 1,2 y la corriente máxima de carga de 209,06 A obtenida de la Tabla 71. Remplazando estos datos en la Ecuación 15 se obtiene:

$$I_{AF,F1} = 1,2 * 209,6 A * 21,36\% = 53,72 A$$

$$I_{AF,F2} = 1,2 * 209,6 A * 18,79\% = 47,26 A$$

$$I_{AF,F3} = 1,2 * 209,6 A * 32,89\% = 82,72 A$$

$$I_{AF,N} = 1,2 * 209,6 A * 26,31\% = 66,17 A$$

Acorde los cálculos obtenidos la corriente de filtrado para la Fase 1 es de 53,72 A, para la Fase 2 es de 47,26 A, para la Fase 3 es de 82,72 A y para el Neutro es de

66,17 A. Los valores con mayor corriente son los de la Fase 3 y el Neutro, por lo tanto, el filtro a considerar debe filtrar corrientes máximas de 90 A por Fase y 70 A para el Neutro. En base a la configuración del sistema eléctrico de distribución, se considera que el equipo a seleccionar sea trifásico de 4 hilos.

b. Selección del Filtro

Tabla 72

Comparación de varios modelos de filtros activos

Descripción	Fabricante			
	SCHNEIDER ELECTRIC	CIRCUTOR	LIFASA	MERUS POWER
Modelo	AccuSine PFV+	AFQm	SINAF M	SERIE A2
Voltaje de operación	380 - 480 V	208 - 400 V	230 - 400 V	200 - 400 V
Corrientes de filtrado	60 - 120 - 200 A	30 - 60 - 100 A	30 - 60 - 100 A	50 - 100 - 150 A
Número de fases	Trifásico, con o sin neutro	Trifásico, con neutro	Trifásico, con neutro	Trifásico, con neutro
Orden de armónico	-	2 - 50	2 - 50	2 - 50
Corrección del factor de potencia	-	0,7 inductivo - 0,7 capacitivo	0,7 inductivo - 0,7 capacitivo	-
THDV máximo	Hasta el 20%	Hasta el 25%	Hasta el 25%	-
Tiempo de respuesta	25µs	0,1 ms	0,1 ms	0,1 ms
Número de filtros en paralelo que se pueda incorporar	Hasta 10	Hasta 100	Hasta 100	Hasta 7
Altura de operación	1000 m	3000 m	3000 m	-
Dimensiones (Ancho x Alto x Fondo)	2100 x 1300 x 500 mm	439 x 745 x 288 mm	745 x 439 x 288 mm	500 x 225 x 800 mm

En base a los requerimientos establecidos a través de los cálculos y las necesidades presentadas en los transformadores de distribución para mejorar la calidad de energía eléctrica y lograr el cumplimiento de los límites expuestos en normativas se ha seleccionado varios modelos de filtros activos que son accesibles y con las características requeridas. En la Tabla 72 se presenta una tabla comparativa de los filtros activos que se podrían seleccionar acorde las características del transformador.

Luego de terminar de realizar la explicación de todas las etapas que conforman la metodología para la mitigación del fenómeno Flicker se debe tomar en consideración un parámetro importante como es el ámbito económico en donde se puede observar que resulta viable aplicar la Etapa 1, donde el monto a invertir dependerá de las condiciones en la que el transformador de distribución esté operando. Dentro de la Etapa 2 se debe brindar un tratamiento especial a la fuente generadora de Flicker, e instalar un equipo que nos permita monitorear de mejor manera el comportamiento eléctrico que esta tiene con respecto a la red eléctrica que la suministra y de esta manera verificar si se requiere o no aislar dicha fuente portadora de flicker; el aporte económico estará en función de la nueva instalación de la misma. Por el contrario, para la Etapa 3 se debe poner en consideración un análisis más detallado ya que esta esta direccionado a un diseño de un filtro acorde las características del transformador y el tipo de usuario que está conectado a dicha red eléctrica.

5.6. Evaluación de los Resultados

El presente apartado contiene los resultados obtenidos luego de aplicar el correctivo expuesto en la Etapa 1, en la Tabla 73 se presenta los materiales que se utilizaron durante el mantenimiento aplicado a los transformadores de distribución.

