



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

*"Análisis de los Índices de Calidad del
Producto en el Área de Distribución de
Energía de la EERSSA."*

Tesis de grado previa a la obtención del
Título de Ingeniero en Electromecánica

AUTORES:

Max Javier Carrión Torres

Jairo Marcelo Ramón Espinosa

Galo Bolter Vivanco Bermeo

DIRECTOR:

Ing. Raúl Barreto Calle

ASESOR:

Msc. Jorge Muñoz

LOJA – ECUADOR

2008

CERTIFICA:

Que los señores: Max Javier Carrión Torres, Jairo Marcelo Ramón Espinosa, Galo Bolter Vivanco Bermeo, egresados de la carrera de Ingeniería Electromecánica, previo a la obtención de su título, desarrollaron el trabajo de investigación cuyo tema es *“Análisis de los Índices de Calidad del Producto en el Área de Distribución de Energía de la EERSSA.”*, mismo que ha sido revisado en forma apropiada, cumpliendo con las normas generales para la graduación en la Universidad Nacional de Loja, para lo cual autorizo su presentación.

Loja, 20 de febrero del 2008.

.....

Ing. Raúl Barreto.
DIRECTOR DE TESIS.

DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Nosotros: Max Javier Carrión Torres, Jairo Marcelo Ramón Espinosa y Galo Bolter Vivanco Bermeo, certificamos la propiedad intelectual de la presente tesis a favor de la Universidad Nacional de Loja, la cual podrá hacer uso del mismo para los fines que crea conveniente.

.....
Max Javier Carrión Torres
1104028459

.....
Jairo Marcelo Ramón Espinosa
1103864201

.....
Galo Bolter Vivanco Bermeo
1104076664

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestro Dios que guía nuestro camino, a nuestros padres que supieron confiar en nosotros y a quienes les debemos todo lo que somos, a nuestros familiares y amigos que nos supieron brindar su apoyo en todo momento.

Max Javier Carrión Torres
Jairo Marcelo Ramón Espinosa
Galo Bolter Vivanco Bermeo

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos aquellos que confiaron en nosotros de una u otra forma y contribuyeron al alcance de este objetivo.

Un agradecimiento especial a nuestros padres quienes nos supieron apoyar moral y económicamente; a los docentes de la Universidad Nacional de Loja, quienes nos impartieron sus conocimientos y nos formaron académicamente; a nuestro director de tesis Ing. Raúl Barreto; a nuestro asesor Msc. Jorge Muñoz; y a los ingenieros: Ing. Jorge Paute, Ing. Cornelio Castro, Ing. Eduardo Samaniego, y a todo el personal que labora en la EERSSA que nos brindó su ayuda, y al Ing. César Ortiz quien nos ayudó en la parte de programación.

PENSAMIENTOS

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

Lo que importa verdaderamente en la vida no son los objetivos que marcamos, sino los caminos que seguimos para lograrlo.

Peter Bamm

Tan sólo el hombre, entre todas las criaturas de la tierra, puede modificar su modo de ser. Únicamente él es el arquitecto de su destino.

Wilfred A. Peterson

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el tema de la calidad del producto en el área de concesión de la EERSSA. En su primera parte correspondiente al marco teórico, se aclaran y definen términos relacionados con los fenómenos que afectan la calidad del producto en un sistema eléctrico, posteriormente se analiza la reglamentación emitida por el CONELEC en cuanto a esta temática y se enumeran algunas normas internacionales de calidad de energía como lo son la EN 50160, IEC 61000 que brindan límites y algunos métodos de medición.

Luego se realizaron mediciones reales utilizando los analizadores TOPAS 1000 y MEMOBOX 300P los cuales presentan un alto grado de confiabilidad para realizar estos estudios y se efectuó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos para cada uno de los parámetros correspondientes a la calidad del producto con la ayuda de un software de procesamiento “CALIDAD DE ENERGÍA” que se diseñó.

Los resultados obtenidos reflejan que se está cumpliendo con los índices de calidad del producto, exceptuando lo referente al factor de potencia. En los Anexos (A,B,C,D,E,F) se presentan reportes y tablas de los resultados extraídos con la ayuda del software antes mencionado.

SUMMARY

This research focuses on the issue of the product quality in the area of the EERSSA granting. In its first part corresponding of theoretical framework, clarifies and defines related phenomenon that affect the quality of the product in an electrical system, later we will analyze the regulations issued by the CONELEC regarding this thematic and lists some international energy quality such as EN 50160, IEC 61000 than provide some limits and measurement methods.

Then in the measurements than were performed we use real analyzers like TOPAS 1000 and MEMOBOX 300 P which have a high degree of confidence to perform this studies, and we carried out the processing and the analysis of the data obtained for each of the parameters corresponding to the product quality with the help of a software processing “QUALITY OF ENERGY” that was designed.

The results show obtain that is complying with the quality indices of the product, except as regards the power factor. In the annexes (A,B,C,D,E,F) we present reports and tables of the results obtained with the help of the software mentioned above.

INTRODUCCIÓN

El aumento en las aplicaciones de los equipos electrónicos sensibles durante las últimas décadas ha generado un creciente interés en el tema de la calidad de la energía. Sin embargo dicho tema es relativamente nuevo, por lo que aún hoy en día los métodos de medición y reglamentación existentes para los fenómenos electromagnéticos que afectan la calidad de la energía de un sistema eléctrico no están del todo claros.

Es a raíz de ésta situación que se realizó la presente tesis, con el objetivo de analizar y aplicar la reglamentación actual emitida por el Consejo Nacional de Electricidad, y analizar los resultados que se registraron en los equipos que instalamos en los diferentes puntos del Sistema de Distribución Eléctrico de la EERSSA.

METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS

➤ METODOLOGÍA PARTICIPATIVA

Los datos para la realización de la tesis se los obtuvo en el Área de Concesión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A., mediante un trabajo de campo en las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y parte de Morona Santiago, así como también se obtuvo información relacionada con nuestro tema de investigación en las diferentes Bibliotecas, Sitios Web, en departamentos y personal de la EERSSA.

Se entrevistó, al gerente del Departamento de Planificación de la EERSSA, Ing. Msc. Jorge Muñoz, a los Ing. Raúl Barreto e Ing. Jorge Paute, con el fin de fundamentar nuestra tesis en los posibles problemas y dificultades que se suscitan en cuanto a la Calidad del Producto en el Área de Concesión de la EERSSA, anotando todos los aspectos relacionados con nuestro tema y que considerábamos de mayor relevancia.

➤ MÉTODOS

Para la presente tesis nos apoyamos en el Método Inductivo, ya que éste nos permitió el estudio del hecho particular para llegar al descubrimiento del principio general.

Para el uso adecuado de este Método se inició con una fase de Observación, ya que nos concentramos en ver, oír todos los hechos coherentes con el propósito único de obtener información objetiva acerca del comportamiento de nuestro hecho de estudio. Cabe recalcar que la observación no fue de carácter ordinario sino más bien de carácter científico; puesto que la primera observación solo se limitó a observaciones elementales y necesarias; mientras que la observación científica fue más penetrante y concisa puesto que se basa en conocimientos teóricos comprobados y es una observación que nos permitió comprobar o refutar nuestra hipótesis.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

➤ TÉCNICAS

Nos apoyamos en la utilización de la técnica de la entrevista, ésta fue de carácter Explorativo y Discursivo, la misma nos permitió conseguir el objetivo de recopilar la información primaria de testimonios orales, para lo cual previamente enfocamos nuestras preguntas a través de un cuestionario.

De igual manera utilizamos la técnica de la Observación, ésta fue de orden Científico, ya que era permanente, constante y metódica, la que nos permitió alcanzar con una mayor exactitud los resultados de nuestra tesis a través de la utilización de instrumentos y equipos de precisión y medida.

Además de lo anterior se consideró: la exactitud y objetividad de la información, tiempo, costos, cantidad y tipo de información que deseábamos, así como su flexibilidad.

Para el procesamiento y análisis de todas las mediciones que realizamos se diseñó un software de procesamiento, en la plataforma de diseño de Microsoft Visual Basic 6.0, el cual nos permite la obtención de los índices mínimos, máximos, promedios y muestras fuera del límite para parámetros como: niveles de tensión, corriente, factor de potencia (inductivo y capacitivo), energía, flicker ($P_{st} - P_{lt}$), armónico THD y armónicos individuales comprendidos entre N° 02 hasta el N° 40. Obteniendo así un reporte general de todos los parámetros requeridos, brindándonos la facilidad de crear una base de datos de las mediciones que se realicen para poder ser visualizadas en el momento que se crea pertinente.

INDICE

CARÁTULA	I
CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA	III
PENSAMIENTO	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
METODOLOGÍA	X
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	XI

CAPÍTULO 1: CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1.	I
INTRODUCCIÓN	2
1.2.	D
DEFINICIÓN	3
1.3.	T
TERMINOLOGÍA	4
1.4.	N
FORMAS Y ORGANISMOS ENCARGADOS DE LA REGULACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	6
1.4.1.	C
Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	6
1.4.2.	C
Comité Europeo de Estandarización (CEN)	7
1.4.3.	I
Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)	10

1.4.4.....	C
onsejo Nacional de Electricidad (CONELEC)	11
1.5.	C
ALIDAD DEL PRODUCTO	18
1.5.1.....	N
iveles de tensión.....	18
1.5.1.1.....	S
ensibilidad de los equipos	18
1.5.1.2.....	D
esequilibrio de tensión.....	20
1.5.1.2.1.....	C
ausas del desequilibrio de tensión.....	21
1.5.1.2.2.....	C
onsecuencias del desequilibrio de tensión	22
1.5.1.3.....	V
ariaciones de tensión	24
1.5.1.3.1.....	V
ariaciones de tensión de corta duración	24
1.5.1.3.2.....	V
ariaciones de tensión de larga duración	25
1.5.1.4.....	C
aídas de tensión	26
1.5.1.4.1.....	C
ausas y Consecuencias de las caídas de tensión.....	27
1.5.1.4.1.1.	C
Caídas de tensión provocadas por grandes cargas.....	27
1.5.1.4.1.2.....	C
aídas de tensión producidas por la red.....	27
1.5.1.4.2.....	S
oluciones para las caídas de tensión.....	28
1.5.1.4.2.1.	S
Medidas necesarias para reducir las interrupciones de servicio	28
1.5.1.4.2.2.	S
Métodos de mitigación para las interrupciones	

	de servicio	29
1.5.1.4.2.3.	Estabilizadores utilizados para la recuperación de las caídas de tensión	32
1.5.1.5.	.....	S
	sobretensiones	38
1.5.1.5.1.	.....	C
	causas y efectos de las sobretensiones	38
1.5.1.5.1.1.	.....	S
	sobretensiones internas	38
1.5.1.5.1.2.	.....	S
	sobretensiones de origen externo	40
1.5.1.5.1.3.	.....	F
	fuentes de las sobretensiones transitorias	43
1.5.1.5.1.4.	Transitorios causados por conexión de capacitores de la empresa distribuidora	49
1.5.1.5.2.	.....	S
	soluciones a las sobretensiones	50
1.5.1.5.2.1.	Principios y dispositivos de protección contra sobretensiones	50
1.5.1.5.2.2.	Protección del sistema del distribución contra descargas atmosféricas	51
1.5.2.	.....	P
	perturbaciones de tensión	54
1.5.2.1.	.....	E
	efecto Flicker (Parpadeo)	54
1.5.2.1.1.	.....	E
	explicación matemática del origen del flicker	56
1.5.2.1.2.	.....	L
	los parámetros P_{st} y P_{lt}	57
1.5.2.1.2.1.	.....	S
	severidad del flicker de corta duración P_{st}	58
1.5.2.1.2.2.	.....	S
	severidad del flicker de larga duración P_{lt}	61

1.5.2.1.3.....	L
límites establecidos para la severidad del flicker.....	62
1.5.2.1.4.....	C
argas perturbadoras causantes del flicker	62
1.5.2.1.5. Efectos del flicker en la sensibilidad de las	
fuentes luminosas.....	68
1.5.2.1.6.....	S
oluciones para la reducción del flicker	69
1.5.2.2.....	A
armónicos	77
1.5.2.2.1.....	A
armónicos de corriente y de tensión	80
1.5.2.2.2.....	A
aspectos teóricos del fenómeno de armónicos.....	81
1.5.2.2.3.....	P
principales productores de armónicos.....	87
1.5.2.2.4.....	E
efectos de la distorsión armónica en equipos	94
1.5.2.2.4.1. Problemas causados por las corrientes	
armónicas	94
1.5.2.2.4.2. Problemas producidos por armónicos de	
tensión	99
1.5.2.2.5.....	C
ontrol de armónicos.....	104
1.5.2.3.....	I
interarmónicos	111
1.5.2.3.1.....	F
uentes causantes de interarmónicos	112
1.5.2.3.2.....	E
efectos de la presencia de interarmónicos	113
1.5.2.3.3. Métodos para la mitigación de los interarmónicos	
y la reducción de sus efectos.....	114

1.5.2.4.....	F
factor de potencia.....	115
1.5.2.4.1.....	C
componentes senoidales.....	115
1.5.2.4.2.....	I
importancia de un factor de potencia elevado.....	116
1.5.2.4.3.....	I
influencia del tipo de cargas.....	117
1.5.2.4.4.....	C
causas de un bajo factor de potencia.....	117
1.5.2.4.5.....	E
efectos de un bajo factor de potencia.....	118
1.5.2.4.6.....	S
soluciones para compensar el factor de potencia	119
1.5.2.4.7. Métodos y equipos utilizados para mejorar el factor de potencia.....	119

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

2.1.....	P
PUNTOS DE MEDICIÓN.....	129
2.1.1. Subestaciones.....	129
2.1.2. Transformadores	131
2.1.3. Contadores de Energía.....	134
2.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	137
2.2.1. Analizador de Redes TOPAS 1000	139
2.2.2. Analizador de Energía MEMOBOX 300 P	140
2.3. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	141
2.4. ANÁLISIS Y SOLUCIONES DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	145
2.4.1. Análisis de la Calidad del Producto en las barras de salida	

de las Subestaciones de Distribución con la ayuda del analizador de redes TOPAS 1000.....	145
2.4.1.1 Subestación el Panguí N° 24	145
2.4.2. Análisis de la Calidad del Producto en los Transformadores de Distribución con la ayuda del analizador de redes TOPAS 1000	155
2.4.2.1 Transformador Monofásico N° 9892	155
2.4.3. Análisis de la Calidad del Producto en los Consumidores Finales con la ayuda del analizador de energía MEMOBOX 300 P	163
2.4.3.1 Contador de Energía N° 117414	163
VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-AMBIENTAL	168
CONCLUSIONES.....	169
RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	171
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparación de los requisitos de tensión de suministro según la EN-50160 y la serie EN 61000 de EMC.....</i>	9
<i>Tabla 2. Definiciones de las variaciones de corta duración y de larga duración en la IEEE Std.1159-1995.....</i>	11
<i>Tabla 3. Límites establecidos para niveles de tensión según regulación CONELEC-004/01</i>	14
<i>Tabla 4. Límites para armónicos de tensión según regulación CONELEC-004/01</i>	17
<i>Tabla 5. Comparación de las distintas técnicas de estabilización</i>	37
<i>Tabla 6. Principales características y comportamiento frente a las variaciones de tensión frente a distintas fuentes luminosas</i>	69
<i>Tabla 7. Soluciones y rentabilidad en función de la carga que origina el flicker.....</i>	76
<i>Tabla 8. Secuencia armónica.....</i>	87
<i>Tabla 9. Armónicas producidas por motores de rotor bobinado</i>	89
<i>Tabla 10. Consecuencias de una exposición de armónicas por largo tiempo.....</i>	102
<i>Tabla 11. Consecuencias a una exposición de armónicas en algunos materiales</i>	103
<i>Tabla 12. Comparación del desempeño de filtros</i>	109
<i>Tabla 13. Compensación de kVAr en función de la capacidad del transformador.....</i>	121
<i>Tabla 14. Resumen de los parámetros medidos simultáneamente</i>	138
<i>Tabla 15. Puntos de medición.....</i>	141
<i>Tabla 16. Características de las mediciones en barras de salida de las subestaciones de distribución AV/MV.....</i>	142
<i>Tabla 17. Características de las mediciones en Transformadores de Distribución</i>	143
<i>Tabla 18. Características de las mediciones en Consumidores Finales</i>	144

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Curva CBEMA de tolerancia a variaciones de tensión.....</i>	19
<i>Figura 2. Curva ITIC.....</i>	19
<i>Figura 3. Localización de los puntos de incidencia de la carga.....</i>	41
<i>Figura 4. Corriente de carga asociada con los eventos de control-capacitor.....</i>	44
<i>Figura 5. Aumento del voltaje en el banco de capacitores conectado ($f1 \equiv f2$)</i>	45
<i>Figura 6. Sobrecorriente provocada por cortocircuito en la fase b y c.....</i>	46
<i>Figura 7. Sobrecorriente provocada por operación incorrecta del fusible de MT.....</i>	47
<i>Figura 8. Circuito ferresonante</i>	48
<i>Figura 9. Esquema de un filtro pasabajos</i>	51
<i>Figura 10. Ubicación estratégica del hilo de guardia</i>	52
<i>Figura 11. Colocación de descargadores</i>	52
<i>Figura 12. Conexión de descargadores tipo centinela.....</i>	54
<i>Figura 13. Límite de sensibilidad del ojo humano a las variaciones de iluminación causadas por fluctuaciones de tensión, en lámparas incandescentes.....</i>	55
<i>Figura 14. Parámetros que definen el flicker.....</i>	56
<i>Figura 15. Esquema vectorial del flicker</i>	57
<i>Figura 16. Curva límite de la molestia del flicker</i>	59
<i>Figura 17. Curva límite de la molestia del flicker $P_{st} = 1$.....</i>	60
<i>Figura 18. Circuito equivalente de un motor de inducción</i>	63
<i>Figura 19. Introducción de una capacidad-serie en la red.....</i>	72
<i>Figura 20. Introducción de una reactancia en serie aguas abajo del PAC.....</i>	72
<i>Figura 21. Conexión de una reactancia cerca de la carga perturbadora</i>	73
<i>Figura 22. Introducción de una impedancia en la alimentación de la carga perturbadora y el circuito de alimentación aguas abajo de su punto de conexión</i>	74
<i>Figura 23. Instalación de un compensador síncrono cerca a la carga perturbadora ...</i>	74
<i>Figura 24. Esquema de instalación de un compensador estático</i>	75

Figura 25. <i>La onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz)</i>	78
Figura 26. <i>La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y menores armónicos de tercero y quinto orden</i>	78
Figura 27. <i>Forma de onda de corriente consumida por un microordenador</i>	80
Figura 28. <i>Descomposición espectral</i>	81
Figura 29. <i>Descomposición en series de Fourier</i>	83
Figura 30. <i>Histéresis de una onda de corriente</i>	88
Figura 31. <i>Efecto del nivel de tensión sobre las amplitudes de las armónicas.....</i>	88
Figura 32. <i>Fuente de poder conmutada</i>	91
Figura 33. <i>Puente trifásico de seis pulsos.....</i>	93
Figura 34. <i>Espectro armónico de un puente de seis pulsos</i>	93
Figura 35. <i>Circuito equivalente de una carga no lineal con un condensador para la corrección del factor de potencia</i>	96
Figura 36. <i>Curvas de corriente de distribución armónica</i>	98
Figura 37. <i>Distorsión de la onda de tensión causada por una carga no lineal.....</i>	99
Figura 38. <i>Separación de las cargas lineales de las no lineales</i>	100
Figura 39. <i>Soluciones para redes perturbadas</i>	104
Figura 40. <i>Esquema del principio del compensador paralelo</i>	110
Figura 41. <i>Esquema de distribución baja tensión mostrando diferentes puntos de inserción de un compensador activo en función de la reducción de armónicos deseada</i>	111
Figura 42. <i>Triángulo de potencias</i>	115
Figura 43. <i>Representación esquemática del transformador</i>	132
Figura 44. <i>Principio de construcción de un Watthorímetro.</i>	135
Figura 45. <i>Equipos analizadores de Calidad de Energía</i>	138
Figura 46. <i>Ubicación de los puntos de medición</i>	145
Figura 47(a,b,c). <i>Medida en secuencia temporal de V_{rms} (S/E)</i>	147
Figura 48(a,b,c). <i>Medida en secuencia temporal P_{st} (S/E)</i>	149
Figura 49(a,b,c). <i>Medida en secuencia temporal THD (S/E)</i>	151
Figura 50(a,b,c). <i>Medida en secuencia temporal del FP (S/E)</i>	152
Figura 51(a,b). <i>Medida en secuencia temporal de V_{rms} (Transformadores).....</i>	156

<i>Figura 52(a,b). Medida en secuencia temporal P_{st} (Transformadores).....</i>	158
<i>Figura 53(a,b). Medida en secuencia temporal THD (Transformadores).....</i>	159
<i>Figura 54(a,b). Medida en secuencia temporal del armónico 15 (Transformadores).....</i>	160
<i>Figura 55(a,b). Medida en secuencia temporal del FP (Transformadores).....</i>	161
<i>Figura 56. Medida en secuencia temporal V_{rms} (Medidor).....</i>	164
<i>Figura 57. Medida en secuencia temporal P_{st} (Medidor).....</i>	165
<i>Figura 58. Medida en secuencia temporal THD (Medidor).....</i>	165

INDICE DE FOTOGRAFIAS

<i>Fotografía 1. Subestación Catacocha (1 MVA – 69/13,8 kV).....</i>	129
<i>Fotografía 2. Banco de transformadores 3x25 kVA (Gualaquiza).....</i>	131
<i>Fotografía 3. Contador monofásico</i>	136
<i>Fotografía 4. Contador bifásico</i>	137
<i>Fotografía 5. Gabinete de la S/E El Panguí</i>	146
<i>Fotografía 6. Conexión del equipo en las bajantes del transformador</i>	155
<i>Fotografía 7. Conexión del equipo a la salida del contador de energía.....</i>	163

CAPÍTULO I

CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1. CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades eléctricas de ciertos materiales ya eran conocidas por civilizaciones antiguas. En el año 600 AC, Tales de Mileto había comprobado que si se frotaba el ámbar, éste atraía a objetos más livianos. Se creía que la electricidad residía en el objeto frotado. De ahí que el término "electricidad" provenga del vocablo griego "elektron", que significa ámbar.

En la época del renacimiento comenzaron los primeros estudios metodológicos, en los cuales la electricidad estuvo íntimamente relacionada con el magnetismo. Pero es en el siglo XVIII cuando la energía eléctrica desarrolla un avance muy importante gracias a las contribuciones científicas de personajes muy importantes en el estudio de esta materia como son: William Gilbert, Benjamín Franklin, Alessandro Volta, Georg Simon Ohm, Hans Oersted, Michael Faraday, James Maxwell, y es con ello que este tipo de energía se va consolidando y dándose a conocer; de tal modo que en 1878 Thomas Alva Edison comenzó los experimentos que terminarían, un año más tarde, con la invención de la lámpara eléctrica, que universalizaría el uso de la electricidad.

En los años XX ya surgieron los primeros procesos continuos de producción y con ello la necesidad de contar con un servicio de energía confiable, de tal forma que no se paralicen los procesos continuos; es así que la Calidad de la Energía Eléctrica ya tuvo sus primeras apariciones, estaba directamente relacionada con la cantidad de interrupciones que se producían en el sistema de producción.

A mediados de los años 70 se produce la gran revolución electrónica comenzando a introducir dispositivos electrónicos digitales, los cuales hasta hoy en día son de vital importancia para los procesos continuos y demás usos que se le puedan dar a estos; pero es a raíz de esta masificación que se comienzan a observar las deficiencias de la energía eléctrica, debido a la sensibilidad de estos dispositivos a las variaciones de amplitud,

formas de onda y frecuencia de la tensión de suministro; para dar paso a la importancia de la Calidad de Energía Eléctrica.

El concepto "Calidad de Energía Eléctrica" es un tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, está relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar a las condiciones eléctricas de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Por tal razón, se requiere un tratamiento integral del problema desde diversos frentes. Estos comprenden, entre otros, investigación básica y aplicada, diseño, selección, operación y mantenimiento de equipos, normalización, regulación, programas de medición y evaluación, capacitación de personal, etc.

En la actualidad la Calidad de Energía Eléctrica es uno de los aspectos más relevantes dentro de este campo, es así que organismos internacionales de normalización, como: IEEE, ANSI, IEC, ISO, CENELEC, entre otros, han realizado muchos estudios con el objetivo de establecer estándares confiables a fin de poseer parámetros claros sobre los cuales se pueda realizar un análisis y así tener certeza sobre la Calidad de Energía que las Empresas Distribuidoras están suministrando.

Es por tanto de vital importancia realizar un diagnóstico sobre la Calidad del Producto en el Sistema Eléctrico de Distribución de la EERSSA, para poder determinar cuáles son los parámetros que están afectando la Calidad de la Energía, de tal manera que podamos establecer los efectos y posibles soluciones, con la finalidad de lograr los estándares de calidad exigidos por el CONELEC.

1.2. DEFINICIÓN

La definición de la calidad de la energía es muy amplia. Pero se puede definir como la ausencia de interrupciones de servicio, variaciones de voltaje y perturbaciones de voltaje.

“La Calidad de Energía Eléctrica (CEL), es un conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente para un tiempo dado y un espacio determinado, con el objetivo de satisfacer las necesidades de un cliente.”⁽¹⁾

1.3. TERMINOLOGÍA

A partir de un extracto de la nomenclatura utilizada en las publicaciones técnicas, se dispone de la siguiente terminología:

- **Armónicas.-** Son ondas sinusoidales de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.
- **Calidad de voltaje.-** Está relacionada con las desviaciones del voltaje respecto al ideal.
- **Calidad de corriente.-** Es complementaria a la definición anterior, y está relacionada con las desviaciones de la corriente respecto al ideal, existiendo el requisito adicional de que dichas sinusoidales deberían estar en fase con las de las tensiones de la red.
- **Carga lineal.-** Dispositivo de carga eléctrica, el cual en operación en estado estable presenta una impedancia de carga esencialmente constante a la fuente de potencia a través del periodo en que se aplique la tensión.
- **Compatibilidad electromagnética.-** La capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir perturbaciones intolerables a cualquier equipo en este ambiente.
- **Desequilibrio de voltaje:** Es una condición en la que los valores eficaces de las tensiones de fase (o de los ángulos de fase), entre fases consecutivas de un sistema trifásico no son iguales.
- **Depresión de voltaje (sags).-** Es un decremento momentáneo (varios ciclos de duración) en el nivel de voltaje.
- **Dilatación de voltaje (swell).-** Es un incremento del voltaje de varios ciclos de duración.
- **Distorsión armónica.-** Es la distorsión (periódica) de la forma de onda senoidal del voltaje o corriente. Este es un fenómeno en estado estable.
- **Factor de potencia.-** Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.
- **Fluctuaciones de Voltaje.-** Son perturbaciones en las cuales el valor eficaz del voltaje de suministro cambia con respecto al valor nominal.

- **Hueco del voltaje de alimentación.-** Disminución brusca del voltaje de alimentación hasta un valor situado entre el 90% y el 1% del voltaje declarado, seguida del restablecimiento del voltaje después de un periodo de tiempo corto. Convencionalmente la duración de un hueco de voltaje está comprendida entre 10ms y 1min.
- **Interarmónico.-** Es una componente de frecuencia de una cantidad periódica, que no es múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema.
- **Interrupciones de suministro.-** Es una condición en que el voltaje en los terminales de entrada es inferior al 1% del voltaje declarado V_c .
- **Parpadeo (flickers).-** Se refiere a las fluctuaciones en el nivel de voltaje. Por lo general este efecto se observa fácilmente en el cambio de intensidad bajo y alto de lámparas, ruido acelerado y desacelerado de motores.
- **Pico de voltaje.-** Es un incremento en el nivel de voltaje que dura microsegundos.
- **Sobrevoltaje.-** Es una condición de voltaje elevado (arriba del valor nominal) que a diferencia del swell de voltaje, dura mucho más tiempo.
- **Sobrevoltajes temporales a la frecuencia de la red.-** Tiene una duración relativamente larga, normalmente de unos cuantos periodos de frecuencia de la red.
- **Sobrevoltajes transitorios.-** Son sobrevoltajes oscilatorios o no oscilatorios de corta duración, generalmente amortiguados que duran como máximo unos pocos milisegundos, o menos.
- **THD.-** Factor de distorsión armónica total. Relación de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las amplitudes de los armónicos y la amplitud de la fundamental, expresada en porcentaje.
- **Valor eficaz de voltaje.-** El valor eficaz de una función periódica es la media cuadrática de la función a lo largo de un período (raíz cuadrada del promedio de cuadrados de los valores instantáneos)
- **Voltaje de alimentación.-** Es el valor eficaz del voltaje en un momento determinado, en el punto de acoplamiento común, medido durante un determinado intervalo de tiempo dado.
- **Voltaje nominal de una red (V_n).-** Es el voltaje por el cual se designa o identifica un sistema y que sirve de referencia para determinadas características de funcionamiento.

1.4. NORMAS Y ORGANISMOS ENCARGADOS DE LA REGULACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

La normalización es el proceso de elaboración, aplicación y mejora de las normas que se aplican a distintas actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas. La normalización es una herramienta dinámica que se desarrolla al tiempo con la tecnología para propender por la calidad e interoperabilidad de productos y servicios.

1.4.1. Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

Es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrotecnologías incluyendo electrónica, magnetismo y electromagnetismo, distribución y producción de energía eléctrica, electroacústica y telecomunicaciones. También asocia a cada área la terminología, símbolos, mediciones, desempeño, confiabilidad, diseño y desarrollo para su seguridad y la del medio ambiente.

Este organismo publicó el primer diccionario internacional con el propósito de unificar la terminología eléctrica, esfuerzo que se ha mantenido durante el transcurso del tiempo, siendo éste un importante referente para las empresas del sector. Entre las principales normas de este organismo relacionadas con la Calidad de la Energía tenemos las siguientes:

- IEC 61000-2-2. Compatibilidad electromagnética. Niveles de compatibilidad de tensiones armónicas en las redes públicas de baja tensión
- IEC 61000-2-4. Compatibilidad electromagnética. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia, en plantas industriales.
- IEC 61000-3-2. Compatibilidad electromagnética. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A).
- IEC 61000-3-3. Compatibilidad electromagnética. Limitación de las fluctuaciones de tensión y titilación (Flicker) en redes de baja tensión para los equipos con corriente de entrada ≤ 16 A.

- IEC 61000-4-7. Compatibilidad electromagnética: Medición de Armónicos y aparatos de medida, aplicable a las redes de alimentación y a los aparatos conectados a éstas.
- IEC 61000-4-30. Definición de los métodos de medida de los parámetros de la calidad de suministro y el modo de interpretar los resultados.

1.4.2. Comité Europeo de Estandarización (CEN)

La misión del CEN es promover la armonización de las normas técnicas voluntarias en conjunción con los organismos y entes interesados. Las normas se denominan Normas Europeas – EN – y no se editan como documento regional. Se emiten por medio de cada país miembro en forma combinada Regional-Nacional.

- **Norma EN 50160. Características de Voltaje de suministros eléctricos en sistemas de distribución pública.**

Define las características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. De esta manera establece las características de la alimentación tanto en baja como en media tensión en el punto de entrega al cliente en condiciones normales de entrega.

Los parámetros del voltaje de entrada deben estar dentro de los límites especificados durante el 95% del periodo analizado, mientras que las desviaciones permitidas en el 5% restante del periodo son mucho mayores.

La norma EN 50160 debe entenderse como la representación de un compromiso entre suministrador y usuario. Requiere que el proveedor suministre, como mínimo, una Calidad de la Energía mínimamente adecuada. Las ventajas importantes de esta norma son: Definir los parámetros de voltaje importantes para la calidad de energía y determinar cuantitativamente los valores, que son un punto de referencia para la evaluación de la calidad de energía.

Esta norma establece que para el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos requiere un voltaje de suministro tan próximo al voltaje nominal como sea posible ($\pm 10\%$), incluso desviaciones relativamente pequeñas respecto al valor nominal pueden provocar un funcionamiento no óptimo de los equipos. Por supuesto el correcto funcionamiento de los equipos depende también de muchos otros factores, como las condiciones medioambientales y su adecuada selección e instalación.

- **Métodos de medida.**

La medida y verificación de la calidad del voltaje de entrada, según EN 50160, requiere el empleo de aparatos y métodos de medida especializados. Este procedimiento permite la supervisión continua a lo largo de 7 días, de los parámetros siguientes:

- Voltaje en las tres fases
- Frecuencia
- Coeficiente de distorsión armónica total THD.
- Variaciones de voltaje rápidas y lentas, que se definen como factores de severidad de oscilación a corto plazo (P_{st}) y a largo plazo (P_{lt})

Este tipo de equipos permite también la medición de las caídas y cortes de voltaje, así como su frecuencia y duración.

Tabla 1. Comparación de los requisitos de tensión de suministro según la norma EN 50160 y la serie EN 61000 de EMC.

Nº	PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS DE LA TENSIÓN DE ENTRADA SEGÚN LA NORMA EN 50160	CARACTERÍSTICAS DE BAJA TENSIÓN SEGÚN LA SERIE EN 61000 DE EMC	
			EN 61000-2-2	OTRAS NORMAS
1	Frecuencia	Valor medio de la fundamental medida a lo largo de 10 segundos. MT: $\pm 1\%$ (49,5-50,5Hz) durante el 99,5% de la semana. BT: $-6\%/+4\%$ (47-52Hz) durante el 100% de la semana.	2%	
2	Variaciones de la tensión suministrada	BT, MT: $\pm 10\%$ durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos.		$\pm 10\%$ aplicado durante 15 minutos
3	Cambios bruscos de tensión	BT: 5% normal, 10% infrecuente. Plt ≤ 1 para el 95% de la semana. MT: 4% normal, 6% infrecuente. Plt ≤ 1 para el 95% de la semana.	3% normal 8% infrecuente Pst < 1.0 Plt < 0.8	3% normal, 4% máximo, Pst < 1.0 Plt < 0.65.
4	Huecos en la tensión suministrada	La mayoría: duraciones <1 segundo, caída <60%. Caídas locales limitadas, causadas por una gran carga al conectarse: BT: 10-50% y MT: 10-50%.	Zonas urbanas: 1 – 4 meses.	Hasta el 30% durante 10ms. Hasta 60% durante 100ms.
5	Interrupción breve de la tensión de suministro	BT, MT: (hasta 3 minutos). Pocas decenas – pocas centenas / año. Duración del 70% de las interrupciones <1 segundo.		Reducción del 95% durante 5 seg. (EN 61000-6-1, EN 61000-6-2).
6	Interrupción prolongada de la tensión de suministro	BT, MT: (mayor a 3 minutos). < 10 – 50 / año.		
7	Sobretensión temporal a la frecuencia de la red	BT: < 1.5 kV rms. MT: 1.7 Uc (directamente a tierra o a través de un impedancia), 2.0 Uc (sin toma de tierra o tierra compensada).		
8	Sobretensiones transitorias	BT: Generalmente < 6 kV, ocasionalmente mayor, tiempo de subida: ms - μ s. MT: No definido.		± 2 kV, fase a tierra ± 1 kV, fase a fase 1.2/50(8/20) Tr/Th μ s
9	Desequilibrio de tensión de suministro	BT, MT: Hasta 2% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos, hasta el 3% en algunos lugares.	2%	2% (IEC 61000-2-12).
10	Tensión armónica		6%-5°; 5%-7°; 3.5%-7°; 3%-13°. THD < 8%	5%-3°; 6%-5°; 5%-7°; 1.5%-9°; 3.5%-11°; 3%-13°; 0.3%-15°; 2%-17°.
11	Tensión interarmónica	BT, MT: En estudio.	2%	

1.4.3. Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)

Desde sus orígenes ha avanzado en la teoría y aplicación de la electrotecnología y ciencias afines, sirviendo de catalizador de las innovaciones tecnológicas y soportando las necesidades de sus miembros a través de una variedad de programas y servicios. El IEEE es una autoridad técnica en áreas desde la ingeniería de sistemas, tecnología biomédica y telecomunicaciones, hasta la ingeniería de potencia aeroespacial, entre otras.

- **IEEE 1159-1995. Fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas**

El estándar IEEE 1159-1995 define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio del voltaje, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de voltaje y variaciones de la frecuencia.

La categoría de variaciones de corta duración comprende los huecos de voltaje, las interrupciones y lo que denomina la antítesis al hueco de voltaje o “swell”. Cada tipo se clasifica en instantáneo, momentáneo o temporal dependiendo de su duración, como se indica en la tabla 2.

Las variaciones de corta duración se producen casi siempre por condiciones de fallo, por la conexión de grandes cargas que requieren grandes corrientes de arranque o por desconexiones intermitentes. Dependiendo de la localización del fallo y del estado del sistema, el fallo puede producir sobrevoltajes, bajadas de voltaje o interrupciones temporales. Tanto en el caso en el que el fallo esté cercano o lejano al punto de interés, su efecto sobre el voltaje va a ser una variación de corta duración.

Por su parte, la categoría de variaciones de larga duración comprende las desviaciones del valor rms superiores a 1 minuto en el rango especificado en la tabla 2. Las variaciones de larga duración pueden ser tanto sobrevoltajes como bajadas de voltaje. Tanto unas como otras no son generalmente producidas por fallos. Están producidas por variaciones en la carga o por operaciones de conmutación en el sistema.

Por último, una interrupción sostenida se define como una disminución hasta cero voltios del voltaje de alimentación por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones son normalmente permanentes y requieren de intervención manual para la reposición del servicio.

Tabla 2. Definiciones de las variaciones de corta duración y de larga duración en el IEEE Std. 1159-1995.

CATEGORÍA	DURACIÓN TÍPICA	MAGNITUD TÍPICA DE LA TENSIÓN
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN		
• INSTANTÁNEA		
○ HUECO	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
○ SWELL	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
• MOMENTÁNEA		
○ INTERRUPCIÓN	0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u.
○ HUECO	30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
○ SWELL	30 ciclos – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
• TEMPORAL		
○ INTERRUPCIÓN	3 s – 1 min	< 0.1 p.u.
○ HUECO	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
○ SWELL	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN		
• INTERRUPCIÓN SOSTENIDA	> 1 min	0.0 p.u.
• HUECO DE TENSIÓN	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
• SOBRETENSIÓN	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

1.4.4. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)

El CONELEC se constituye como un ente regulador y controlador, a través del cual el Estado Ecuatoriano puede delegar las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, a empresas concesionarias. Además, el CONELEC elabora el Plan de Electrificación, que será obligatorio para el sector público y referencial para el sector privado.

- **Calidad del producto de acuerdo a la regulación CONELEC-004/01**

El objetivo de la presente regulación es establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras. Estas tienen la responsabilidad de prestar el servicio eléctrico a los consumidores ubicados en su zona de concesión, dentro de los niveles de calidad establecidos, en virtud de lo que señala la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, los Reglamentos aplicables, el Contrato de Concesión y las Regulaciones correspondientes.

Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

- **Nivel de Voltaje**

- **Índice de Calidad**

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

ΔV_k - Variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k - Voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n - Voltaje nominal en el punto de medición.

▪ Mediciones

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

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:
 - a) 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
 - b) 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.
 - c) 0,01 % de los Consumidores de Bajo Voltaje del área de concesión, no menos de 10.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con el registro del voltaje se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

▪ Límites

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

Tabla 3. Límites establecidos para niveles de tensión según Regulación CONELEC-004/01.

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Definición de las Etapas de Aplicación

A fin de permitir a los Distribuidores adecuarse a las exigencias de calidad del servicio, la aplicación de la presente Regulación se ajustará a lo previsto en la Segunda Disposición Transitoria del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad. Para la Etapa Final, se definen las siguientes Subetapas:

- **Subetapa 1:** de 24 meses de duración.
- **Subetapa 2:** tendrá su inicio a la finalización de la Subetapa 1, con una duración indefinida.

Con anterioridad al inicio de la Etapa Final no se aplicarán penalizaciones por los incumplimientos a las exigencias establecidas en la presente Regulación. El detalle de los incumplimientos y las penalizaciones correspondientes se incorporarán en los respectivos contratos de concesión.

○ **Perturbaciones**

▪ **Parpadeo (Flicker)**

✓ **Índice de Calidad**

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10

minutos, definida de acuerdo a las normas IEC; misma que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Donde:

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

P_{0.1}, P₁, P₃, P₁₀, P₅₀.- Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

✓ **Mediciones**

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5. De igual manera serán tomados en consideración los puntos del 2 al 4 detallados en niveles de tensión.

✓ **Límites**

El índice de severidad del Flicker P_{st} en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $P_{st} = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

▪ **Armónicos**

✓ **Índices de Calidad**

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) * 100$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100$$

Donde:

V_i'.- Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD.- Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

V_i.- Valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para i = 2... 40) expresado en voltios.

V_n.- Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

✓ **Mediciones**

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5. De igual forma se consideran los puntos del 2 al 4 especificados en niveles de tensión.

✓ **Límites**

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

Tabla 4. Límites para armónicos de tensión según Regulación CONELEC-004/01.

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $|V_i|$ o $|\text{THD}|$ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
	Impares no múltiplos de 3	
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

1.5. CALIDAD DEL PRODUCTO

1.5.1. Niveles de tensión

Los incrementos o disminuciones sucesivas en la carga de los sistemas de distribución eléctrica pueden causar cambios graduales de tensión en intervalos entre 15 segundos a varios minutos. Cambios excesivos causan errores lógicos, daños, degradación de componentes y paros imprevistos. Los efectos son normalmente nefastos en áreas rurales, cerca de grandes cargas y en áreas donde el servicio comprende solo una línea de distribución.

La presencia de cargas puntuales como aparatos de aire acondicionado, motores, etc, puede causar cambios en voltaje durante períodos entre 0,1 a 15 segundos.

Aproximadamente de un 10 al 15 % de todas las perturbaciones son subidas y caídas de tensión mayores a 0,1 segundos de duración. En cualquier ciudad moderna, un usuario puede encontrar fluctuaciones del 20 % del voltaje nominal varias veces al día, siendo en áreas donde el suministro es menos fiable, donde las incidencias son más frecuentes.

Los niveles de voltaje están distribuidos de la siguiente manera:

- **Alto Voltaje:** Nivel de voltaje mayor 40kV.
- **Medio Voltaje:** El nivel de voltaje de 0,6kV a 40kV.
- **Bajo Voltaje:** El nivel de voltaje menor 0,6kV.

1.5.1.1. Sensibilidad de los equipos

En la actualidad, los ordenadores son esenciales en todas las empresas, como estaciones de trabajo, servidores de red o como controladores de procesos. Son vitales para todas las operaciones de proceso de datos y para muchas funciones de comunicaciones. Fue la introducción de los equipos informáticos lo que primero puso de manifiesto el problema de las caídas de tensión y, de hecho, la mayoría de los problemas de calidad de energía.

La experiencia dio como resultado la publicación de la curva de la asociación de fabricantes de Equipos Informáticos y Empresariales (CBEMA)

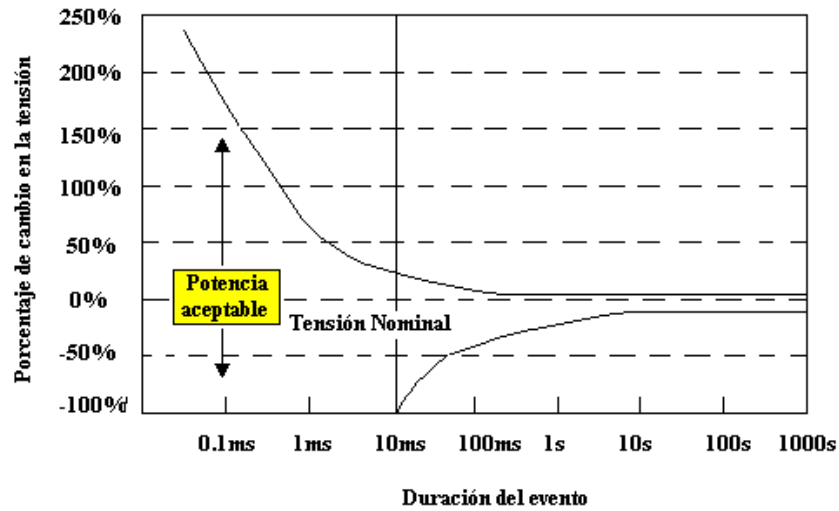
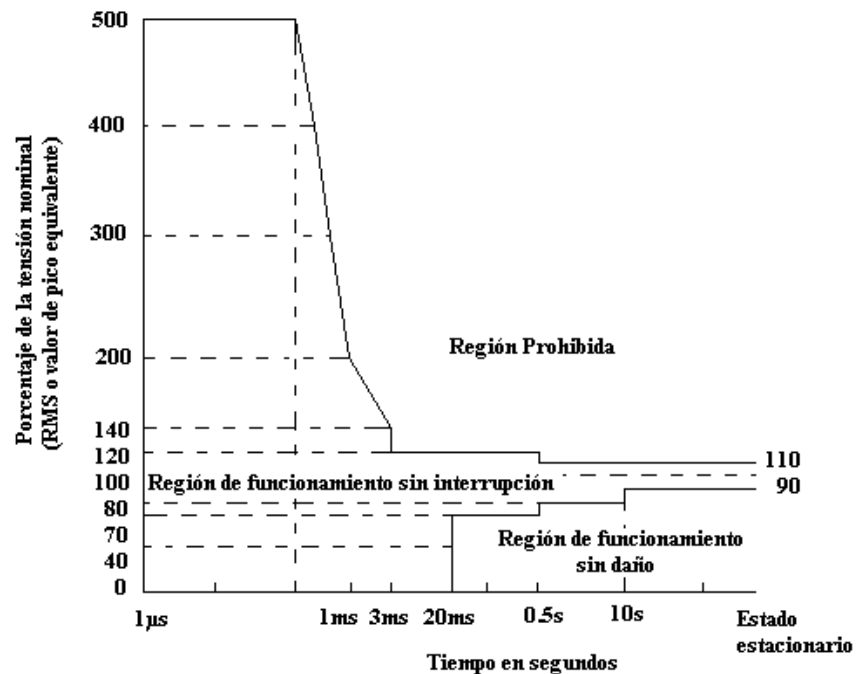


Figura 1. Curva CBEMA de tolerancia a variaciones de tensión

Desde entonces esta curva se ha modificado y actualmente se conoce como curva del Consejo Tecnológico de Industrias Informáticas (ITIC).