Tabla 73

Materiales utilizados para efectuar el mantenimiento conductivo

Descripción	Cantidad	Unidades	Monto
Conector estanco doble dentado 50 a 150 mm² (1/0 AWG - 300 MCM)	6	Uni	43,2
Cable de Cu. 600 V TTU 1/0 AWG 7 hilos	9	Mtr	84,6
Conector de bronce para varilla toma a tierra 5/8''	3	Uni	7,2
Pararrayo clase baja tensión 440 V	2	Uni	58,4
TOTAL:			193,4

Una vez detallado los materiales a utilizar, se programa las actividades a realizar en cada transformador de distribución. Luego de efectuar correctamente dichas actividades se deberá evaluar si existió una mejora o no, tal como se planteó en la Figura 60. Para ello se debe instalar nuevamente el analizador de energía en los transformadores en análisis. A continuación, se presenta los datos obtenidos en el transformador 0304701, cuyos valores registrados se presentan en el Anexo N.

Tabla 74

Flicker máximo y mínimo de la Fase 1 del transformador 0304701

Fase 1	
Pst máx.	6,272
Pst mín.	0,084
Pst promedio	0,263
Valores >1	5
%	99,50

Tabla 75

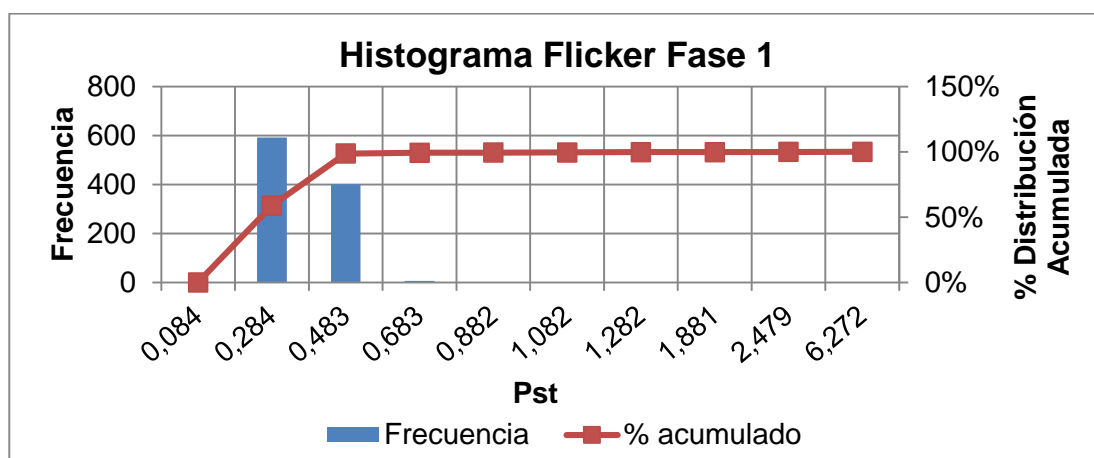
Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701

Clase	Frecuencia
0,084	1
0,284	592
0,483	401
0,683	6

Clase	Frecuencia
0,882	1
1,082	1
1,282	2
1,881	1
2,479	1
6,272	1

Figura 71

Histograma de Flicker de la Fase 1 del transformador 0304701



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 1 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenidos por el analizador luego de efectuar el correctivo acorde se presentó en la Etapa 1 de este capítulo, en donde presenta un valor máximo igual a 6,272. Tomando en cuenta la Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 1 cumple con lo establecido.

Tabla 76

Flicker máximo y mínimo de la Fase 2 del transformador 0304701

Fase 2	
Pst máx.	6,244
Pst mín.	0,084
Pst promedio	0,263
Valores >1	5
%	99,50

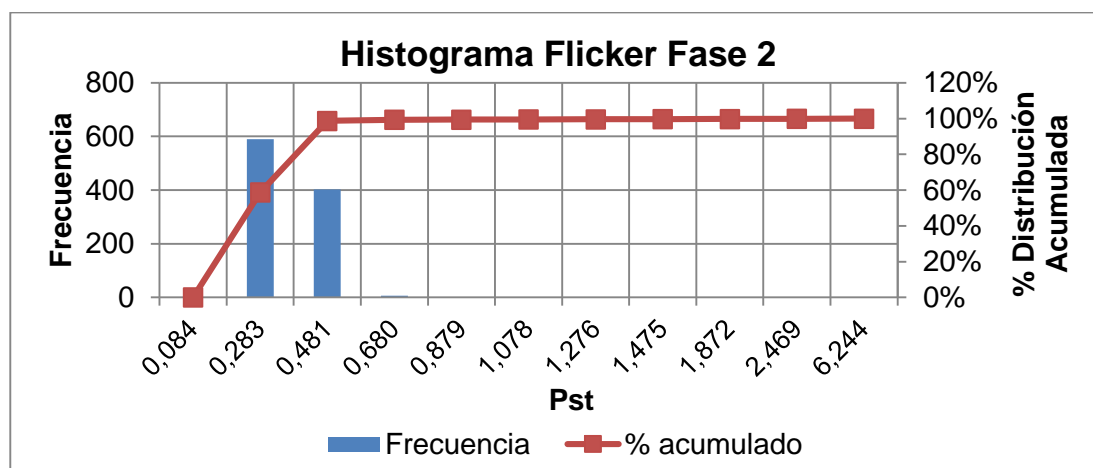
Tabla 77

Datos agrupados y distribución de Flicker del transformador 0304701

Clase	Frecuencia
0,084	1
0,283	590
0,481	403
0,680	6
0,879	1
1,078	1
1,276	1
1,475	1
1,872	1
2,469	1
6,244	1

Figura 72

Histograma de Flicker de la Fase 2 del transformador 0304701



En la figura se representa el Flicker de corta duración de la Fase 2 del transformador, donde se observa la distribución del conjunto de datos obtenidos por el analizador luego de efectuar el correctivo acorde se presentó en la Etapa 1 de este capítulo, en donde presenta un valor máximo igual a 6,244. Tomando en cuenta la

Regulación 005/18 la distribuidora cumple cuando el 95% o más de los valores registrados es menor a 1, en base a esto la Fase 2 cumple con lo establecido.

Tabla 78

Resumen de los resultados obtenidos para el Transformador 0304701

	Antes		Después	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Pst máx.	693,942	693,943	6,272	6,244
Pst mín.	0,054	0,053	0,084	0,084
Pst promedio	9,953	9,95	0,263	0,263
Valores >1	103	105	5	5
%	89,24	89,03	99,5	99,5

Con la implementación de la Etapa 1 se observa en la Tabla 78 que existe un cambio favorable con respecto a los datos obtenidos por el analizador después de aplicar el mantenimiento correctivo, dando así una pauta para mitigar las perturbaciones rápidas de voltaje en los transformadores de distribución, cumpliendo así los objetivos trazados para este trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

Con los datos adquiridos a través de los equipos de monitoreo se determinó el comportamiento de los transformadores de distribución y se evaluó si estos cumplen con los índices de calidad de producto expuestos en la Regulación No. ARCONEL 005/18, en base a los resultados obtenidos se planteó una alternativa para mitigar el fenómeno eléctrico conocido como Flicker, esta se compone de tres etapas a manera de diagrama de flujo como se detalló en los capítulos anteriores y de esta forma la CNEL EP Bolívar podrá por elegir cualquiera de ellas acorde al comportamiento operativo de su área de concesión eléctrica.

De acuerdo con lo expuesto en la Regulación del ARCONEL se requiere una muestra para evaluar la calidad de producto que se está brindado a cada uno de sus consumidores, la CNEL EP Bolívar posee 5691 transformadores de distribución y se debe presentar un muestreo del 0,15% de estos, dándonos un total de 8 transformadores por mes. Con respecto a los usuarios de medio voltaje se tiene un total de 8 y se debe presentar un muestreo del 0,5% de estos, pero dicha cantidad no satisface los requerimientos establecidos así que se presenta 5 por mes.

Las mediciones de las variables eléctricas fueron realizadas en base a la campaña de medición; en este formato consta todas las mediciones que realizará la CNEL EP Bolívar durante un año con la finalidad de evaluar la calidad de producto que ofrece a sus usuarios, para seleccionar los puntos de medición se debe considerar los criterios expuestos en la Regulación No. ARCONEL 005/18.

Los resultados obtenidos por los analizadores de energía muestran que los transformadores de distribución presentan un incumplimiento del índice de flicker, ya que los valores registrados no superan el 95% del valor límite establecido por la

Regulación del ARCONEL. Dentro de los datos obtenidos el valor del P_{st} supera la unidad en diversas ocasiones, esto nos indica que el parpadeo en elementos electrónicos y principalmente en fuentes luminosas es muy notorio.

Se utilizó el software CYME en el modelamiento del fenómeno flicker, para el análisis se utilizó los transformadores de distribución del alimentador Balsapamba. En donde aplicando la herramienta de Evaluación de las perturbaciones en la red se obtiene que en la red de MV no existe la presencia de flicker, pero en el lado de BV si existe dicho fenómeno. Para el análisis del punto de acoplamiento común de la red de BV se utilizó la herramienta Simulink, en donde se realizó la modelación de un Flickermeter para evaluar el índice P_{st} , comparando dicho valor con la curva de emisión límite de flicker estandarizada (IEC 61000-4-15), obteniendo un rango de error menor del $\pm 5\%$ recomendado por el protocolo IEC.