Fugura 2. Curva ITIC

Las curvas se basan en la representación de la duración de un incidente y su tensión en porcentaje de la tensión nominal de alimentación, y definen el margen dentro del cual el equipo podría seguir funcionando sin interrupciones ni pérdidas de datos.

La inmunidad de un equipo sensible a los huecos de tensión es muy afectada por la tensión previa a la perturbación, lo cual confirma el concepto que la tensión por sobre el 87% es empleada para almacenamiento, siendo posteriormente liberada en caso de perturbación. Este 87% de la tensión nominal es el valor mínimo dado por la curva CBEMA, para el cual el equipo podrá trabajar en forma indefinida sin presentar limitaciones de comportamiento.

1.5.1.2. Desequilibrio de Tensión

Un sistema de energía trifásico está equilibrado o es simétrico si las tensiones o corrientes trifásicas tienen la misma amplitud y presentan un desplazamiento de fase de 120° entre ellas. Si no se cumple una o ninguna de estas condiciones, el sistema se denomina desequilibrado o asimétrico.⁽²⁾

El desequilibrio de voltaje está ligado a la aparición de componentes de secuencia negativa y/o homopolar de frecuencia fundamental en las tensiones de la red.

- **Cuantificación**

Para cuantificar un desequilibrio de voltaje o corriente en un sistema trifásico se utilizan los llamados componentes simétricos. El sistema trifásico se descompone en un sistema llamado de secuencia directa o positiva, secuencia inversa o negativa y secuencia homopolar o cero. La medición de estos componentes en la práctica no es directa, especialmente para los componentes de secuencia positiva y negativa.

1.5.1.2.1. Causas del desequilibrio de tensión

El operador de un sistema intenta conseguir un sistema de tensión equilibrado en el punto de acoplamiento común (PCC) entre la red de distribución y la red interna del usuario. En condiciones normales estas tensiones vienen determinados por: Las tensiones terminales de los generadores, la impedancia del sistema eléctrico y las corrientes inducidas por las cargas en la red de transporte y distribución.

Las tensiones del sistema en un centro generador son por regla general altamente simétricas, debido a la estructura y al funcionamiento de los generadores sincrónicos utilizados en las grandes centrales de energía. Por esta razón la central de generación no contribuye generalmente al desequilibrio. Incluso con generadores de inducción (asíncronos), como los que se utilizan en algunos tipos de turbinas eólicas, se obtiene una serie trifásica equilibrada de tensiones. Sin embargo, donde la generación a pequeña escala, bien sea para distribución o para uso interno, instalada en la planta del usuario, la situación es diferente. Muchas de estas unidades relativamente pequeñas, como las instalaciones fotovoltaicas, están conectadas a la red de bajo voltaje por medio de unidades de inversores monofásicos de potencia electrónicos. El punto de unión tiene una impedancia relativamente elevada (con lo que la potencia de cortocircuito es proporcionalmente baja), lo que conduce a un desequilibrio potencialmente mayor de tensión de lo que sería el caso para enlaces con un nivel de tensión mayor.

La impedancia de los componentes de un sistema eléctrico no es exactamente la misma para cada fase. En la práctica es la asimetría de las cargas la causa principal de los desequilibrios.

En los niveles de voltajes alto y medio, normalmente las cargas son trifásicas y equilibradas, si bien a veces se conectan grandes cargas a una o dos fases. Las cargas de bajo voltaje son generalmente monofásicas como: PC's o sistemas de iluminación, y por tanto el equilibrio entre fases es difícil de garantizar.

Condiciones anormales del sistema también provocan desequilibrios en las fases. Ejemplos típicos de esto son los defectos entre fase y tierra, fase y fase o la rotura de un

conductor. Estos defectos provocan caídas de tensión en una o más de las fases implicadas, e indirectamente pueden provocar sobretensiones en las otras fases. En estos casos, el comportamiento del sistema es desequilibrado por definición, pero estos fenómenos se clasifican normalmente como perturbaciones del voltaje.

1.5.1.2.2. Consecuencias del desequilibrio de Tensión

- **Máquinas de inducción**

Se trata de máquinas asíncronas de corriente alterna con campos magnéticos rotatorios internos inducidos. En el caso de una alimentación desequilibrada, el campo magnético rotatorio total se vuelve “elíptico” en lugar de circular.

Las máquinas eléctricas se enfrentan a tres tipos de problemas a causa del desequilibrio:

- En primer lugar, la máquina no puede generar todo su par ya que el campo magnético que rota en sentido inverso del sistema de secuencia negativa provoca un par de frenado negativo, que debe sustraerse del par básico ligado al campo magnético de rotación normal.
- En segundo lugar, los cojinetes pueden sufrir daños mecánicos a causa de los componentes del par inducido a frecuencia doble de la del sistema.
- Por último el estator y especialmente el rotor se calientan excesivamente, lo que conducirá posiblemente a un envejecimiento térmico acelerado. Este calor está causado por la inducción de importantes corrientes a causa del campo magnético inverso en rápida rotación (en el sentido relativo), según se mira desde el rotor. Para poder hacer frente a este calentamiento adicional, es necesario reducir el régimen del motor, lo que puede requerir la instalación de una máquina de mayor potencia nominal.

- **Generadores sincrónicos**

Los generadores sincrónicos son también máquinas de corriente alterna, que se usan por ejemplo, en generación local. Presentan unos fenómenos similares a los descritos para las máquinas de inducción, pero principalmente sufren un excesivo calentamiento. Debería prestarse una especial atención al diseño de devanados amortiguadores de estabilización en el rotor, en los que las corrientes son inducidas por los componentes indirectos y homopolares.

- **Capacidad de transformadores, cables y líneas**

La capacidad de carga de los transformadores, cables y líneas se reduce a causa de los componentes de secuencia negativa. El límite operativo viene determinado por el verdadero valor eficaz de la corriente total que parcialmente está constituido por corrientes secuenciales indirectas “no operativas”.

Esto debe tenerse en cuenta a la hora de ajustar los puntos de actuación de los dispositivos de protección, que actúan sobre la corriente total. La capacidad máxima puede expresarse mediante un factor reductor, que deberá facilitar el fabricante y que puede usarse para seleccionar un sistema mayor, capaz de soportar la carga.

Los transformadores sometidos a voltajes de secuencia negativa los transforman de la misma forma que los voltajes de secuencia positiva. El comportamiento con relación a las tensiones homopolares depende de las conexiones del primario y secundario y, más específicamente, de la presencia de un conductor neutro. Si por ejemplo, un lado tiene una conexión trifásica de cuatro hilos, podrán circular las corrientes por el neutro. Si en el otro lado del devanado está conectado en delta, la corriente homopolar se transforma en una corriente circulante, que genera calor, en el triángulo. El flujo magnético homopolar asociado pasa a través de las piezas estructurales del transformador, provocando pérdidas parásitas en piezas tales como el depósito, lo que a veces requerirá una reducción adicional de la carga.

- **Convertidores electrónicos de potencia**

Están presentes en muchos dispositivos tales como: Accionadores de velocidad variable, fuentes de alimentación para PC's, iluminación eficiente, etc. Pueden enfrentarse a armónicos adicionales, no característicos, si bien en general la distorsión armónica total sigue siendo más o menos constante. El diseño de las bancadas de filtros pasivos que tratan estos armónicos deben tener en cuenta este fenómeno.

1.5.1.3. Variaciones de tensión

Puede definirse como problema de Calidad de Potencia a cualquier manifestación de apartamiento de tensión, que produce la falla o la operación incorrecta de equipos o elementos de uso final de la electricidad.

1.5.1.3.1. Variaciones de tensión de corta duración

Es una reducción, incremento o pérdida total del voltaje eficaz (RMS) de alimentación de un sistema eléctrico durante un breve periodo de tiempo (0.5 ciclos a 1 minuto). Son causadas por fallas en las líneas, por las elevadas corrientes de energización de grandes cargas, o por fallas en las conexiones del sistema.

- **Caídas de voltaje (Sags)**

Este fenómeno también es conocido como huecos de tensión o dips. Son descensos de la tensión entre un 90% y un 10% de su valor nominal, con una duración que abarca desde medio ciclo hasta un minuto. Las caídas de tensión son generalmente asociadas a fallas en el sistema, pero pueden ser también causadas por energización de grandes cargas o arranque de grandes motores. La duración de una caída se subdivide en tres categorías:

- Instantáneas (0.5 ciclo a 30 ciclos)
- Momentáneas (30 ciclos a 3 segundos)
- Temporales (de 3 segundos a 1 minuto)

⚡ Sobretensiones momentáneas (Swells)

Se trata de subidas de tensión entre un 110% y un 180% de su valor nominal, con una duración que abarca desde medio ciclo hasta un minuto. Estas sobretensiones momentáneas son usualmente asociadas a fallas en el sistema como cuando se produce un cortocircuito monofásico a tierra, maniobras de apertura de grandes cargas o energización de grandes bancos de condensadores. La severidad de una subida de voltaje durante una condición de falla está en función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y la puesta a tierra.

⚡ Interrupciones (Microcortes)

Consiste en descensos de tensión por debajo de un 10% de su valor nominal, con una duración que no excede el minuto. Las interrupciones de corta duración pueden ser causadas por fallas en el sistema de potencia, fallas de equipos o malas operaciones de control. Algunas interrupciones pueden estar precedidas por una caída de tensión cuando las interrupciones son debidas a fallas en el sistema de alimentación.

1.5.1.3.2. Variaciones de tensión de larga duración

Están ligadas con variaciones en la tensión que duran más de un minuto. Generalmente, estas variaciones no son debidas a fallas en las líneas, sino que suelen estar originadas por las variaciones de carga y por operaciones de reconexión en el sistema.

⚡ Subtensiones

Son bajadas de la tensión más allá del 90% de su valor nominal durante más de un minuto. Las subtensiones suelen aparecer en la conexión de grandes cargas, o en la apertura de bancos de condensadores, y se mantienen hasta que el sistema de regulación lleva la tensión a su nivel de referencia. Los circuitos sobrecargados pueden también resultar en subtensiones.

⚡ Sobretensiones

Consiste en subidas de la tensión más allá del 110% de su valor nominal durante más de un minuto. Las sobretensiones suelen ser debidas a la desconexión de grandes cargas, energización de bancos de condensadores, o a fallos en la regulación de la tensión. Las sobretensiones resultan por que el sistema es muy débil para la regulación de la tensión deseada o por controles de tensión inadecuados. Una posición incorrecta del conmutador de un transformador puede dar como resultado un sistema con sobretensión.

⚡ Interrupciones sostenidas

Son cortes absolutos de la alimentación durante periodos de tiempo superiores a un minuto. Este tipo de perturbaciones se suelen producir cuando la restauración del sistema requiere de la intervención humana (generalmente para reparación). El término interrupción sostenida se refiere a fenómenos específicos en sistemas de potencia y en general no tienen relación con el término salida.

1.5.1.4. Caídas de tensión

Denominada también a veces “valle o hueco de voltaje”, Se describe de acuerdo con su duración y la tensión remanente que por lo general se expresa en porcentaje de la tensión eficaz (RMS) de alimentación de un sistema eléctrico durante un breve periodo de tiempo⁽³⁾. Una caída de tensión supone que a la carga no le llegará la energía necesaria para su funcionamiento, lo que puede acarrear graves consecuencias que dependerán del tipo de carga que se trate.

1.5.1.4.1. Causas y consecuencias de las caídas de tensión

1.5.1.4.1.1. Caídas de tensión provocadas por grandes Cargas

Cuando se conectan cargas muy grandes a la instalación, tales como motores eléctricos de gran potencia, la corriente de arranque puede ser muy superior a la corriente normal de funcionamiento. Si la fuente de alimentación y el cableado de la instalación están dimensionados para la corriente de funcionamiento normal, la elevada corriente inicial provocará una caída de tensión tanto en la red de suministro como en la instalación. La magnitud del efecto producido depende de lo “robusta” que sea la red, es decir, de lo baja que sea la impedancia en el punto de acoplamiento común (PCC) y de la impedancia del cableado de la instalación. Las caídas de tensión producidas por las corrientes de arranque se caracterizan por ser menos profundas y de una duración mucho mayor que las provocadas por fallos de la red, normalmente de uno o varios segundos o decenas de segundos.

1.5.1.4.1.2. Caídas de tensión producidas por la red

Una red de distribución de energía eléctrica es muy compleja, la magnitud de una caída de tensión en un punto determinado, debido a un fallo en otra parte de la red, depende de la topología de ésta, de las impedancias relativas del lugar donde se produjo el fallo, de la carga, y de los generadores en sus puntos de acoplamiento. Cuanto más próxima este la carga de la fuente, menos frecuentes y menos graves serán las caídas de tensión.

La duración de la caída de tensión depende del tiempo que tardan los circuitos de protección en detectar y aislar un fallo, tiempo que normalmente es del orden de unas pocas decenas de segundo. Cuando los fallos son transitorios, por ejemplo los que se producen cuando cae la rama de un árbol sobre una línea aérea desnuda, pueden resolverse muy rápidamente.

Si el defecto ya ha sido eliminado, la reconexión automática se realizara con éxito y quedara restaurado el suministro de energía. Las cargas del circuito afectado

experimentarán una pérdida de voltaje del 100% entre la desconexión y la reconexión automática, mientras que otras cargas experimentarían caídas de tensión menores y de menor duración entre el momento de producirse el fallo y su aislamiento.

Si el fallo no se ha eliminado, cuando el disyuntor de reconexión automática restablece la conexión, el equipo de protección vuelve a actuar de nuevo. El proceso puede repetirse de acuerdo con el programa que se haya establecido para aquel particular disyuntor de reconexión automático. Cada vez que el disyuntor vuelve a conectar la línea de la que no se ha eliminado el defecto, se produce otra pérdida de tensión, de manera que otros usuarios puedan sufrir una serie de caídas de tensión consecutivas.

1.5.1.4.2. Soluciones para las caídas de tensión

1.5.1.4.2.1. Medidas necesarias para reducir las interrupciones de servicio

Las soluciones radican en simplemente disminuir la probabilidad de que se produzcan caídas de tensión, atenuar su magnitud y acortar su duración. Las medidas tendientes a reducir el problema pueden tomarse en el ámbito de cualquiera de los actores involucrados, empresa distribuidora, usuario y fabricante de equipos sensibles. Usualmente se pueden o deben aplicar varias medidas en forma simultánea.

⚡ **Transmisor:** Desplazar hacia la fuente el PAC y aumentar la velocidad de respuesta de la protección.

⚡ **Distribuidor:** La forma de encarar la solución del disturbio, se puede subdividir en prevención de fallas y cambio de la filosofía de protección.

- **Prevención de fallas:** Las posibles medidas a tomar incluyen poda de árboles, instalación de elementos anti-animales, reemplazo del conductor aéreo desnudo por uno aislado, lavado de aisladores, incrementar el número de descargadores, agregado de hilo de guardia, mejora de la puesta a tierra de la línea, cambio de configuración del circuito, etc.

- **Cambio de filosofía de protección:** Eliminación de la primera operación rápida de los reconectores (eliminación del concepto de ahorro de fusible), aumento del número de reconectores intercalados en la línea e incremento de la velocidad de operación de los dispositivos de protección.
- ▣ **Consumidor:** Hay que tratar de evitar el problema especificando que los dispositivos a adquirir posean elevada capacidad para soportar los huecos de tensión. Cuando ya se sufre el problema, las soluciones pueden ser individuales para cada equipo sensible o generales, efectuando una instalación de alimentación especial para tales equipos. La variedad de disponibilidad de elementos de atenuación es a la fecha muy grande. Los más usados son: UPS, transformadores ferresonantes, sintetizadores magnéticos, moto-generador, dispositivos de almacenamiento en superconductores, generación propia, etc.
- ▣ **Fabricante de equipos:** En la etapa de diseño no resulta complicado incorporar una mayor capacidad de soportar huecos de tensión, ya sea mediante almacenamiento en baterías o en capacitores.

1.5.1.4.2.2. Métodos de mitigación de las interrupciones de servicio

▣ Agregado de reconectores en la línea

Los reconectores, son equipos muy difundidos en los sistemas de distribución, los cuales presentan grandes ventajas desde el punto de vista de mejorar la confiabilidad eliminando cerca del 70% de las fallas, las cuales no son permanentes.

▣ Eliminación de la reconexión rápida de reconectores e interruptores

El criterio general es que los equipos con reconexión posean una primera operación rápida, también llamada salvadora de fusibles, con el objeto de evitar el quemado del fusible aguas abajo, brindando el subsiguiente tiempo muerto para facilitar la autoeliminación de la falla.

Sin la metodología salva fusibles, los usuarios del circuito fallado sufrirán un hueco y una interrupción larga, pero los usuarios no involucrados en la falla, sentirán solo un hueco de tensión. Esta eliminación incrementa la duración de la interrupción y reduce la frecuencia de interrupciones, lo cual es ventajoso para ambos tipos de usuarios (solamente desde el punto de vista de los huecos de tensión).

⚡ Reducción del tiempo de recierre

Esta práctica de reducir el tiempo de reconexión también se llama reconexión instantánea, y representa una reducción del tiempo muerto de $1\frac{1}{2}$ a 2 segundos a intervalos de tiempo de 20 a 30 ciclos. El riesgo principal de esta práctica es que el tiempo muerto es muy corto y cerca del tiempo mínimo requerido para la desionización de la falla (aproximadamente entre 150 y 250 ms), donde hay una alta probabilidad de que la falla no se elimine. El objetivo de esta medida es evitar la salida de servicio de equipos sensibles como relojes digitales, hornos de microondas y video caseteras.

Los beneficios de esta medida son principalmente aplicables a usuarios comerciales y residenciales, sin tener prácticamente efecto positivo en usuarios industriales cuya preocupación son las caídas de tensión cortas y muy profundas.

⚡ Disparo monofásico

Su aplicación se hace indispensable para equipos sensibles trifásicos, cuando se usa la reconexión instantánea, debido al hecho que su capacidad de soportar caídas es función de la energía proporcionada, que es proporcional al promedio de los cuadrados de las tres tensiones de fase. Si la tensión de una fase cae a cero, la entrada de potencia del equipo es 67% de su valor nominal. En caso de que haya un transformador conectado en triángulo-estrella en la porción del sistema entre la falla y el PAC, la tensión caerá al 33% y la entrada de potencia puede ser tan alta como el 78%.

Este valor depende de la duración de la interrupción y permitirá que el equipo permanezca sin interferencia. Para evitar el daño de las cargas trifásicas, es aconsejable usar un reconector con disparo monofásico y bloqueo final trifásico.

Agregando esquemas mallados

En este caso el beneficio es debido a la alimentación doble de cada punto, que también es muy deseable desde el punto de vista de la confiabilidad. Ahora, en caso de falla, la sección fallada experimentará una caída de tensión y la interrupción subsiguiente. La sección no fallada, en lugar de tener una interrupción, sufrirá solo una caída de tensión que tendrá dos profundidades diferentes debido al funcionamiento de la protección.

Modificando el diseño del alimentador

Esto significa cambio en el camino y sección conductora del alimentador. Resultados similares pueden ser obtenidos aumentando la impedancia del camino de la corriente de falla manteniendo la misma sección transversal, a través del uso de una reactancia externa. Esta reactancia puede diseñarse para garantizar que el valor mínimo de la caída de tensión, sea por ejemplo mayor que el 60%, dependiendo de la vulnerabilidad del equipo sensible relacionado.

Incrementando la velocidad de la protección

La caída de tensión tiene tres características principales, profundidad, duración y frecuencia de ocurrencia. La profundidad de la caída depende de la posición de la falla en el circuito y de la impedancia de falla, ambas magnitudes están fuera del control tanto del usuario como de la empresa eléctrica. La frecuencia de ocurrencia es función de condiciones locales y características del sistema.

La duración de la caída es proporcional al tiempo tomado por el dispositivo de protección por sobrecorriente, para desconectar la falla. El estudio puede ser llevado a cabo entonces comparando el funcionamiento del dispositivo de protección, obtenido de su curva característica tiempo-corriente, con la curva de sensibilidad del equipo bajo análisis. Un dispositivo protector con bastante velocidad es el fusible limitador de corriente de falla. Si la corriente no alcanza este valor, otro dispositivo (limitador, interruptor no limitador y fusible de expulsión) puede ser utilizado. También el valor de la corriente de cortocircuito puede ser reducido insertando inductancias en el circuito,

debiendo tener en cuenta el efecto de la inductancia en la regulación de tensión del circuito.

1.5.1.4.2.3. Estabilizadores utilizados para la recuperación de las caídas de tensión

La mayoría de las caídas de tensión que se presentan en los sistemas de alimentación conservan una parte significativa de la tensión suministrada, de tal manera que algo de la energía sigue estando disponible, pero a un voltaje demasiado bajo para ser utilizable por la carga.

Los principales tipos de estabilizadores automáticos de tensión son los siguientes:

- **Electromecánicos**

El principio de este tipo de estabilizador se basa en controlar automáticamente un transformador variable interno que compense la variación de la tensión de entrada de la fuente de alimentación de corriente alterna. La salida del transformador variable alimenta el bobinado primario de un transformador elevador/reductor de tensión. Cuyo secundario, está conectado en serie entre la fuente de alimentación y la carga para inyectar una tensión correctora que se introducirá en la línea de alimentación.

Las principales ventajas del estabilizador de tensión electromecánico son las siguientes:

- Diseño sencillo.
- La tensión de salida es independiente del factor de potencia de la carga.
- La tensión de salida compensa automáticamente las variaciones de carga.
- Impedancia de salida muy baja.
- Gran precisión de estabilización, normalmente del $\pm 0,5\%$.
- Insensibilidad total a la frecuencia de alimentación.
- Coste y tamaños relativamente reducidos.
- Control ininterrumpido sin saltos.
- La salida es insensible a la distorsión de la alimentación.

- Campos magnéticos externos muy reducidos (No hay corrientes magnéticas en saturación).

Sus principales inconvenientes son:

- El estabilizador tiene partes móviles.
 - El tiempo de respuesta es normalmente de 15 ciclos (0,3s) para una variación de 40 voltios. Es más lento que un regulador electrónico escalonado o un estabilizador ferro-resonante estático (CVT).
- **Regulador ferro-resonante o transformador de tensión constante (CVT)**

Consiste en un transformador con un solo arrollamiento primario y tres arrollamientos secundarios, junto con un único condensador en paralelo.

El bobinado de neutralización (N) y el secundario (S) están separados del bobinado primario (P) por medio de derivaciones magnéticas. La reluctancia magnética de estas derivaciones es muy elevada comparada con la reluctancia magnética de la parte central del núcleo del transformador. La inductancia de flujo producida por estas derivaciones, junto con el condensador (CR), constituye un circuito resonante.

Al aumentar la tensión de entrada, el flujo en la parte central del núcleo del transformador también crece hasta que la reactancia inductiva del arrollamiento secundario es igual a la reactancia del condensador. En este punto, la tensión de salida es alta debido a la resonancia del circuito a pesar de que la tensión de entrada es bastante baja. El arrollamiento de neutralización reduce la distorsión de la salida desde un 20% aproximadamente, hasta menos de un 3%.

El circuito secundario total entra en resonancia con el tercer armónico. Esto suprime la mayoría de los armónicos generados por la saturación del núcleo y produce una onda senoidal razonablemente limpia.

Las principales ventajas son las siguientes:

- La posibilidad de tener un margen de entrada excepcionalmente amplio con cargas bajas. Con un 25% de carga de tensión de salida se mantiene en un $\pm 5\%$, incluso cuando la tensión de entrada es sólo del 35% de la tensión nominal.
- La salida del CVT limita automáticamente la corriente en una situación de sobrecarga.

Los principales inconvenientes son los siguientes:

- La facultad de limitar automáticamente la corriente de salida puede impedir que funcionen correctamente las cargas que requieran puntas momentáneas de arranque.
- El transformador depende de la resonancia por lo tanto la tensión de salida variará en un 1,5% por cada cambio de un 1% en la frecuencia de entrada.
- El CVT tiene una precisión de estabilización modesta, del orden de un $\pm 3\%$.
- El núcleo del transformador debe llegar a la saturación para conseguir una tensión de salida constante. Esto produce también campos magnéticos muy elevados alrededor del transformador que pueden crear problemas en equipos sensibles situados cerca del CVT.
- El tamaño y peso para un valor determinado de kVA pueden ser muchas veces mayor que los de un estabilizador electromecánico automático de tensión equivalente.

- **Reguladores electrónicos escalonados (conmutadores de tomas)**

Estos reguladores electrónicos de escalones operan seleccionando en la entrada o en la salida de un autotransformador, distintas tomas controladas mediante un circuito electrónico. Esta selección de tomas puede efectuarse mediante relés o con un dispositivo semiconductor tal como un tiristor. Si se utilizan relés, sólo funcionan en el momento de un cambio de toma. Sin embargo, si se selecciona un tiristor, éste funciona

60 veces en un segundo, es decir, se activará y desactivará en cada ciclo de 60 Hz de la alimentación. En esta aplicación los relés han demostrado ser más fiables.

Las variaciones en la tensión de entrada de la alimentación se supervisan mediante un sensor electrónico que a su vez selecciona automáticamente la toma mediante un relé, manteniendo así la tensión de salida requerida.

El instante del cambio de toma, gracias al circuito electrónico, se produce en fase en las proximidades del paso por el punto cero de la tensión de alimentación asegurando por tanto que cualquier interferencia de radiofrecuencia o perturbación transitoria de conmutación quede reducida al mínimo. La tensión de salida cambia por etapas, por lo tanto, este tipo de estabilización de tensión no debe emplearse en cargas de iluminación o en otras cargas que no puedan aceptar saltos en las tensiones de entrada.

Las principales ventajas son las siguientes:

- Eficiencia muy elevada.
- No es sensible a las variaciones de frecuencia.
- Tamaño y peso reducidos.
- Insensible al factor de potencia de la carga.
- Insensible a los cambios de la carga.
- Respuesta rápida, normalmente 1-1,5 ciclos (0,02-0,03s)
- Coste relativamente bajo.

Los principales inconvenientes son los siguientes:

- La regulación de tensión (estabilización) se realiza por etapas.
- La tolerancia de la tensión de salida, normalmente, no es inferior al $\pm 3\%$.
- Su fiabilidad puede verse limitada cuando se emplean elementos semiconductores para conmutar la corriente de carga.

- **Reactor saturable (transductor)**

Opera generando una derivación móvil controlada magnéticamente, producida por un conjunto transductor doble. Un circuito electrónico de control detecta la tensión de salida y ajusta los arrollamientos de control para corregir cualquier error. La saturación de los transductores produce una distorsión que debe ser eliminada mediante filtros para asegurar que se obtiene una buena onda senoidal.

Las principales ventajas son las siguientes:

- No tiene partes móviles.
- Control continuo sin saltos.

Los principales inconvenientes son los siguientes:

- Tamaño y peso grandes.
- El tiempo de respuesta es más lento que el de un estabilizador de tensión automático electromecánico de una capacidad similar.
- Se pueden generar grandes campos magnéticos.
- El margen de tensión depende del factor de potencia de la carga.
- La elevada impedancia interna puede producir algunas corrientes de carga elevadas.
- La distorsión de la forma de onda de la salida depende de la frecuencia de la alimentación.

La precisión de la salida depende de la frecuencia de la alimentación y del factor de potencia de la carga.

- **Estabilizador de tensión electrónico**

El componente principal de un estabilizador electrónico de tensión es un controlador electrónico de potencia. Dependiendo del modelo, el controlador de potencia suministra una tensión al primario de un transformador elevador-reductor que puede estar en fase o

fuera de fase. El secundario del transformador elevador-reductor está conectado entre la entrada de tensión de alimentación y la carga. De este modo, el controlador de potencia puede añadir o quitar el voltaje de alimentación, o controlar la carga directamente a través de un autotransformador. Las principales ventajas de los estabilizadores electrónicos de tensión son las siguientes:

- Precisión de estabilización muy alta.
- Respuesta muy rápida, normalmente de 0,5 ciclos (0,01 s).
- Amplia variabilidad de la tensión de entrada sin necesidad de cambiadores de tomas de regulación de transformación.
- Insensibilidad a las variaciones de la frecuencia de entrada.
- Tamaño y peso reducidos.

El principal inconveniente de los estabilizadores electrónicos de tensión es que son más costosos que los estabilizadores de tensión electromecánicos de capacidad similar. En la tabla 5 se presenta una comparación de las diversas técnicas de estabilización de tensión.

Tabla 5. Comparación de las distintas técnicas de estabilización.

TÉCNICA	MARGEN DE ENTRADA	CONTINUIDAD DE CONTROL	RAPIDEZ DE LA RESPUESTA	PRECISIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN	REGULACIÓN DE LA CARGA	TAMAÑO POR KVA	COSTE POR KVA	PUNTUACIÓN TOTAL (max 70)	NORMALIZADO (%)
Electromecánica	10	10	6	10	10	9	9	64	91
Ferroresonante	8	8 (B)	9 (B)	5	8 (D)	3	7	48	69
Escalonado (MVC)	8 (A)	6 (A)	10	5 (A)	6 (C)	10	10	55	79
Reactor saturable	8	10	5	8	8 (D)	4 (E)	6	49	70
Electrónico (EVS)	10	10	10	10	10	10	8	68	97

Notas: Clasificación: 1 - malo; 10 – excelente. (A) Depende del número de tomas de regulación (B) Depende de la carga. Puede sobreactivarse con cargas pequeñas. (C) Depende del factor de potencia y tipo de carga reactiva, capacitiva, inductiva. Esta técnica puede hacerse inestable si la constante d tiempo de la carga es similar a las constantes de tiempo del estabilizador.

1.5.1.5. Sobretensiones

Se denomina sobretensión a todo aumento de tensión capaz de producir descargas que, además de destruir o averiar seriamente el material, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones⁽⁴⁾. Muchas veces, los peligros de las sobretensiones no se deben solamente a su magnitud, sino también a la forma de onda.

Las sobretensiones se producen tanto en instalaciones de baja como de alta tensión aunque, generalmente, en las primeras tienen menos importancia que en las últimas, debido a que en las instalaciones de alta tensión las propias condiciones de funcionamiento y de aislamiento favorecen la aparición de sobretensiones.

1.5.1.5.1. Causas y efectos de las sobretensiones

1.5.1.5.1.1. Sobretensiones internas

Se forman como consecuencia de las oscilaciones entre las energías de los campos magnético y eléctrico producidas por un arco intermitente, es decir arcos que se apagan al pasar la corriente alterna por cero, pero se vuelven a encender cuando la sinusoide de la tensión toma mayores valores. Son los producidos al variar las propias condiciones de servicio de la instalación. Estos no se producen solamente por arqueos de aisladores sino también en los interruptores cuando desconectan altas intensidades.

A este grupo pertenecen las oscilaciones de intensidad de corriente, las variaciones de carga, las descargas a tierra, etc. En todos estos procesos, la energía acumulada en los elementos inductivos y capacitivos de los circuitos que comprenden una instalación, pueden llegar a descargar de tal modo que originen perjudiciales aumentos de la tensión. Esta clase de sobretensiones pueden preverse en gran parte y, por lo tanto, evitarse. Las sobretensiones de origen interno pueden, a su vez, clasificarse en dos categorías:

▣ **Sobretensiones de maniobra**

Son tensiones transitorias que se originan en un sistema eléctrico cuando se producen cambios internos debido a la apertura o cierre de los interruptores en los siguientes casos:

- Energización de una línea en vacío
- Reconexión de alta velocidad de una línea
- Desconexión de una línea en vacío
- Desconexión de transformadores de potencia y reactancias de derivación
- Conexión de bancos de capacitores

En el caso de líneas aéreas, las sobretensiones más elevadas son las causadas por los procesos de cierre de los interruptores; y el caso más desfavorable que origina las mayores sobretensiones, ocurre con la reconexión trifásica de una línea, la cual no ha podido disipar totalmente su propia energía. La sobretensión máxima de conexión se produce cuando el instante de cierre del interruptor coincide con el valor máximo de la amplitud de la onda de tensión de la fuente de generación y los polos del interruptor cierran las tres fases con desfasajes entre sí superiores a los 6 milisegundos.

La sobretensión transitoria puede alcanzar un valor doble o aún superior al de la sobretensión a frecuencia industrial, que permanece en la extremidad abierta de la línea, una vez que ha desaparecido el fenómeno transitorio.

Los procesos de desconexión de transformadores o reactancias de compensación en vacío no originan prácticamente ningún problema y la apertura de líneas largas tampoco originan sobretensiones peligrosas, si los interruptores son libres de reencendido.

▣ **Sobretensiones de servicio**

Comprenden básicamente las sobretensiones permanentes provocadas por los defectos a tierra. Algunas sobretensiones se caracterizan por ser autosostenidas y de larga duración, en tanto que otras desaparecen más o menos rápidamente después de la

operación de los interruptores. Esta sobretensión alcanza un valor tanto más elevado cuanto más rápida sea la apertura del circuito.

1.5.1.5.1.2. Sobretensiones de origen externo

⚡ Inducción electrostática

Sabemos que un conductor cargado de electricidad actúa inductivamente sobre otro cercano, de tal modo que, los elementos del primero situados en la proximidad del segundo y cargados con electricidad de cierto signo, atraen a los del otro de signo contrario. Por ejemplo, una nube cargada positivamente se aproxima a una línea eléctrica, induciendo en ésta, cargas eléctricas de signo contrario.

Las sobretensiones de origen inducido tienen importancia únicamente en las líneas de media tensión, debido a que la carga electrostática que se libera es proporcional a la diferencia de los potenciales de la nube y de la línea. Para tensiones de servicio de 66 kV o superiores, este efecto no se considera perjudicial.

⚡ Carga progresiva de los conductores por rozamiento del aire circundante

Cuando el aire está cargado de electricidad, las partículas electrizadas contenidas en el aire (polvo, moléculas de agua, etc.), por rozamiento comunican su carga a los conductores. La cantidad de electricidad así aportada es proporcional a la longitud del conductor; esta tensión resulta también tanto mayor cuanto mejor aislados estén los conductores.

⚡ Carga producida por cortar diferentes superficies de nivel eléctrico

Como la tierra puede considerarse un cuerpo cargado, emite líneas de fuerza que terminan en nubes cargadas con potencial opuesto, o se extienden indefinidamente. Las superficies perpendiculares a estas líneas, que tienen todos sus puntos al mismo potencial, son las superficies equipotenciales, llamadas también superficies de nivel. Si

un conductor corta una de estas superficies, en dicho conductor se induce una carga eléctrica.

Cuando los conductores recorren zonas llanas o casi llanas, estas causas de sobretensión son imperceptibles con tiempo tranquilo. Por el contrario, si cercana a las mismas, se desplazan nubes tempestuosas o si el aire está fuertemente cargado de electricidad, las superficies de nivel se deforman y las cargas inducidas en los conductores pueden alcanzar valores importantes. Se han observado diferencias de tensión de 50 a 250 V por metro de altura.

Esta causa de sobretensiones es particularmente importante cuando los conductores pasan por las cumbres de montañas, porque en estos sitios las superficies equipotenciales están muy próximas, pudiendo haber tensiones a tierra hasta de 10 kV.

⚡ Descargas atmosféricas (transitorio impulsivo)

Es una fuente muy importante de sobretensiones transitorias. La figura 3 muestra los posibles puntos de incidencia de la descarga, que es luego conducida a los equipos de uso final.

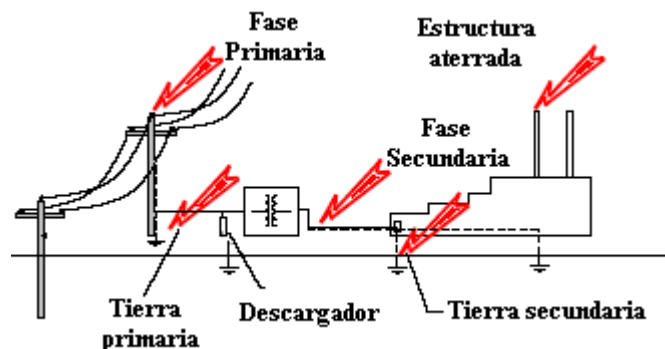


Figura 3. Localización de los puntos de incidencia de la carga

La forma más obvia de ingresar al sistema eléctrico, es por descarga directa, generando sobretensiones muy elevadas, no obstante existen dudas si ésta es la forma más común de incidencia o lo es la sobretensión debida a la circulación de esta corriente de descarga por los caminos a tierra. Los caminos a tierra nunca son ideales, de manera tal

que durante los primeros instantes de la descarga todas las puestas a tierra colaboran, pudiendo encontrar corrientes importantes por todos los conductores a tierra.

Los principales problemas creados por descargas que ingresan al sistema de puesta a tierra son:

- Elevación del potencial de tierra local sobre la de otras tierras en algunos kV, pudiendo dañar a equipos sensibles conectados entre dos tierras de referencia, como el caso de la computadora conectada a una línea telefónica.
- Inducción de elevadas tensiones en conductores recorridos por la descarga en su búsqueda de tierra.

⚡ Descargas directas

Se denomina descarga directa o rayo a la que se produce en caso de tormenta entre nube y nube o entre nube y tierra. Está caracterizada por grandes tensiones puestas en acción, por las elevadas intensidades y por su pequeña duración.

El rayo puede deteriorar las instalaciones eléctricas de forma directa (rayo directo) o de forma indirecta (rayo indirecto). El caso más frecuente, y también el más peligroso, de rayo directo es cuando la descarga cae directamente en la línea. En este caso, la línea recibe bruscamente una tensión muy elevada, con lo que pueden producirse descargas a tierra a través de los postes o del cable de tierra, si se instala este elemento de protección.

La experiencia ha demostrado que si la descarga se produce directamente sobre un poste, éste recibe aproximadamente el 60 % de la corriente del rayo y solamente el resto recorre la línea. En cuanto a la inducción producida por descargas atmosféricas cercanas, resultan de un efecto similar al indicado en el punto de inducción electrostática.

1.5.1.5.1.3. Fuentes de las sobretensiones transitorias

En el lado del distribuidor son fundamentalmente dos: debidas a conexión de capacitores y por descargas atmosféricas.

También existen transitorios generados en las instalaciones del usuario, la variedad es muy amplia, destacándose los producidos por la conexión de los semiconductores de potencia.

■ Conexión de capacitores

Son muy frecuentes debido, fundamentalmente, a que la compensación del factor de potencia con capacitores está sumamente difundida en función de sus ventajas, frente a otras alternativas, y se pronostica que se usarán por muchos años. El inconveniente radica en que los capacitores interactúan con la inductancia del circuito en el momento de la conexión, produciendo un transitorio oscilatorio.

Algunos capacitores se encuentran conectados en forma permanente, en cambio otros se conectan de acuerdo al nivel de carga, empleando varios medios para la conexión y desconexión, como por ejemplo momento del día, temperatura, tensión, corriente y potencia reactiva. Es común emplear más de uno de los factores citados, como por ejemplo temperatura y tensión.

Una de las indicaciones de problemas de calidad de potencia relacionados con capacitores es cuando se presentan en forma diaria y más o menos a la misma hora. En sistemas de distribución o industriales, se conectan usualmente en tiempos fijos (simplemente comandados por un reloj) o cuando se incrementa la carga. De manera tal que la salida de servicio de dispositivos sensibles como los accionamientos de motores, sin ninguna otra manifestación como el parpadeo de la luz, es usualmente debido al fenómeno citado.

Se han detectado tensiones elevadas en el neutro en el caso de bancos de capacitores en estrella a tierra, con sobretensiones que pueden alcanzar tres ó cuatro veces la corriente de carga, como se muestra en la figura 4.

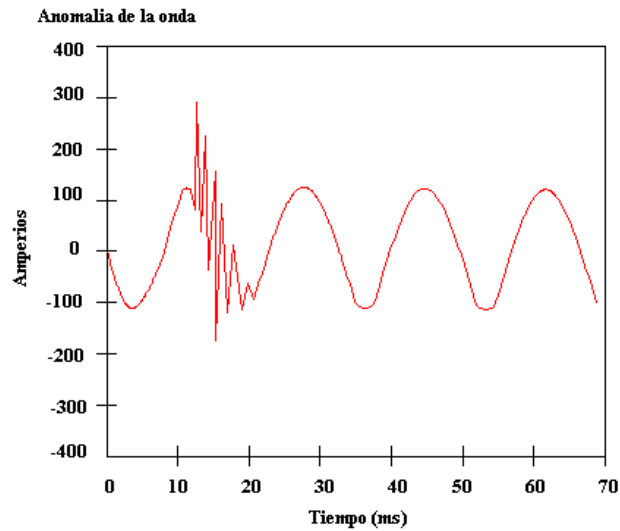


Figura 4. Corriente de carga asociada con los eventos de control-capacitor.

⚡ Magnificación de transitorios por desconexión de capacitores

Esta perturbación característica tiene lugar en el lado del usuario, cuando posee capacitores para compensar factor de potencia. La sobretensión transitoria del lado usuario puede alcanzar valores tan altos como 3 a 4 p.u de la tensión nominal del lado de baja tensión, lo cual es altamente perjudicial para la totalidad de los equipos involucrados.

La figura 5 muestra las características del problema.

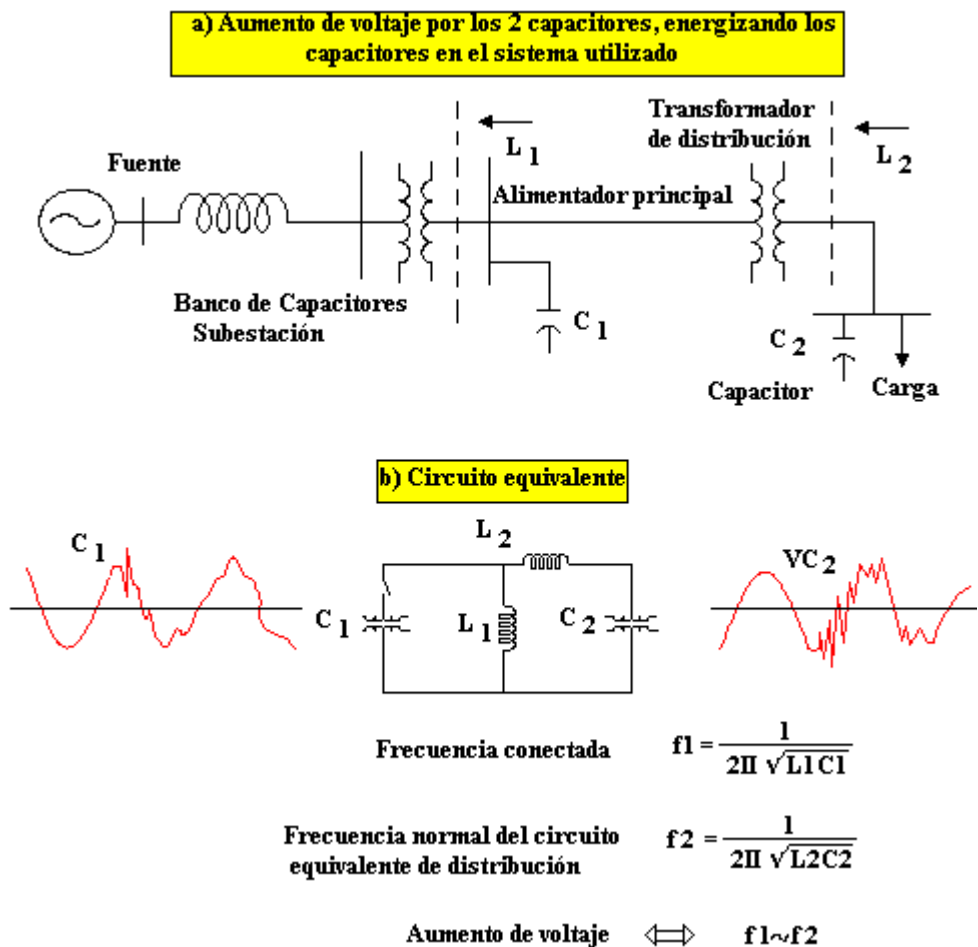


Figura 5. Aumento del voltaje en el banco de capacitores conectado ($f_1 \equiv f_2$).