Para mitigar la presencia de flicker en los transformadores de distribución se evaluó las condiciones de cada transformador, observando principalmente el estado físico del mismo y los usuarios que están conectados. En base a dicha inspección se optó por implementar un mantenimiento conductivo para mejorar las condiciones de operación de los transformadores, obteniendo resultados favorables, para la Fase 1 mejoró en un 10,26% y para la Fase 2 mejoró un 10,47%, llegando así al cumplimiento de la Regulación del ARCONEL.

Para la obtención de las curvas de límites de sensibilidad en donde se representa el porcentaje de variación y la frecuencia de la misma, se utilizó tanto los datos de la norma IEC conjuntamente con los datos de la gráfica obtenida por el software CYMDIST, en donde para poder coordinar ambas graficas fue necesario cambiar tanto el número de muestras como el límite de los índices P_{st} y P_{lt} del programa.

RECOMENDACIONES

Para la calibración del Flickermeter fue necesario utilizar algunos datos técnicos del analizador de energía con el que se está efectuando el análisis, para así de esta manera obtener unos valores aceptables de P_{st} y se pueda cumplir con el rango de tolerancia del 5% que expone en la normativa, por lo tanto, se recomienda utilizar dispositivos que realicen un mayor número de muestreo ya que de esta forma se garantiza obtener valores con mayor precisión.

Realizar inspecciones a los transformadores de distribución longevos o que tengan bastantes años de servicio y determinar su estado de funcionamiento, ya que puede existir deterioro en sus conexiones dadas por las condiciones climáticas en las que se encuentre.

Dentro del análisis de los datos obtenidos por el analizador de energía se encontró que en algunos transformadores de distribución no contaban con los 1008 datos que pide la Regulación del ARCONEL, para lo que se recomienda desconectar el dispositivo acorde el cronograma establecido.

Se recomienda a las empresas distribuidoras realicen un análisis de Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker), debido a que sus sistemas están expuestos a cambios inevitables como por ejemplo el constante crecimiento de la demanda y los factores climáticos que afectan a la red con el transcurso del tiempo, estudios similares a este proyecto ayudan a obtener la información necesaria para poder realizar una planificación óptima ante la presencia de parpadeo en el sistema eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

- a-eberle. (2016). A. *EBERLE - NOSOTROS LO REGULAMOS*. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de https://www.a-eberle.de/sites/default/files/media/db_PQ-Box%20150_es.pdf
- ARCONEL. (2019). *Regulaciones*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2019, de Regulación 005/18 - Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec>
- Balcells, J., Autonell, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., Garcia, B., . . . Serra, J. (2016). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. México D.F.: AlfaOmega.
- Beltrán Navarrete, F. (2005). *Análisis de las Variaciones Rápidas de Voltaje como Calidad de la Energía Eléctrica*. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, México. Recuperado el 17 de Marzo de 2020, de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/15774>
- Castañeda Ordóñez, O. S. (2009). *Análisis de calidad de energía acerca de la calidad del producto de la zona urbana de Milagro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Milagro usando la Regulación del Conelec No. - 004/01*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45277>
- CENTElsa. (2020). *Cables de energía y de telecomunicaciones*. Recuperado el 15 de Mayo de 2020, de Productos: <http://www.centelsa.com>
- Cidrás, J., & Carrillo, C. (2002). *El fenómeno del parpadeo*. Recuperado el 17 de Febrero de 2020, de Universidad de Vigo:

http://grupo_ene.webs.uvigo.es/wordpress/publicaciones/Apuntes_Flicker_prot.pdf

Circuitur. (s.f.). *Cómo dimensionar un filtro activo*. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de <http://circuitur.com/es/formacion/armonicos-electricos/como-dimensionar-un-filtro-activo>

EATON. (2018). *CYME - Programas de análisis de redes eléctricas*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de Evaluación de las perturbaciones en la red D-A-CH-CZ: <http://www.cyme.com/es/software/cymenetwdisturb/>

EATON. (2018). *CYME - Programas de análisis de redes eléctricas*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <http://www.cyme.com/es/software/>

ElectroIndustria. (Enero de 2012). *Calidad del Suministro de la Energía Eléctrica*. Recuperado el 7 de Abril de 2020, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1765>

Fernández Faletto, F. J., & Toledo Arévalo, R. A. (2010). *ESTADO DEL ARTE EN METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS DE FLICKER Y SU RELACIÓN CON LOS INTERARMÓNICOS*. Seminario de titulación, Universidad de Bío-Bío, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Concepción. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2375/3/Fernandez_Faletto_Francisco_Jose.pdf

Ferreya, D. M., Gudiño, A. D., & Sada, M. A. (2013). *Calidad de energía: Medición de parpadeo (flicker) en una instalación urbana*. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina: edUTecNe. Recuperado el 28 de Mayo de 2020, de http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/calidad_energia_flicker.pdf

Fundação de Apoio Universitário. (2014). *Definição dos procedimentos de medição.*

Relatório Técnico 3/8, Universidad Federal de Uberlandia, Brasil. Recuperado el

14 de Abril de 2020, de

<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10031147.pdf>

Garrido Almeida, R. O. (1998). *El efecto flicker y su incidencia en la calidad de le*

energía eléctrica. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado el 11

de Febrero de 2020, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9039>

Guerra Chávez, J. D. (2019). *Evaluación de la calidad de energía eléctrica del*

laboratorio de automatización de la facultad de Informática y Electrónica -

ESPOCH. Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33747>

Hernández Curiel, H. (2014). *Análisis de las perturbaciones provocadas por el Horno de*

Arco Eléctrico y sus métodos para atenuarlas. Trabajo de graduación,

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0859_EA.pdf

IEC, 61000-4-15. (2004). CEM - Part 4: Testing and measurement techniques - Section

15. *Flickermeter – Functional and design specifications.* International Standard.

Lamich , M. (2006). <http://www.crit.upc.edu>. Recuperado el 30 de Abril de 2020, de

http://www.crit.upc.edu/JCEE2006/pdf_ponencias/PDFs/JCEE06_09_11_T1.pdf

MathWorks. (R2019b). *Descripción del producto MATLAB.* Recuperado el 29 de Marzo

de 2020, de [https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-](https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html)

[description.html](https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html)

MathWorks. (R2020a). *Simulink.* Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de

<https://la.mathworks.com/help/simulink/index.html>

- Mercado Polo, V., Bernardo Peña, J., & Pacheco, L. (2015). *Influencia de los sistemas de puesta a tierra en la calidad de la energía eléctrica*. Revista científica, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Moreno Olmos, J. G. (2007). *Desarrollo de una metodología para la solución de problemas de calidad de la energía en redes de distribución*. Tesis, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de <https://www.sepielectrica.esimez.ipn.mx/Tesis/2007/Desarrollo%20De%20Una%20Metodologia%20Para%20La%20Solucion%20De%20Algunos%20Problemas%20De%20Calidad%20De%20La%20Onda%20De%20Voltaje%20En%20Redes%20De%20Distribucion.pdf>
- Obando Acevedo, A. M. (2008). *Implementación de un Flickermeter en PSCAD para detectar las posibles causas de perturbación*. Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Recuperado el 01 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1741>
- Oviedo Castillo, S. J., & Rueda Acosta, L. M. (2009). *Diseño del prototipo del módulo para la modulación del fenómeno Flicker para una Unidad Constructiva de Medición de Parámetros de Calidad de Potencia Eléctrica, con base en el estándar CEI 61000-4-15*. Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Ingenierías Físico-Mecánicas, Bucaramanga.
- Pila Pila, H. R., & Zambrano Reasco, M. I. (2010). *Estudio del Flicker en una instalación eléctrica*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2142/14/UPS-GT000154.pdf>

- Poma, M. (2020). *Falso contacto eléctrico*. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/Melchora-Poma-M..pdf>
- Segarra Cusanguá, F. A. (2001). *ESTUDIO DEL PARPADEO (FLICKER) EN CIRCUITOS PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN*. Proyecto de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado el 24 de Abril de 2020, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12019>
- Telléz Ramirez, E. (2007). *Programa de ahorro de energía: Calidad de la energía*. Reporte técnico, México.
- Tenorio Zurita, N. G. (2002). *Estudio del efecto Flicker como Calidad de Producto por medio de una metodología funcional en el Alimentador # 03 de la S/E El Calvario*. Proyecto de Grado, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5094>
- Terán Espinoza, D. J. (2012). *Propuesta de mejora en base al análisis de la calidad de energía de los alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. usando la Regulación del CONELEC No. 004/01*. Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5925>
- Villafuerte Noboa, R. S. (2008). *Modelación, simulación y determinación de índices de distorsión armónica y efecto flicker, en el sistema nacional de transmisión, causados por la conexión de hornos de arco, aplicado al caso NOVACERO S.A.* Proyecto de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/699>

Wierda, R. (2001). *Flicker o parpadeo de las fuentes*. Cuaderno Técnico nº 176, Schneider Electric, España. Recuperado el 07 de Abril de 2020, de <http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/General/ct176-01.pdf>

Zambrano Ibujés , V. M. (2014). *Auditoría energética de la Hacienda San Francisco para uso de un generador a biogás como sustituto parcial de energía*. Proyecto de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9161>

ANEXOS