⚡ Sobretensiones en baja tensión (BT) ocasionadas por el uso de fusibles incorrectos

Existen tres casos de sobretensiones que se producen por el uso de fusibles de calibre incorrecto.

- **Línea de BT con conductores retorcidos y en cortocircuito**

Se trata de un defecto muy común en las redes de BT convencionales (conductores desnudos separados mediante cruzetas y aisladores). Este defecto se esquematiza en la figura N° 6, en que la línea de BT se muestra con un cortocircuito entre las fases b y c.

Como se ilustra en la figura, el cortocircuito provoca una sobrecorriente entre las fases b y c del transformador (lado BT). Estas corrientes se trasladan al lado de MT del transformador.

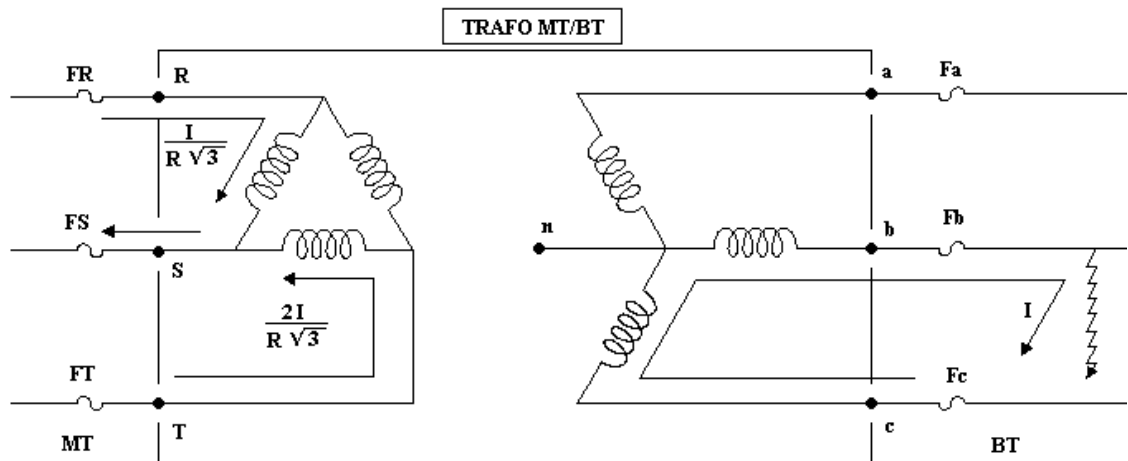


Figura 6. Sobrecorriente provocada por cortocircuito en las fases b y c.

El valor R incluido en la expresión de la corriente primaria corresponde a la relación de transformación del transformador. Como se aprecia en la figura la corriente del lado de BT se traslada a media tensión (MT) en forma desigual. La fase S tiene una corriente del doble de las otras dos fases (R y T).

- **Operación del fusible de MT incorrecto**

Suponiendo que no se funde la lámina del fusible de BT, y además funde la lámina del fusible de MT incorrecto, la situación es la representada en la figura 7.

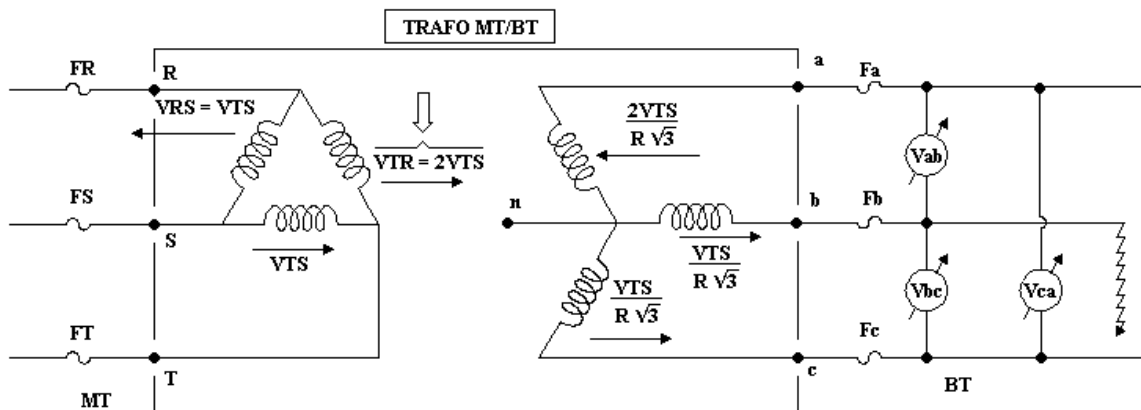


Figura N 7. Sobrecorriente provocada por operación incorrecta del fusible de MT.

Tomando como ejemplo que se quema la lámina del fusible FR, las tensiones resultan: Fase T-S del bobinado de MT, tiene los dos fusibles sanos por lo que mantiene la tensión original VTS.

La tensión de la fase T-S de MT, se traslada a su fase correspondiente BT (fase b-n), la cual también mantendrá la tensión original Vbn

La fase c-n de BT al estar la línea en cortocircuito se le impone la misma tensión que la fase b-n (ambos extremos de las bobinas están unidos).

La tensión de la bobina c-n de BT, se traslada a su correspondiente de MT (fase S-R). Como consecuencia la tensión de la fase T-R, que es la suma de las tensiones VRS + VST, queda con un valor del doble que en condiciones normales.

La tensión de la fase T-R, que estaba al doble de la normal, se traslada a su fase correspondiente de BT (fase a-n), que quedará también con un valor del doble del normal.

- **Operación del fusible de MT con red de BT desbalanceada**

En los casos en que se quema la lámina del fusible de MT y existe un desequilibrio importante entre las cargas de las distintas fases de BT se produce una situación similar

al caso anterior, en que la magnitud de la sobretensión depende del grado de desequilibrio en BT.

⚡ Ferroresonancia

Se ha comprobado que existen casos de operación de fusibles en tramos de líneas rurales, que provocan sobretensiones en los clientes asociados. Este fenómeno es conocido como ferroresonancia y ocurre cuando se encuentran involucrados en el circuito equivalente, la impedancia del conductor de línea, la del transformador y la capacidad de la línea respecto a tierra.

Cuando la magnitud de la capacidad indicada coincide con la magnitud de la inductancia de los bobinados del transformador, se forma el circuito de la figura 8.

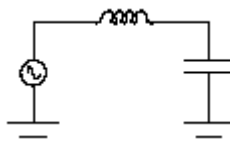


Figura 8. Circuito ferroresonante.

Puede ocurrir ferroresonancia cuando existan los siguientes factores:

- Uno de los fusibles del tramo quemado.
- La capacidad a tierra de la fase abierta (dada por la longitud del tramo), coincide con la inductancia magnetizante de los bobinados del transformador.
- La carga del transformador es inferior al 10% de su potencia nominal.

La longitud para la cual coincide la capacidad a tierra de la línea con la inductancia del transformador, depende del tipo de transformador (potencia, corriente de vacío, etc.) y de las características de la línea.

1.5.1.5.1.4. Transitorios causados por conexión de capacitores de la empresa distribuidora

⚡ Momento de conexión

Frecuentemente la empresa distribuidora selecciona en forma unilateral el momento en que los conecta, fijado normalmente por el aumento de carga. Este instante puede coincidir con el arranque de líneas de producción contando con dispositivos sensibles, los cuales salen de servicio sin haber aún iniciado el proceso de régimen. Una solución simple, consiste en acordar con el usuario el momento en que se puede conectar con la disrupción mínima, usualmente unos pocos minutos antes de iniciar el cambio de turno. Si bien es cierto que se producirá una sobretensión de tipo estable por unos pocos minutos, su efecto es menos perjudicial que las salidas de servicio durante la producción.

⚡ Cierre sincrónico

Esta metodología evita la corriente transitoria por medio de la sincronización del valor de tensión del sistema en el instante de conectar con la tensión sobre los bornes del capacitor. Tales interruptores se emplean en circuitos de media tensión, utilizando como medio de aislación y apagado al vacío SF₆, contando con un mecanismo independiente para cada fase, cuyas tolerancias en tiempos de conexión están en el orden de 0,25 a 1 ms, para los medios de extinción mencionados. Los dispositivos de última generación poseen inteligencia para detectar desgaste y cambio de las características mecánicas. El resultado de su empleo es la reducción de la corriente en un orden de magnitud y el control de la tensión transitoria a no más de 1,1 p.u.

⚡ Ubicación de los capacitores

La ubicación de un capacitor puede ser demasiado próxima a un usuario sensible o en un lugar donde los transitorios alcancen valores elevados, siendo una posible solución el desplazarlo a otro punto del sistema de distribución. El desplazamiento debe basarse en la siguiente estrategia, de disponer de mayor resistencia para el rápido amortiguamiento

del transitorio o de obtener más impedancia entre el capacitor y el equipo sensible. Por supuesto que tal posibilidad no siempre está disponible, ya que si el banco de capacitores se ubicó junto a una carga importante para compensar la potencia reactiva, la opción de desplazarlo a otra posición no es factible.

1.5.1.5.2. Soluciones a las sobretensiones

1.5.1.5.2.1. Principios y dispositivos de protección contra sobretensiones

Los principios fundamentales de la protección de las cargas contra sobretensiones son:

- Limitar la tensión sobre la aislación sensible.
- Alejar la corriente de descarga de las cargas.
- Bloquear la entrada de la descarga a la carga.
- Unir todas las tierras de referencia en el equipo sensible.
- Reducir o evitar la circulación de corrientes de descarga entre puestas a tierra.
- Crear filtros pasa bajo usando los principios de limitación y bloqueo.

Para las protecciones contra las sobretensiones existen dispositivos como los pararrayos y los descargadores.

- **Un pararrayos** es un dispositivo capaz de captar una descarga atmosférica (c.a) o aumentar la posibilidad de que en ese lugar caiga el rayo, que posiblemente va a aumentar la tensión del sistema.
- **Un descargador** se emplea para la protección del aislamiento de transformadores, capacitores, y otros aparatos, frente a sobretensiones (externos) de origen atmosférico e internas (de maniobra), que podrían afectarlos irreversiblemente, para lo cual deberán instalarse lo más cerca posible del dispositivo a proteger. La función del descargador es derivar a tierra las tensiones que alcancen un nivel peligroso para el aislamiento del equipamiento

protegido. Por otro lado no deben operar cuando las sobretensiones no sean peligrosas.

Otros dispositivos de protección contra sobretensiones son:

- *Transformadores aisladores* (usualmente con pantalla electrostática, permite generar una nueva tierra de referencia).
- *Filtros pasa bajos* (formados por descargador gaseoso, inductancia de choque, capacitor en paralelo con varistor, mostrado en la figura 9).

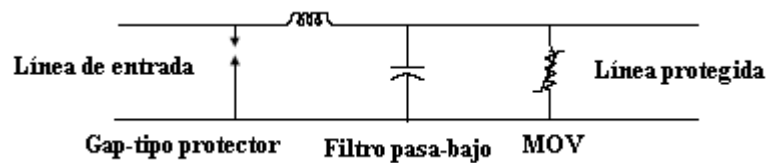


Figura 9. Esquema de un filtro pasa bajos.

- *Mitigador de baja impedancia* (similar al anterior pero contando con un transformador de baja impedancia como aislador).

1.5.1.5.2.2. Protección del sistema del distribuidor contra descargas atmosféricas

⚡ Blindaje

Una estrategia es la instalación del hilo de guardia, sobre todo en aquellas líneas con una rigurosa incidencia de descargas. Tal metodología no resuelve totalmente el problema, ya que sigue existiendo la posibilidad de la retro-descarga, o descarga desde la torre hacia el conductor debido al aumento del potencial de tierra. Por otra parte el incremento de costo de construcción de la línea es importante, no solo por el agregado del conductor adicional, sino también por la necesidad de emplear postes más altos. La solución no radica solamente en el agregado de un conductor más, puesto a tierra con mayor frecuencia, sino en re-estudiar la estructura completa de la torre o poste, ya que la retro-descarga puede presentarse a pesar de que la descarga haya incidido en el hilo

de guardia. Para ello deben estudiarse cuidadosamente las separaciones entre conductores y el camino a tierra del hilo de guardia. Cuando una porción particular del sistema se encuentra muy expuesta a la descarga atmosférica, se recurre a la instalación del hilo de guardia solamente en esa porción, como es el caso de torres sobre montañas o porciones entrantes a subestaciones, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Ubicación estratégica del hilo de guardia.

⚡ Descargadores

La solución más difundida consiste en el empleo de descargadores de sobretensión que drenan a tierra la corriente y energía de la descarga atmosférica mientras su onda viaja sobre la línea, como se muestra en la figura 11. El monto de corriente que cada descargador drena a tierra depende de la impedancia del camino a tierra. La idea es espaciar los equipos. Lo usual es disponer de un descargador cada dos o tres postes en zonas complejas, pudiendo en casos extremos ser necesario instalar un dispositivo en cada poste.

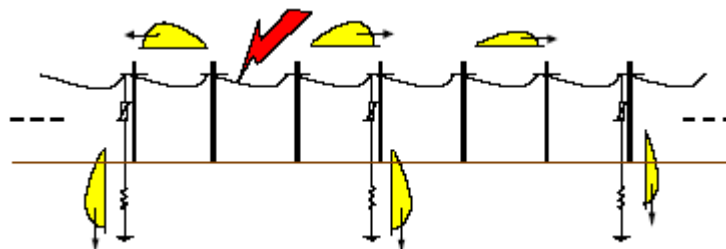


Figura 11. Colocación de descargadores.

▣ Protección de cables

Una de las mayores causas de apagones de considerable duración es la falla de cables subterráneos. El reemplazo del cable es muy costoso, por lo que cualquier medida para extender su vida útil es de valor. La vida de un cable es una función exponencial del número de impulsos recibidos de una magnitud dada, por lo que el daño al cable está definido por la ley de Hopkinson:

Daño al cable = número de impulsos x magnitud de impulsos (constante empírica entre 10 y 15)

Las soluciones disponibles, son:

- Agregar un descargador de punto medio (interrumpiendo el cable en algún punto conveniente).
- Agregar un tercer descargador cerca del transformador.
- Incorporar descargadores en cada transformador.
- Agregar descargadores especiales de baja tensión residual.
- Inyectar un fluido restaurador de la aislación en el cable.

Los extremos del cable son puntos críticos debido al fenómeno de duplicación de onda, por lo que es una de las posiciones a considerar en el agregado de descargadores. Este descargador a veces no es suficiente para proteger el transformador, debiendo colocarse otro exclusivo para el transformador, a pesar de la proximidad, ya que las inductancias de los caminos a tierra involucrados pueden ser muy distintas.

Una política bastante aconsejable y que brinda numerosas ventajas es la conexión denominada centinela, que consiste en la colocación de descargadores en los postes inmediatos a ambos lados del correspondiente a la conexión del cable, como se muestra en la figura 12. La descarga encontrará primero alguno de los descargadores vecinos, perdiendo parte de su energía, la restante pasa al cable donde el restante descargador derivará otra porción de la misma a tierra. Este esquema es también beneficioso para

aplicarse en transformadores, siendo su principal acción la disminución de la pendiente de crecimiento y por ende la reducción de la peligrosidad de la onda duplicada.

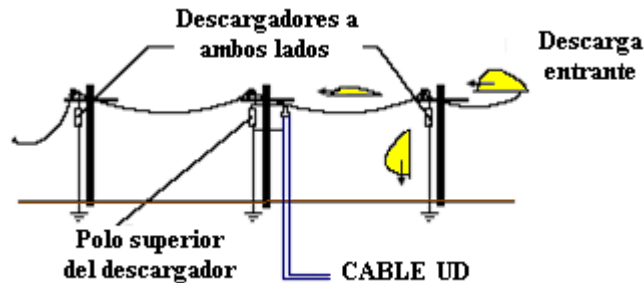


Figura 12. Conexión de descargadores tipo centinela.

1.5.2. Perturbaciones de tensión

1.5.2.1. Efecto Flicker (Parpadeo)

El flicker es en realidad una consecuencia de las fluctuaciones de tensión, que se manifiesta básicamente en forma de oscilaciones de intensidad luminosa (parpadeo) del alumbrado. Por lo tanto se puede definir como “flicker o parpadeo” a una variación rápida o cíclica del voltaje, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano⁽⁵⁾.

La molestia ocasionada por el flicker en el ojo humano depende tanto de la amplitud como de la frecuencia con que se producen. La sensación de la molestia es función del cuadrado de la amplitud de la fluctuación del voltaje y de la duración de ésta, la sensibilidad del observador medio a las fluctuaciones de iluminación es máxima alrededor de 10Hz; el límite mínimo de percepción para esta frecuencia es 8,8Hz es igual a 0,25% y el límite mínimo de molestia igual a 0,5%.

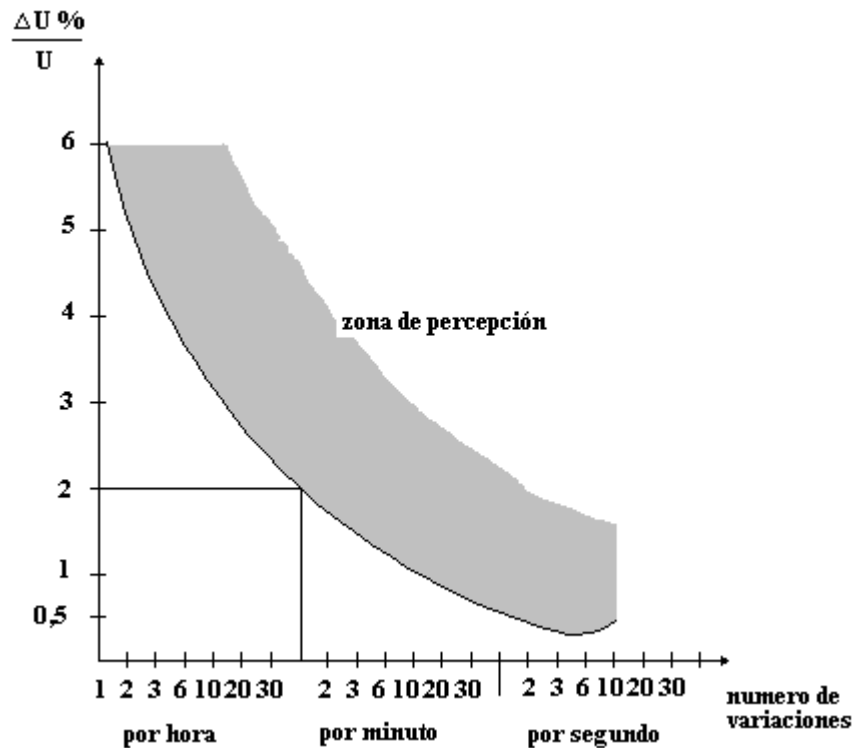


Figura 13. Límite de sensibilidad del ojo humano a las variaciones de iluminación causadas por fluctuaciones de tensión, en lámparas de incandescencia.

En general el flicker es un fenómeno que se manifiesta por los efectos fisiológicos y hasta psicológicos que tienen los usuarios debido a la susceptibilidad de estos ante las variaciones de flujo luminoso en las lámparas, las cuales son cargas que siempre están conectadas en baja tensión; sin embargo las cargas causantes de las variaciones del flujo luminoso pueden hallarse en cualquier nivel de tensión.

Este fenómeno se produce por consumos de naturaleza esencialmente variable como hornos de arco, soldadoras de arco, laminadores siderúrgicos, partidas y paradas de grandes motores, sistemas de tracción eléctrica de corriente eléctrica, compresores, bombas, grupos elevadores, etc. También la generación de interarmónicos puede provocar una mezcla de frecuencias que contribuyen a variaciones lentas en el rango de 0-25 Hz.

El nivel de flicker depende de la amplitud, frecuencia y duración de la fluctuación de voltaje. Hay que reseñar que se trata de fluctuaciones cuya amplitud no supera la mayoría de las veces el $\pm 10\%$, razón por la cual muchos equipos no se ven afectados

por ellas, no así algunos receptores, como: lámparas de incandescencia, monitores y receptores de televisión, que presentan una especial sensibilidad a dichas fluctuaciones del voltaje de alimentación. Existen, sin embargo, otras cargas como los tubos fluorescentes sin balastro electrónico, que presentan un nivel de sensibilidad menor.

Este tema cobra vigencia pues estos efectos se superponen a las perturbaciones armónicas y se hacen mayores en la medida que crece la relación de consumo no lineal sobre la potencia de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

1.5.2.1.1. Explicación matemática del origen del flicker

Los parámetros que definen este tipo de fluctuaciones son:

- Variaciones de voltaje (ΔV). En la siguiente figura hay siete variaciones de voltaje (1).
- Duración de la variación del voltaje (2).
- Intervalo entre dos variaciones (3).

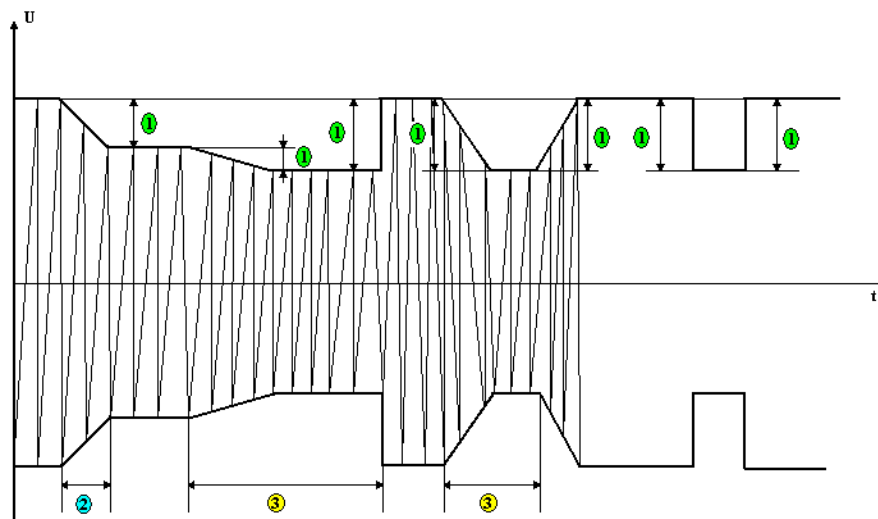


Figura 14. Parámetros que definen el flicker.

Las fuentes de estas fluctuaciones son equipos eléctricos cuyo funcionamiento necesita importantes variaciones cíclicas de intensidad. Al recorrer la impedancia de la red (R , X) provocan variaciones de tensión ΔU .

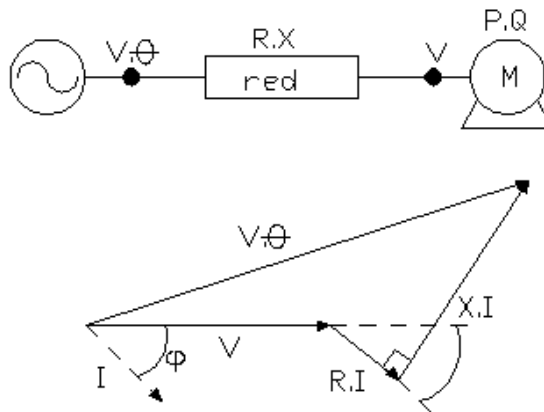


Figura 15. Esquema vectorial del flicker.

Las variaciones de tensión, origen del flicker se deben a variaciones de intensidad que circulan por la impedancia de la red. Si se considera que el ángulo entre V_0 y V es pequeño: $\Delta U = V_0 - V \approx R.I \cos \phi + X.I \sin \phi$, se puede escribir: $P = V.I \cos \phi$ y $Q = V.I \sin \phi$, de donde resulta:

$$\Delta V = \frac{R.P + X.Q}{V}$$

y en valor relativo:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{R.P + X.Q}{V^2}$$

Las variaciones de voltaje se las puede clasificar en dos grupos:

- **Las variaciones de voltaje periódicas y rápidas:** Son producidas por cargas caracterizadas por variaciones sistemáticas de demanda de la potencia eléctrica tales como: Hornos de arco, equipos de soldadura, etc.
- **Las variaciones bruscas de voltaje:** Estas se producen de manera sistemática o errática, en intervalos entre variaciones superiores a algunos segundos.

1.5.2.1.2. Los parámetros P_{st} y P_{lt}

Para la evaluación del flicker la norma IEC 868-0 a desarrollado dos parámetros adimensionales que relacionan los niveles de molestia asociados con las fluctuaciones

de voltaje según su amplitud y frecuencia de ocurrencia, los cuales son independientes del tipo de fluctuación sea este periódico o súbito y por tanto independiente del tipo de perturbación producido.

1.5.2.1.2.1. Severidad del flicker de corta duración - P_{st}

Se determina mediante el algoritmo de punto múltiple desarrollado por la norma IEC 868-0, el cual utiliza cinco puntos dados en la curva de Función de Probabilidad Acumulada (FPA) denominados: $P_{0,1}$; P_1 ; P_3 ; P_{10} y P_{50} , los cuales indican el nivel de flicker sobrepasado en el: 0,1; 1; 3; 10 y 50 % respectivamente del periodo de medición.

Podemos darnos cuenta que se ha escogido los niveles de flicker con probabilidad de ser sobrepasados entre el 0 y 50% del periodo de medición este se da debido a que en este rango se encuentran los niveles de flicker que tiene mayor incidencia en la sensación de molestia visual. Se considera el nivel $P_{0,1}$ como uno de los cinco puntos para evaluar el P_{st} debido a que este percentil es el más adecuado para indicar la incidencia de fluctuaciones poco frecuentes pero con grandes variaciones de amplitud, además el nivel P_{50} nos da una indicación general del orden de magnitud de la perturbación, con lo cual se logra un equilibrio en el análisis de severidad de flicker de corta duración; por otro lado el nivel máximo de flicker no se toma en cuenta en este método, ya que un valor de cresta no nos da una información adecuada acerca de la ocurrencia de flicker, debido a que para realizar un análisis más real se toma en consideración el tiempo en que permanezca un determinado nivel.

La norma IEC-555-3 a determinado que el intervalo de evaluación de la severidad del flicker de corta duración sea de 10 min, debido a que este tiempo sea lo suficientemente largo para evitar que fluctuaciones aisladas tengan demasiada incidencia en el valor P_{st} , así como también es lo suficientemente corto como para dar una información detallada de un equipo perturbador con ciclo largo de trabajo. El P_{st} se caracteriza por la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{K_{0,1}P_{0,1} + K_1P_1 + K_3P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}}$$

Donde:

P_{st} = Severidad de flicker de corta duración.

K_n = Coeficientes de ponderación, dados por la norma IEC 860-0.

P_n = Niveles de flicker en la curva FPA, que tiene una probabilidad de ser superados en n% del periodo de medición.

La curva FPA ha sido de mucha ayuda en la determinación de los percentiles P_n indicados anteriormente, pero para obtener los coeficientes de ponderación K_n la IEC se ha valido de una curva estructurada a partir de experimentaciones de la respuesta visual para determinados valores de porcentajes de variaciones de voltaje a diferentes frecuencias de ocurrencia, la cual fue publicada en la norma IEC-555-3 la misma que se muestra en la figura 16, en la que se ha tomado en cuenta que las respuestas a altas frecuencias coinciden con datos reales de quejas de consumidores.

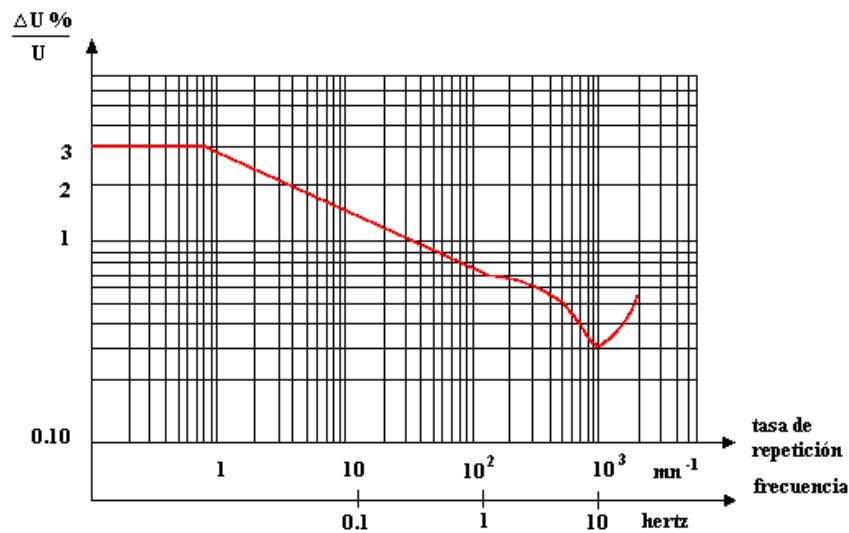


Figura 16. Curva límite de la molestia del flicker. Indica la amplitud de las fluctuaciones de voltaje, en función de su frecuencia de repetición, para una severidad del flicker $P_{st}=1$.

Sin embargo podemos observar que para el intervalo entre 0,1 y 1 que en las variaciones por minuto el límite de percepción se mantiene constante para variaciones de voltaje de

3%, el cual se pudo determinar posteriormente que no era válido para la evaluación de la curva límite de la severidad, por lo que se extendió esta curva hasta el valor de $\frac{\Delta U}{U} = 7,5\%$ para una frecuencia de 0,1 variaciones por minuto con la ayuda del algoritmo de punto múltiple y los datos experimentales obtenidos posteriormente. La curva resultante se denomina “Curva límite de la molestia de flicker $P_{st}=1$ ”, la cual representa el umbral de molestia experimentado por un observador medio, la misma que se muestra en la siguiente figura.

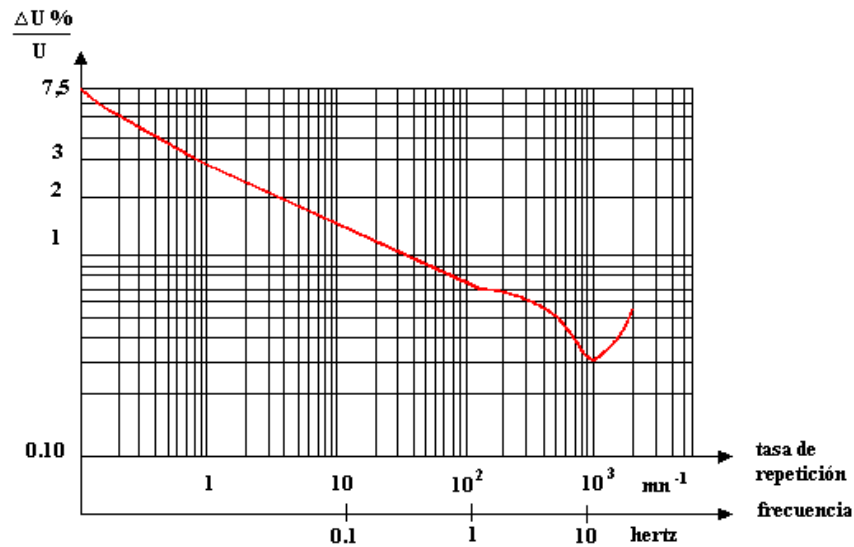


Figura 17. Curva límite de la molestia del flicker $P_{st} = 1$.

Los coeficientes a través de la ponderación de los datos experimentales relacionados con la curva límite $P_{st}=1$ son los siguientes: $K_{0,1} = 0,0314$; $K_1 = 0,0525$, $K_3 = 0,0657$; $K_{10} = 0,28$; $K_{50} = 0,08$.

Por lo tanto la expresión de la severidad de corta duración queda expresada de la siguiente manera:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 * P_{0,1} + 0,0525 * P_1 + 0,0657 * P_3 + 0,28 * P_{10} + 0,08 * P_{50}}$$

1.5.2.1.2.2. Severidad del flicker de larga duración – P_{lt}

Nace como una necesidad para evaluar la combinación de los efectos producidos por varias cargas perturbadoras que funcionan de forma aleatoria como son las soldadoras y los motores eléctricos, o cuando poseen ciclos de trabajo largos y variables como es el caso de los hornos de arco; para esto se requiere un largo intervalo de evaluación, debido a que el intervalo de 10min en la evaluación de flicker de corta duración no es suficiente para realizar un análisis completo de la influencia de las fluctuaciones de voltaje producidas por las cargas mencionadas en el nivel de molestia visual. Para la caracterización del parámetro P_{lt} se puede seguir algunos métodos, sin lugar a duda el uso de la ley cubica de aislamiento de los valores del P_{st} es el que nos ofrece mayor confiabilidad, flexibilidad y facilidad; es por esta razón que este método es el más divulgado y utilizado a nivel mundial. La expresión para la severidad del flicker de larga duración es la siguiente:

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

Donde:

P_{lt} = Severidad del flicker de larga duración

P_{sti} = Valores consecutivos de severidad de flicker de corta duración para $i= 1,2,3,4,\dots$

N = Número de valores de P_{st} tomados a través el periodo de medición

El periodo de medición generalmente utilizado y adoptado por la norma EN 50160 para la evaluación de la severidad del flicker de larga duración según el método del uso de la ley cúbica es de dos horas, tomando en consideración doce valores consecutivos de la severidad del flicker de corta duración P_{st} , de tal manera que la duración del P_{lt} para este periodo es:

$$(P_{lt}) = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3}{12}}$$

1.5.2.1.3. Límites establecidos para la severidad del flicker

La existencia del flicker en las redes de suministro, puede causar molestias en los abonados del sistema de energía eléctrica, dependiendo de los valores de los parámetros de evaluación de este fenómeno (P_{st} y P_{lt}) sin embargo existen límites tolerables o rangos en los cuales se puede aceptar la presencia de fluctuaciones de voltaje.

Algunos de los equipos se diseñan bajo normas que especifican inmunidad hacia algún tipo de variación, como puede ser de voltaje, por lo tanto estos equipos pueden trabajar normalmente en presencia de variaciones de voltaje siempre que estas estén bajo el límite establecido. La norma IEC 61000-3-3 establece límites para el $P_{st} = 1$ y el $P_{lt} = 0,65$ p.u. La norma EN 50160 establece el límite solamente para la severidad de larga duración (P_{lt}) e indica que debe ser inferior o igual a 1 durante el 95% del periodo de medición establecido en una semana (7 días).

1.5.2.1.4. Cargas perturbadoras causantes del flicker

▣ Motores de inducción

Los motores asíncronos o motores de inducción se construyen para operar a una velocidad constante, con elevado rendimiento y bajo factor de potencia. Sin embargo presentan un gran problema en el instante de ponerse en marcha, que consiste en el consumo de grandes corrientes que miden de 6 a 10 veces la corriente nominal a plena carga. Además en el arranque de los motores de inducción su par es generalmente de 1,5 a 2 veces el par nominal. Cuando se producen corrientes de arranque elevadas se tiene el inconveniente de generarse caídas de voltaje rápidas afectando a los demás equipos que se conectan al sistema. Esto puede ocasionar principalmente variaciones en el flujo luminoso de las lámparas.

Las caídas de tensión pueden generar flicker y a veces rebasa los límites establecidos por las normalizaciones, en este caso se debe solucionar el problema, principalmente añadiendo a los motores dispositivos llamados compensadores de arranque.

La magnitud de la severidad del flicker puede estar en función del número de arranque de motores por semana, por este tipo de apreciación, existen algunas normas que dejan de tomar en cuenta el flicker si el número de arranques de motores por semana es menor a 9 o si las caídas de voltaje es menor al 4%.

En condiciones normales de operación, los motores de inducción necesitan aproximadamente $1\text{kVA} \times \text{hp}$ para su funcionamiento, esto quiere decir que en el momento de arranque del motor requerirá cerca de $6\text{ kVA} \times \text{hp}$. La potencia aparente es un dato que nos puede ayudar a determinar el impacto que puede tener un motor a la red de suministro, ya que cuando la capacidad del motor es cercano al 25% de la capacidad del transformador de suministro, se ha llegado a la conclusión, mediante estudios y análisis, que se producirá una caída de voltaje del orden del 4 o 5 % a plena carga.

Para poder simular el arranque de motores nos valemos de la ayuda de los flujos de carga que nos dan las variaciones de tensión que se pueden producir en el arranque de un motor. Los flujos de carga se basan en el modelado del circuito equivalente de los motores de inducción ya que este nos da expresiones que nos ayudan a determinar la corriente y el par de arranque en función de las características de la máquina.

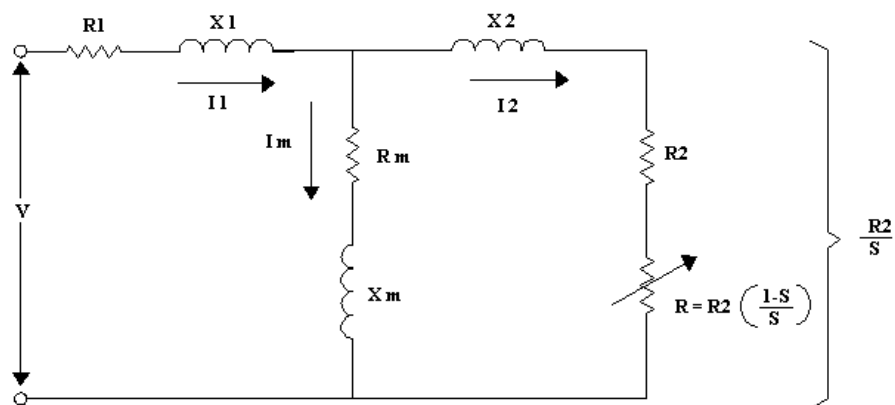


Figura 18. Circuito equivalente de un motor de inducción.

Donde:

R₁= Resistencia del devanado del motor.

X₁= Reactancia de dispersión del estator a frecuencia nominal.

X_m= Reactancia de magnetización.

R_2 = Resistencia efectiva del rotor.

X_2 = Reactancia de dispersión del rotor.

S = Desplazamiento.

I_1 = Corriente del estator.

I_2 = Corriente del rotor.

V = Voltaje aplicada por fase.

Las variaciones anteriores nos ayudan a determinar el par de arranque y una expresión de corriente de arranque. Partimos de la potencia mecánica del motor, la cual tiene las siguientes expresiones:

$$P = nI_2^2 \frac{1 - S}{S} R_2$$

La corriente en el rotor se expresa como:

$$I_2 = \frac{V \left(1 - \frac{X_1}{X_M}\right)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Ayudándonos de las expresiones anteriores y sabiendo que en momento de arranque el desplazamiento es 1, obtenemos la expresión para el par de arranque:

$$T_{\text{arraque}} = \frac{1}{W_s} n \frac{\left[V \left(1 - \frac{X_1}{X_M}\right)\right]^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} R_2$$

De donde:

n = Número de fases del estator

W_s = Velocidad angular sincrónica

De esta última ecuación podemos concluir que el torque de arranque está en función del cuadrado del voltaje aplicado en el estator, si relacionamos una tasa de variación para el par veremos:

$$\Delta T_{\text{arranque}} \cong T_{\text{arranque}} \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2$$

El par de arranque guarda una relación con la corriente de arranque y también se puede concluir que:

$$\Delta I_{\text{arranque}} \cong I_{\text{arranque}} \left(\frac{\Delta V}{V} \right)$$

⚡ Hornos de arco

Son máquinas que generalmente son utilizadas para realizar la fusión de chatarra de acero, aunque también son utilizados en la producción de aluminio y cobre; basan su funcionamiento en la transformación de la energía eléctrica en calor aplicado a la carga lo que provoca el incremento de su temperatura hasta niveles muy altos.

Este tipo de máquinas pueden funcionar tanto en corriente continua como en alterna, siendo estos últimos los más utilizados en las industrias productoras del acero. Básicamente están constituidos por cuatro elementos que son los siguientes: Una fuente de alimentación de alto voltaje, un transformador que reduce la tensión al nivel requerido por el horno, circuito eléctrico a partir del secundario del transformador, electrodos de grafito.

Los hornos de arco se caracterizan por ser las máquinas que mayor cantidad de fluctuaciones de voltaje (flicker) provocan en la red de suministro, esto se debe a las variaciones aleatorias de la longitud de arco producidas al momento de la fusión, que a su vez, desencadenan una variación sistemática de la potencia absorbida por el horno.

Las fluctuaciones producidas en estas máquinas generalmente pueden llegar hasta el 30 y 50% del valor nominal del voltaje; las mismas que a frecuencias muy bajas de repetición pueden causar críticos niveles de severidad de flicker.

Por otra parte durante la operación de los hornos de arco se producen gran cantidad de voltajes armónicos e interarmónicos, siendo estos últimos los que contribuyen en el

incremento de los niveles de severidad de flicker generados propiamente por la acción del arco.

⚡ Soldadoras eléctricas

Uno de los equipos que abundan en las fábricas y en las industrias, son las soldadoras eléctricas, el principio de funcionamiento de una soldadora es la producción del arco eléctrico con la ayuda del cortocircuito, se trata de unir dos electrodos, uno de los cuales contiene un material de relleno, hasta generar un arco eléctrico, cuya corriente pasa de un electrodo a otro a través del material a fundir.

Las soldadoras se constituyen básicamente de un transformador, una línea que proviene de la red, alimenta el primario del transformador, y el secundario termina en dos electrodos que son los que se unen para generar el arco eléctrico.

Podemos suponer el porqué las soldadoras eléctricas pueden causar la presencia de flicker; al instante que se produce la corriente de arco eléctrico, se genera una caída de voltaje que depende de la impedancia de la fuente, magnitud de la corriente y longitud de arco.

En un sector industrial, existe una gran cantidad de soldadoras eléctricas, sin embargo su impacto no es tan severo ya que el diseño de la red está configurado para alimentar fuertes cargas. Por lo tanto si tenemos la presencia de soldadoras en un sector residencial, tendríamos un impacto severo de las fluctuaciones de voltaje producidas por el arco eléctrico.

⚡ Reguladores de potencia con tiristores

Para huir de los inconvenientes del “comando por ángulo de fase” (armónicos y parásitos en alta frecuencia), los reguladores con tiristores (a veces llamados también “convertidores”) funcionan en “mando por etapas” cuando su carga lo permite.

Los tiristores de mando por etapas se encienden durante periodos enteros (regulación por tren de ondas enteras), pero los tiempos de conducción son muy breves, repetidos a frecuencias de algunos Hz. Por tanto son generadores de flicker. Por ejemplo, para evitar este fenómeno en el campo del calentamiento eléctrico, las normas imponen a los constructores unos sistemas de regulación tales que la potencia no se conmute más de una vez en 20 segundos.

⚡ Mal funcionamiento del sistema de iluminación

Una fluctuación del flujo luminoso puede ser también debida a un mal funcionamiento del sistema de iluminación, como es el caso de lámparas fluorescentes que incorporan un balastro. Las fluctuaciones luminosas en este tipo de lámparas pueden ser debidas principalmente a dos aspectos:

- Los tubos con balastro ferromagnético tradicional, además del parpadeo que se observa al final de su vida, pueden general flicker cuando están asociados a un regulador de voltaje.
- Los tubos con balastro electrónico son generalmente insensibles a las variaciones de su tensión de alimentación. Existen balastros que pueden utilizar reguladores con mando por ángulo de fase, en este caso se han observado parpadeos en presencia de armónicos o corrientes portadoras (detección del paso por cero de la tensión).

⚡ Flicker provocado por los subarmónicos y los interarmónicos

En ciertas condiciones la presencia de interarmónicos en la tensión de alimentación también es una fuente del flicker. En particular, las lámparas de incandescencia son sensibles a frecuencias comprendidas entre 20-80Hz, mientras que las lámparas fluorescentes lo son a frecuencias superiores a 100Hz. Las lámparas de balastro inductivo son más sensibles a este fenómeno que las que llevan balastro capacitivo. Este tema cobra vigencia pues estos efectos se superponen a las perturbaciones armónicas y se hacen mayores en la medida que crece la relación de consumo no lineal sobre la potencia de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

1.5.2.1.5. Efectos del flicker en la sensibilidad de las fuentes luminosas

Un aspecto que tiene incidencia sobre el nivel de molestia producido por el flicker es el tipo de lámpara que esté sometido a las fluctuaciones de tensión, debido a que cada una de ellas poseen diferentes características como son: la inercia térmica de las lámparas y el factor de ganancia, por lo cual responden de distinta manera a los cambios de tensión de alimentación.

La inercia térmica de las lámparas depende de la masa de los filamentos y de la intensidad del arco que se produzca y se define de la siguiente manera: Es la tendencia de un filamento o arco gaseoso a retener un nivel estacionario de iluminación durante cambios de tensión.

Por ejemplo las lámparas incandescentes poseen filamentos delgados y por ende pequeñas masas, lo cual se manifiesta en una baja inercia térmica y por tanto gran susceptibilidad de producir flicker al someterse a variaciones de tensión.

Las lámparas fluorescentes poseen una inercia térmica muy baja, pero que incrementa en su valor al aumentar la frecuencia de ocurrencia de las fluctuaciones de tensión, lo que ocasiona que este tipo de lámparas no tenga tanta sensibilidad de producir flicker como las de incandescencia.

Otra característica presente en las lámparas y que tiene incidencia sobre la producción de flicker es el factor de ganancia, el cual se define como: La relación entre la variación del flujo luminoso y la variación de la tensión de alimentación, el cual generalmente es > 1 .

Por tanto cuando este factor es alto se producirá una gran variación de flujo luminoso de la lámpara ante pequeñas fluctuaciones de voltaje, lo que provocará la presencia del efecto flicker. La siguiente tabla presenta las principales características de las distintas fuentes luminosas y sus comportamientos según la tensión.

Tabla 6. Principales características y comportamiento frente a las variaciones de tensión de 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	De 45 a 65	De 5 a 2000	De 18 a 180	De 35 a 1000	De 35 a 3500
Eficacia 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 2In	El flujo luminoso es inmediato. La sobreintensidad puede alcanzar 14 In	Hay una espera de entre 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 entre 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 In	Hay una espera entre 1 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 In
Comportamiento frente a fluctuaciones de la 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 sensibles 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 de plasma de la descarga luminosa	Ídem que la lámpara de vapor de sodio a baja presión	Ídem que la lámpara de vapor de sodio a baja presión

1.5.2.1.6. Soluciones para la reducción del flicker

⚡ 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. Existen tablas las cuales indican varios tipos de lámparas fluorescentes que tienen una sensibilidad a las variaciones de tensión 2 ó 3 veces menor que las lámparas de incandescencia. Así pues

se presentan como la mejor elección. Además, la investigación de los fabricantes para mejorar la eficacia luminosa y reducir las dimensiones de sus productos, ha llevado a la creación de balastos electrónicos, o alimentadores de alta frecuencia ($>20\text{Hz}$) de los tubos fluorescentes o lámparas fluo-compactas, mejora de eficacia de un 10%, y reducción del consumo de orden del 20%.

El comportamiento de las fuentes luminosas así realizadas, frente al fenómeno del parpadeo, también ha sido mejorado; sin embargo hay que notar que su factor de potencia esta cercano al 0,5, las corrientes armónicas que generan son muy importantes ($H3 = 30\% H1$) para adaptar el nivel de iluminación tienen que asociarse a reguladores especiales.

⚡ Inversor

En el caso en que la molestia debida a un flicker se limita a un grupo de usuarios bien identificado, se puede considerar mejorar el nivel de perturbaciones existentes en la línea de salida para la iluminación por medio de la instalación de un regulador de tensión o un inversor. La inversión en una instalación como ésta puede ser relativamente pequeña, pero esta solución es solo un remedio local.

⚡ Modificación del perturbador

El flicker puede atenuarse modificando el ciclo de funcionamiento de la carga perturbadora: Ritmo de soldadura, rapidez de rellenado del horno, además el arranque directo y frecuente del motor.

⚡ Inclusión de un volante de inercia

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

⚡ Conversor rotativo

Un grupo motor-generator reservado para la alimentación de la carga fluctuante es una solución válida si la potencia activa de ésta carga es relativamente constante, pero su precio es elevado.

⚡ Modificación de la red

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

- Distanciar, es decir aislar, la carga perturbadora de los circuitos de iluminación.
- Aumentar la potencia de cortocircuito de la red disminuyendo su impedancia (en el punto de acoplamiento común PAC).

Para poder aplicar los métodos antes mencionados son posibles diversos esquemas:

- Conexión de los circuitos de iluminación lo más cerca posible de la fuente de alimentación (transformador).
- Aumento de la potencia del transformador común (con U_{cc} constante).
- Disminución de la tensión de cortocircuito ($U_{cc}\%$) del transformador común (a potencia constante).
- Puesta en paralelo de transformadores suplementarios.
- En BT, aumento de la sección de los conductores.
- Conexión de la carga perturbadora a una red de tensión más elevada.
- Alimentación de la carga por un transformador independiente.

⚡ La capacidad-serie

La introducción de una capacidad en serie en la red (figura 19) aguas arriba del PAC de la carga perturbadora y de los circuitos sensibles al flicker, puede reducir a la mitad de las fluctuaciones de tensión. Esta solución presenta la ventaja de que asegura además una producción de energía, pero también existe el inconveniente de que hay que proteger los condensadores contra los cortocircuitos aguas abajo.

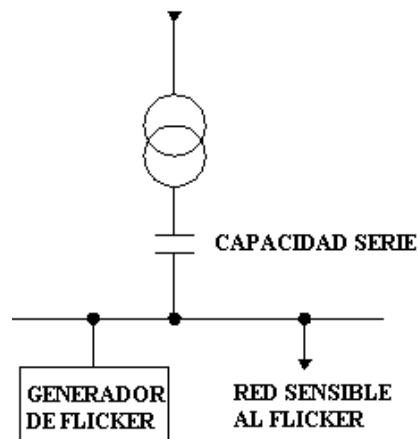


Figura 19. Introducción de una capacidad-serie en la red.

⚡ La reactancia en serie

Utilizada en combinación con hornos de arco, esta solución puede reducir en un 30% la tasa de flicker. La reactancia se inserta en serie con la alimentación de alta tensión (AT) del horno aguas abajo del PAC (figura 20). Puede incluirse en el transformador del horno. Con frecuencia porta un dispositivo de reglaje sin tensión 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 se reduce. La influencia de la reactancia sobre la emisión del flicker del horno puede estimarse por la modificación de la reactancia vista desde el PAC hacia el horno.

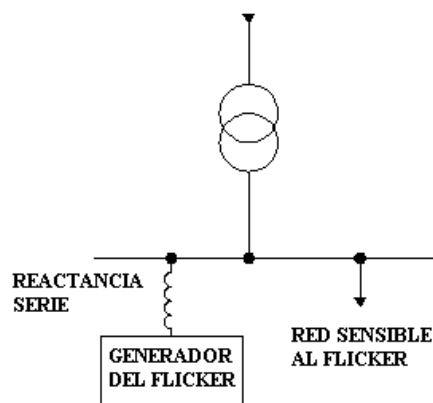


Figura 20. Introducción de una reactancia en serie aguas abajo del PAC.

▣ La reactancia shunt saturada

Esta reactancia conectada lo más cerca posible de la fuente del flicker (figura 21) puede reducir en un factor de 10 las fluctuaciones superiores a la tensión nominal; sin embargo es inoperante para las fluctuaciones inferiores puesto que la self no se satura, estas reactancias presentan inconvenientes: consumen reactivos, producen armónicos y su precio es elevado.

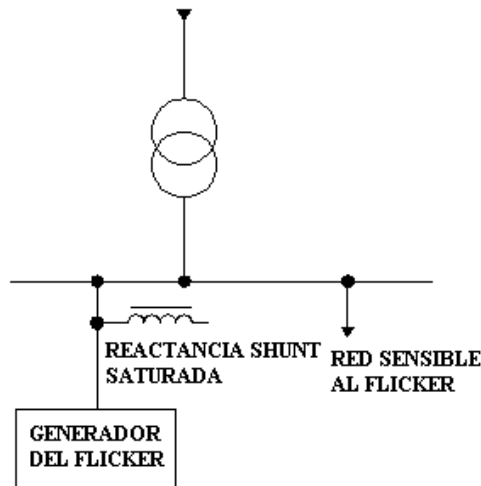


Figura 21. Conexión de una reactancia cerca de la carga perturbadora.

▣ La reactancia de desacoplamiento

Este procedimiento es muy eficaz, puesto que puede reducir las fluctuaciones en un factor de 10. Sin embargo, exige una configuración adecuada de la red: se inserta una impedancia en la alimentación de la carga perturbadora y en el circuito de alimentación aguas abajo de su punto de conexión (figura 22). La caída de tensión en bornes de este balastro se invierte, y por medio de un transformador, se añade a la tensión del circuito que no hay que perturbar. En la práctica, se trata de un auto-transformador especial. No hay atenuación del flicker aguas arriba del dispositivo.

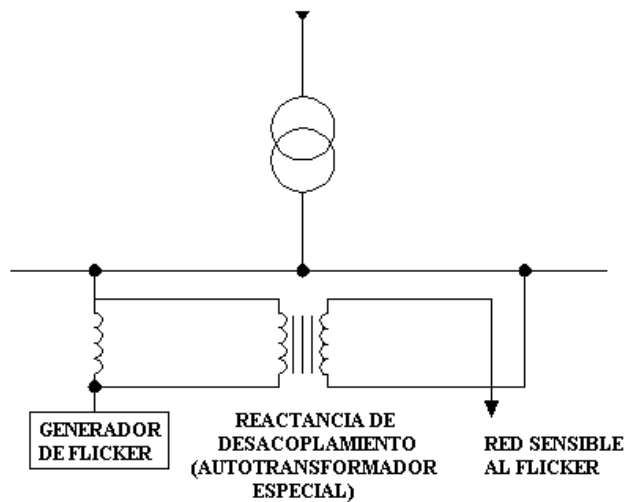


Figura 22. Introducción de una impedancia en la alimentación de la carga perturbadora y el circuito de alimentación aguas abajo de su punto de conexión.

⚡ El compensador síncrono

Esta solución lleva a una reducción de fluctuaciones del 2 al 10% y hasta un 30% con los sistemas modernos de control electrónico. El compensador se completa a veces con reactancias (lineales) de amortiguación instaladas sobre la alimentación (figura 23). Actualmente los compensadores síncronos se substituyen por compensadores estáticos, pero pueden resultar interesantes si ya están instalados y se les puede poner de nuevo en servicio.

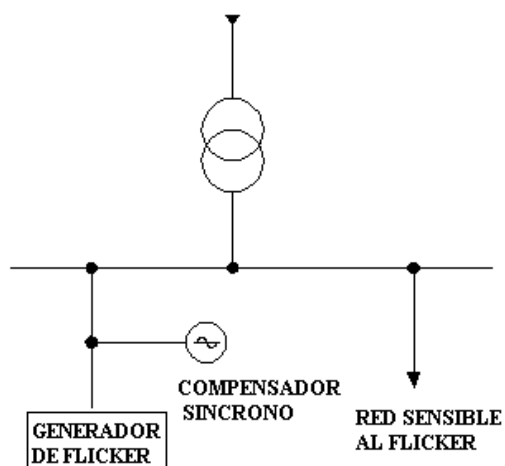


Figura 23. Instalación de un compensador síncrono cerca a la carga perturbadora.

▣ El compensador estático reactivo (SVC)

Sirve para compensar automáticamente la energía reactiva (figura 24). Su uso también permite reducir el flicker entre un 25% y un 50%. La siguiente fórmula da un valor estimado del coeficiente de reducción del flicker que se obtiene con un SVC:

$$R_{svc} = 1 + 0.75 \cdot \frac{S_{svc}}{S_f}$$

Donde:

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

S_{svc} = potencia del compensador (en VAr).

S_f = potencia del horno (en VA).

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.

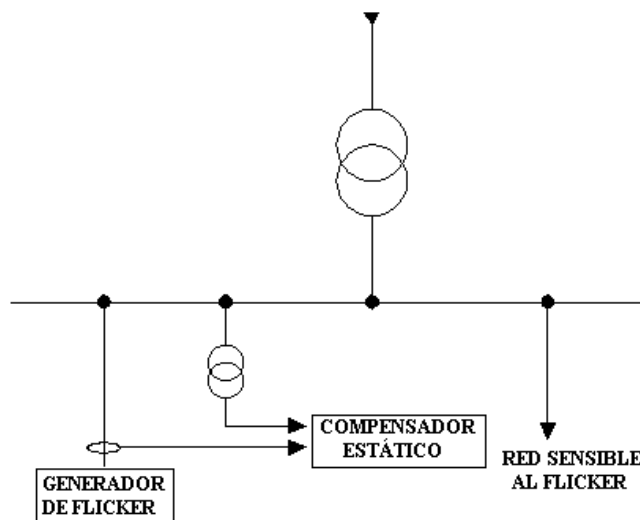


Figura 24. Esquema de instalación de un compensador estático.

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 generador de flicker, batería fija de condensadores e inductancias de compensación.

La siguiente tabla muestra en función de la carga que origina el flicker, las soluciones que se pueden aportar y su rentabilidad.

Tabla 7. Soluciones y rentabilidad en función de la carga que origina el flicker.

SOLUCIONES	CARGAS FLUCTUANTES							
	Arranque de motor		Motor con carga fluctuante		Horno de arco		Equipo de soldadura	
Modificación del perturbador	+	C	-		+	b	+	b
Volante de inercia	-		+	a	-		-	
Convertor rotativo	+	C	+	c	+	b	+	c
Modificación de la red	+	B	+	b	+	a	+	b
Capacidad serie	+	B	+	b	+	c	+	b
Reactancia serie	-		-		+	a	-	
Reactancia shunt saturada	-		-		+	c	+	c
Reactancia de desacoplamiento	+	C	+	c	+	c	+	b
Compensador síncrono	+	C	+	c	+	a	+	b
Compensador estático	+	B	+	b	+	a	+	b

-: técnicamente inadecuado

+: técnicamente posible

a: frecuentemente económico

b: quizás rentable

c: pocas veces rentable

Otros dispositivos utilizados para la reducción del flicker ya mencionados anteriormente en el tema de niveles de tensión, son:

⚡ Los UPS

Es un equipo o dispositivo capaz de suministrar potencia o energía frente a alguna interrupción de lo que sería el suministro normal de la misma.

Además puede agregar otras funciones que terminan mejorando el suministro de energía eléctrica a los equipos sofisticados o de alto riesgo eléctrico que tiene conectados a ella. Entre las cosas que agrega puede contarse un estabilizador de la energía eléctrica entrante, aislación de la fuente de energía eléctrica normal, filtrado de la energía entrante, corrección de la forma de onda, corrección de la frecuencia de línea, protección a periféricos de las CPU o incluso sus partes, como placas de red o modem's, monitoreo de la energía de línea, para optimizar la protección, etc. Puede darse que el agregado de funciones genere distintos tipos o topología de construcción de estos equipos.

▣ Estabilizadores de voltaje

- Estabilizadores electromecánicos
- Transformador ferro-resonante
- Estabilizadores de voltaje escalonados

1.5.2.2. Armónicos

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60Hz, con una tensión y corriente sinusoidal. En la práctica, sin embargo, las condiciones nunca son ideales, tanto así que estas formas de onda se encuentran frecuentemente muy deformadas. Esta diferencia con la perfecta senoide se expresa comúnmente desde el punto de vista de la distorsión armónica de las formas de onda del voltaje y de la corriente.

Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60Hz sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario. La forma de onda existente está compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental. El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es

múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en porciento de la fundamental.

La figura 25 ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos.

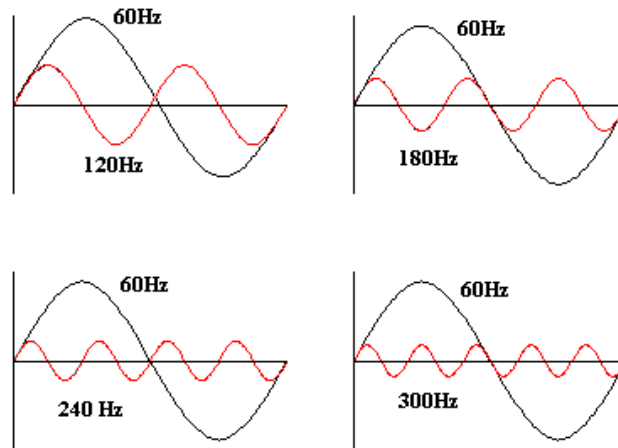


Figura 25. La onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).

La figura 26 muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden.

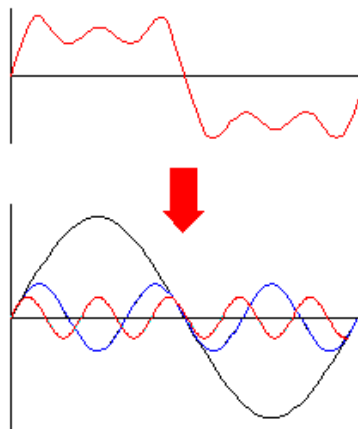


Figura 26. La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y menores armónicos de tercer y quinto orden.

Los armónicos son caracterizados frecuentemente por un factor de distorsión armónica (DF) definido como:

$$DF = \frac{\sqrt{\text{Suma de los cuadrados de las amplitudes armónicas}}}{\text{amplitud de la fundamental}}$$

El factor de distorsión puede usarse para caracterizar tanto la distorsión en las ondas de voltaje como de corriente. Los factores totales de distorsión armónica pueden especificarse para una gama de armónicos tal como el segundo a través del undécimo armónico. El factor de distorsión también puede ser obtenido para armónicos sencillos o de pequeña magnitud. La distorsión armónica total (THD) es el factor de distorsión que incluye a todos los armónicos relevantes (típicamente tomado como el segundo a través del quincuagésimo armónico)⁽⁶⁾.

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- **Su amplitud:** hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.
- **Su orden:** hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (60 Hz).

El orden del armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia fundamental (60 Hz).

$$n = \frac{f_n}{f_1}$$

Por principio, la fundamental f_1 tiene rango 1.

1.5.2.2.1. Armónicas de corriente y de tensión

▣ Armónicas de corriente

En la mayoría de los casos, las armónicas presentes en las redes eléctricas provienen del uso de cargas no lineales. Una carga es no lineal cuando, sometida a una tensión senoidal de determinada frecuencia, ella absorbe una corriente puramente senoidal a la misma frecuencia. Estas cargas se comportan aproximadamente como fuentes de corriente armónica, eso significa que la corriente armónica está fijada por la carga y no por la impedancia o la tensión de la red en que ellas se conectan. Por ejemplo si las corrientes armónicas son demasiado altas el transformador tiende a sobrecargarse.

Una carga pasiva es una carga que no reacciona frente a sistemas de conmutación rápida, permitiendo el recorte de la onda de frecuencia fundamental, al contrario de las cargas activas ya que estas siempre utilizan conmutadores electrónicos de potencia.

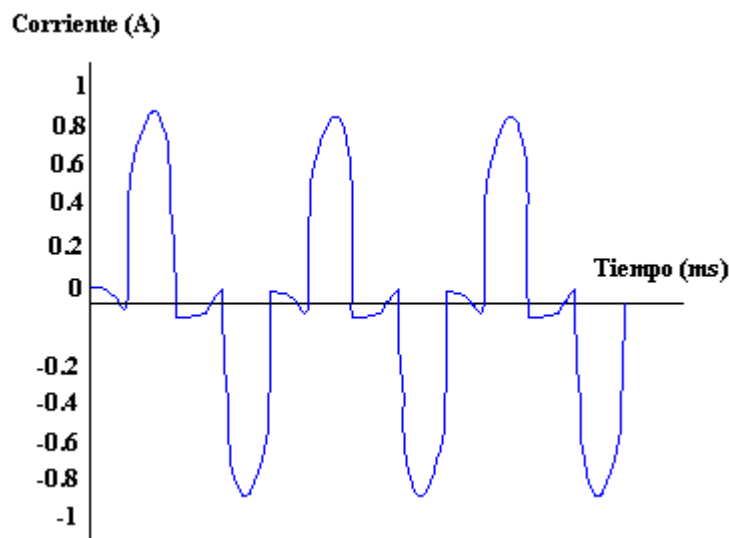


Figura 27. Forma de onda de corriente consumida por un microordenador.

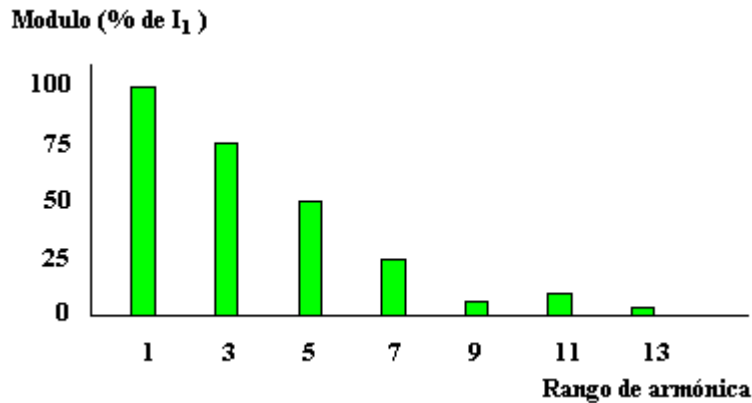


Figura 28. Descomposición espectral.

⚡ Armónicas de tensión

Se puede hablar de fuente de tensión como la descripción del estado de una red perturbada por una fuerte carga no lineal. En efecto, la conexión de un receptor de baja potencia no modifica el nivel preexistente de la red mientras que una fuerte carga, si.

Los principales inconvenientes de las armónicas de tensión son:

- La tensión de armónicas es demasiado grande (se puede afectar el control de ángulo de disparo).
- La tensión de armónicas es demasiado alta ya que la corriente está muy contaminada por armónicas generando una caída de tensión deformada.

La distorsión de tensión se debe a la caída con armónicas en una impedancia lineal, cuyo valor depende del valor de la impedancia y del nivel de distorsión de la corriente. La misma carga produce distintas distorsiones si se la instala en puntos distintos del sistema.

1.5.2.2.2. Aspectos teóricos del fenómeno de armónicas

Cualquier fenómeno periódico puede ser representado por una serie de Fourier. La descomposición en serie de Fourier que se apoya en el hecho que una señal periódica se puede representar por una suma de ondas senoidales, una onda a la frecuencia

fundamental y ondas de frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental, es decir, armónicas. Entonces, cualquiera sea la corriente inyectada, gracias a la linealidad de los componentes de una red, se puede examinar el efecto de una corriente senoidal inyectada en la red (corriente y tensión en cada elemento) y el efecto global se conseguirá superponiendo cada efecto elemental.

Esta descomposición, llamada armónica, es un artificio matemático muy cómodo, gracias a la descomposición en serie de Fourier, o descomposición armónica, el tratamiento de las ecuaciones algebraicas son del tipo:

$$v = R.i + j\omega L.i$$

de donde el parámetro temporal no aparece de una manera explícita, sustituyendo el término:

$$\omega = 2\pi f$$

pasando al dominio frecuencial.

El interés de la descomposición armónica es facilitar los cálculos de redes, porque se analiza el estudio a frecuencia fundamental de los relativos a las frecuencias armónicas. Se trata el problema global en tantos problemas lineales como rangos de armónicos.

$$U_1 = Z_1 \cdot I_1$$

$$U_h = Z_h \cdot I_h$$

Es necesario resaltar que la magnitud de los vectores U_h , Z_h , I_h , se describen por su amplitud y fase.

Gracias a esta descomposición, el análisis de impedancias para las corrientes armónicas, puede representarse bajo la forma, amplitud o fase, en función de la frecuencia. El conocimiento de los vectores de corriente y las impedancias de la red permiten determinar los vectores de tensión armónica en cada punto de la red.

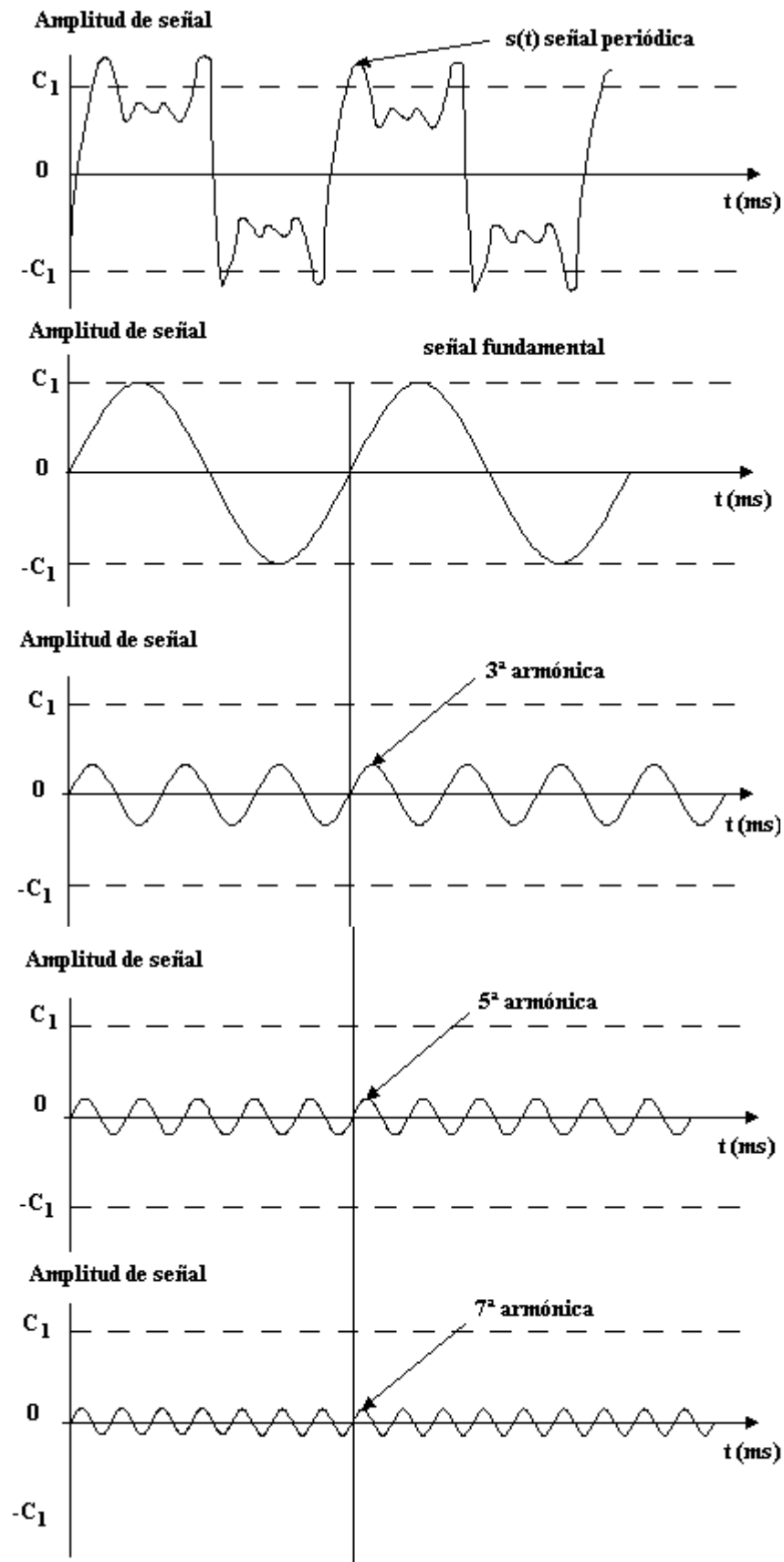


Figura 29. Descomposición en series de Fourier.

La señal (ST) de la figura 29, puede representar una corriente o una tensión. Ella es periódica, de período T, donde la frecuencia es $f = 1/T$ y la pulsación es $\omega = 2\pi f$. La señal (ST) se descompone en la siguiente forma:

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\omega n t) + b_n \sin(\omega n t))$$

Donde:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt$$

y para:

$$h \geq 1, a_h = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos(\omega h t) dt$$

y

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin(\omega h t) dt$$

ó igualmente:

$$s(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} C_h \sin(\omega h t + \theta_h)$$

Siendo:

$$\theta_h = \tan^{-1} \frac{a_h}{b_h}$$

Se definen las frecuencias armónicas f_h como las frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental f . El rango de h está dado por: $f_h = h.f$.

El término $a_h \cos(\omega h t) + b_h \sin(\omega h t)$ es la armónica de rango h .

El término $C_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2}$ es la amplitud de la armónica de rango h .

Es necesario notar que muy a menudo se usa el término amplitud para designar el valor armónico eficaz, siendo:

$$C_{h\text{ef}} = \frac{C_h}{\sqrt{2}}$$

- C_1 es la amplitud de la componente de la fundamental.
- El ángulo θ_h es la fase de la armónica de rango h .
- a_0 es la componente continua.

▣ Análisis de una señal

- **Valor eficaz y THD**

Un procedimiento utilizado para describir una señal, es la evaluación de su valor eficaz.

El valor eficaz de una señal $s(t)$ periódica de período T se da por:

$$S_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}$$

El valor eficaz de una señal deformada se considera que tiene en cuenta todas las componentes armónicas, interarmónicas y la componente continua.

Cuando una señal incluye las componentes armónicas, su valor eficaz es por consiguiente diferente del valor eficaz de la señal fundamental. Es entonces posible valorar aproximadamente la deformación de una señal en comparación con el valor eficaz de la componente fundamental y el valor eficaz de esa señal.

La medida más común para identificar la presencia de armónicas es el THD, distorsión armónica total, que indica el contenido armónico de una onda, pudiendo tratarse de tensión o corriente.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} C_h^2}}{C_1}$$

Donde:

C_h = Es el valor eficaz de la componente armónica h de la cantidad C .

THD = Es una medida del valor eficaz o sea el calentamiento producido por la armónica relativa a la fundamental.

⚡ Armónicas de régimen y transitorias

En general se puede decir que la armónica es de tipo permanente o de duración superior a unos pocos segundos. En cambio el transitorio es de duración menor, disipándose en pocos ciclos, a pesar de poseer un elevado contenido de armónicas. El fenómeno que se encuentra en la línea divisoria es el producido por la conexión de transformadores (inrush).

⚡ Armónicas triples

Son los múltiplos impares de la tercer armónica ($h= 3, 9, 15, 21, \text{etc.}$). Requieren tratamiento especial, siendo de gran importancia en los sistemas con el neutro puesto a tierra, ya que circulan por el neutro (las ondas de frecuencia fundamental se anulan al sumarse cuando son equilibradas), sobrecargándolo e introduciendo interferencias en los sistemas telefónicos. Frecuentemente aparecen tensiones de neutro con fuerte distorsión.

Las conexiones de los transformadores tienen un considerable impacto en el flujo de las armónicas triples. En el caso de estrella-triángulo, las triples se suman en el neutro y circulan por dentro del triángulo, por lo que al estar balanceadas se comportan como de secuencia cero. Si se tiene un transformador estrella-estrella las triples pasan del primario al secundario y el efecto que se tiene es sobrecalentamiento de las conexiones del neutro.

En caso de desequilibrio las triples de secuencia cero, pueden poseer componentes de secuencia positiva o negativa. El horno eléctrico es el mejor ejemplo de ello, ya que a pesar de poseer transformadores triángulo-triángulo aparecen componentes triples en la red, cuando está desbalanceado.

⚡ Componentes simétricas

El método de componentes simétricas es muy usado en los sistemas de potencia como herramienta de cálculo, pudiendo extenderse al caso de la respuesta frente a armónicas

de corriente. Las corrientes armónicas en sistemas balanceados pueden ser de secuencia positiva, negativa o nula como se observa en la tabla 8.

Tabla 8. *Secuencia armónica.*

Número de armónica	Secuencia	Número de armónica	Secuencia
1	Positiva	13	Positiva
3	Cero	15	Cero
5	Negativa	17	Negativa
7	Positiva	19	Positiva
9	Cero	21	Cero
11	Negativa	23	Negativa

Las corrientes armónicas de secuencia positiva se representan por fasores que rotan con la secuencia A-B-C, las de secuencia negativa poseen secuencia A-C-B, en cambio las triple o de secuencia cero se encuentran en fase.

Los sistemas de distribución trifásica de tres conductores bajo estado estacionario no experimentan corrientes armónicas de secuencia cero, no existiendo camino monofásico para su circulación, como sería la existencia de un neutro.

1.5.2.2.3. Principales productores de armónicas

⚡ Dispositivos saturables

Comprenden aquellos equipos con saturación magnética tales como transformadores y reactores. Las armónicas se generan debido a la característica no lineal de la magnetización del hierro. Al tener en cuenta la histéresis, la onda de corriente deja de ser simétrica, como puede observarse en la figura 30.

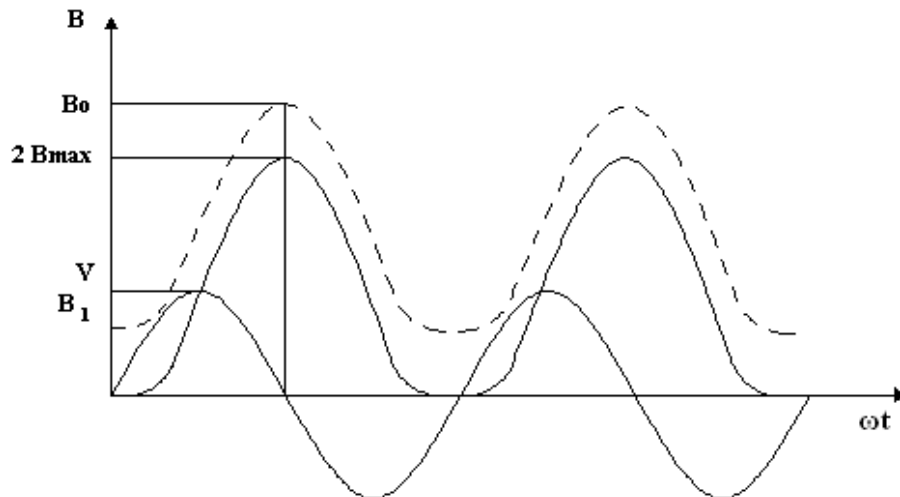


Figura 30. Histéresis de una onda de corriente.

En la figura 31, puede observarse el efecto del nivel de tensión sobre las amplitudes de las armónicas, cuyo caso se presenta en los convertidores. Debido a razones de penalización en los precios por las pérdidas en el hierro, los transformadores se fabrican con curvas características elevadas, lo que produce contenidos de armónicas bajos, siendo solo rica en armónicas de corriente de vacío, cuyo porcentaje respecto al total es de menos del 3% (en contraste con los circuitos de electrónica de potencia que alcanza al 20%). Su efecto se pone de manifiesto principalmente durante las horas de baja carga.

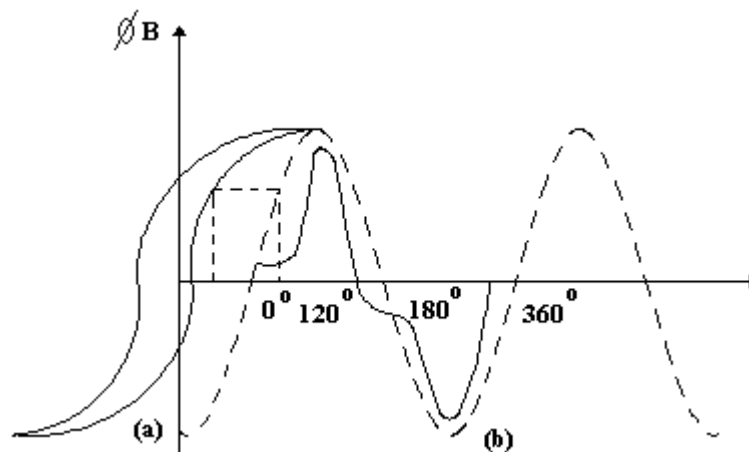


Figura 31. Efecto del nivel de tensión sobre las amplitudes de las armónicas.

Los motores, en general, no introducen armónicas importantes, salvo el caso de algunos motores monofásicos de potencia fraccionaria que presentan corrientes con ondas triangulares.

La tabla 9, muestra las armónicas típicas producidas por un motor de rotor bobinado, dando las posibles causas:

Tabla 9. Armónicas producidas por motores de rotor bobinado.

Frecuencia en Hz	Corriente en % de la fundamental	Causa
20	3	Desbalance de polos
40	2,4	Desbalance de las fases rotóricas
60	100	Fundamental
80	2,3	Desbalance de polos
220	2,9	Armónica 5 ^a y 7 ^a
320	3	Armónica 5 ^a y 7 ^a
490	0,3	Armónica 11 ^a y 13 ^a
590	0,4	Armónica 11 ^a y 13 ^a

⚡ Dispositivos de arco

La característica tensión-corriente de un arco eléctrico es típicamente no lineal. Luego de la ignición del arco, la tensión disminuye así como la corriente se incrementa quedando solo limitada por la impedancia de la fuente y por la tensión de arco. El arco se presenta como una resistencia negativa. La tensión sobre el arco posee una forma trapezoidal, cuya magnitud es función del tipo y longitud del arco, por lo que es sumamente estable y de fácil caracterización.

- **Hornos de arco**

El contenido de armónicas es algo similar al de cualquier otra carga de arco, siendo mucho más impredecible. El principal problema es la imposibilidad de lograr un balance de fases, especialmente durante las etapas de fusión (el clavado del electrodo en la chatarra recién volcada en el horno produce grandes variaciones) siendo más probable lograr el balance en el periodo de “afino”.

La corriente generalmente no es periódica, con un espectro continuo de armónicas e interarmónicas, siendo predominantes las armónicas (múltiplos enteros) comprendidas entre la segunda y la séptima.

Durante el afino las corrientes son más simétricas y cíclicas, por lo cual existe una considerable reducción de las armónicas pares y las interarmónicas.

- **Lámparas de arco**

Para aplicaciones con lámparas de arco hace falta el agregado de un elemento que limite la circulación de corriente dentro de la capacidad de las mismas y que estabilice el arco, tal como el balastro. Originalmente fueron magnéticos, siendo en la actualidad reemplazados por electrónicos. Los balastros magnéticos no son normalmente productores de armónicas, pero los electrónicos del tipo de fuente conmutada pueden introducir dos o tres veces más armónicas que los magnéticos.

Existen diseños especiales para controlar la contaminación introduciendo menores distorsiones. En general, el nivel de los contenidos de armónicas de los balastros electrónicos va del 8 al 35 %.

⚡ Electrónica de potencia

Las cargas que emplean convertidores electrónicos de potencia constituyen en la actualidad la mayor clase de cargas no lineales en los sistemas de potencia. Los desarrollos de nuevos semiconductores han producido una revolución durante las últimas décadas, con tendencia creciente. Los equipos contaminantes más importantes son: fuentes conmutadas, accionamientos para motores de corriente continua y corriente alterna, cargadores de baterías, balastros electrónicos, etc.

- **Fuentes conmutadas**

La antigua fuente típica empleaba un transformador para adecuar la tensión de alterna a las necesidades del equipo, con la ventaja de una atenuación de las armónicas debido a la inductancia del transformador. La tecnología moderna emplea la conversión de corriente alterna a continua con una considerable reducción de costos y peso de equipos, eliminando el transformador. Se emplean diodos para cargar un capacitor efectuando luego una transformación a corriente alterna de alta frecuencia y rectificando nuevamente al valor requerido.

Al no tener inductancia de entrada (previamente suministrada por el transformador) la corriente de alimentación ingresa en pulsos muy cortos a medida que el capacitor recupera su carga en cada semiciclo.

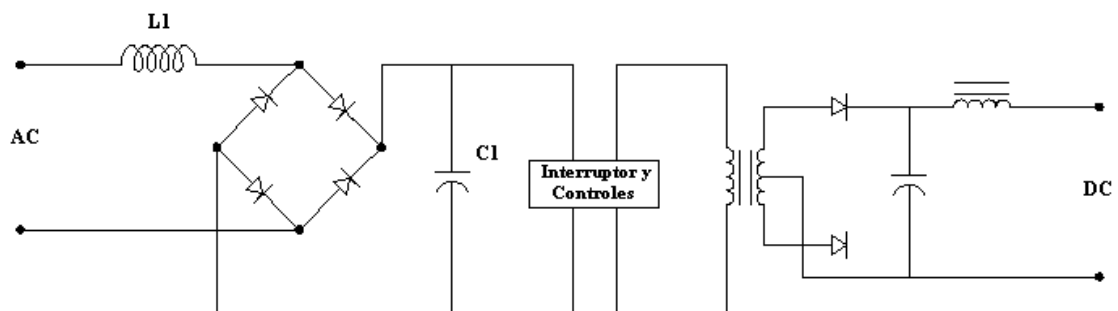


Figura 32. Fuente de poder conmutada.

La característica destacable de la corriente de este tipo de fuente es la elevada componente de tercera armónica, la cual circula por el neutro creando problemas de sobrecarga en el mismo (sobre todo en las instalaciones viejas donde el neutro poseía sección conductora del orden del 50 % de los conductores de fase), como también problemas de sobrecalentamiento de los transformadores.

En los últimos años se ha incrementado la utilización de equipos de oficina y comerciales con este tipo de fuente monofásica que produce una carga desigual para el circuito eléctrico.

- **Convertidores trifásicos**

La principal ventaja de estos convertidores frente a los monofásicos es que no generan tercera armónica pero producen una considerable distorsión, siendo equivalentes al conjunto de tres fuentes conmutadas monofásicas. El principal inconveniente es su utilización a potencias de motores del orden de los 500 HP y aún mayores. La evaluación de los armónicos individuales se la realiza:

$$h = p \cdot k \pm 1$$

con p igual al número de pulsos del convertidor y k un número entero.

Las armónicas suelen decrecer con una ley del tipo:

$$I_n = \frac{I_1}{h}$$

▣ **Procesos de calentamiento**

Los procesos de inducción, tales como endurecimiento, forjado y soldadura eléctrica son procesos limpios, rápidos y eficientes, pero son una importante fuente de armónicas. Usan rectificador de seis pulsos con SCR por lo que el factor de potencia es bastante pobre. La carga, además, presenta fuertes variaciones (similar al horno de arco) ya que está fijada por la velocidad de flujo del material.

▣ **Cargadores de baterías (para automóviles eléctricos)**

En estos casos la forma de onda de la corriente tomada de la red depende del estado de carga de la batería y de los grupos de baterías que se conectan simultáneamente resultando importante la hora y condiciones climáticas.

■ Cargas trifásicas

Los controladores de velocidad variable, las unidades de UPS y, en general los convertidores de corriente continua se basan normalmente en la utilización del puente trifásico, también conocido como puente de seis pulsos por que presenta seis pulsos por ciclo (uno por cada medio ciclo de cada fase) en la salida de corriente continua.

El puente trifásico produce armónicos a $6n \pm 1$, es decir, a uno más o a uno menos de cada múltiplo de seis. En teoría la amplitud, de cada armónico es la inversa del número del armónico, así habría un quinto armónico con una amplitud del 20% y un 11 armónico con una amplitud del 9%.

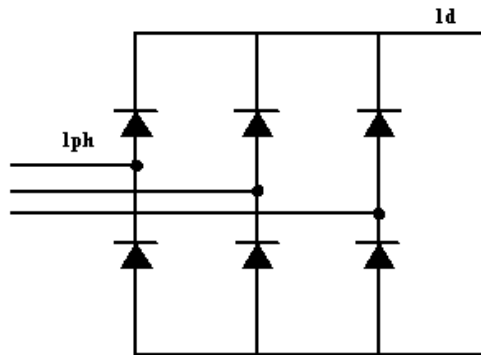


Figura 33. Puente trifásico de seis pulsos.

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo del espectro típico.

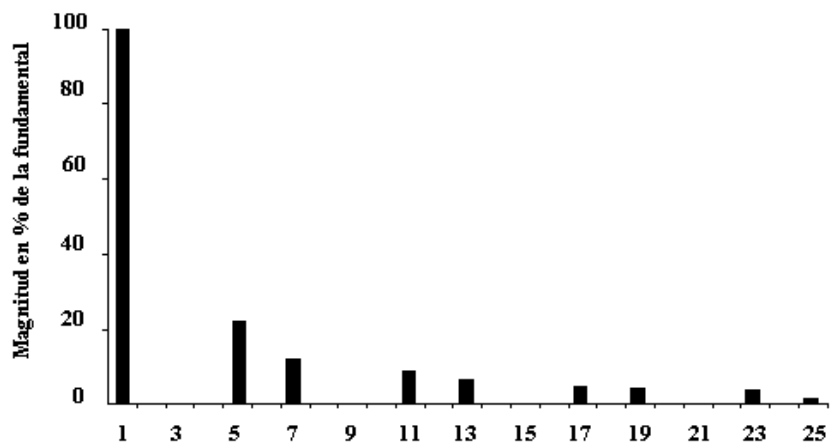


Figura 34. Espectro armónico de un puente de seis pulsos.

La amplitud de los armónicos se reduce significativamente mediante la utilización de un puente de doce pulsos. En realidad se trata de dos puentes de seis pulsos, alimentados a partir de un transformador bobinado en estrella y triángulo, lo que produce un desplazamiento de fase de 30° entre ambos.

De esta forma se suprimen teóricamente los armónicos múltiplos de seis pero, en la práctica, el grado de reducción depende del acoplamiento de los convertidores y normalmente será un factor entre 20 y 50. Los armónicos múltiplos de doce permanecen sin cambio, no solo se reduce la corriente armónica total, sino que, además los armónicos que quedan son de un orden superior, lo cual hace más sencillo el diseño del filtro.

Generalmente el fabricante del equipo habrá adoptado algunas medidas para reducir las magnitudes de las corrientes armónicas, quizás mediante la adición de un filtro o inductores en serie. Un incremento del número de pulsos hasta 24, que se obtiene utilizando dos unidades de doce pulsos en paralelo, con un desplazamiento de fase de 15° , reduce la corriente armónica total hasta un 4,5% aproximadamente.

1.5.2.2.4. Efectos de la distorsión armónica en equipos

1.5.2.2.4.1. Problemas causados por las corrientes armónicas

■ Sobrecalentamiento de los conductores neutros

En un sistema trifásico, la forma de onda de tensión de cada fase, entre fase y neutro está desfasada 120° , de forma que, cuando cada una de las fases tiene la misma carga, la corriente combinada en el neutro es cero. Cuando las cargas no están equilibradas, por el neutro solo circulará la corriente neta correspondiente al desequilibrio de las cargas. En el pasado, los instaladores colocaban conductores neutros de sección mitad que la de conductores de fase. Sin embargo, aunque las corrientes fundamentales se anulan entre sí, no ocurre así con las corrientes armónicas. De hecho, aquellas que son un múltiplo

impar del triple de la fundamental, los denominados armónicos “triple-N”, se suman en el conductor neutro.

⚡ Efecto sobre los transformadores

Los transformadores se ven afectados por los armónicos de dos maneras: En primer lugar, las pérdidas por corrientes parásitas que normalmente representan un 10% aproximadamente de las pérdidas a plena carga, aumentan con el cuadrado del número del orden armónico. En la práctica, en el caso de un transformador trabajando a plena carga alimentando equipos informáticos, las pérdidas totales serían el doble que en caso de una carga lineal equivalente. Esto origina una temperatura de funcionamiento mucho más elevada, y en consecuencia, una vida útil del equipo más corta. De hecho, en estas circunstancias, la vida útil del transformador se reduciría aproximadamente desde unos 40 años a algo así como 40 días. Afortunadamente son pocos los transformadores que trabajan a plena carga, por este efecto debe tenerse en cuenta al seleccionar el equipamiento de una instalación.

El segundo efecto está relacionado con los armónicos triple-N. Cuando estos reflejan en un bobinado en triángulo lo están todos en fase, así que las corrientes armónicas triple-N circulan por este bobinado. Los armónicos triple-N son absorbidos eficazmente en el bobinado y no se propagan aguas arriba a la línea de suministro, de modo que los transformadores con bobinado en triángulo son útiles como transformadores de aislamiento. Sin embargo, los armónicos que no son triple-N sí pasan el transformador. Deberá tenerse en cuenta la corriente de estos armónicos que circulan por el transformador a la hora de dimensionarlo.

⚡ Disparos intempestivos de los interruptores automáticos

Los interruptores automáticos de corriente diferencial residual (ID) funcionan sumando la corriente presente en los conductores de fase y neutro, y si el resultado no está dentro del límite especificado, desconectan la energía de la carga. La desconexión anormal puede producirse en presencia de armónicos por dos razones. En primer lugar, como el ID es un dispositivo electromecánico, puede ocurrir que no sume correctamente los

componentes de frecuencia más elevada y por lo tanto provoque una desconexión errónea. En segundo lugar, los equipos que generan armónicos, también generan ruido de conmutación que debe filtrarse en el punto de conexión de energía al equipo. Los filtros utilizados normalmente para este propósito disponen de un condensador entre la línea y el neutro a tierra, por lo cual se derivan pequeñas corrientes de fuga a tierra.

⚡ Sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia

Los condensadores de corrección del factor de potencia (CFP) se utilizan para obtener una corriente con un adelanto de fase para compensar las corrientes con la fase retrasada producida por una carga inductiva, como podría ser un motor de inducción. En la siguiente figura, muestra el circuito equivalente de un condensador de corrección del factor de potencia con una carga no lineal.

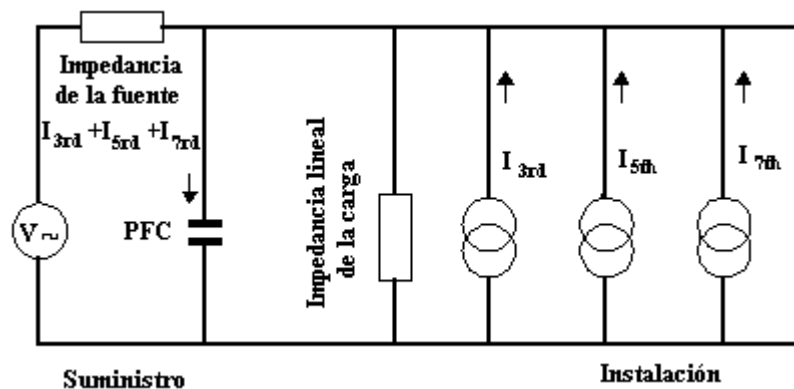


Figura 35. Circuito equivalente de una carga no lineal con un condensador para la corrección del factor de potencia.

La impedancia del condensador CFP disminuye al aumentar la frecuencia, mientras que la impedancia de las fuentes normalmente inductiva aumenta con la frecuencia. Por lo tanto, es probable que el condensador deje pasar fuertes intensidades de armónicos de orden superior, y a menos que haya sido diseñado específicamente para ello, puedan producirse daños.

Un problema aun más grave es que el condensador y la inductancia parásita del sistema de alimentación puedan entrar en resonancia a una de las frecuencias armónicas, o a una

frecuencia próxima, lo que como es de suponer se presente en intervalos de 100Hz. Cuando esto sucede se puede llegar a generar tensiones y corrientes muy grandes, que a menudo provocan averías catastróficas en la batería de condensadores.

La resonancia puede evitarse añadiendo una inductancia en serie con el condensador, de forma que la combinación sea solo inductiva, a la frecuencia del armónico significativo más bajo. Esta solución también limita la corriente armónica que puede circular a través del condensador. El tamaño físico del inductor puede suponer un problema, especialmente cuando se presentan armónicos de orden inferior.

⚡ Efecto superficial

La corriente alterna tiende a circular por la superficie exterior de los conductores. Esto se conoce como efecto especial piel o superficial y es más pronunciado a frecuencias altas. Normalmente se ignora el efecto superficial por que tiene un efecto muy reducido a las frecuencias fundamentales de la fuente de alimentación, pero cuando la frecuencia está por los 350Hz, es decir, en valores correspondientes al séptimo armónico y superiores, el efecto superficial, puede alcanzar valores importantes, produciendo pérdidas y calentamientos adicionales. Cuando estén presentes corrientes armónicas, los proyectistas deben tener en cuenta el efecto superficial y aplicar el adecuado dimensionado de los cables.

Para contribuir a resolver este problema puede utilizarse cables de almas constituidas por múltiples hilos o barras colectoras laminadas. También debe tenerse en cuenta que el montaje de sistemas de barras debe diseñarse de forma tal que se evite la resonancia mecánica a las frecuencias armónicas.

⚡ Efecto en cables

Debido a la presencia de armónicas en la corriente de carga, los cables sufren sobrecalentamientos por desigual distribución de corrientes debido a los efectos pelicular y proximidad que son función de la frecuencia. Debido a ello se produce una diferencia entre los valores de resistencia en corriente alterna y corriente continua.

La figura 36, muestra a modo de ejemplo la forma de las curvas de reducción de capacidad de carga como función del contenido de armónicas donde el efecto es mayor a medida que aumenta la sección del conductor. Como puede verse, para condiciones usuales de trabajo no se requiere una modificación notable, no obstante el tema debe ser incluido en los estudios con corrientes ricas en armónicas.

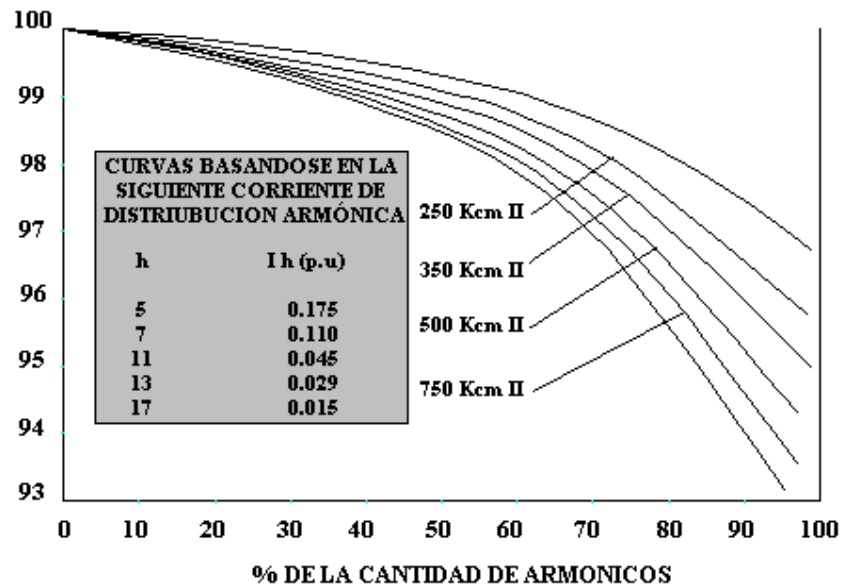


Figura 36. Curvas de corrientes de distribución armónica.

⚡ Impacto en las protecciones y equipos de maniobra

Sobre los equipos de protección y maniobra (interruptores, seccionadores, fusibles, etc.) se produce un calentamiento adicional sobre cualquier conductor de corriente con contaminación por armónicas. Un caso que justifica un tratamiento exclusivo es el de los fusibles, ya que su principio de funcionamiento se basa en el calor generado por la corriente que lo atraviesa.

En lo que respecta a relés de disco pueden presentar cuplas y sobrealcances ó subalcances dependiendo de las armónicas en consideración. Los relés electromecánicos y analógicos clásicos responden a valores eficaces, en cambio los microprocesados lo hacen a la fundamental. Estos últimos emplean filtros digitales a fin de atraer la fundamental y filtros anti-aislantes para dejar de lado las armónicas elevadas.

Los relés de valor eficaz, de pico y de fundamental, operan satisfactoriamente siempre y cuando el contenido de armónicas no supere al 15 o 25 %. Los equipos de medición de corriente y tensión pueden ser afectados por las modificaciones del ángulo de fase causado por la presencia de armónicas. Resulta muy difícil enunciar reglas generales pudiendo decir que la mejor respuesta se logra a través del ensayo exhaustivo.

1.5.2.2.4.2. Problemas producidos por armónicos de tensión

Debido a que la fuente de suministro de energía presenta una determinada impedancia, las corrientes armónicas de la carga dan lugar a una distorsión armónica de la forma de la onda de tensión (este es el origen de las zonas planas de la onda). Esta impedancia consta de dos elementos: el que procede de la instalación interior, desde el punto de acoplamiento común (PCC), y el correspondiente de la fuente de suministro hasta el PCC. Por ejemplo, el transformador de alimentación local, en la figura 37, se muestra el primero de ellos.

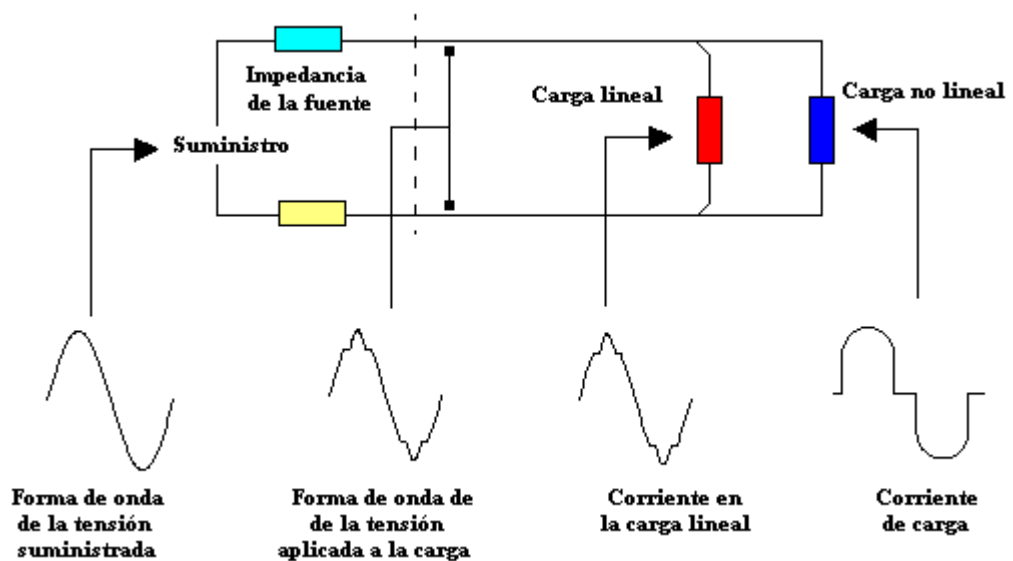


Figura 37. Distorsión de la onda de tensión causada por una carga no lineal.

La corriente de carga distorsionada, producida por una carga no lineal, provoca una caída de tensión distorsionada en la impedancia del cable. La forma de onda de tensión distorsionada resultante, se aplica a todas las demás cargas conectadas al mismo

circuito, haciendo que por ellas circulen corrientes armónicas incluso si se trata de cargas lineales.

La solución consiste en separar los circuitos que alimentan a las cargas generadoras de armónicos de los que alimentan a las cargas que son sensibles a los armónicos como se muestra en la figura 38, en este caso, circuitos separados alimentan a las cargas lineales y las no lineales a partir del punto de acoplamiento común, de tal forma que la distorsión de tensión causada por las cargas no lineales no afecta a las cargas lineales.

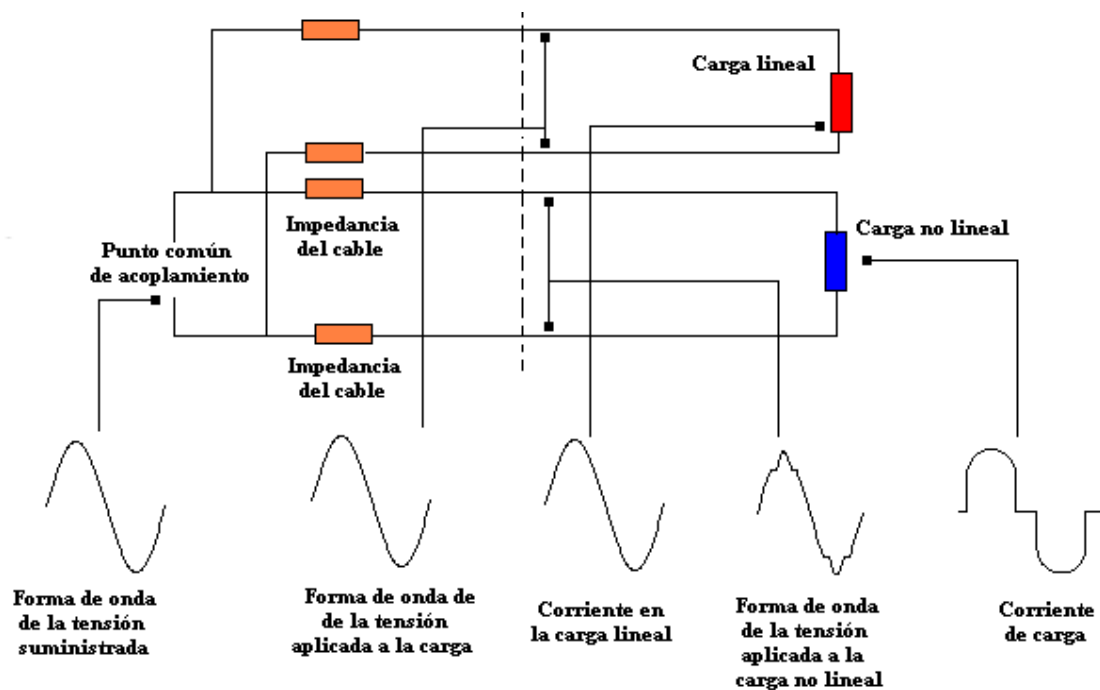


Figura 38. Separación de las cargas lineales de las no lineales.

Cuando se considere la magnitud de la distorsión armónica de tensión debe recordarse que cuando la carga se transfiere a un UPS o a un generador de emergencia durante un corte de energía, la impedancia de la fuente y la distorsión de tensión resultante serán mucho mayores. Al instalar transformadores locales, se seleccionarán de tal forma que presenten una impedancia de salida lo suficientemente baja y una capacidad suficiente para soportar el calentamiento adicional, en otras palabras, se seleccionará un transformador adecuadamente sobredimensionado. Téngase en cuenta que no es conveniente elegir un tipo de transformador en el que el aumento de capacidad se consiga simplemente mediante un enfriamiento forzado. Una unidad de este tipo

funcionará con temperaturas interiores más elevadas por lo que presentará una vida útil más reducida. El enfriamiento forzado deberá reservarse solo para casos de emergencia y nunca para funcionamiento normal.

⚡ Motores de inducción

La distorsión armónica de tensión provoca un aumento de las pérdidas por corrientes parásitas en los motores lo mismo que en los transformadores. Pero además, aparecen unas pérdidas adicionales debidas a la generación de unos campos magnéticos armónicos en el estator, cada uno de los cuales intenta hacer girar el motor a una velocidad diferente tanto en un sentido como en otro, según se trate de armónicos de secuencia positiva o negativa. Las corrientes de alta frecuencia inducidas en el rotor incrementan estas pérdidas todavía más. Donde se presente esta distorsión armónica de tensión, se deberá reconsiderar el dimensionado de los motores para tener en cuenta estas pérdidas adicionales.

⚡ Ruido del paso por cero

Muchos controladores electrónicos detectan el punto en el cual la tensión de alimentación cruza la línea de cero voltios para determinar cuando deben activarse las cargas. Este procedimiento se emplea porque la conmutación de las cargas inductivas a una tensión cero no genera perturbaciones transitorias, reduciendo así las interferencias electromagnéticas y las sobrecargas de los dispositivos de conmutación semiconductores. Cuando en la fuente de alimentación estén presentes armónicos o perturbaciones transitorias, el ritmo de variación de la tensión por el punto de paso por cero se hace más rápido y más difícil de identificar, provocando un funcionamiento errático. De hecho, hay varios puntos de paso por cero en cada semiciclo.

⚡ Problemas de los armónicos que afectan a la fuente de alimentación

Cuando una corriente armónica se genera en la fuente de alimentación, da lugar a una caída de tensión proporcional a la impedancia de la fuente y la corriente en el punto de acoplamiento común (PCC). Como la red de suministro generalmente es inductiva, la

impedancia de la fuente es mayor a frecuencias elevadas. Por supuesto la tensión en el PCC ya viene distorsionada por las corrientes armónicas generadas por otros consumidores y por la distorsión propia de los transformadores. A esta distorsión se añade la contribución adicional de cada consumidor.

⚡ Impacto en los medidores de energía

De los estudios efectuados sobre el particular no se pueden sacar conclusiones generales ya que dependiendo de las características constructivas del medidor y de la armónica involucrada podemos tener efectos de incremento ó reducción de la lectura. Lo que si puede afirmarse es que se necesita distorsión armónica mayor al 20% para que comiencen a detectarse diferencias. Algunos autores indican que el medidor de inducción castiga al usuario contaminante ya que registra valores mayores, por lo que es de interés del usuario la corrección del problema.

⚡ Interferencia telefónica

El ruido en las comunicaciones telefónicas degrada la calidad de la transmisión, pudiendo interferir con la señalización. Niveles bajos de ruido son molestos, niveles medianos pueden originar pérdida de información mientras que niveles altos pueden imposibilitar la comunicación.

Como resumen sobre las consecuencias de una exposición a armónicas a largo tiempo sobre los equipos e instalaciones en general, lo podemos expresar mediante las siguientes tablas.

Tabla 10. Consecuencias a una exposición de armónicos por largo tiempo.

Tasa de distorsión armónica en tensión	Consecuencia de la exposición
$THD \leq 5\%$	No existen problemas en la mayoría de los casos
$5\% < THD \leq 7\%$	Problemas en equipamientos sensibles
$7\% < THD \leq 10\%$	Problemas en aparatos de concepción robusta
$10\% < THD$	Los efectos a largo plazo son inevitables

Tabla 11. Consecuencias a una exposición de armónicos en algunos materiales.

Materiales	Tipo de sensibilidad : V_h ó I_h	Tipo de problema debido a la armónica	Umbral limite anterior al incidente provocado por la armónica
Líneas	I_h	Partes óhmicas suplementarias. Inducción de corrientes en líneas vecinas.	
Cables	V_h y I_h	Partes dieléctricas límites al factor de cresta de la tensión. Partes óhmicas suplementarias sobre todo en el cable de neutro en presencia de armónicas homopolares (sobre todo h3)	THD = 10%, $\frac{V_h}{V_1=70}$
Transformadores	I_h	Partes óhmicas suplementarias. Partes ferromagnéticas suplementarias por corrientes de Foucault. Vibraciones mecánicas.	
Motores asincrónicos	V_h	Partes suplementarias en los arrollamientos proporcionales a $\frac{U_h^2}{h^2}$. Limitación en la perfomance de la potencia.	
Máquinas sincrónicas	V_h y I_h	Partes suplementarias (pérdidas por Joule en el cobre) en los arrollamientos estatóricos se presentan corrientes armónicas para los alternadores, y de tensión para los motores sincrónicos.	Distorsión en tensión = 10% (pequeñas máquinas) y 5% en grandes máquinas
Capacitores de potencia	V_h ó I_h	Partes dieléctricas suplementarias se traducen en reducción de la vida útil.	$\frac{V_h}{V_1} = \frac{83}{h\%}$
		Partes proporcionales a $\frac{U_h^2}{h^2}$	
Electrónica industrial	V_h	Disturbios funcionales debidos a la distorsión de la tensión	$\frac{V_h}{V_1} = 10\%$
Variadores	V_h	Disturbios intempestivos de sistemas de protección	THD = 8%
Relés de protección	V_h ó I_h	Disparos intempestivos en presencia de la 3ª armónica. Pérdida de sensibilidad de los relés diferenciales por efecto de saturación.	$\frac{V_h}{V_1} = 6 \text{ a } 12\%$
Iluminación	V_h	Lámparas de descarga: presencia de flicker con armónica 2ª	$\frac{V_2}{V_1} = 3\%$
		Variación del factor de cresta de la tensión.	$\frac{V_h}{V_1} = 10\%$

1.5.2.2.5. Control de armónicos

⚡ Reducir las corrientes armónicas de las cargas perturbadoras

A parte de la solución evidente que consiste en escoger materiales no perturbadores, es posible limitar las corrientes armónicas de ciertos convertidores intercalando entre el punto de conexión y su entrada una inductancia, llamada de alisado. Esta disposición se utiliza sobre todo en rectificadores con condensador a la entrada; esta inductancia puede estar entre las opciones propuestas por el fabricante. Esta solución disminuye la tasa global de distorsión en voltaje aguas arriba de la inductancia, pero la aumenta en los bornes de la carga no lineal.

⚡ Disminuir la impedancia armónica de la fuente

En la práctica consiste en conectar el elemento perturbador directamente a un transformador de la mayor potencia posible, o en escoger un generador con baja impedancia armónica. Es preferible, desde el lado de la fuente, utilizar varios cables en paralelo, de sección menor, que uno solo. Si estos conductores son suficientemente largos, la inductancia aparente se divide por el número de cables en paralelo.

⚡ Actuar en la estructura de la instalación

Hay que evitar conectar un receptor sensible en paralelo con cargas no-lineales o perturbadoras (ver figura 39). Cuando se tiene un equipo de gran potencia fuertemente perturbador, es aconsejable alimentarlo directamente desde un transformador MT/BT independiente.

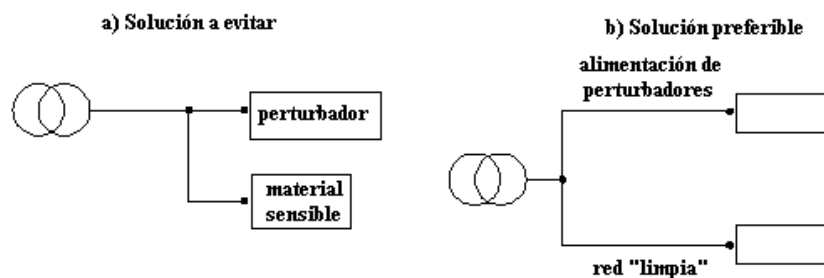


Figura 39. Soluciones para redes perturbadas.

■ Encerrar los armónicos

Consiste en limitar la circulación de los armónicos a la parte más pequeña posible de la instalación, con la ayuda de transformadores de acoplamiento adecuados.

Una solución interesante es la utilización de transformadores con el primario en estrella (sin neutro) y el secundario en zig-zag. Este acoplamiento permite tener el mínimo de distorsión en el secundario. En efecto, en este caso, las corrientes armónicas de 3er orden no circulan por el primario del transformador y la impedancia Z_s depende sólo de los arrollamientos del secundario. La inductancia es muy baja: $U_{ccx} \approx 1\%$ y la resistencia se reduce poco más o menos a la mitad, comparada con la de un transformador ΔY de la misma potencia.

En el caso de cargas trifásicas es posible eliminar ciertos rangos de armónicos utilizando transformadores o autotransformadores con varios secundarios desfasados; esta disposición se usa sobre todo en el caso de rectificadores de potencia.

El más conocido de estos montajes es el rectificador constituido por dos puentes en serie o en paralelo, alimentados por un transformador con dos secundarios, uno en estrella y otro en triángulo. Esta disposición produce un desfase de 30 grados entre las tensiones de los dos secundarios. El cálculo muestra que los armónicos de rango $6k \pm 1$, con k impar, se eliminan en el primario del transformador.

Los primeros armónicos eliminados, que son precisamente los más importantes por su amplitud, son para $k = 1$, los armónicos 5° y 7°. Los primeros armónicos que se encuentran son entonces el 11° y el 13°.

Es posible generalizar esta propiedad aumentando el número de diodos y el número de secundarios del transformador o el número de transformadores, escogiendo correctamente los desfases relativos de cada uno de los secundarios.

Esta solución se usa mucho en el caso de rectificadores de muy alta potencia, consiguiéndose fácilmente el reparto de corrientes entre las diversas ramas del puente. Se usa normalmente en los rectificadores para electrólisis.

⚡ Utilización de inductancias anti-armónicos

Esta disposición consiste en proteger los condensadores destinados a mejorar el factor de potencia colocándoles una inductancia en serie. Esta inductancia se calcula para que la frecuencia de resonancia no corresponda con ninguno de los armónicos presentes.

Así, para la fundamental, la batería de condensadores puede asegurar su función de mejora del $\cos \varphi$, mientras que la gran impedancia de la inductancia limita la amplitud de las corrientes armónicas. Los escalones de condensadores deben tener en cuenta ciertas frecuencias de resonancia para priorizarlas.

⚡ Filtros de armónicos

Generalmente, los filtros de armónicos proveerán una solución, aunque esta no sea la solución para todos los casos. Los ofrecimientos de filtro incluyen reactores en la línea, filtros pasivos, filtros activos, filtros de retroalimentación electrónica y transformadores especiales que usan un devanado fuera de fase para realizar la reducción los armónicos.

- **Reactor en línea**

Un reactor en línea, es comúnmente un simple inductor. La reactancia inductiva del inductor resiste la corriente de armónicos de alta frecuencia. Según la ecuación:

$$X_1 = 2\pi fL$$

Como la frecuencia aumenta, también lo hace la resistencia. Las componentes de 60Hz pasan a través del inductor con poca oposición, pero a los componentes de más alta frecuencia les resulta más difícil pasar. Por lo que las corrientes armónicas disminuyen cuando un reactor se aplica en la línea. El reactor de línea limita las corrientes

armónicas, a expensas de una distorsión en el voltaje. El voltaje de salida en el reactor de línea mostrará distorsión en su forma de onda y limitará frecuentemente el voltaje pico.

- **Filtros pasivos**

Vienen en una amplia variedad. En algunos casos, ellos no son más que un reactor de línea. En otros casos, pueden usar filtros resonantes en serie o paralelos (uno solo o ambos simultáneamente) para atrapar o resistir a los armónicos. Un filtro serie (con la carga en serie) que usa componentes en paralelo (inductancias y capacitancias en paralelo) se conoce como un “reector (repelente) de corriente”. En o cerca la frecuencia de resonancia del conjunto paralelo, el filtro provee atenuación máxima. La “Q” del filtro determina el ancho de banda. Un filtro paralelo (paralelo con la carga) usando componentes en serie (inductancias y capacitancias en serie) es un receptor de corriente. En o cerca al punto de resonancia del filtro, este dejará pasar mucha corriente y voltaje armónico y la resistencia de Corriente Continua (dc) del filtro la soportará. Cuando se sintonizan adecuadamente con la carga estática, los filtros pasivos se convierten en un medio efectivo para controlar los armónicos. Como en el caso de reactores de línea, la distorsión de voltaje de rendimiento puede ser bastante.

Se debe tener pendiente: Los filtros de armónicos pueden ser bidireccionales. Esto significa que ellos pueden “hundir” (deformar) tanto la onda hacia la carga como la onda hacia la fuente.

- **Filtro activo**

Es un regulador de tipo impulso. El filtro impulsa voltaje a lo largo de cada medio ciclo de corriente alterna (ca), proveyendo la carga con una forma de onda rectangular. La onda de voltaje formada puede completarse con electrónica activa, saturación magnética o ambos. La forma de onda rectangular de voltaje fuerza a los rectificadores en la fuente de alimentación a sacar corriente por un intervalo más largo, para construir el ciclo correcto (período de conducción de corriente vs el intervalo de voltaje) y

mejorando también el factor de potencia. Dependiendo del tipo de filtro armónico activo, la distorsión a la salida puede ser mínima o muy pronunciada.

- **Filtro de retroalimentación electrónica**

Este dispositivo censa armónicos de voltaje y corriente y genera armónicos compensatorios para cancelar los armónicos indeseables. Comúnmente, se utiliza un dispositivo de alta frecuencia con modulación de ancho pulso (PWM) para generar las corrientes y voltajes armónicos compensatorios. Debido a que el filtro censa constantemente el voltaje y la corriente, los cambios en la condición de la carga pueden ser rápidamente solventados. En virtud del mecanismo de retroalimentación, el filtro electrónico de retroalimentación, provee muy limpias formas de onda para la carga. La regulación de voltaje es también una consecuencia normal de la operación de filtrado.

- **Transformadores especiales**

Donde las condiciones de carga son constantes, puede usarse transformadores especiales para combinar corrientes de carga. La “delta-delta /Y” o transformadores de múltiples devanados “Y” proveen corrientes armónicas fuera de fase adicionales a las corrientes armónicas. Los transformadores requieren condiciones equilibradas de carga. Con cargas equilibradas, sin embargo, la distorsión armónica en la corriente resultante se reduce significativamente.

- **Comparación de filtros**

Hay comúnmente un balance comparativo, la distorsión en el voltaje de salida puede aumentar y su pico puede bajar. En algunos casos, el voltaje puede aumentar también.

La tabla 12 provee una recapitulación de las características de desempeño para reactores de línea y otros tipos de filtros. Las características del filtro ayudan a determinar el éxito final. Es importante notar que aunque la meta fundamental es la de reducir armónicos o mejorar el factor de potencia, otros costos o consideraciones no deben ser olvidados.

Tabla 12. Comparación del desempeño de filtros.

	Reactor en Línea	Filtro Pasivo	Filtro Activo	Filtro Electrónico
I rms sin filtro	8.5	8.5	4.1	14.5
I rms con filtro	6.6	6.9	2.9	10.9
FP sin filtro	0.71	0.71	0.66	-0.64
FP con filtro	0.81	0.95	-0.97	-0.98
THD en voltaje de entrada	2.7%	3.1%	2.2%	2.1%
THD en voltaje de salida	27.6%	25.7%	23.4%	0.6%
Voltaje pico de entrada	168V	169V	170V	166V
Voltaje pico de salida	128V	132V	154V	167V
THD corriente de entrada	35.9%	27.0%	23.9%	2.1%
THD corriente de salida	36.1%	32.9%	31.2%	123%
Potencia de entrada (W)	729W	781W	340W	1253W
Potencia de salida (W)	685W	697W	326W	1117W
Eficiencia %	93.9	89.2	95.9	89.1

▣ Compensador activo

La ventaja del compensador activo es la de ofrecer una eliminación de armónicos, también eficaz en caso de evoluciones de la instalación. Ofrece así mismo una comodidad de explotación excepcional como:

- Autoadaptación a las diferentes cargas sea cual sea el espectro armónico.
- Ningún riesgo de sobrecarga.
- Funcionamiento compatible con grupos electrógenos.
- Conexionado en cualquier punto de la red eléctrica.
- Posibilidad de repartir varios compensadores en una misma instalación afín de reforzar la eficacia en la eliminación de armónicos (por ejemplo en caso de la inserción de una nueva máquina).

El compensador activo analiza los armónicos consumidos por la carga y restituye seguidamente a esta última la misma corriente armónica con la fase adecuada.

Consecuencias: en el punto considerado, hay una neutralización completa de las corrientes armónicas. Por consiguiente, estas corrientes ya no circulan aguas arriba y ya no son suministradas por la fuente.

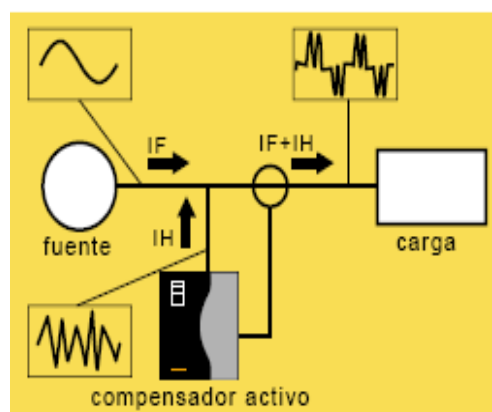


Figura 40. Esquema de principio del compensador paralelo.

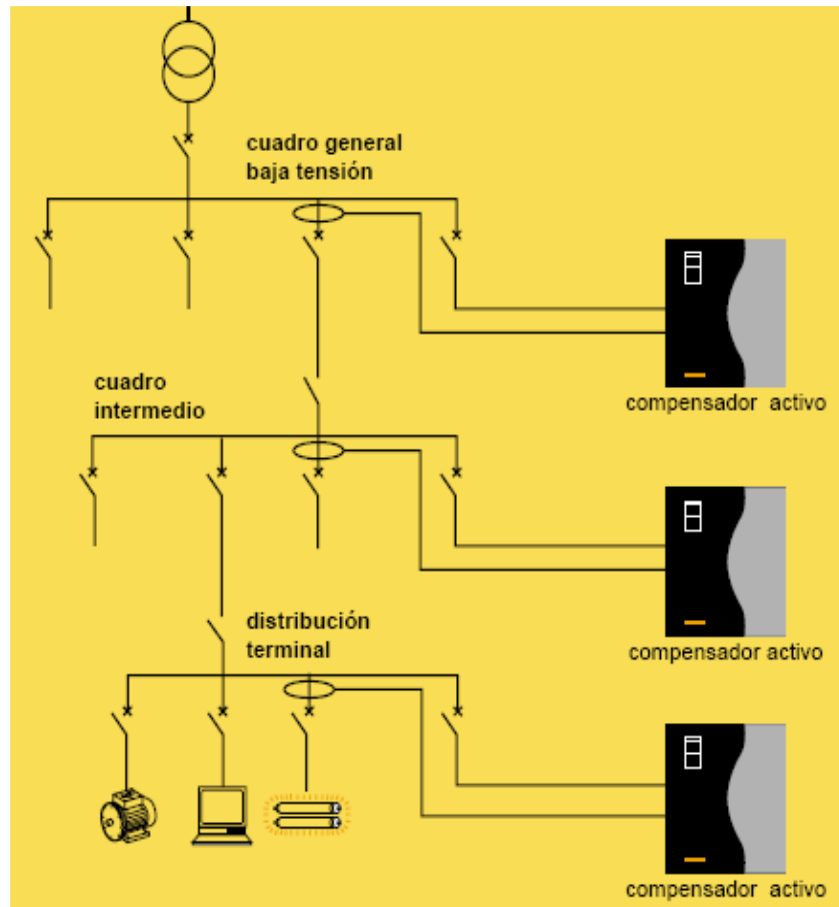


Figura 41. Esquema de distribución baja tensión mostrando diferentes puntos de inserción de un compensador activo en función de la reducción de armónicos deseada.

La compensación activa debe ser colocada aguas arriba de la instalación (punto de inserción próximo al punto de conexión con la compañía eléctrica).

La reducción del nivel de distorsión de la instalación busca la neutralización de los armónicos lo más cerca posible de las principales cargas no lineales. El o los compensadores activos se situarán sobre todo aguas abajo (distribución secundaria o terminal).

1.5.2.3. Interarmónicos

Los interarmónicos son tensiones o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60 Hz)⁽⁷⁾. Ellos pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda ancha.

Los interarmónicos se pueden generar en cualquier nivel de tensión y se transfieren entre niveles diferentes; es decir, interarmónicos generados en sistemas de alta (AT) y media tensión (MT) pueden inyectarse en el sistema de baja tensión (BT) y viceversa. Su magnitud raramente supera el 0.5% del armónico fundamental de tensión, aunque en condiciones de resonancia podría presentarse niveles más elevados.

El orden de un interarmónico viene dado por la relación entre la frecuencia del interarmónico y la frecuencia fundamental. Si este valor es inferior a la unidad, la frecuencia también se denomina frecuencia subarmónica.

1.5.2.3.1. Fuentes causantes de interarmónicos

Básicamente existen dos mecanismos de generación de interarmónicos:

- El primero es la generación de componentes en las bandas laterales de la frecuencia de la tensión de suministro y de sus armónicos, debido a cambios en sus magnitudes y/o ángulos de fase. Estas variaciones están provocadas por cambios bruscos de corriente en el equipo y en las instalaciones, que también pueden originar fluctuaciones de la tensión. Las perturbaciones las generan cargas que operan en un régimen transitorio, de manera continua o temporalmente, o más frecuentemente, cuando se produce una modulación de amplitud de corriente y tensión. Estas perturbaciones generalmente son de carácter aleatorio y dependen de las variaciones de carga inherentes a los procesos y equipos utilizados.
- El segundo mecanismo es la conmutación asíncrona (es decir, no sincronizada con la frecuencia de la red de suministro de energía eléctrica) de los dispositivos semiconductores de los convertidores estáticos. Entre ellos tenemos los cicloconvertidores y los convertidores de modulación de anchura de impulso. Los interarmónicos generados por ellos pueden localizarse en cualquier parte del espectro de los armónicos de tensión de la red de alimentación.

En muchos tipos de equipos ambos mecanismos se presentan simultáneamente. Entre las fuentes básicas de esta perturbación se encuentran: Cargas productoras de arco eléctrico, dispositivos de accionamiento eléctrico de carga variable, convertidores estáticos, controles de ondulación.

Los interarmónicos también pueden ocasionarse por oscilaciones que se generan, por ejemplo, en sistemas que contengan condensadores en serie o en paralelo, o en los que los transformadores estén saturados y durante los procesos de conmutación.

Los motores de inducción pueden generar interarmónicos debido a las ranuras del hierro del estator y del rotor, especialmente cuando se asocian con la saturación del circuito magnético. La asimetría natural del motor puede ser también una fuente de interarmónicos.

Los motores de par de carga variable, tales como maquinas de forja, maquinas troqueladoras, sierras, compresores, bombas aspirante-impelentes, etc., pueden ser también fuentes de generación de subarmónicos. El efecto de las cargas variables también se ve en los motores de velocidad variable alimentados por convertidores estáticos.

1.5.2.3.2. Efectos de la presencia de interarmónicos

Las corrientes interarmónicas producen una distorsión interarmónica de la tensión dependiendo de la magnitud de las componentes de la corriente y de la impedancia del sistema de alimentación a esa frecuencia. Cuanto mayor es el margen de la frecuencia de los componentes de la corriente, mayor es el riesgo de que se presenten fenómenos de resonancia no deseados, que pueden aumentar la distorsión de la tensión y producir sobrecargas o perturbaciones en el funcionamiento de los equipos e instalaciones del usuario. Entre los efectos directos más comunes de los interarmónicos están:

- Efectos térmicos.
- Oscilaciones de baja frecuencia en sistemas mecánicos.

- Perturbaciones en el funcionamiento de los equipos electrónicos y lámparas fluorescentes. En la práctica puede verse perturbado el funcionamiento de cualquier equipo que esté sincronizado con respecto al punto de paso por cero de la tensión de alimentación o con la tensión de pico.
- Interferencia con las señales de control y de protección en las líneas de suministro de energía eléctrica. Actualmente, esta es la principal perturbación ocasionada por los interarmónicos.
- Sobrecargas de filtros pasivos en paralelo para armónicos de orden elevado.
- Interferencia en las telecomunicaciones.
- Perturbación acústica.
- Saturación de los transformadores de corriente.

Los efectos más comunes de la presencia de interarmónicos son las variaciones en la magnitud de la tensión eficaz y el flicker.

1.5.2.3.3. Métodos para la mitigación de los interarmónicos y la reducción de sus efectos

Los métodos de mitigación de los efectos de los interarmónicos son:

- Reducción del nivel de emisión.
- Reducción de la sensibilidad de las cargas.
- Reducción del acoplamiento entre los equipos generadores de energía y las cargas.

Los métodos utilizados son los mismos que para los armónicos. En el diseño de filtros pasivos deberán tenerse en cuenta otros factores adicionales. Por ejemplo, considerar que la resonancia entre los interarmónicos de los filtros y el sistema de energía pueden amplificar y provocar fluctuaciones y distorsión de tensiones significativas. Los filtros deben diseñarse con un coeficiente de amortiguamiento superior.

Las perturbaciones causadas por los sistemas de señalización en la red se pueden eliminar aplicando filtros en serie, sintonizados a las frecuencias deseadas y situados

correctamente en el sistema. Otras soluciones implican el nivel de inmunidad de los equipos en uso o el empleo de filtros activos.

1.5.2.4. Factor de potencia

Se define factor de potencia (fp) de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S, o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como $\cos\phi$, siendo ϕ el valor de dicho ángulo⁽⁸⁾. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 42.

$$fp \equiv \cos\phi = \frac{P}{S}$$

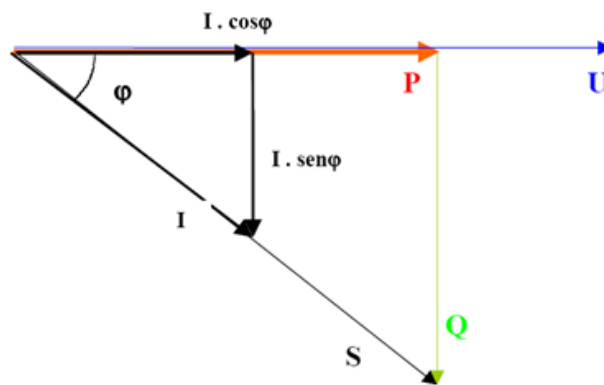


Figura 42. Triángulo de potencias.

1.5.2.4.1. Componentes senoidales

En los circuitos que tienen solamente corrientes y voltajes sinusoidales, el efecto del factor de potencia se presenta solamente como la diferencia en fase entre la corriente y el voltaje. Este se puede generalizar como una distorsión total, o un verdadero factor de potencia, donde la potencia aparente incluye todos los componentes armónicos. Esto es de mucha importancia en los sistemas de energía prácticos que contienen cargas no lineales tales como rectificadores, algunas formas de iluminación eléctrica, hornos de

arco voltaico, equipos de soldadura y otros dispositivos. Por tal motivo se han establecido límites en los armónicos como un método de mejorar el factor de potencia.

1.5.2.4.2. Importancia de un factor de potencia elevado

Para comprender la importancia del factor de potencia se considera como ejemplo dos receptores con la misma potencia, 1000 W, conectados a la misma tensión de 220 V, pero el primero con un factor de potencia alto, $\cos\varphi_1 = 0,96$, y el segundo con uno bajo, $\cos\varphi_2 = 0,25$.

Primer receptor:

$$I_1 = \frac{P_1}{V \cos \varphi_1} = \frac{1000}{220 * 0.96} \cong 4.73A$$

$$S_1 = VI_1 = 220 * 4.73 \cong 1040.6VA$$

Segundo receptor:

$$I_2 = \frac{P_2}{V \cos \varphi_2} = \frac{1000}{220 * 0.25} \cong 18.18A$$

$$S_2 = VI_2 = 220 * 18.18 \cong 4000VA$$

Comparando ambos resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Un factor de potencia bajo comparado con otro alto, origina para una misma potencia, una mayor demanda de intensidad, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.
- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el factor de potencia, lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor costo de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un factor de potencia bajo, obligando a su mejora o imponiendo costos adicionales.

1.5.2.4.3. Influencia del tipo de cargas

El valor del factor de potencia (fp) viene determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación. En un circuito resistivo puro recorrido por una corriente alterna, la intensidad y la tensión están en fase ($\varphi=0$), esto es, cambian de polaridad en el mismo instante en cada ciclo, siendo por lo tanto el factor de potencia la unidad. Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la intensidad y la tensión están en cuadratura ($\varphi=90^\circ$) siendo nulo el valor del factor de potencia.

En la práctica los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni reactivos, observándose desfases más o menos significativos, entre las formas de onda de la corriente y el voltaje. Así, si el factor de potencia está cercano a la unidad, se dirá que es un circuito fuertemente resistivo por lo que su f.p es alto, mientras que si está cercano a cero que es fuertemente reactivo y su fp es bajo. Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de un fp en retraso, mientras que se dice en adelanto cuando lo es de carácter capacitivo.

1.5.2.4.4. Causas de un bajo factor de potencia

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (kW) se sume el de una potencia llamada reactiva (kVAr), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores.

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

1.5.2.4.5. Efectos de un bajo factor de potencia

⚡ Al usuario

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.

⚡ A la empresa distribuidora de energía

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en kVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
- Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

1.5.2.4.6. Soluciones para compensar el factor de potencia

A menudo es posible ajustar el factor de potencia de un sistema a un valor muy próximo a la unidad. Esta práctica es conocida como mejora o corrección del factor de potencia y se realiza mediante la conexión a través de conmutadores, en general automáticos, de bancos de condensadores o de inductores. En determinadas ocasiones pueden instalarse motores síncronos con los que se puede inyectar potencia capacitiva o reactiva con tan solo variar la corriente de excitación del motor.

Las pérdidas de energía en las líneas de transporte de energía eléctrica aumentan con el incremento de la intensidad. Como se ha comprobado, cuanto más bajo sea el factor de potencia de una carga, se requiere más corriente para conseguir la misma cantidad de energía útil. La mejora del factor de potencia debe ser realizada de una forma cuidadosa con el objeto de mantenerlo lo más alto posible, pero sin llegar nunca a la unidad, ya que en este caso se produce el fenómeno de la resonancia que puede dar lugar a la aparición de tensiones o intensidades peligrosas para la red. Es por ello que en los casos de grandes variaciones en la composición de la carga es preferible que la corrección se realice por medios automáticos.

1.5.2.4.7. Métodos y equipos utilizados para mejorar el factor de potencia

▣ Métodos para mejorar el factor de potencia

- **Compensación individual**

La compensación individual se refiere a que a cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo.

○ **Compensación individual en motores eléctricos**

El método de compensación individual es el tipo de compensación más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor. La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva. La potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El arrancador para el motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando.
- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva.

No obstante, este método presenta las siguientes desventajas:

- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Es importante mencionar que para no incurrir en una sobre compensación de la potencia inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

La potencia del capacitor a conectar directamente con el motor puede ser determinado de acuerdo a uno de los siguientes métodos:

- Multiplicar por 1/3 el valor del motor expresado en hp
 - El 40% de la potencia del motor en kW.
- **Compensación individual en transformadores de distribución**

Otro método para corregir el factor de potencia es compensar la potencia reactiva en los transformadores de distribución. La potencia total del banco de capacitores se calcula para compensar la potencia reactiva absorbida por el transformador en vacío, que es del orden del 5 al 10% de la potencia nominal. De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, con el fin de evitar fenómenos de resonancia y sobretensión en vacío, la potencia total del banco de capacitores no debe exceder el 10% de la potencia nominal (en kVA) del transformador. Se recomienda la aplicación de una regla práctica que establece “el valor del banco de capacitores fijo será igual a la multiplicación de la potencia en kVA del transformador por la impedancia en CC.” La compensación en función de los kVAr, se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Compensación de kVAr en función de la capacidad del Transformador.

P kVA	Perdidas en vacío W	Pérdidas debidas a la carga W	Tensión de corto - circuito %	Potencia reactiva a compensar	
				Vacío kVAr	Plena carga kVAr
100	320	1750	4	2,98	7,30
160	460	2350	4	4,38	11,52
200	550	2850	4	5,24	14,21
250	650	3250	4	6,25	17,60
315	770	3900	4	7,50	21,98
400	930	4810	4	9,05	27,36
500	1100	5950	4	11,33	34,24
630	1300	6950	4	13,52	42,59
800	1560	12000	5,5	23,89	74,69
1000	1840	13900	6	28,68	98,71
1250	2160	15000	5,5	32,84	113,35
1600	2640	18100	6	38,20	151,33
2000	3900	22500	7	45,36	211,20
2500	4500	27500	7,5	53,76	276,00
3150	5400	35000	8	63,96	363,60

- **Compensación en grupo**

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos. La compensación en grupo presenta las siguientes ventajas:

- Se conforman grupos de cargas de diferente potencia pero con un tiempo de operación similar, para que la compensación se realice por medio de un banco de capacitores común con su propio interruptor.
- Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores.
- El banco de capacitores se utilizan únicamente cuando las cargas están en uso.
- Se reducen costos de inversión para la adquisición de bancos de capacitores.
- Es posible descargar la potencia reactiva las diferentes líneas de distribución de energía eléctrica.

La desventaja es que la sobrecarga de potencia reactiva no se reduce en las líneas de alimentación principal, es decir, que seguirá circulando energía reactiva entre el centro de control de motores y los motores.

- **Compensación central con banco automático**

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación. La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador. La compensación centralizada presenta las siguientes ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en sistema eléctrico.
- Suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento.
- Es de fácil supervisión.

La desventaja de corregir el factor de potencia mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además, se requiere de un regulador automático el banco de capacitores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades de cada momento.

- **Compensación combinada**

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia, que han sido descritos. El primer paso en la corrección de un problema de factor de potencia es prevenirlos mediante la selección y operación correcta de los equipos. Los sistemas de compensación de reactivos (condensadores principalmente) son una forma práctica y económica de mejorar el factor de potencia, sobre todo en instalaciones existentes.

⚡ Equipos utilizados para mejorar el factor de potencia

- **Capacitores**

Los capacitores habitualmente son de baja pérdida dieléctrica (menos de 0,2 W / kVAr), dieléctrico seco, autorregenerables, ecológicos y de construcción modular. En general están constituidos por un cierto número de capacitores monofásicos elementales. Cada uno posee un dispositivo de seguridad interno que se activa ante la presencia de sobrepresiones en el interior del envase, dejando al mismo desconectado de la red.

- **Cómo determinar la cantidad de capacitores necesarios**

Midiendo la energía activa y reactiva que consumen las instalaciones existentes, se puede calcular la potencia necesaria (kVAr) que deben tener los condensadores para

lograr la compensación deseada. Sin embargo, es recomendable la instalación de registradores de potencia durante el tiempo necesario para cubrir por lo menos un ciclo completo de operación de la industria, incluyendo sus períodos de descanso. Por lo general se recomienda realizar registros trifásicos donde se monitoree para cada fase y para el total de la planta: Potencia Activa (kW) y Reactiva (kVAr), Voltaje y Energía (kWh). Los valores de corriente, potencia aparente (kVA) y factor de potencia (FP) se calculan a partir de las lecturas anteriores, sin embargo, si el registrador dispone de la suficiente capacidad podrán ser leídos también.

- **Dónde instalar los capacitores**

Para la instalación de los capacitores deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje.

Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores. La corrección de grupo es necesaria cuando las cargas cambian radicalmente entre alimentadores y cuando los voltajes del motor son bajos, como por ejemplo, 220-240V.

Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra. Sin embargo, es más ventajoso usar un capacitor de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitores de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable, se recomienda la instalación de capacitores individuales a los motores, por supuesto se necesitarán varios condensadores de diferentes capacidades, resultando esto en un costo mayor. Sin embargo, deberá evaluarse el beneficio económico obtenido con la compensación

individual. Considerando que el costo de los capacitores para bajos voltajes es más del doble que los de altos voltajes.

Debemos también considerar que, cuando los capacitores se instalan antes del banco principal de transformadores, éstos no se benefician y no se alivia su carga en kVA. Esta es una buena razón para usar capacitores de 220-240V a pesar de su alto costo.

- **Bancos automáticos de capacitores**

Están constituidos por capacitores, reactores limitadores de las corrientes de inserción, contactores (especialmente diseñados para manejar cargas capacitivas), fusibles de alta capacidad de ruptura, un interruptor o seccionador principal apto para maniobrar la potencia total del equipo bajo carga y un relé varimétrico programable con sus protecciones.

- **Motores sincrónicos sobreexcitados**

Los motores sincrónicos sobreexcitados, al producir potencia reactiva capacitiva, también se emplean para mejorar automáticamente el factor de potencia de la red a la cual están conectados.

- **Equipos provistos de reactores antiresonantes - filtros**

Actualmente se ha generalizado en la industria el uso de diversos equipos que son fuentes de corrientes poliarmónicas más o menos importantes (hornos de inducción o de arco, lámparas de descarga, variadores de velocidad, rectificadores para distintos procesos industriales, etc.). Para mejorar el factor de potencia de instalaciones en las que parte de la carga está constituida por tales equipos, se emplean usualmente bancos automáticos de capacitores provistos de reactores antiresonantes o filtros.

⚡ Protecciones y elementos de maniobra complementarios para mejorar el factor de potencia usando bancos de capacitores

- **Interruptores automáticos o breakers**

En la conexión de los condensadores, los interruptores automáticos para corriente alterna pueden cargarse únicamente con aproximadamente entre el 65% y 70% de su intensidad nominal durante su servicio admisible, debido a la elevación de la intensidad por los circuitos oscilantes y las tolerancias de capacidad de los condensadores.

- **Contactores y conductores**

Los contactores son ante todo, fuertemente solicitados en la conexión de condensadores. Elevadas intensidades de conexión pueden conducir a una rápida corrosión del material de los contactos, o bajo circunstancias muy desfavorables, incluso a una soldadura de los mismos. Los cálculos indican que el condensador debe estar cargado con no más del 75% de la corriente nominal del condensador durante el régimen de trabajo, sin embargo en el instante de la conexión los valores de corriente se elevan significativamente con una corriente altamente destructiva por lo que se sugiere que el contactor se defina con una corriente de empleo entre un 35 a 60% mayor a la corriente nominal del condensador.

⚡ Instalaciones complementarias

- **Inductancia de choque**

Para los bancos automáticos correctores del factor de potencia se recomienda realizar una inductancia de choque (aproximadamente 6 microhertz) entre el juego de barras y cada capacitor para limitar las sobreintensidades de conexión. Dicha inductancia se puede obtener; haciendo espiras con ayuda de los mismos cables, de 14 cm de diámetro.

Si la potencia reactiva a compensar es mayor a los 800 kVAr, es recomendable considerar la utilización de bancos de capacitores en media y alta tensión.

- **Resistencia para la descarga de condensadores**

La instalación del contactor para realizar la maniobra de un condensador exige que el condensador posea una resistencia de descarga, la misma que debe descargar la carga residual (posterior a la desconexión) de al menos el 50% en un tiempo máximo de 1 segundo.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

2. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO

2.1. Puntos de Medición

Los puntos de medición son los elementos de los cuales se obtendrán la información requerida y todos los parámetros correspondientes para nuestro tema de tesis, los cuales se encuentran ubicados en el Área de Concesión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A (EERSSA); entre los puntos de medición que tendremos en consideración tenemos: Subestaciones de Distribución, Transformadores de distribución y contadores de energía.

2.1.1. Subestaciones

Dentro del sistema de energía eléctrica, las subestaciones son elementos de gran importancia, y se definen como el punto de unión en el cual concluyen dos o más líneas de subtransmisión o alimentadores primarios. Se la puede considerar como un nodo eléctrico.



Fotografía 1. Subestación Catacocha (1 MVA – 69/13,8 kV).

Asimismo, y teniendo en cuenta la capacidad y la magnitud de los voltajes de alta y baja, así como el objetivo y funciones asignadas a las mismas se distinguen:

- **Subestación de transformación:** Es la destinada a la transformación de la energía eléctrica mediante uno o más transformadores, cuyos secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros de transformación.
- **Subestación de maniobra:** Está destinada a la conexión de dos o más circuitos y a su maniobra, por tanto, en ella no hay transformación de voltaje.

Atendiendo a su tipo constructivo las subestaciones se clasifican en:

- **Subestaciones a la intemperie:** Se ubican en las afueras de las ciudades y en las trayectorias de las grandes líneas de transporte e interconexión, necesitan de máquinas y aparatos capaces de funcionar en condiciones climáticas adversas.
- **Subestaciones en el interior de locales:** Se hacen como instalaciones aisladas con SF₆.
- **Subestaciones blindadas:** Preferente dentro de las ciudades, por razones de ahorro de espacio, ausencia de contaminación y proximidad a los centros de consumo.

Las funciones principales de las subestaciones son:

- **Controlar.-** Conectar o desconectar las líneas que entran y salen de ella.
- **Medir.-** Voltajes, corrientes, potencia, energía; para dichas medidas se utiliza los transformadores de medida los cuales son de dos tipos de potencial y de corriente.
- **Brindar protección.-** Está dada para los equipos y las líneas.
- **Transformación.-** Eleva o disminuye el voltaje.
- **Suministrar energía reactiva.-** A través de la instalación de bancos de capacitares; como también es necesario en varias ocasiones instalar reactores.
- **Mejorar el voltaje.-** Se puede mejorar por transformadores con cambiadores de taps, también se lo puede hacer mediante el uso de regulares de voltaje.

Elementos que constituyen una subestación

- **Equipos de fuerza:** Disyuntores, seccionadores, fusibles, transformadores de potencia, barras de subestación, banco de condensadores.
- **Equipos de control, protección y medición:** Transformadores de potencial, transformadores de corriente, tableros, instrumentos de medida, cables de guarda, mallas de puesta a tierra.
- **Obra mecánica y civil:** Cimentaciones, cerramientos, estructuras de soporte, drenajes, caminos de acceso, casa de control.

2.1.2. Transformadores

Se denomina transformador a una máquina electromagnética que permite aumentar o disminuir el voltaje en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.



Fotografía 2. Banco de transformadores 3x25 kVA (Gualaquiza).

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas

devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan al voltaje medio o bajo, respectivamente. También existen transformadores con más devanados, en este caso puede existir un devanado "terciario", de menor voltaje que el secundario.

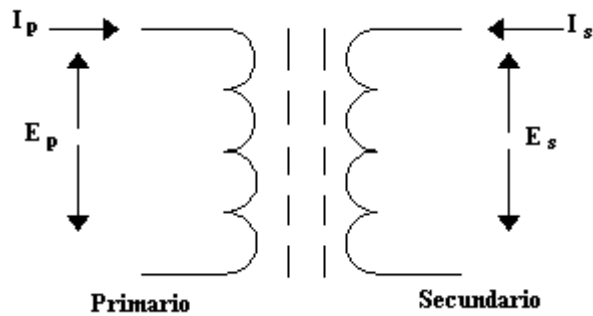


Figura 43. Representación esquemática del transformador.

Funcionamiento

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

La relación entre la fuerza electromotriz inductora (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (E_s), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s).

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Esta particularidad tiene su utilidad para el transporte de energía eléctrica a larga distancia, al poder efectuarse el transporte a altas tensiones y pequeñas intensidades y por tanto pequeñas pérdidas.

La relación entre el número de vueltas o espiras del primario y las del secundario se le llama relación de vueltas del transformador o relación de transformación.

Aplicaciones

Los equipos eléctricos conectados a la red no pueden operar entre tensiones altas (sería muy peligroso, por riesgo de electrocución) por lo que se ha de realizar la transformación de tensiones, de valores correspondientes a transporte, a valores de consumo, para lo cual se emplean los equipos de transformación.

Otra aplicación, relacionada con la anterior, es la elevación de tensiones que se produce en las subestaciones eléctricas elevadoras a la salida de las centrales de generación eléctrica. El voltaje de salida de la electricidad producida es baja para llevar a cabo un transporte eficaz, por lo que se recurre a enormes equipos de transformación, a fin de elevar el voltaje de la electricidad y llevarla a un voltaje adecuado para el transporte.

Pero sería inadecuado dar la idea de que los transformadores sólo encuentran su aplicación en el campo del transporte de energía eléctrica. Hay multitud de aplicaciones para los transformadores, también en la electrónica de circuitos, como por ejemplo los circuitos de radio, una de cuyas aplicaciones es la de transformador de impedancias.

Tipos de transformadores

Existen 2 tipos de transformadores:

- **Transformadores monofásicos.-** De los cuales existen dos tipos los convencionales y los autoprotegidos o (CSP), utilizando más los últimos en la EERSSA.
- **Transformadores trifásicos.-** Como en el caso anterior existen 2 tipos los convencionales y los autoprotegidos o (CSP).

Los transformadores autoprotegidos o (CSP) tienen un fusible, pararrayo, un foco que da la iluminación e indica que el breiker es activado; como también posee un interruptor termomagnético en baja.

La diferencia entre los transformadores monofásicos y trifásicos es que el transformador monofásico tiene una bobina en medio voltaje y una bobina en bajo voltaje la cual se subdivide en 2 semi-bobinas. Los transformadores trifásicos poseen tres bobinas en alto voltaje que están conectadas en triangulo o en estrella que va a tierra; como también poseen tres bobinas en bajo voltaje que están conectados en triangulo o en estrella que va a tierra.

2.1.3. Contadores de Energía

En electricidad, la energía eléctrica que se utiliza para realizar un trabajo se cuantifica a partir de la cantidad de potencia activa empleada multiplicada por el tiempo en que se aplica.

Wattorímetro del tipo de motor de inducción

Las mediciones de la energía eléctrica que se efectúan mediante medidores o contadores, se utilizan para calcular el valor de la energía que se vende al consumidor por la compañía suministradora, de hecho, los medidores de consumo de energía del tipo domiciliario son propiedad de la compañía suministradora. También se utilizan para el control de la energía gastada en las redes, fábricas, etc.

Las partes principales de un medidor de energía del tipo de Motor de Inducción son:

- El sistema motriz.
- El sistema de frenado, los cuales actúan sobre el mismo rotor.
- El numerador - integrador, el cual traduce las revoluciones efectuadas por el rotor durante un determinado tiempo, a la cantidad de unidades de energía consumida.

En la figura 44 se muestra en forma esquemática el principio de construcción del sistema motriz.

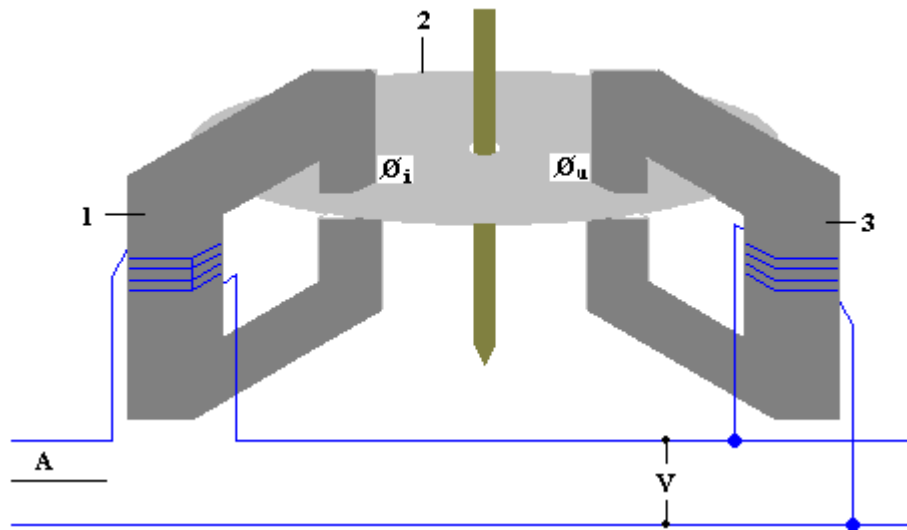


Figura 44. Principio de construcción del sistema motriz Watthorímetro.

- Este consta de dos electroimanes 1 y 3, con sus respectivos arrollamientos de voltaje y de corriente. El arrollamiento de voltaje de muchas espiras y de muy alta inductancia está conectado al voltaje V de la red que alimenta el receptor y el otro, de pocas espiras y de muy baja impedancia, está intercalado en serie con el receptor. Ambos electroimanes abrazan el rotor 2, que es un disco de aluminio montado en un eje. El electroimán 1 conectado a la red origina un flujo magnético ϕ_u proporcional al voltaje V, y el otro electroimán 3, por el cual se hace circular la corriente del consumidor, origina el flujo magnético ϕ_i proporcional a dicha corriente. Ambos flujos (ϕ_u y ϕ_i) inducen en el disco las corrientes de Foucault (IDV e IDI), las cuales, conjuntamente con los flujos, producen un par motor M_m proporcional a la potencia que se mide.
- El sistema de frenado consiste en un fuerte imán permanente que produce el flujo ϕ_{im} , y que abraza el disco-rotor del sistema motriz. Durante la rotación del disco el flujo magnético ϕ_{im} induce en él corrientes de Foucault y produce un par de frenado MF proporcional a la velocidad periférica del disco.
- El movimiento del rotor se transmite al integrador numerador mediante un sistema de engranajes, que mueve agujas indicadoras o tambores de cifras. Este dispositivo está acoplado al eje del rotor y suma su número de vueltas, esto es,

su indicación es proporcional al número de revoluciones efectuadas y esto es proporcional a la energía consumida.

La constante C del medidor depende de la construcción del sistema motor y mecanismo integrador-numerador y es por lo tanto una cifra característica para cada modelo de medidor. Se denomina constante del medidor y se determina para las condiciones normalizadas del funcionamiento del medidor a una temperatura determinada y en una posición del medidor también determinada, con la carga nominal (la constante C es el multiplicador usado para convertir la lectura del registrador a kilowatthoras).

Mientras no se consume energía, sólo existe el flujo ϕ_u debido al voltaje y el medidor queda parado; al consumir energía aparece además el flujo ϕ_i y el medidor se pone en marcha, impulsado por el par motor M_m . Al principio el movimiento del disco es lento y por lo tanto el par de frenado M_F es muy débil. A medida que la velocidad del disco va aumentando, también crece el par de frenado hasta que se establece el equilibrio entre los dos momentos de torsión M_m y M_F . Debido a la forma del imán de freno y a la construcción de su soporte, su campo magnético puede influir sobre la velocidad del disco y obtener así una regulación muy precisa del número de revoluciones del rotor en un margen muy amplio.

Tipos de contadores de energía

- **Contadores monofásicos:** Son contadores que trabajan a 120V y la capacidad de corriente es de 15 hasta 60 A pero no por mucho tiempo solo en horas pico. Tienen una bobina de voltaje y una bobina de corriente para la única fase.



Fotografía 3. Contador monofásico.

- **Contadores bifásicos:** Es un contador utilizado en viviendas y comercios, como también en pequeñas industrias. Este funciona con un voltaje de 120/240V, tiene dos fases y un neutro a tres hilos. Su capacidad máxima de corriente es de 100A; tiene dos bobinas de voltaje y dos bobinas de corriente.



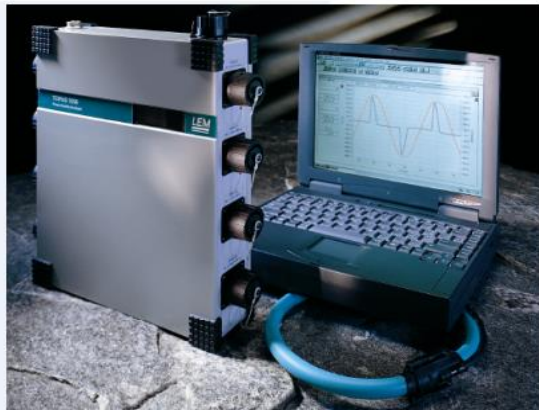
Fotografía 4. Contador bifásico.

- **Contadores trifásicos:** Son utilizados más en las ciudades industriales, sus características son 3x 127/220V, una intensidad máxima de 120A, consta de 3 fases y un neutro con un total de 4 hilos. Posee 3 bobinas de voltaje y 3 bobinas de corriente.

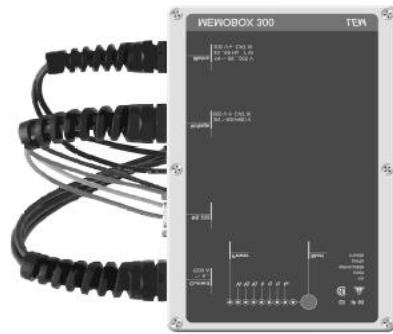
2.2. Instrumentos de Medición

Medir y registrar la calidad del suministro significa, por un lado, proporcionar una declaración cuantitativa con respecto a los parámetros individuales, comparados con los valores límites permitidos, por otro lado describir las causas de una perturbación, y, si es posible localizarlas.

Para recolectar la información requerida nos ayudamos de algunos equipos de medida, los cuales nos fueron facilitados por la EERSSA, entre ellos tenemos: El analizador TOPAS 1000 y el analizador de calidad de redes MEMOBOX 300P.



Topas 1000



Memobox 300P

Figura 45. Equipos analizadores de Calidad de Energía.

Tabla 14. Resumen de los parámetros medidos simultáneamente.

Parámetro	Método de medición	Intervalo	Periodo de monitoreo
Variaciones de voltaje	Promedio de los valores RMS instantáneos (20 ms)	Intervalo de 10 min	1 semana
Eventos repentinos en voltaje	Duración y amplitud	Capturado como evento individual	1 día
Interrupciones de voltaje	Duración	Capturado como evento individual	1 día
Armónicos e interarmónicos de voltaje	Promedio de valores RMS 200 ms (acorde a IEC 61000-4-7)	Intervalo de 10 min	1 semana
Flicker Plt	Índice de severidad flicker de corto tiempo (Pst) para 10 min (acorde a IEC 868 o IEC 61000-4-15)	Promedio de 12 valores Pst (=2h intervalo)	1 semana
Desequilibrio	Valor promedio de relación entre componentes con secuencia negativa a secuencia positiva	Intervalo de 10 min	1 semana
Telecomandos	Clasificación de los valores promedios de 3 segundos	Intervalo de 3 segundos	1 día
Frecuencia de la red	Clasificación de valores promedios de 10-segundos	Intervalo de 10 segundos	1 semana

2.2.1. Analizador de Redes TOPAS 1000

Los conceptos operacionales del analizador TOPAS 1000 y el MEMOBOX 300P, son exactamente los mismos. Se programa el analizador TOPAS 1000 vía un PC y luego se instala en el punto de medición previsto. Durante la adquisición de datos no se requiere ningún PC. Una vez terminado el período de medición programado, se transfiere los datos para ser analizados en el PC. Sin embargo, puede descargarse en cada instante datos preliminares, sin interferir el registro principal. Además, la función de osciloscopio incorporado en el sistema, permite el análisis de la forma de onda de corriente correspondiente, cuando existen transitorios.

Los eventos de voltaje son capturados usando los dos circuitos de medición voltaje y corriente. Después de pasar por el divisor de voltaje de entrada, se divide la señal de medición por medio de un filtro pasa-alto y un pasa-bajo. El circuito de baja frecuencia mide con un conversor analógico-digital de alta resolución de 16 Bit y captura la señal con una resolución de 167 valores de muestreo por ciclo. Esto se traduce a una frecuencia de muestreo de 10kHz.

El circuito de medición de alta frecuencia digitaliza la señal de medición con 10MHz. Puede capturar porciones de señal con una frecuencia hasta 5MHz. Se guardan los datos en la memoria caché. Si se descubre un evento, el sistema CPU del instrumento transfiere los datos de medición de ambos canales, desde la memoria caché hacia el disco duro interno.

Cuando se mide voltajes, se miden también las corrientes. Sin embargo, esto sólo puede ser recomendado con frecuencias bajas. En un circuito de medición de alta velocidad, ninguna mejora en resolución se puede obtener para las corrientes, puesto que la respuesta de frecuencia límite de las pinzas amperimétricas generalmente usadas (<10...20kHz) influye como un filtro de pasa-bajo y eventos muy rápidos en corriente serán suprimidos en la medición.

Los eventos son ocurrencias individuales inesperadas. Para preservar su calidad de muestreo correctamente, el sistema debe tener la habilidad de captura automática de

estos datos que son de interés específico. Se puede determinar esto por medio de ajustes de umbrales a un criterio deseado.

2.2.2. Analizador de Energía MEMOBOX 300 P

Para el análisis de una medición, se requiere de un software de análisis especial que tenga la habilidad de procesar un volumen alto de datos y que pueda presentar los resultados respectivos claramente para ser entendidos con facilidad.

La calidad del voltaje en un punto de medición debe ser examinado con un enfoque especial en los armónicos y flicker

Los análisis de los eventos se calculan cada 8.3ms los valores eficaces del voltaje tomando en cuenta cada muestra individual. Si el valor del voltaje promedio está por encima o debajo del límite definido según EN 50 160, $U_n \pm 10\%$ el tiempo, duración y el valor extremo son capturados. Estos eventos serían analizados en forma tabulada. Con respecto a los eventos, no se hace ninguna declaración sobre la forma de onda.

En conclusión se puede deducir que cuando se trate de quejas de clientes, como paso inicial se mide la calidad del suministro con el MEMOBOX 300P en forma portátil, porque estos datos contestan preguntas con respecto a la calidad del producto, parámetros críticos, y la hora exacta de ocurrencia de una perturbación, con rapidez y eficiencia.

Casos más difíciles y complejos requieren un análisis más comprensivo, incluso con registros simultáneos de los eventos transitorios. Debido a su funcionamiento sencillo, el TOPAS 1000 con la simultaneidad de todos los parámetros y diferentes intervalos (10 y 15 minutos), a más de la captura continua de eventos, ofrece grandes ventajas. Gráficos de resumen como la curva CBEMA dan la opción de clasificar eventos e interrupciones directamente. Más allá, proporciona un método exacto y rápido para el análisis de fenómenos transitorios críticos. La curva CBEMA con su información de eventos ocultos es un método excelente para complementar cualquier medición según la Norma EN50160 (incluyendo IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15).

2.3. Selección de los puntos de medición

Las mediciones se hicieron en base a la Regulación del CONELEC (N° CONELEC – 004/01), la cual especifica los porcentajes de mediciones que se deben realizar en cada uno de los puntos de medición (tabla 15).

Tabla 15. Puntos de medición.

Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA)			
	Barras de salida de Subestaciones de distribución AV/MV	Transformadores de distribución	Consumidores de bajo voltaje
Área de concesión	20	9780	126952
Porcentaje CONELEC	20%	0,15%	0,01%
Puntos de medición	4	15	13

Para iniciar con la recolección de la información primeramente obtuvimos los datos del número de barras de salida de Subestaciones de distribución AV/MV, transformadores de distribución y consumidores finales que pertenecen al sistema de la EERSSA, los cuales están detallados en la tabla anterior.

Los análisis se los realizó tomando en cuenta cada uno de los límites establecidos en la regulación N° CONELEC – 004/01. Por lo tanto, si durante un 5% o más del periodo de medición, cada 10 minutos, durante 7 días continuos (1008 datos por fase), los parámetros (niveles de tensión, perturbaciones de tensión, factor de potencia) se encuentran fuera de los límites, éstos no cumplen con la regulación.

En las siguientes tablas, se detallan los puntos de medición que se tomaron.

Tabla 16. Características de las mediciones en barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV.



 MEDICIONES EN LAS BARRAS DE SALIDA DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN AV/MV					
NÚMERO DE MEDICIÓN	SUBESTACIÓN	NÚMERO DE TRAFOS	POTENCIA (MVA)	UBICACIÓN	FECHA / HORA DE MEDICIÓN
1	Sur (20)	1	5	Vía Punzara alto (Sector Colinas Loja)	19/03/07 11:50
2	Macará (11)	1	5	Km 1 Vía a Loja (Sector San Sebastián)	02/05/07 17:40
3	Catacocha (07)	1	1	Sector Reina del Cisne	11/05/07 10:30
4	El Pangui (24)	1	5	Km 3 Vía Yanzatza	22/05/07 18:10

Tabla 17. Características de las mediciones en Transformadores de Distribución.

 MEDICIONES EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN					
Nº. DE MEDICIÓN	Nº. DE TRAF0	Nº. DE FASES SECUNDARIO	POTENCIA (kVA)	UBICACIÓN	FECHA / HORA DE MEDICIÓN
1	9892	2	15	Av. del Ejército y Diego de Vaca (Zamora)	22/01/07 18:10
2	10736/10737 /10738	3	3 x 25	Francisco de Orellana y García Moreno (Gualaquiza)	31/01/07 12:40
3	3475	3	45	Petrocomercial (Catamayo)	05/04/07 16:50
4	4500	2	15	Vía principal Loja - Zamora (Sabanilla)	12/04/07 13:20
5	12017	3	200	Cabo Sánchez y Catamayo (Macará)	03/05/07 10:30
6	2625	2	25	Domingo Celi y Manuel Vivanco (Catacocha)	11/05/07 16:00
7	7905	2	37,5	Av. Ángel Vega Mora y José Lucero (El Cisne)	14/06/07 19:40
8	2801	2	25	Calle principal (Santa Rufina)	15/06/07 17:00
9	045	2	37,5	Montufar y Manuel Ignacio Godoy (Malacatos)	29/06/07 12:50
10	8877	2	37,5	Bolívar y Luis Fernando de la Vega (Vilcabamba)	29/06/07 16:50
11	695	2	25	Río Cuyaveno y Río Yavari (Loja)	11/07/07 20:40
12	396/398 /7477	3	3 x 15	18 de Noviembre y Centenario (Cariamanga)	20/07/07 13:20
13	646	2	37,5	Vicente Rojas y Cristóbal Ojeda (Loja)	02/08/07 15:50
14	1985	2	25	El Oro y José María Vivar Castro (Saraguro)	28/08/07 13:20
15	13693	3	300	Vía a Cuenca en la Planta de procesamiento de asfalto del Municipio (Loja).	16/10/07 00:00

Tabla 18. Características de las mediciones en Consumidores Finales.

 MEDICIONES EN CONSUMIDORES FINALES					
NÚMERO DE MEDICIÓN	NÚMERO DE CONTADOR	NÚMERO DE FASES	TIPO DE CONSUMIDOR	UBICACIÓN	FECHA / HORA DE MEDICIÓN
1	1230036	1	Residencial	Castaños y Hualtacos (Loja)	08/05/07 17:10
2	155306	1	Residencial	Bernardo Valdivieso y Colón (Loja)	16/05/07 08:10
3	117414	1	Residencial	Piura y Lima (Loja)	16/05/07 16:10
4	179722	1	Residencial	Av. Iván Riofrío y A. Arias (Yanzatza)	22/05/07 10:10
5	149363	1	Residencial	8de Diciembre y Bolívar (Catamayo)	14/06/07 10:50
6	124742	1	Residencial	Barrio el Palmar (Buenavista)	15/06/07 09:40
7	120813	1	Residencial	Calle principal. (San Pedro de Vilcabamba)	29/06/07 12:10
8	1201074	1	Residencial	Manuel I. Godoy y Pío Jaramillo (Malacatos)	29/06/07 13:40
9	108957	1	Residencial	Valle Sagrado y L. de la Vega (Vilcabamba)	29/06/07 15:10
10	128546	1	Residencial	Lauro Guerrero y Juan José Samaniego (Loja)	02/07/07 09:30
11	177770	1	Residencial	C. Chile y Colombia (Cariamanga)	20/07/07 12:50
12	1151380	1	Residencial	José M. Vivar Castro y El Oro (Saraguro)	28/08/07 12:50
13	128361	1	Residencial	Honorato Lazo y Saraguro (Saraguro)	28/08/07 14:00

En el siguiente mapa se observa la localización de los puntos de medición elegidos (Figura. 46)



Figura 46. Ubicación de los puntos de medición.

2.4. Análisis y Soluciones de los datos obtenidos en los puntos de medición

A continuación se presentan los análisis de los casos más críticos, en cada uno de los puntos de medición, luego de lo cual se indican las causas y soluciones a nivel general de todas las mediciones realizadas.

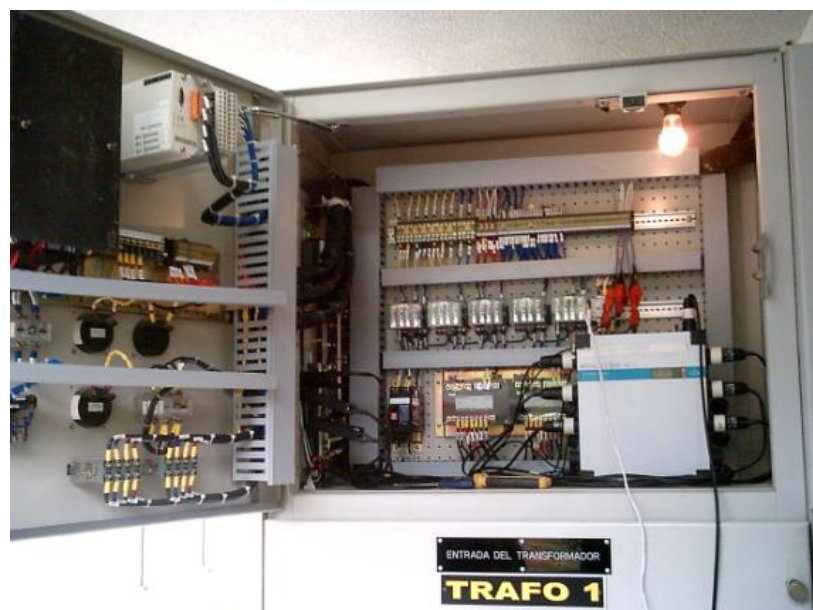
2.4.1. Análisis de la Calidad del Producto en las barras de salida de las Subestaciones de Distribución con la ayuda del analizador de redes TOPAS 1000

2.4.1.1. Subestación El Pangui N° 24

Es de tipo distribución con barras de AV/MV (69/22KV) cuya potencia nominal es de 5MVA, interconectada con la Subestación Cumbaratza, la misma posee 4 alimentadores

(El Pangui, Gualaquiza, Los Encuentros y uno de Reserva). Está ubicada en la parroquia y cantón El Pangui, Km 3 vía a Yanzatza, en la provincia de Zamora Chinchipe.

Se procedió a realizar la conexión del analizador de redes Topas 1000 en el gabinete de control de la Subestación, a nivel de media tensión en el secundario de los transformadores de medida, con la ayuda de los respectivos diagramas unifilares procedimos a instalar las pinzas de voltaje en las salidas de los TP_s, para luego colocar las pinzas de corriente en los conductores respectivos de las salidas de los TC_s.



Fotografía 5. Gabinete de la S/E El Pangui

ANÁLISIS

- **Niveles de Tensión**

En lo referente a los eventos, se registraron en el equipo 27 sobretensiones y 159 caídas de tensión con un promedio de tiempo en milisegundos, 4 interrupciones de larga duración; la primera de 10 min, la segunda y la tercera de 20min, que se produjeron el día 23 de mayo del 2007 y la otra el día 24 de mayo del 2007 con una duración de aproximadamente 30min, 1 interrupción momentánea < 1min, el día 23 de mayo del 2007.

Los valores registrados de los niveles de tensión para cada una de las fases, se indican en las siguientes figuras:

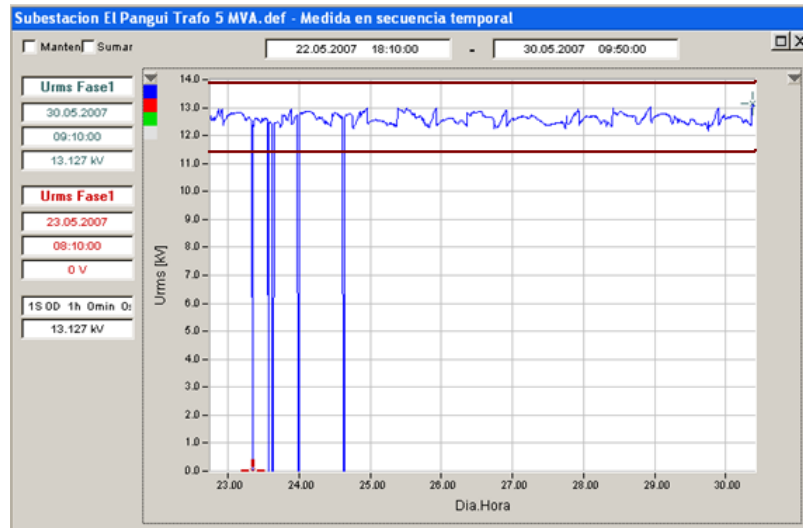


Figura 47a. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase A.

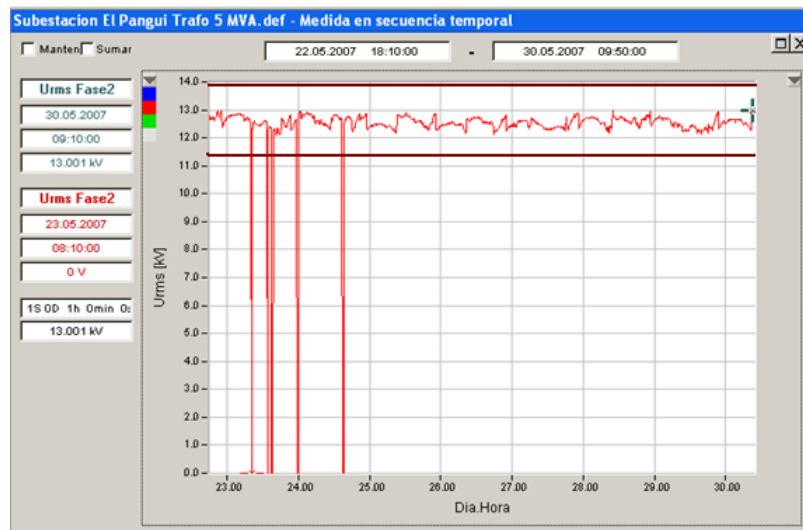


Figura 47b. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase B.

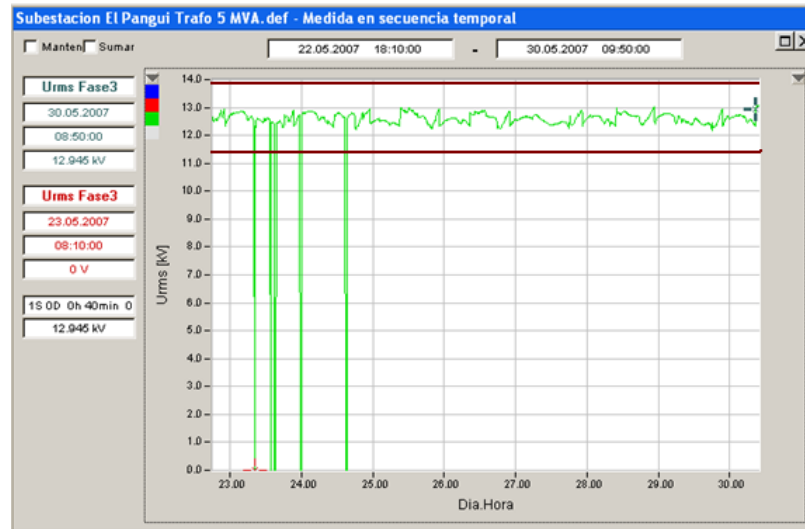


Figura 47c. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase C.

Mediante el software de procesamiento se obtuvieron niveles de tensión entre fase y neutro: mínimos de 0V en las 3 fases el día 23 de mayo del 2007 a las 08:10, lo que corresponde a una variación de tensión de -100% con respecto a la tensión nominal, debido a que existió un corte de servicio para el mantenimiento en uno de los alimentadores de la subestación; de la misma forma se registraron tensiones máximas entre fase y neutro de: 13.040V en la fase A el día 28 de mayo del 2007 a las 22:30, lo que corresponde a una variación de 2,67% con respecto a la tensión nominal, un valor de 12.998V en la fase B el día 28 de mayo del 2007 a las 09:50 lo cual corresponde a un 2,34% con respecto a la tensión nominal, y un valor de 13.014V en la fase C el día 28 de mayo del 2007 a las 22:30 lo que corresponde a un 2,46% con respecto al voltaje nominal. También se obtuvieron 27 muestras fuera del límite, lo cual corresponde a un 0,89% del total de registros, valor inferior al 5% exigido, por lo tanto este parámetro si cumple con la regulación.

- **Perturbaciones de Tensión**

- **Flicker P_{st}**

Los valores registrados para P_{st} para cada una de las fases, se indican en las siguientes figuras:

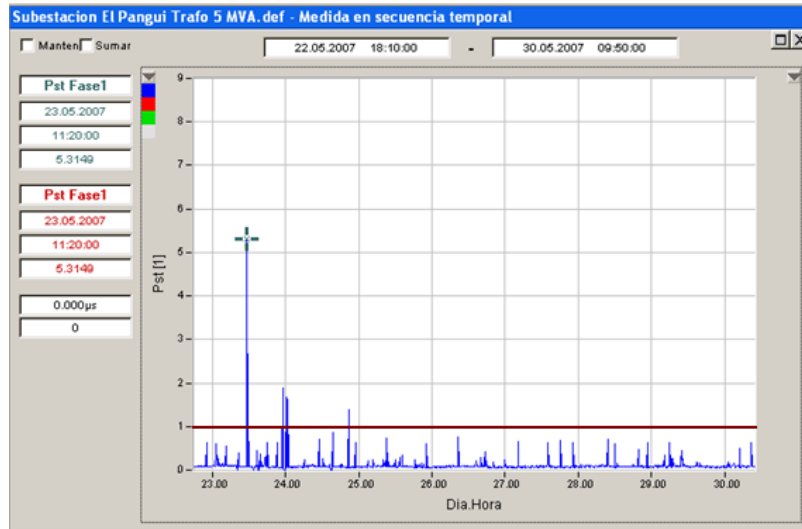


Figura 48a. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase A.

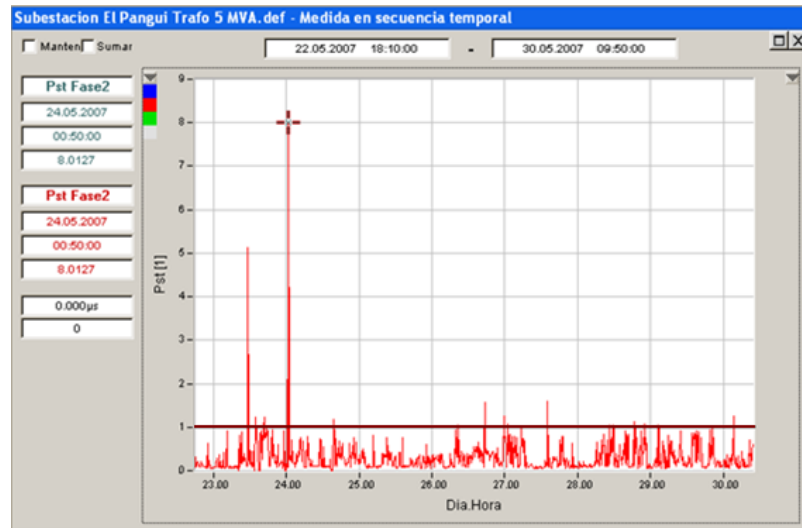


Figura 48b. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase B.

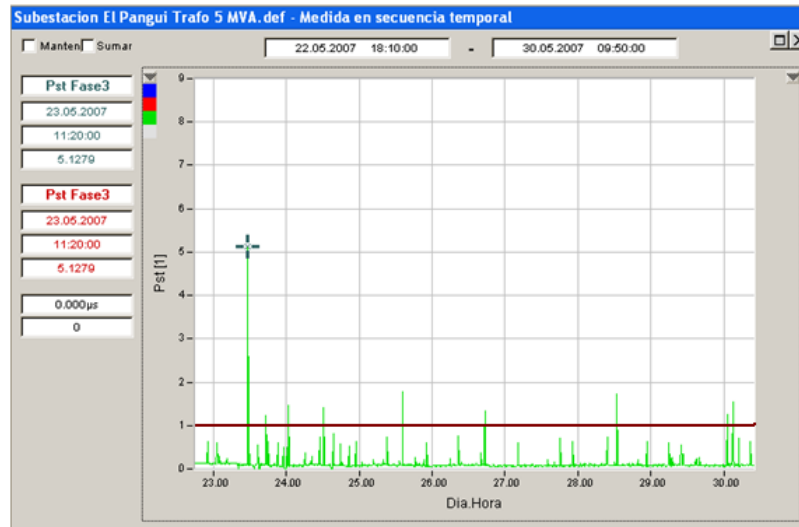


Figura 48c. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase C.

Con la ayuda del software de procesamiento, se determinó que existieron 32 valores que se encuentran fuera del límite en las 3 fases de la Subestación, lo que corresponde al 1,06% de los registros, por lo que este parámetro si cumple con la regulación.

Las figuras 3a, 3b, 3c, nos indican que la severidad del flicker P_{st} sobrepasa el valor límite para las fases A, B y C respectivamente en algunos registros, observando con claridad valores máximos de: 5,31 en la fase A el día 23 de mayo del 2007 a las 11:20, un valor de 8,01 en la fase B el día 24 de mayo del 2007 a las 00:50 y un valor de 5,13 en la fase C el día 23 de mayo del 2007 a las 11:20.

- **Armónicos**

Los valores registrados para los armónicos para cada una de las fases, se indican en las siguientes figuras:

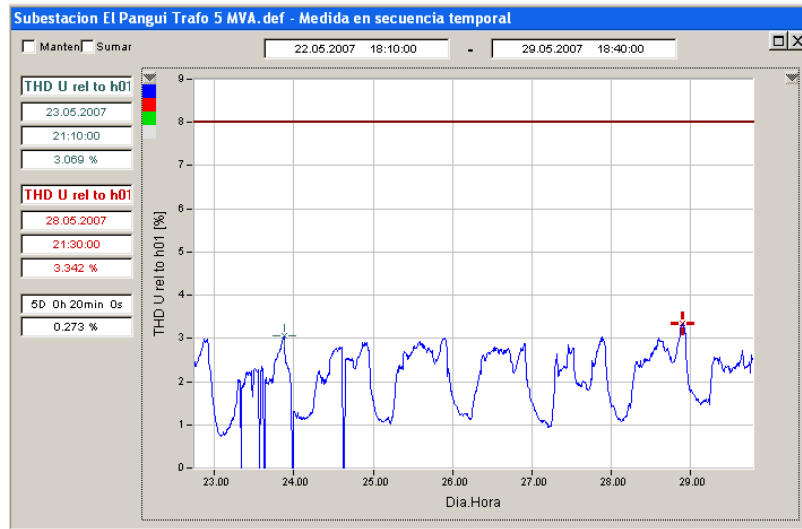


Figura 49a. Medida en secuencia temporal THD para la fase A.

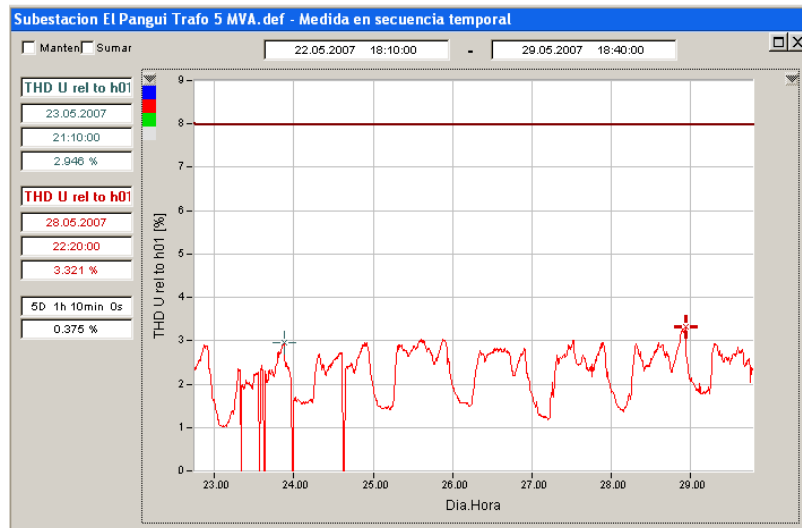


Figura 49b. Medida en secuencia temporal THD para la fase B.

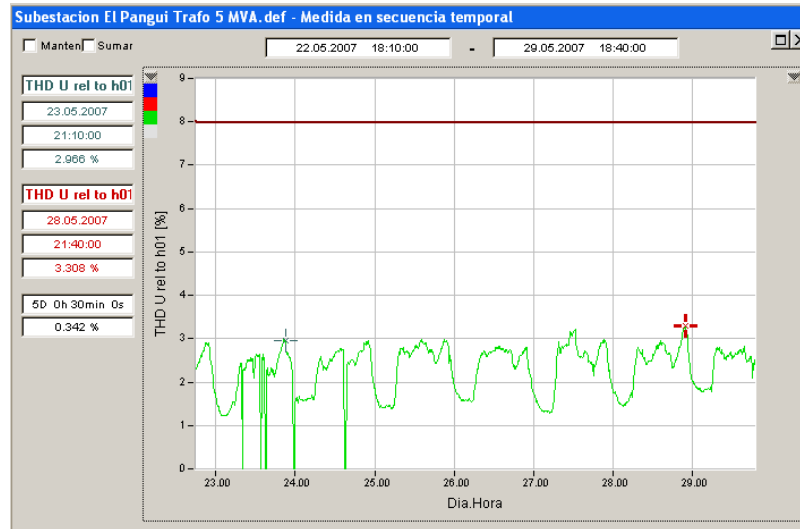


Figura 49c. Medida en secuencia temporal THD para la fase C.

Con la ayuda del software, determinamos que no existieron valores que se encuentren fuera del límite en las 3 fases, es decir mayores al 8%, obteniendo el día 28 de mayo del 2007 valores máximos de 3,34% a las 21:30 en la fase A y 3,32% en la fase B a las 22:20 y 3,31% en la fase C a las 21:40.

- **Factor de Potencia**

En lo que se refiere a los valores registrados del factor de potencia para cada una de las fases, el equipo nos registro los valores que se indican en las siguientes figuras:

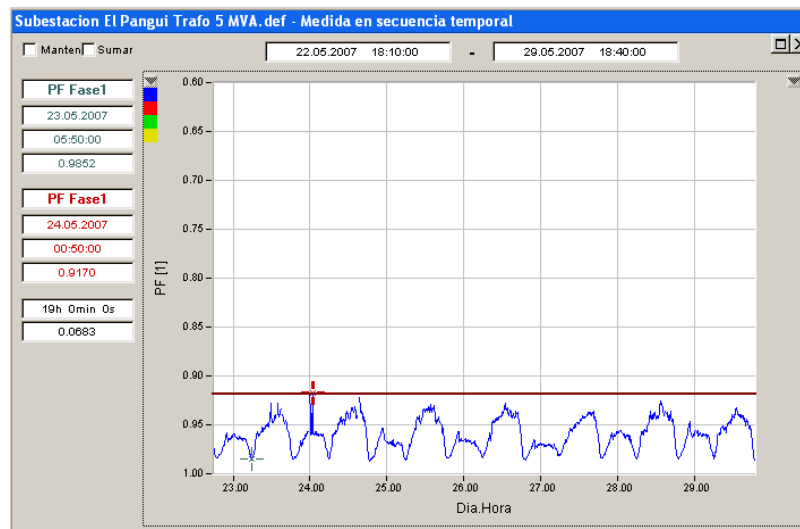


Figura 50a. Medida en secuencia temporal del FP para la fase A.

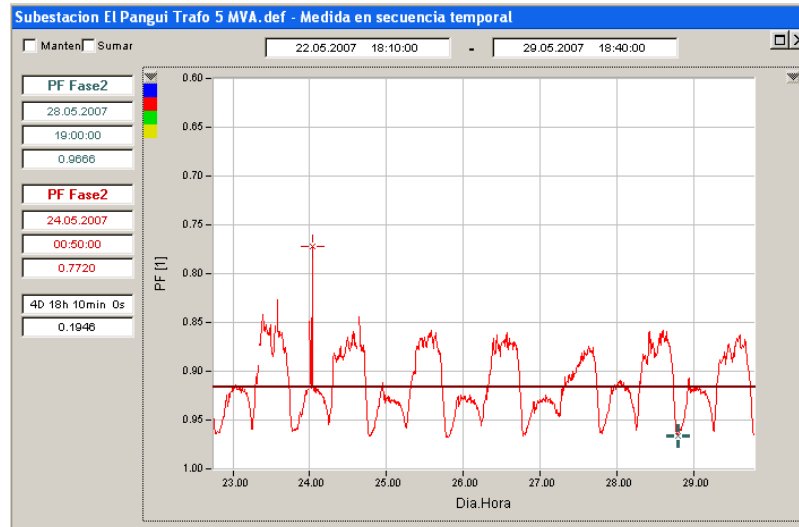


Figura 50b. Medida en secuencia temporal del FP para la fase B.

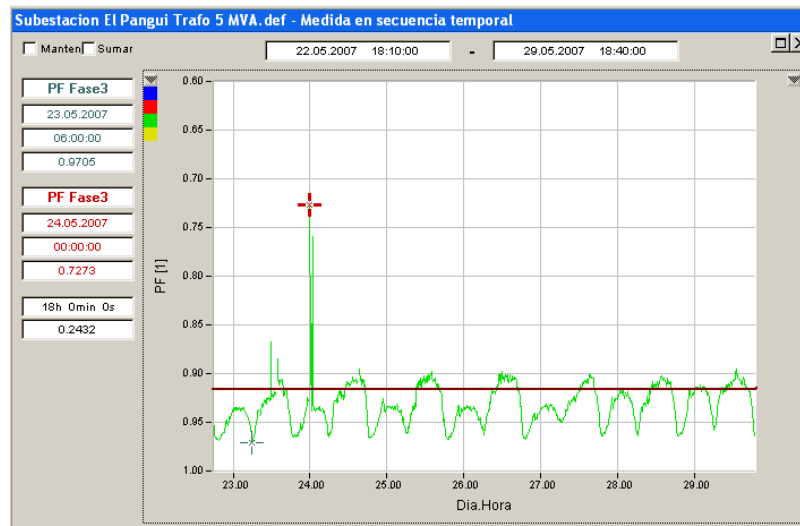


Figura 50c. Medida en secuencia temporal del FP para la fase C.

Con la ayuda del software se obtuvieron los siguientes valores: Factores de potencia inductivos mínimos de: 0,91, 0,77, 0,72 en las tres fases de la Subestación el día 24 de mayo del 2007 a las 00:50 en las fases A, B, y a las 00:00 en la fase C.

Determinando que 848 valores se encuentran fuera del límite, en las 3 fases de la Subestación, lo cual corresponde al 28,04% superior al 5% del total de mediciones, por lo que este parámetro no cumple con la regulación.

Parámetros que no cumplen con la regulación:

Luego de realizado el análisis se ha determinado que, en lo que respecta al parámetro de factor de potencia en las Subestaciones analizadas, no cumple con la regulación debido a la siguiente causa:

- Existe un consumo excesivo de reactivos, por parte de las cargas en media y baja tensión, las cuales se encuentran servidas de los alimentadores que salen de las subestaciones; es decir aguas abajo del punto de medición.

SOLUCIONES GENERALES

Se recomienda a la EERSSA:

- Realizar un estudio de cada uno de los alimentadores para poder determinar las posibles causas de un bajo factor de potencia, con la finalidad de:
 - Instalar bancos de capacitores a nivel del alimentador que presente un mayor grado de perturbación.
 - Ubicar bancos de capacitores junto a la carga más perturbadora encontrada en el alimentador.
 - De ser necesario considerar un servicio independiente para las cargas perturbadoras.

2.4.2. Análisis de la Calidad del Producto en los Transformadores de Distribución con la ayuda del analizador de redes TOPAS 1000

2.4.2.1. Transformador Monofásico N° 695

Es de tipo monofásico cuya potencia nominal es de 25kVA y presta servicio a un sector residencial en donde están servidos aproximadamente 7 usuarios (120V-240V). Éste recibe el servicio del alimentador primario Sur 0211 (13.8kV), perteneciente a la Subestación San Cayetano. Ubicado en las calles Río Cuyabeno y Río Yavari, en el cantón y provincia de Loja.

Se procedió a realizar la conexión del analizador de redes Topas 1000 en las bajantes del secundario, como se puede ver en la siguiente fotografía.



Fotografía 6. Conexión del equipo en las bajantes del transformador.

ANÁLISIS

- Niveles de Tensión

En lo referente a las caídas de tensión instantáneas se registraron 8 en el equipo, con un promedio de duración de 8 ms.

Los valores registrados de los niveles de tensión para cada una de las fases, se indican en las siguientes figuras:

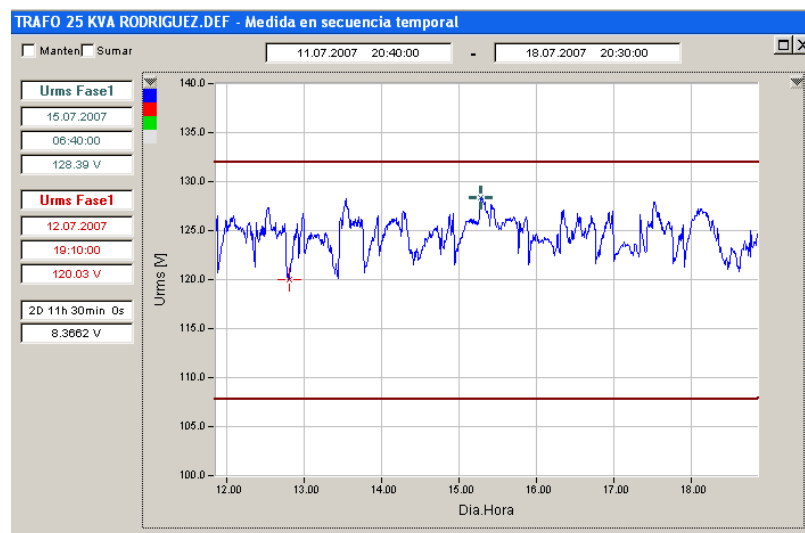


Figura 51a. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase A.

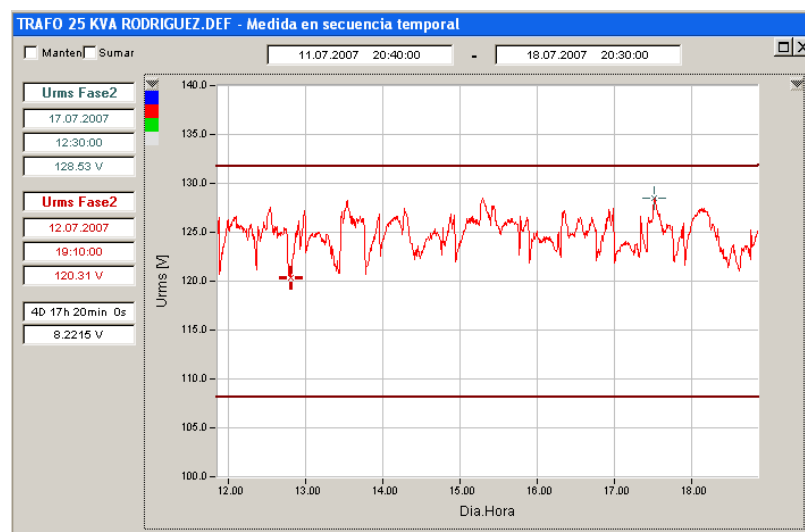


Figura 51b. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase B.

Mediante el software elaborado se procesaron los datos recogidos, encontrando tensiones mínimas entre fase y neutro de: 119,90V el día 12 de julio del 2007 a las 19:00 en la fase A lo que corresponde a una variación de tensión del -0,08% con respecto a la tensión nominal y 120,31V el día 12 de julio del 2007 a las 19:10 en la fase B lo que corresponde a una variación de tensión del 0,26% con respecto a la tensión nominal, de igual manera fueron registradas tensiones máximas entre fase y neutro de: 128,48V en la fase A el día 15 de julio del 2007 a las 07:10, lo cual corresponde a una variación de tensión de 7,07% respecto a la tensión nominal y 128,55V en la fase B, el día 17 de julio del 2007 a las 12:40, lo cual corresponde a una variación de tensión de 7,13% respecto a la tensión nominal. No obtuvimos valores fuera del límite, por lo tanto este parámetro si cumple con la regulación.

- **Perturbaciones de Tensión**

- **Flicker P_{st}**

Los valores registrados para P_{st} en los bornes de baja tensión del transformador para cada una de las fases se indican en las siguientes figuras:

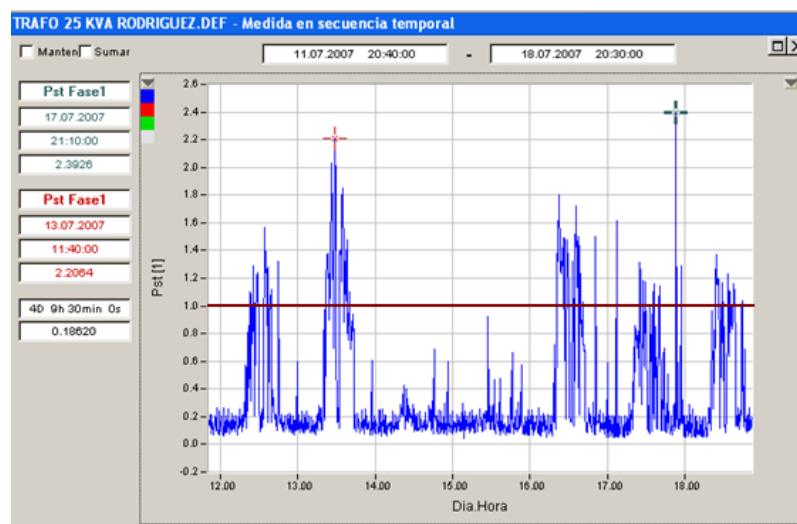


Figura 52a. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase A.

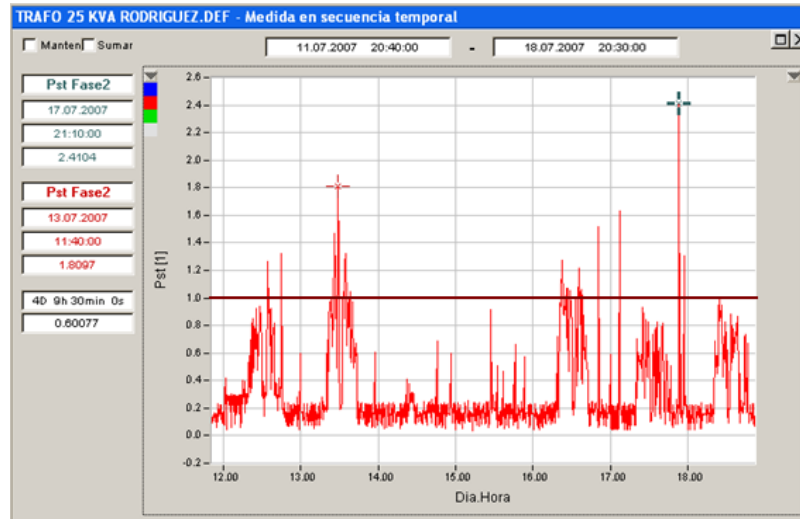


Figura 52b. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase B.

Con la ayuda del software de procesamiento de datos, determinamos que existieron 153 valores fuera del límite, en las dos fases del transformador, lo cual corresponde al 7,59% del total de las mediciones.

Las figuras 7a y 7b de las fases A y B, nos indican que la severidad del flicker P_{st} sobrepasa el valor límite, observando con claridad que el día 17 de julio del 2007, en el intervalo de 21:10 se registraron valores máximos de 2,39 en la fase A y 2,41 en la fase B.

- **Armónicos**

Refiriéndonos a los valores registrados de los armónicos en los bornes de baja tensión del transformador para cada una de las fases, el equipo nos registro los valores que se indican en las siguientes figuras:

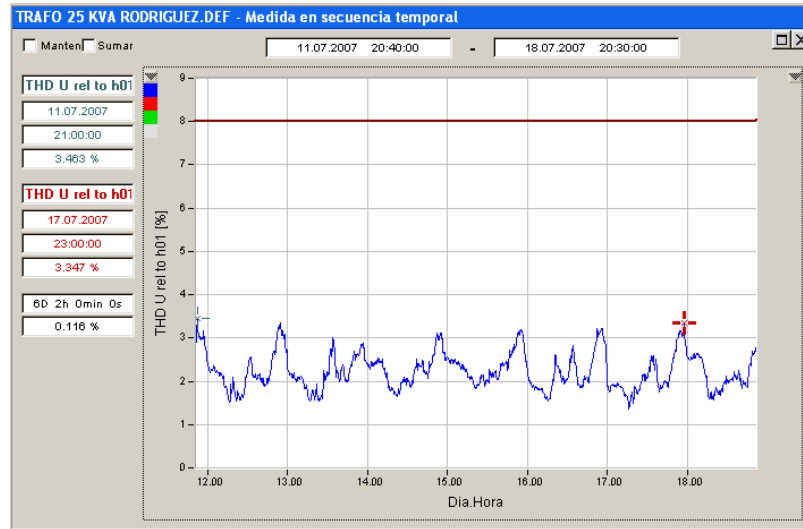


Figura 53a. Medida en secuencia temporal THD para la fase A.

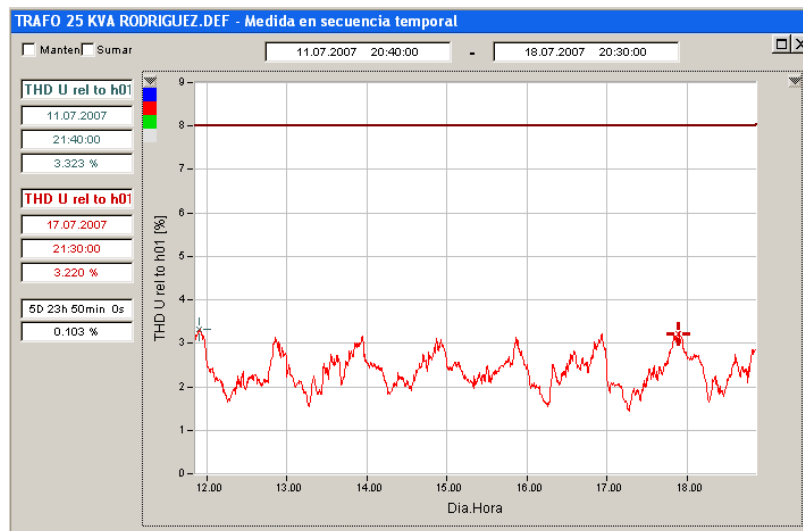


Figura 53b. Medida en secuencia temporal THD para la fase B.

Con la ayuda del software, determinamos que no existieron valores que se encuentren fuera del límite en las 2 fases del transformador, obteniendo valores máximos de 3,46% en la fase A el día 11 de julio del 2007 a las 21:00 y 3,32% en la fase B, el día 11 de julio del 2007 a las 21:40.

En cuanto a los armónicos individuales, podemos identificar mediante el software, que el armónico 15 sobrepasa los límites en un 10,62% de los registros, como podemos observar en la figura.

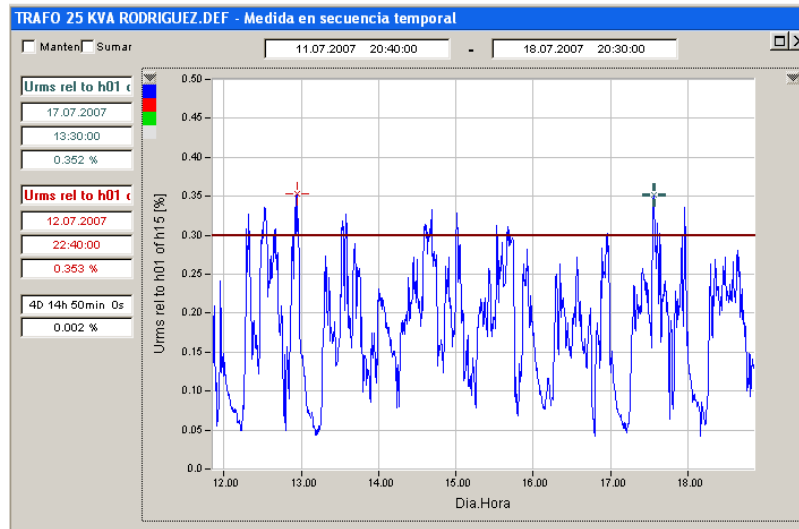


Figura 54a. Medida en secuencia temporal del Armónico15 para la fase A.

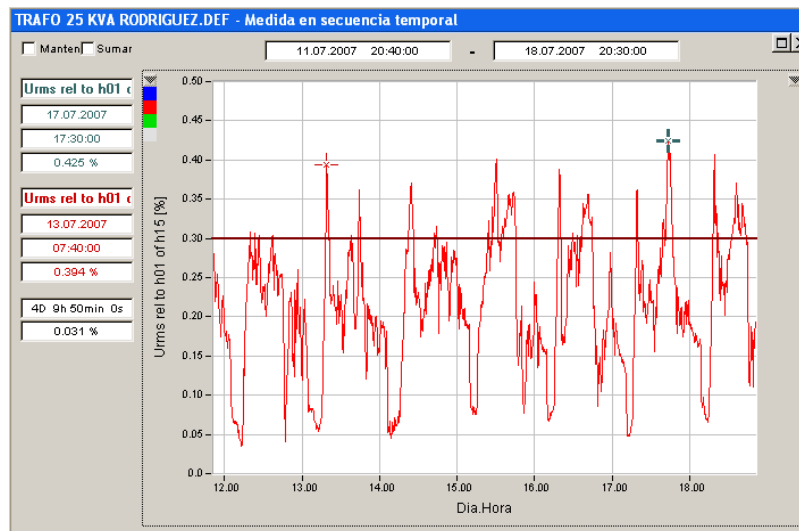


Figura 54b. Medida en secuencia temporal del Armónico15 para la fase B.

- **Factor de Potencia**

En lo que se refiere a los valores registrados del factor de potencia para cada una de las fases, el equipo nos registro los valores que se indican en la siguiente figura:

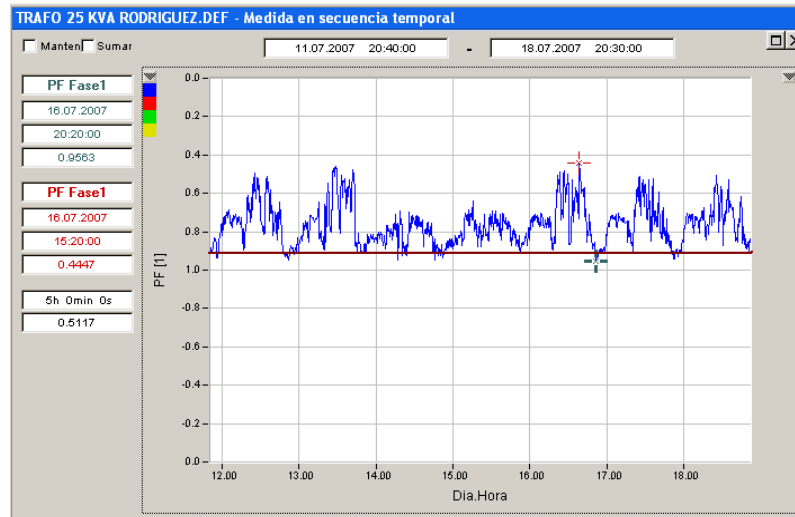


Figura 55a. Medida en secuencia temporal FP para la fase A.

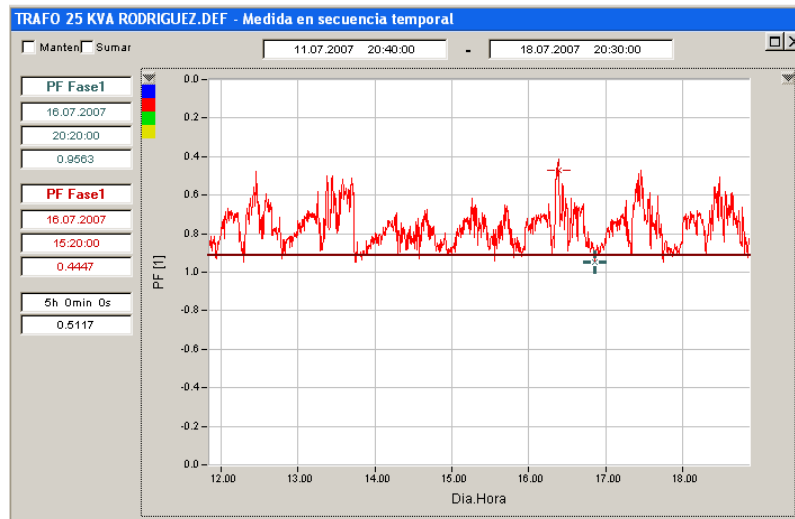


Figura 55b. Medida en secuencia temporal FP para la fase B.

Con la ayuda del software se obtuvieron los siguientes valores: Factores de potencia inductivos mínimos de: 0,44 en la fase A el día 16 de julio del 2007 a las 15:20 y 0,43 en la fase B el día 16 de julio del 2007 a las 08:50 y factores de potencia inductivos máximos de 0,95 en la fase A el día 16 de julio del 2007 a las 20:20 y 0,94 en la fase B el día 12 de julio del 2007 a las 07:10.

Determinando que 1.966 valores se encuentran fuera del límite, en las dos fases del transformador, lo cual corresponde al 97.52% superior al 5% del total de mediciones, por lo que este parámetro no cumple con la regulación.

Parámetros que no cumplen con la regulación:

Luego de realizado el análisis se ha determinado que del total de los transformadores analizados: un 20% no cumple con la regulación en el parámetro de flicker (P_{st}), y el 100% no cumple con el factor de potencia establecido, debido a las siguientes causas:

- Perturbaciones de voltaje existentes en la red de la baja tensión.
- Funcionamiento de Talleres de: Metal-Mecánica, eléctricos, soldadura, lavadoras de vehículos, bloqueras.
- Centros Comerciales y de juegos.
- Equipos hospitalarios y maquinaria industrial.
- Electrodomésticos (refrigeradoras, lavadoras, computadoras, televisores, equipos de sonido, conectados al sistema).

SOLUCIONES GENERALES

Se recomienda a la EERSSA realizar:

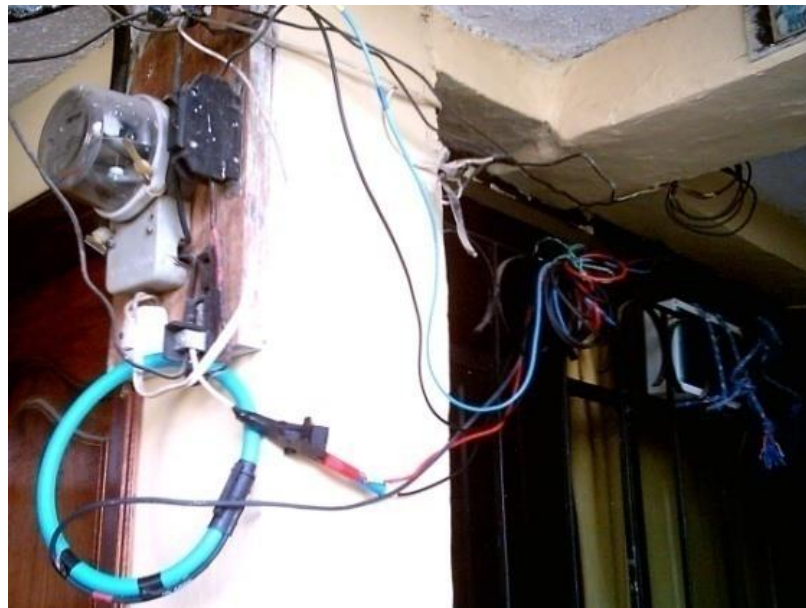
- Un estudio de carga específico para las diferentes cargas de mayor perturbación como en el caso de la bloquera ubicada en el sector el Tascón en Zamora.
- Considerar un correcto dimensionamiento de los transformadores que se están utilizando en las diferentes aéreas, caso particular en Zamora (Sabanilla), Macará (Hospital) y Cariamanga.
- Instalación de equipos que contrarresten las perturbaciones de tensión, tales como capacidades en serie, compensadores estáticos.
- Revisión de los calibres de los conductores en la red de baja tensión.
- Una revisión técnica de las instalaciones eléctricas generales de las cargas perturbadoras.

2.4.3. Análisis de la Calidad del Producto en los Consumidores Finales con la ayuda del analizador de energía MEMOBOX 300P

2.4.3.1. Contador de Energía N° 117414

El contador de energía es de tipo monofásico-residencial, se encuentra alimentado por el transformador monofásico N° 490 cuya potencia nominal es de 25kVA el cual está conectado al alimentador primario Celi Román, perteneciente a la Subestación Obrapia. El punto de medición se encuentra ubicado en las calles Piura y Lima, barrio Clodoveo, del cantón y provincia de Loja.

Se procedió a realizar la conexión del analizador de energía Memobox 300P en las salidas del contador de energía.



Fotografía 7. Conexión del equipo a la salida del contador de energía.

ANÁLISIS

- **Niveles de Tensión**

En lo referente a los eventos registrados se obtuvieron 130.106 caídas de tensión de corta duración. Los valores registrados de los niveles de tensión, se indican en la siguiente figura:

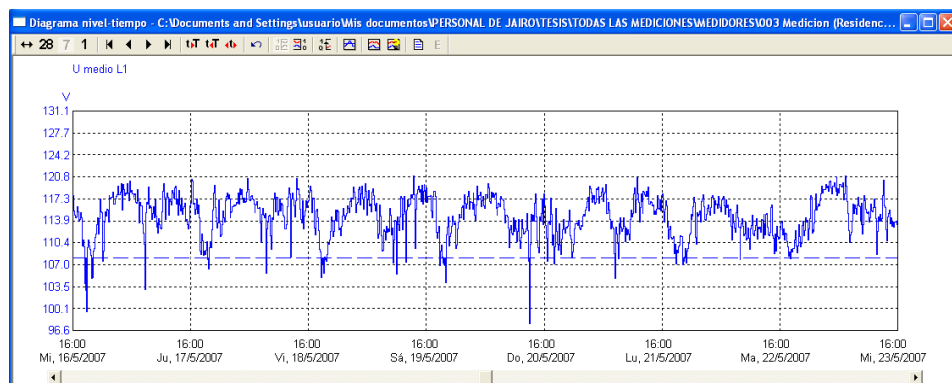


Figura 56. Medida en secuencia temporal V_{rms} para la fase.

Mediante el software elaborado se procesaron los datos recogidos, obteniendo tensiones mínimas entre fase y neutro de: 97,70V el día 20 de mayo del 2007 a las 13:10, lo cual corresponde a una variación de tensión de -18,58% con respecto a la tensión nominal; además se registraron tensiones máximas entre fase y neutro de: 120,95V el día 23 de mayo del 2007 a las 05:30 lo cual corresponde a una variación de tensión de 0,79% con respecto a la tensión nominal. Asimismo se obtuvieron 37 valores fuera del límite, lo cual corresponde a un 3,67% menor al 5% del total de mediciones, por lo tanto este parámetro si cumple con la regulación.

- **Perturbaciones de Tensión**

- **Flicker P_{st}**

Los registros obtenidos en el equipo analizador de energía en lo referente al parámetro P_{st} se indican en la siguiente figura:

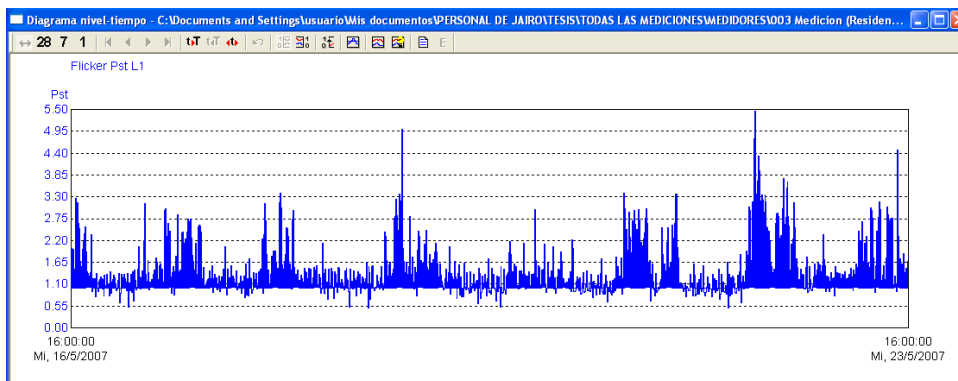


Figura 57. Medida en secuencia temporal P_{st} para la fase.

Con la ayuda del software de procesamiento de datos, determinamos que existieron 821 valores fuera del límite, lo cual corresponde al 81,45% superior al 5% del total de mediciones, por lo tanto este parámetro no cumple con la regulación.

Como se muestra en la figura 58, nos indica que la severidad del flicker P_{st} sobrepasa el valor límite, observando con claridad que el día 22 de mayo del 2007, en el intervalo de 09:20 se registra un valor máximo de 5,46.

- **Armónicos**

Haciendo referencia a los datos registrados de los armónicos, el equipo nos registro los valores que se indican en la siguiente figura:

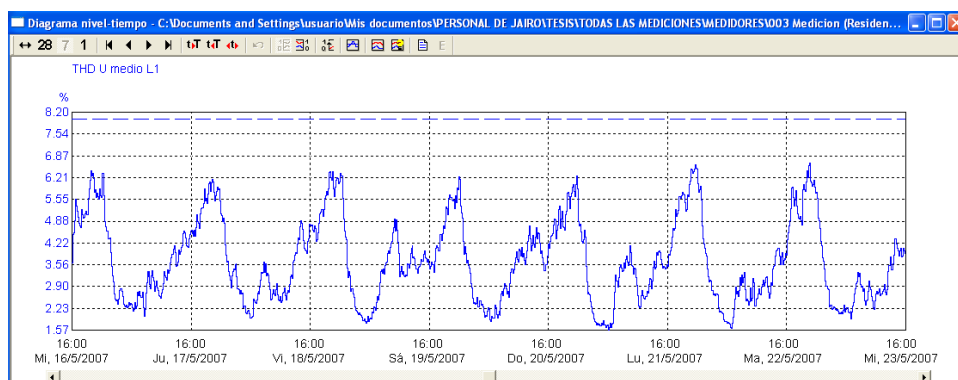


Figura 58. Medida en secuencia temporal THD.

Con la ayuda del software, determinamos que no existieron valores que se encuentren fuera del límite, sin embargo el día 22 de mayo del 2007 a las 20:50, se registro un valor máximo de 6,65%.

- **Factor de Potencia**

Con la ayuda del software se obtuvieron los siguientes valores: Factor de potencia inductivo mínimo de 0,64 el día 17 de mayo del 2007 a las 13:30 y un factor de potencia inductivo máximo de 0,99 el día 20 de mayo del 2007 a las 13:00.

Pudiendo determinar que 146 valores se encuentran fuera del límite, lo cual corresponde al 14,48% superior al 5% del total de mediciones, por lo tanto este parámetro no cumple con la regulación.

Parámetros que no cumplen con la regulación:

Luego de realizado el análisis se ha determinado que del total de los medidores de energía analizados: un 46,15% no cumple con la regulación en el parámetro de flicker (P_{st}), y el 100% no cumple con el factor de potencia establecido, debido a las siguientes causas:

- Perturbaciones de voltaje existentes en la red de la baja tensión.
- Funcionamiento de Talleres de: Metal-Mecánica, eléctricos, soldadura.
- Los transformadores de distribución no se encuentran en el centro de carga.
- Los puntos de medición se encuentran en el final de los circuitos de la red.
- Existencia de electrodomésticos (refrigeradoras, lavadoras, computadoras, televisores, equipos de sonido, conectados al sistema).
- No existencia de una referencia a tierra para la barra de neutro, ni para las instalaciones eléctricas internas de los usuarios.

SOLUCIONES GENERALES

- Un estudio de carga específico para las diferentes cargas de mayor perturbación como en el caso del Taller de Metal-Mecánica ubicado en Loja (Barrio Clodoveo).
- Revisión del calibre de los conductores en la red de baja tensión.
- La reubicación del transformador existente hacia centro de carga del circuito, caso particular en Loja (Barrio Clodoveo).
- Una revisión técnica de las instalaciones eléctricas generales de dicho usuario.
- Una adecuada elección del sistema de iluminación.

El resumen de todas las mediciones que hemos realizado, basados en las tablas de reportes se indican en la parte de anexos (D, E, F).

VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-AMBIENTAL

➤ VALORACIÓN TECNICO-ECONOMICA

Basándonos en el análisis de los resultados obtenidos, podemos manifestar que debido a que no existe una buena calidad de energía en algunos de los parámetros medidos, lo cual implica pérdidas económicas tanto para la empresa como para el usuario final, es necesario realizar un estudio técnico económico y de mercado de equipos que corrijan o reduzcan el impacto de los parámetros distorsionados.

➤ VALORACIÓN AMBIENTAL

En lo que respecta al impacto ambiental que nuestro análisis como tal implicó, podemos manifestar que el mismo no involucró ningún daño al medio ambiente ni a las personas que de una u otra manera nos involucramos en el desarrollo del mismo.

CONCLUSIONES

- Se constató que la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. se basa en la Regulación del CONELEC 004/01, para el control de los parámetros de calidad del producto en la prestación del Servicio Eléctrico de Distribución y los procedimientos de evaluación.
- Se pudo conocer la Regulación del CONELEC 004/01 y aplicarla para cada uno de los parámetros establecidos en lo que respecta a la Calidad del Producto.
- Se determinó que a nivel de barras de salida de AV/MV de las subestaciones de distribución, transformadores de distribución y consumidores finales, en cuanto a niveles de tensión se encuentra dentro de lo establecido en la regulación.
- Se verificó que de todos los puntos de medición analizados, en lo referente a perturbaciones de voltaje flicker no cumplen con la regulación el 20% de los transformadores de distribución, y el 46,15% de los consumidores finales; de igual manera, en cuanto a la perturbación de voltaje armónico se estableció que todas las mediciones están dentro de la regulación.
- Se comprobó que la EERSSA cumple con la calidad de servicio en lo relacionado a niveles de tensión, siendo los parámetros de flicker y factor de potencia los de mayor incidencia en el sistema.
- Luego de haber concluido con el desarrollo de nuestra tesis, nos sentimos más conscientes del campo profesional con el cual estamos ligados, palpando de una manera más directa las distintas fases que se tienen que tener en cuenta para enfrentar los diferentes problemas que en nuestra atmósfera de trabajo encontraremos.

RECOMENDACIONES

- Realizar un Control de Calidad de Energía por personal calificado periódicamente con la finalidad de entregar al usuario final una energía en buenas condiciones de calidad.
- Efectuar una campaña de concienciación por parte de la EERSSA, dirigida a los usuarios en lo que tiene que ver al uso eficiente de la energía y las consecuencias de tener instalaciones eléctricas inadecuadas.
- Elaborar el trabajo de investigación: “*Estudio de la Calidad del Servicio Técnico*”, el mismo que encierra un estudio de la frecuencia de las interrupciones y la duración de éstas, siendo adecuado para el complemento del estudio de la Calidad de la Energía.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

➤ Libros y Monografías

- BALCELLS, Josep. 2000. **“Calidad y uso racional de la energía eléctrica”**. España. Grafos S.A. 192p.
- LEONARDO DA VINCI POWER QUALITY. 2001. **“Guía de la calidad de energía eléctrica”**. España. CEDIC. 202p.
- SAMANIEGO, Eduardo; PALACIOS David. 2006. **“Estudio y Análisis de perturbaciones correspondientes a Sistemas de Distribución Eléctrica”**. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana.

➤ Folletos

- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING. **“IEEE 512: Recomendaciones Básicas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia”**
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING, **“IEEE 519, IEC 61000: La calidad de energía eléctrica, introducción, armónicos y normalizaciones”**
- **“EN 50 160 y estándar CBEMA: Herramientas para el análisis de la calidad de voltaje”**
- CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, **“Regulación N° CONELEC 004/01: Calidad de servicio Eléctrico de Distribución”**
- COMISION DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA REGIONAL, **“Calidad de Potencia en la Distribución”**

➤ Páginas Web

- www.elprisma.com
- www.monografías.com “Calidad de energía eléctrica”
- www.wikipedia.org “Normas internacionales para la calidad de energía eléctrica”

- www.lpqi.org “Guía de la calidad de la energía eléctrica”
- www.circuitor.com “Calidad y uso racional de la energía eléctrica”
- www.conelec.gov.ec “Consejo Nacional de Electricidad: Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución”
- www.sec.com “Superintendencia de Electricidad y Combustibles: Calidad de suministro eléctrico”
- www.ing.unlp.edu.ar “Perturbaciones en Redes Eléctricas”
- www.c-mos.com.arg “Cursos sobre la Calidad de Energía Eléctrica”

ANEXOS

DATOS DE LA SUBESTACIÓN

SUBESTACIÓN: El Pangui

NÚMERO DE LA SUBESTACIÓN: 24

Ubicación:

PROVINCIA: ZAMORA CHINCHIPE	CANTÓN: El Pangui
CIUDAD: El Pangui.	PARROQUIA: El Pangui
SECTOR: Sur	ZONA: Rural
DIRECCIÓN: km 3 vía a Yanzatza	

Datos de la Medición:

POTENCIA NOMINAL (MVA): 5	NÚMERO DE FASES: 3
TENSIÓN NOMINAL F-N (V) : 12701	EQUIPO UTILIZADO: Topas 1000
FECHA DE INICIO: 22.05.2007 18:10:00	FECHA FINAL: 29.05.2007 18:40:00

NIVELES DE TENSIÓN (V)

NIVELES DE TENSION

	FASE A		FASE B		FASE C	
VOLTAJE MÍNIMO:	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00
VOLTAJE MÁXIMO:	13.040,00	28.05.2007 22:30:00	12.998,00	28.05.2007 09:50:00	13.014,00	28.05.2007 22:30:00
VOLTAJE PROMEDIO:	12.499,38		12.442,11		12.492,32	

TOTALES		
VOLTAJE MÍNIMO:	0,00 (FA)	23.05.2007 08:10:00
VOLTAJE MÁXIMO:	13.040,00 (FA)	28.05.2007 22:30:00
VOLTAJE PROMEDIO:	12.477,94	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 27,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,89%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

VARIACIONES DE TENSIÓN (%)

	FASE A	FASE B	FASE C	TOTALES
MÍNIMO:	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
MÁXIMO:	2,67	2,34	2,46	2,67
PROMEDIO:	-1,59	-2,04	-1,64	-1,76

NIVELES DE CORRIENTE (A)

	FASE A		FASE B		FASE C	
CORRIENTE MÍNIMA:	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00
CORRIENTE MÁXIMA:	102,94	23.05.2007 18:40:00	104,31	23.05.2007 19:00:00	111,28	23.05.2007 19:10:00
CORRIENTE PROM.:	54,30		52,60		61,34	

TOTALES		
CORRIENTE MÍNIMA:	0,00 (FA)	23.05.2007 08:10:00
CORRIENTE MÁXIMA:	111,28 (FC)	23.05.2007 19:10:00
CORRIENTE PROM.:	56,08	

SUBESTACIÓN: El Pangui

NÚMERO DE LA SUBESTACIÓN: 24

FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA INDUCTIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,91	24.05.2007 00:50:00	0,77	24.05.2007 00:50:00	0,72	24.05.2007 00:00:00
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,98	29.05.2007 18:40:00	0,96	25.05.2007 19:10:00	0,97	23.05.2007 06:00:00
INDUCTIVO PROM.:	0,96		0,91		0,93	

TOTALES		
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,72 (FC)	24.05.2007 00:00:00
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,98 (FA)	29.05.2007 18:40:00
INDUCTIVO PROM.:	0,93	

FACTOR DE POTENCIA CAPACITIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
CAPACITIVO MÍNIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO PROM.:	0,00		0,00		0,00	

TOTALES		
CAPACITIVO MÍNIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO PROM.:	0,00	

DATOS TOTALES FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA TOTAL: 0,95
MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 848,00
% DE MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 28,04%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

ENERGÍA (kWh)

FASE A: 110470
FASE B: 101720
FASE C: 121110
TOTAL: 333300

ENERGÍA SUMINISTRADA EN MALAS CONDICIONES
DE CALIDAD (KWh): 2.975,89

SUBESTACIÓN: El Pangui

NÚMERO DE LA SUBESTACIÓN: 24

FLICKER

FLICKER DE CORTA DURACIÓN (PST)

	FASE A		FASE B		FASE C	
PST MÍNIMO:	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00
PST MÁXIMO:	5,31	23.05.2007 11:20:00	8,01	24.05.2007 00:50:00	5,13	23.05.2007 11:20:00
PST PROMEDIO:	0,11		0,29		0,12	

TOTALES		
PST MÍNIMO:	0,00 (FA)	23.05.2007 08:10:00
PST MÁXIMO:	8,01 (FB)	24.05.2007 00:50:00
PST PROMEDIO:	0,17	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 32,00
 % DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 1,06%
 CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

FLICKER DE LARGA DURACIÓN (PLT)

	FASE A		FASE B		FASE C	
PLT MÍNIMO:	0,07	23.05.2007 18:20:00	0,08	27.05.2007 10:50:00	0,07	24.05.2007 20:50:00
PLT MÁXIMO:	2,34	23.05.2007 10:10:00	3,50	24.05.2007 00:30:00	2,24	23.05.2007 10:10:00
PLT PROMEDIO:	0,20		0,44		0,21	

TOTALES		
PLT MÍNIMO:	0,07 (FA)	23.05.2007 18:20:00
PLT MÁXIMO:	3,50 (FB)	24.05.2007 00:30:00
PLT PROMEDIO:	0,28	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 48,00
 % DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 1,59%
 CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

ARMÓNICOS THD

ARMÓNICOS THD

	FASE A		FASE B		FASE C	
THD MÍNIMO:	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00	0,00	23.05.2007 08:10:00
THD MÁXIMO:	3,34	28.05.2007 21:30:00	3,32	28.05.2007 22:20:00	3,31	28.05.2007 21:40:00
THD PROMEDIO:	2,10		2,27		2,31	

TOTALES		
THD MÍNIMO:	0,00 (FA)	23.05.2007 08:10:00
THD MÁXIMO:	3,34 (FA)	28.05.2007 21:30:00
THD PROMEDIO:	2,23	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00
 % DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00%
 CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

SUBESTACIÓN: El Pangui

NÚMERO DE LA SUBESTACIÓN: 24

ARMÓNICOS INDIVIDUALES

Or_Armónico Tolerancia (%Vn) Prom_Medición Muestras_Fuera_Lim. % Fuera_Lim. Cumple_Regulación

IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3

Or_Armónico	Tolerancia (%Vn)	Prom_Medición	Muestras_Fuera_Lim.	% Fuera_Lim.	Cumple_Regulación
5	6	1,98	0	0,00%	SI
7	5	0,77	0	0,00%	SI
11	3,5	0,19	0	0,00%	SI
13	3	0,08	0	0,00%	SI
17	2	0,02	0	0,00%	SI
19	1,5	0,02	0	0,00%	SI
23	1,5	0,01	0	0,00%	SI
25	1,5	0,01	0	0,00%	SI
29	1,32	0,01	0	0,00%	SI
31	1,25	0,01	0	0,00%	SI
35	1,13	0,01	0	0,00%	SI
37	1,08	0,01	0	0,00%	SI

IMPARES MÚLTIPLOS DE 3

Or_Armónico	Tolerancia (%Vn)	Prom_Medición	Muestras_Fuera_Lim.	% Fuera_Lim.	Cumple_Regulación
3	5	0,46	0	0,00%	SI
9	1,5	0,28	0	0,00%	SI
15	0,3	0,02	0	0,00%	SI
21	0,2	0,01	0	0,00%	SI
27	0,2	0,01	0	0,00%	SI
33	0,2	0,01	0	0,00%	SI
39	0,2	0,01	0	0,00%	SI

PARES

Or_Armónico	Tolerancia (%Vn)	Prom_Medición	Muestras_Fuera_Lim.	% Fuera_Lim.	Cumple_Regulación
2	2	0,05	0	0,00%	SI
4	1	0,03	0	0,00%	SI
6	0,5	0,02	0	0,00%	SI
8	0,5	0,01	0	0,00%	SI
10	0,5	0,01	0	0,00%	SI
12	0,2	0,01	0	0,00%	SI
14	0,5	0,01	0	0,00%	SI
16	0,5	0,01	0	0,00%	SI
18	0,5	0,01	0	0,00%	SI
20	0,5	0,00	0	0,00%	SI
22	0,5	0,00	0	0,00%	SI
24	0,5	0,00	0	0,00%	SI
26	0,5	0,00	0	0,00%	SI
28	0,5	0,00	0	0,00%	SI
30	0,5	0,00	0	0,00%	SI
32	0,5	0,00	0	0,00%	SI
34	0,5	0,00	0	0,00%	SI
36	0,5	0,00	0	0,00%	SI
38	0,5	0,00	0	0,00%	SI
40	0,5	0,00	0	0,00%	SI

DATOS DEL TRANSFORMADOR

NRO. DEL TRANSFORMADOR: 695

SUBESTACIÓN: San Cayetano

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Sur

Ubicación:

PROVINCIA: LOJA	CANTON: Loja.
CIUDAD: Loja	PARROQUIA: San Sebastian
SECTOR: Sureste	ZONA: Urbana
DIRECCIÓN: Río Cuyaveno y Río Yavari	

Datos de la Medición:

POTENCIA NOMINAL (kVA): 25	NUMERO DE FASES: 2
TENSIÓN NOMINAL F-N (V): 120	EQUIPO UTILIZADO: Topas 1000
FECHA DE INICIO: 11.07.2007 20:40:00	FECHA FINAL: 18.07.2007 20:30:00

NIVELES DE TENSION (V)

NIVELES DE TENSION

	FASE A		FASE B		FASE C	
VOLTAJE MÍNIMO:	119,90	12.07.2007 19:00:00	120,31	12.07.2007 19:10:00	0,00	
VOLTAJE MÁXIMO:	128,48	15.07.2007 07:10:00	128,55	17.07.2007 12:40:00	0,00	
VOLTAJE PROMEDIO:	124,57		124,83		0,00	

TOTALES		
VOLTAJE MÍNIMO:	119,90 (FA)	12.07.2007 19:00:00
VOLTAJE MÁXIMO:	128,55 (FB)	17.07.2007 12:40:00
VOLTAJE PROMEDIO:	124,70	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

VARIACIONES DE TENSION (%)

	FASE A	FASE B	FASE C	TOTALES
MÍNIMO:	-0,08	0,26	0	-0,08
MÁXIMO:	7,07	7,13	0	7,13
PROMEDIO:	3,81	4,03	0	3,92

NIVELES DE CORRIENTE (A)

	FASE A		FASE B		FASE C	
CORRIENTE MÍNIMA:	7,26	15.07.2007 12:00:00	8,40	14.07.2007 06:40:00	0,00	
CORRIENTE MÁXIMA:	65,71	13.07.2007 13:50:00	74,39	13.07.2007 13:50:00	0,00	
CORRIENTE PROM.:	29,98		32,24		0,00	

TOTALES		
CORRIENTE MÍNIMA:	7,26 (FA)	15.07.2007 12:00:00
CORRIENTE MÁXIMA:	74,39 (FB)	13.07.2007 13:50:00
CORRIENTE PROM.:	31,11	

NRO. DEL TRANSFORMADOR: 695

SUBESTACIÓN: San Cayetano

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Sur

FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA INDUCTIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,44	16.07.2007 15:20:00	0,43	16.07.2007 08:50:00	0,00	
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,95	16.07.2007 20:20:00	0,94	12.07.2007 07:10:00	0,00	
INDUCTIVO PROM.:	0,76		0,76		0,00	

TOTALES		
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,43 (FB)	16.07.2007 08:50:00
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,95 (FA)	16.07.2007 20:20:00
INDUCTIVO PROM.:	0,76	

FACTOR DE POTENCIA CAPACITIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
CAPACITIVO MÍNIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO PROM.:	0,00		0,00		0,00	

TOTALES		
CAPACITIVO MÍNIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO PROM.:	0,00	

DATOS TOTALES FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA TOTAL: 0,80
MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 1.966,00
% DE MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 97,52%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

ENERGÍA (kWh)

FASE A: 480,3

FASE B: 518,64

FASE C: 0

TOTAL: 998,94

ENERGÍA SUMINISTRADA EN MALAS CONDICIONES:

DE CALIDAD (kWh): 0,00

NRO. DEL TRANSFORMADOR: 695

SUBESTACIÓN: San Cayetano

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Sur

FLICKER

FLICKER DE CORTA DURACIÓN (PST)

	FASE A		FASE B		FASE C	
PST MÍNIMO:	0,05	15.07.2007 03:40:00	0,04	15.07.2007 05:20:00	0,00	
PST MÁXIMO:	2,39	17.07.2007 21:10:00	2,41	17.07.2007 21:10:00	0,00	
PST PROMEDIO:	0,36		0,32		0,00	

TOTALES		
PST MÍNIMO:	0,04 (FB)	15.07.2007 05:20:00
PST MÁXIMO:	2,41 (FB)	17.07.2007 21:10:00
PST PROMEDIO:	0,34	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 153,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 7,59%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

FLICKER DE LARGA DURACIÓN (PLT)

	FASE A		FASE B		FASE C	
PLT MÍNIMO:	0,13	18.07.2007 04:40:00	0,14	11.07.2007 20:40:00	0,00	
PLT MÁXIMO:	1,50	13.07.2007 10:40:00	1,13	13.07.2007 10:40:00	0,00	
PLT PROMEDIO:	0,46		0,39		0,00	

TOTALES		
PLT MÍNIMO:	0,13 (FA)	18.07.2007 04:40:00
PLT MÁXIMO:	1,50 (FA)	13.07.2007 10:40:00
PLT PROMEDIO:	0,43	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 180,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 8,93%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

ARMÓNICOS THD

ARMÓNICOS THD

	FASE A		FASE B		FASE C	
THD MÍNIMO:	1,37	17.07.2007 06:30:00	1,45	17.07.2007 06:40:00	0,00	
THD MÁXIMO:	3,46	11.07.2007 21:00:00	3,32	11.07.2007 21:40:00	0,00	
THD PROMEDIO:	2,23		2,36		0,00	

TOTALES		
THD MÍNIMO:	1,37 (FA)	17.07.2007 06:30:00
THD MÁXIMO:	3,46 (FA)	11.07.2007 21:00:00
THD PROMEDIO:	2,30	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

NRO. DEL TRANSFORMADOR: 695

SUBESTACIÓN: San Cayetano

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Sur

ARMÓNICOS INDIVIDUALES

Or_Armónico	Tolerancia (%Vn)	Prom_Medición	Muestras_Fuera_Lim.	% Fuera_Lim.	Cumple_Regulación
IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3					
5	6	1,60	0	0,00%	SI
7	5	0,60	0	0,00%	SI
11	3,5	0,14	0	0,00%	SI
13	3	0,21	0	0,00%	SI
17	2	0,13	0	0,00%	SI
19	1,5	0,07	0	0,00%	SI
23	1,5	0,05	0	0,00%	SI
25	1,5	0,04	0	0,00%	SI
29	1,32	0,04	0	0,00%	SI
31	1,25	0,03	0	0,00%	SI
35	1,13	0,03	0	0,00%	SI
37	1,08	0,03	0	0,00%	SI
IMPARES MÚLTIPLOS DE 3					
3	5	1,16	0	0,00%	SI
9	1,5	0,87	0	0,00%	SI
15	0,3	0,20	214	10,62%	NO
21	0,2	0,06	0	0,00%	SI
27	0,2	0,03	0	0,00%	SI
33	0,2	0,03	0	0,00%	SI
39	0,2	0,03	0	0,00%	SI
PARES					
2	2	0,06	0	0,00%	SI
4	1	0,03	0	0,00%	SI
6	0,5	0,02	0	0,00%	SI
8	0,5	0,01	0	0,00%	SI
10	0,5	0,01	0	0,00%	SI
12	0,2	0,01	0	0,00%	SI
14	0,5	0,01	0	0,00%	SI
16	0,5	0,01	0	0,00%	SI
18	0,5	0,01	0	0,00%	SI
20	0,5	0,01	0	0,00%	SI
22	0,5	0,01	0	0,00%	SI
24	0,5	0,01	0	0,00%	SI
26	0,5	0,01	0	0,00%	SI
28	0,5	0,01	0	0,00%	SI
30	0,5	0,01	0	0,00%	SI
32	0,5	0,01	0	0,00%	SI
34	0,5	0,01	0	0,00%	SI
36	0,5	0,01	0	0,00%	SI
38	0,5	0,01	0	0,00%	SI
40	0,5	0,01	0	0,00%	SI

DATOS DE LOS MEDIDORES

NRO. DEL MEDIDOR: 117414

NRO. DE SUMINISTRO: 199679

SUBESTACIÓN: Obrapia

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Celi Román

Ubicación:

PROVINCIA: LOJA

CANTÓN: Loja.

CIUDAD: Loja

PARROQUIA: El Valle

SECTOR: Norte

ZONA: Urbana

DIRECCIÓN: Piura y Lima

Datos de la Medición:

TRANSFORMADOR 490

NÚMERO DE FASES: 1

TENSIÓN NOMINAL F-N (V): 120

EQUIPO UTILIZADO: MemoBox 300P

FECHA DE INICIO: 16/05/2007 16:10:00

FECHA FINAL: 23/05/2007 16:00:00

NIVELES DE TENSION (V)

NIVELES DE TENSION

	FASE A		FASE B	FASE C
VOLTAJE MÍNIMO:	97,70	20/05/2007 13:10:00	0,00	0,00
VOLTAJE MÁXIMO:	120,95	23/05/2007 5:30:00	0,00	0,00
VOLTAJE PROMEDIO:	114,54		0,00	0,00

TOTALES		
VOLTAJE MÍNIMO:	97,70 (FA)	20/05/2007 13:10:00
VOLTAJE MÁXIMO:	120,95 (FA)	23/05/2007 5:30:00
VOLTAJE PROMEDIO:	114,54	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 37,00
 (%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 3,67%
 CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

VARIACIONES DE TENSION (%)

	FASE A	FASE B	FASE C	TOTALES
MÍNIMO:	-18,58	0	0	-18,58
MÁXIMO:	0,79	0	0	0,79
PROMEDIO:	-4,55	0	0	-4,55

NIVELES DE CORRIENTE (A)

	FASE A		FASE B	FASE C
CORRIENTE MÍNIMA:	0,00	16/05/2007 16:10:00	0,00	0,00
CORRIENTE MÁXIMA:	25,57	18/05/2007 12:30:00	0,00	0,00
CORRIENTE PROM.:	0,91		0,00	0,00

TOTALES		
CORRIENTE MÍNIMA:	0,00 (FA)	16/05/2007 16:10:00
CORRIENTE MÁXIMA:	25,57 (FA)	18/05/2007 12:30:00
CORRIENTE PROM.:	0,91	

NRO. DEL MEDIDOR: 117414

NRO. DE SUMINISTRO: 199679

SUBESTACIÓN: Obrapia

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Celi Román

FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA INDUCTIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,64	17/05/2007 13:30:00	0,00		0,00	
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,99	20/05/2007 13:00:00	0,00		0,00	
INDUCTIVO PROM.:	0,86		0		0	

TOTALES		
INDUCTIVO MÍNIMO:	0,64 (FA)	17/05/2007 13:30:00
INDUCTIVO MÁXIMO:	0,99 (FA)	20/05/2007 13:00:00
INDUCTIVO PROM.:	0,86	

FACTOR DE POTENCIA CAPACITIVO

	FASE A		FASE B		FASE C	
CAPACITIVO MÍNIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0		0		0	
CAPACITIVO PROM.:	0		0		0	

TOTALES		
CAPACITIVO MÍNIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO MÁXIMO:	0 (FA)	
CAPACITIVO PROM.:	0,00	

DATOS TOTALES FACTOR DE POTENCIA

FACTOR DE POTENCIA TOTAL: 0,90

MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 146,00

% DE MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE: 14,48%

CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

ENERGÍA (kWh)

FASE A: 14,88795

FASE B: 0

FASE C: 0

TOTAL: 14,88795

ENERGÍA SUMINISTRADA EN MALAS CONDICIONES

DE CALIDAD (kWh): 0,55

NRO. DEL MEDIDOR: 117414

NRO. DE SUMINISTRO: 199679

SUBESTACIÓN: Obrapia

ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR: Celi Román

FLICKER

FLICKER DE CORTA DURACIÓN (PST)

	FASE A		FASE B	FASE C	
PST MÍNIMO:	0,51	22/05/2007 4:00:00	0,00		0,00
PST MÁXIMO:	5,46	22/05/2007 9:20:00	0,00		0,00
PST PROMEDIO:	1,49		0,00		0,00

TOTALES		
PST MÍNIMO:	0,51 (FA)	22/05/2007 4:00:00
PST MÁXIMO:	5,46 (FA)	22/05/2007 9:20:00
PST PROMEDIO:	1,49	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 821,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 81,45%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

FLICKER DE LARGA DURACIÓN (PLT)

	FASE A		FASE B	FASE C	
PLT MÍNIMO:	0,00	16/05/2007 16:10:00	0,00		0,00
PLT MÁXIMO:	3,85	22/05/2007 10:50:00	0,00		0,00
PLT PROMEDIO:	1,59		0,00		0,00

TOTALES		
PLT MÍNIMO:	0,00 (FA)	16/05/2007 16:10:00
PLT MÁXIMO:	3,85 (FA)	22/05/2007 10:50:00
PLT PROMEDIO:	1,59	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 997,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 98,91%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: NO

ARMÓNICOS THD

ARMÓNICOS THD

	FASE A		FASE B	FASE C	
THD MÍNIMO:	1,57	21/05/2007 4:10:00	0,00		0,00
THD MÁXIMO:	6,65	22/05/2007 20:50:00	0,00		0,00
THD PROMEDIO:	3,69		0,00		0,00

TOTALES		
THD MÍNIMO:	1,57 (FA)	21/05/2007 4:10:00
THD MÁXIMO:	6,65 (FA)	22/05/2007 20:50:00
THD PROMEDIO:	3,69	

MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00
(%) DE MUESTRAS FUERA DE LÍMITE: 0,00%
CUMPLE CON LA REGULACIÓN: SI

TABLA DE RESULTADOS DE LAS EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

No.	Nombre y número 1	Barras AV/MV	No. de Transf de Potencial de la Subestación	Potencia MVA	No. de Alimentadores de la Subestación	Datos de la ubicación de la Subestación			
						Provincia	Cantón	Ciudad	Sector
1	Sur (20)	2	1	5	4	Loja	Loja	Loja	Sur
2	Macará (11)	2	1	5	4	Loja	Macará	Macará	Norte
3	Catacocha (07)	2	1	1	1	Loja	Paltas	Catacocha	Sur
4	El Pangui (24)	2	1	5	4	Zamora Chinchipe	El Pangui	El Pangui	Sur

- Notas:
- 1 S/E en la que se realiza la medición.
 - 2 Fecha de inicio de la medición.
 - 3 Fecha de finalización de la medición.
 - 4 Valor expresado en voltios y corresponde al valor eficaz promedio medido.
 - 5 Valor expresado en voltios y corresponde al valor mínimo de voltaje medido.
 - 6 Valor expresado en voltios y corresponde al valor máximo de voltaje medido.

TABLA DE RESULTADOS DE LAS EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

FECHA INICIAL Medición 2	FECHA FINAL Medición 3	VOLTAJE NOMINAL Punto de medición F-N (V) 4	VOLTAJE EFICAZ Punto de medición (V) 4	VOLTAJE MINIMO Punto de medición (V) 5	DIA/HORA Registro Vmin	VOLTAJE MÁXIMO Punto de medición (V) 6	DIA/HORA Registro Vmax	Porcentaje de mediciones de voltaje fuera del límite
19/03/2007	26/03/2007	7967	7764,83	7524,2	21/03/2007 5:40	8080,7	19/03/2007 23:00	0
02/05/2007	09/05/2007	7967	7625,06	7155,4	07/05/2007 19:00	7899,3	04/05/2007 23:00	0,1
11/05/2007	18/05/2007	7967	7753,82	7424,1	14/05/2007 5:40	8028,5	16/05/2007 21:30	0
22/05/2007	29/05/2007	12701	12477,94	0	23/05/2007 8:10	13040	28/05/2007 22:30	0,89

Notas:

7 Hora en la que se registró el fp inductivo mínimo.

8 Hora en la que se registró el fp inductivo máximo.

9 Hora en la que se registró el fp capacitivo mínimo.

10 Hora en la que se registró el fp capacitivo máximo.

11 Energía registrada en el periodo de medición.

12 Hora en la que se registró el máximo índice de severidad del flicker de corta duración.

TABLA DE RESULTADOS DE LAS EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO EN BARRAS DE SALIDA DE LAS S/E DE AV/MV

fp inductivo MINIMO	DIA/HORA Registro fp 7	fp inductivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 8	fp capacitivo MINIMO	DIA/HORA Registro Fp 9	fp capacitivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 10	fp Total	Porcentaje de mediciones de fp fuera de límite	ENERGÍA Consumida kWh 11
0,78	26/03/2007 3:30	0,95	20/03/2007 19:10					0,89	87,07	349310
0,8	03/05/2007 12:00	0,96	03/05/2007 19:00					0,89	82,34	173640
0,79	16/05/2007 19:10	0,99	11/05/2007 18:30					0,92	60,55	280567
0,72	24/05/2007 0:00	0,98	29/05/2007 18:40					0,95	28,04	333300

Nota: 13 Hora en la que se registró el máximo índice de severidad del flicker de larga duración.

12 Hora en la que se registró la máxima tasa de distorsión armónica total.

TABLA DE RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

No.	No. del Transformador	Potencia (KVA)	No. Fases	Datos de la ubicación del transformador						
				Dirección	Provincia	Cantón	Ciudad	Parroquia	Sector	Zona 1
1	9892	15	2	Av. del Ejercito y Diego de Vaca	Zamora Chinchipe	Zamora	Zamora	Zamora	Centro	Urbana
2	10736/10737/10738	3 x 25	3	Francisco Orellana y García Moreno	Morona Santiago	Gualaquiza	Gualaquiza	Gualaquiza	Centro	Urbana
3	3475	45	3	Petrocomercial	Loja	Catamayo	Catamayo	Catamayo	Este	Urbana
4	4500	15	2	Vía principal Loja-Zamora	Zamora Chinchipe	Zamora	Zamora	Sabanilla	Centro	Rural
5	12017	200	3	Cabo Sánchez y Catamayo	Loja	Macará	Macará	Macará	Norte	Urbana
6	2625	25	2	Domingo Celi y Manuel Vivanco	Loja	Paltas	Catacocha	Catacocha	Centro	Urbana
7	7905	37,5	2	Av. Ángel Vega Mora y José Lucero	Loja	Loja	Loja	El Cisne	Centro	Rural
8	2801	25	2	Calle Principal	Loja	Chaguarpamba	Chaguarpamba	Santa Rufina	Centro	Rural
9	45	37,5	2	Montufar y Manuel Ignacio Godoy	Loja	Loja	Loja	Malacatos	Centro	Rural
10	8877	37,5	2	Bolívar y Luis Fernando de la Vega	Loja	Loja	Loja	Vilcabamba	Centro	Rural
11	695	25	2	Río Cuyaveno y Río Yavari	Loja	Loja	Loja	San Sebastián	Sureste	Urbana
12	396/398/7477	3 x 15	3	18 de Noviembre y Centenario	Loja	Calvas	Cariamanga	Cariamanga	Centro	Urbana
13	646	37,5	2	Vicente Rojas y Cristóbal Ojeda	Loja	Loja	Loja	El Valle	Norte	Urbana
14	1985	25	2	El Oro y José María Vivar Castro	Loja	Saraguro	Saraguro	Saraguro	Centro	Urbana
15	13693	300	3	Vía a Cuenca (La Tenería)	Loja	Loja	Loja	El Valle	Norte	Urbano

- Notas:**
- 1 Localización de la zona en la que se realiza la medición: Urbana - Rural.
 - 2 S/E de la que se recibe el servicio.
 - 3 Alimentador del que se recibe el servicio.
 - 4 Fecha de inicio de la medición.
 - 5 Fecha de finalización de la medición.
 - 6 Valor expresado en voltios y corresponde al valor eficaz promedio.

TABLA DE RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

S/E 2	Alimentador 3	FECHA INICIAL Medición 4	FECHA FINAL Medición 5	VOLTAJE NOMINAL (F-N) Punto de Medición (V)	VOLTAJE EFICAZ Punto de medición (V) 6	VOLTAJE MÍNIMO Punto de medición (V) 7	DIA/HORA Registro Vmin	VOLTAJE MÁXIMO Punto de medición (V) 8	DIA/HORA Registro Vmax	Porcentaje de mediciones de voltaje fuera del límite
Cumbaratza (23)	Zamora (2321)	22/01/2007	29/01/2007	120	115,42	0	26/01/2007 15:30	121,67	25/01/2007 11:50	0,69
El Pangui (24)	Gualaquiza (2422)	31/01/2007	07/02/2007	127	120,48	113,43	02/02/2007 21:00	125,86	04/02/2007 3:20	0,1
Catamayo (5)	Catamayo (0511)	05/04/2007	12/04/2007	127	128,54	120,01	12/04/2007 11:20	137,01	09/04/2007 18:00	0
Carlos Mora Carrión (4)	Zamora (0411)	12/04/2007	19/04/2007	120	120,12	0	13/04/2007 1:00	124,48	19/04/2007 13:00	0,5
Macará (11)	Macará 1 (1111)	03/05/2007	10/05/2007	127	122,88	0	08/05/2007 18:00	127,69	04/05/2007 23:00	0,2
Catacocha (7)	Catacocha (0711)	11/05/2007	18/05/2007	120	123,82	115,95	11/05/2007 18:30	129,5	16/05/2007 2:10	0
Catamayo (5)	Malca (0512)	14/06/2007	21/06/2007	120	118,55	112,25	20/06/2007 18:10	126,1	15/06/2007 18:10	0
Chaguarpamba (15)	Chaguarpamba (1511)	15/06/2007	22/06/2007	120	127,3	121,76	17/06/2007 18:20	133,45	19/06/2007 12:40	0
Vilcabamba (21)	Malacatos (2112)	29/06/2007	06/07/2007	120	118,48	0	01/07/2007 8:30	123,79	30/06/2007 15:00	0,6
Vilcabamba (21)	Vilcabamba (2111)	29/06/2007	06/07/2007	120	111,67	0	01/07/2007 8:30	116,62	29/06/2007 22:10	0,6
San Cayetano (2)	Sur (0211)	11/07/2007	18/06/2007	120	124,7	119,9	12/07/2007 19:00	128,55	17/07/2007 12:40	0
Cariamanga (14)	Cariamanga 1 (14 11)	20/07/2007	27/07/2007	127	126,73	118,94	22/07/2007 19:20	133,11	25/07/2007 23:50	0
San Cayetano (2)	Norte (0212)	02/08/2007	09/08/2007	120	120,24	116,19	07/08/2007 8:40	124,58	05/08/2007 22:10	0
Saraguro (9)	Saraguro (0911)	28/08/2007	04/09/2007	120	122,88	0	03/09/2007 3:20	127,56	30/08/2007 22:30	0,1
Norte (19)	Motupe (1913)	16/10/2007	22/10/2007	254	248,35	0	19/10/2007 20:10	258,9	18/10/2007 5:10	0,2

Notas:

7 Valor expresado en voltios y corresponde al valor mínimo de voltaje medido.

8 Valor expresado en voltios y corresponde al valor máximo de voltaje medido.

9 Hora en la que se registró el fp inductivo mínimo.

10 Hora en la que se registró el fp inductivo máximo.

TABLA DE RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

fp inductivo MINIMO	DIA/HORA Registro fp 9	fp inductivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 10	fp capacitivo MINIMO	DIA/HORA Registro fp 11	fp capacitivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 12	fp Total	Porcentaje de mediciones de fp fuera de límite	ENERGÍA Consumida kWh 13
0,63	25/01/2007 10:20	0,95	24/01/2007 6:30	-0,66	29/01/2007 9:40	-0,96	28/01/2007 8:00	0,83	93,85	1072,46
0,6	01/02/2007 2:40	0,95	03/02/2007 19:40					0,82	94,71	4902,8
0	08/04/2007 17:10	0,99	10/04/2007 6:20	(-0,00)	06/04/2007 16:40	-0,99	09/04/2007 6:40	0,99	76,65	1862,31
0,39	18/04/2007 9:40	0,98	19/04/2007 7:20					0,8	97,02	727,25
0,48	05/05/2007 13:50	0,99	05/05/2007 21:30	-0,29	05/05/2007 18:10	-0,99	03/05/2007 23:30	0,99	82,47	877,22
0,67	18/05/2007 10:10	0,95	16/05/2007 18:30					0,85	93,5	2230,77
0,44	16/06/2007 15:40	0,98	16/06/2007 19:00					0,9	70,98	1210,91
0,36	18/06/2007 7:20	0,98	17/06/2007 18:40	-0,93	15/06/2007 21:40	-0,96	22/06/2007 5:10	0,9	66,62	629,09
0,53	30/06/2007 15:10	0,93	01/07/2007 6:30					0,76	99,16	1536,25
0,68	05/07/2007 9:50	0,96	05/07/2007 20:50					0,84	94,89	1732,07
0,43	16/07/2007 8:50	0,95	16/07/2007 20:20					0,8	97,57	998,94
0,63	27/07/2007 4:00	0,98	21/07/2007 5:20					0,91	80,99	3168
0,72	06/08/2007 14:30	0,97	03/08/2007 11:30					0,9	83,18	1290,33
0,73	29/08/2007 6:30	0,97	31/08/2007 6:10					0,93	53,92	1861,24
0	18/10/2007 5:30	0,92	19/10/2007 19:10	(-0,00)	18/10/2007 16:20	-0,65	22/10/2007 23:00	0,69	99,74	426,78

- Notas:**
- 11 Hora en la que se registró el fp capacitivo mínimo.
 - 12 Hora en la que se registró el fp capacitivo máximo.
 - 13 Energía registrada en el período de medición.
 - 14 Hora en la que se registró el máximo Índice de severidad del Flicker de corta duración.

TABLA DE RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

PST	PST MAXIMO	DIA/HORA Registro PST 14	Porcentaje de mediciones de Pst fuera de límite	PLT	PLT MAXIMO	DIA/HORA Registro PLT 15	Porcentaje de mediciones de Plt fuera de límite	THD	THD MAXIMO	DIA/HORA Registro THD 16	Porcentaje de mediciones de THD fuera de límite
0,53	7,47	26/01/2007 13:40	20,39	0,68	3,32	26/01/2007 12:10	32,14	4,09	7,7	28/01/2007 21:00	0
0,19	6,73	01/02/2007 3:00	0,79	0,27	2,94	01/02/2007 2:40	2,38	3,45	5,35	02/02/2007 13:50	0
0,58	3,47	05/04/2007 16:50	26,03	0,72	2,25	10/04/2007 8:50	32,54	1,03	2,06	06/04/2007 13:20	0
0,27	1,97	18/04/2007 7:30	4,07	0,36	1,16	18/04/2007 7:20	1,19	1,28	1,81	12/04/2007 13:50	0
0,26	2,6	08/05/2007 11:10	0,43	0,3	1,14	08/05/2007 10:30	0,4	2,83	4,13	08/05/2007 12:20	0
0,29	2,27	17/05/2007 15:00	0,5	0,33	1,01	17/05/2007 14:00	0,6	3,03	4,98	14/05/2007 15:30	0
0,19	5,71	19/06/2007 12:00	1,09	0,29	2,75	19/06/2007 11:40	1,19	1,51	2,26	19/06/2007 11:50	0
0,19	1,79	16/06/2007 1:00	1,09	0,28	0,78	16/06/2007 0:50	0	3,82	5,57	19/06/2007 12:40	0
0,19	7,65	01/07/2007 19:20	0,4	0,26	3,34	01/07/2007 19:00	1,19	1,96	3,05	01/07/2007 19:20	0
0,17	5,77	01/07/2007 19:20	0,99	0,27	2,52	01/07/2007 19:00	3,57	2,04	3,08	02/07/2007 20:30	0
0,34	2,41	17/07/2007 21:10	7,59	0,43	1,5	13/07/2007 10:40	8,93	2,3	3,46	11/07/2007 21:00	0
0,32	2,52	23/07/2007 15:40	0,5	0,37	1,3	25/07/2007 13:20	1,59	2,86	4,84	25/07/2007 14:20	0
0,16	6,37	08/08/2007 5:40	0,5	0,24	2,78	08/08/2007 3:50	2,38	1,91	3,67	06/08/2007 21:50	0
0,23	2,1	04/09/2007 7:00	0,4	0,28	0,92	04/09/2007 5:20	0	2,27	3,12	03/09/2007 10:00	0
0,18	2,55	18/10/2007 4:10	0,56	0,24	1,13	18/10/2007 4:00	0,4	2,01	3,67	16/10/2007 21:30	1

Notas: 15 Hora en la que se registró el máximo Índice de severidad del Flicker de larga duración.

16 Hora en la que se registró la máxima tasa de distorsión armónica total

TABLA DE RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

ARMONICOS INDIVIDUALES IMPARES NO MULTIPLOS DE 3												ARMONICOS INDIVIDUALES IMPARES MULTIPLOS DE 3						
5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	3	9	15	21	27	33	39
2,94	1,13	0,45	0,48	0,3	0,2	0,1	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	2,22	0,73	0,44	0,14	0,07	0,05	0,04
2,71	0,88	0,19	0,21	0,08	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	1,58	0,79	0,13	0,04	0,02	0,01	0,01
0,69	0,39	0,29	0,15	0,09	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,35	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
1,1	0,27	0,16	0,1	0,08	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,45	0,19	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01
2,68	0,61	0,16	0,11	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,4	0,21	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01
2,35	0,74	0,33	0,39	0,23	0,19	0,17	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06	1,3	0,68	0,25	0,19	0,1	0,07	0,06
1,01	0,34	0,37	0,23	0,13	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,67	0,56	0,11	0,04	0,02	0,01	0,01
2,97	0,76	0,33	0,21	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,83	0,98	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01
1,12	0,64	0,25	0,11	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,92	0,89	0,11	0,04	0,02	0,01	0,01
1,18	0,58	0,24	0,17	0,07	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,86	1,03	0,18	0,05	0,01	0,01	0,01
1,6	0,6	0,14	0,21	0,13	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	1,16	0,87	0,2	0,06	0,03	0,03	0,03
2,44	0,59	0,2	0,16	0,09	0,09	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	1,11	0,55	0,14	0,08	0,04	0,03	0,03
1,28	0,6	0,15	0,22	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,04	0,55	0,019	0,07	0,04	0,03	0,02
1,34	0,76	0,2	0,26	0,1	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	1,21	0,75	0,2	0,09	0,06	0,04	0,02
1,78	0,76	0,21	0,26	0,07	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,2	0,14	0,04	0,02	0,02	0,01	0

TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDORES DE ENERGÍA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS CONSUMIDORES FINALES

No. Medición	No. Medidor	Tipo de CONSUMIDOR 1	Datos de la ubicación del medidor						
			Dirección	Provincia	Cantón	Ciudad	Parroquia	Sector	Zona 2
1	1230036	Residencial	Castaños y Hualtacos	Loja	Loja	Loja	Nuestra Señora de la Paz	Sur	Urbana
2	155306	Residencial	Bernardo Valdivieso y Colón	Loja	Loja	Loja	El Sagrario	Centro	Urbana
3	117414	Residencial	Piura y Lima	Loja	Loja	Loja	El Valle	Norte	Urbana
4	179722	Residencial	Avenida Iván Riófrío y Armando Arias	Zamora Ch.	Yanzatza	Yanzatza	Yanzatza	Centro	Urbana
5	149363	Residencial	8 de Diciembre y Bolívar	Loja	Catamayo	Catamayo	Catamayo	Centro	Urbana
6	124742	Residencial	Barrio el Palmar (Vía a Hacienda Nueva)	Loja	Chaguarpamba	Chaguarpamba	Buenavista	Sur	Rural
7	120813	Residencial	Calle principal (Frente al parque central)	Loja	Loja	Loja	San Pedro de Vilcabamba	Centro	Rural
8	1201074	Residencial	Manuel Ignacio Godoy y Pío Jaramillo	Loja	Loja	Loja	Malacatos	Centro	Rural
9	108957	Residencial	Valle Sagrado y Luis Fernando de la Vega	Loja	Loja	Loja	Vilcabamba	Centro	Rural
10	128546	Residencial	Lauro Guerrero y Juan José Samaniego	Loja	Loja	Loja	El Sagrario	Centro	Urbana
11	177770	Residencial	Carrera Chile y Colombia	Loja	Calvas	Cariamanga	Cariamanga	Centro	Urbana
12	151380	Residencial	José María Vivar Castro y El Oro	Loja	Saraguro	Saraguro	Saraguro	Centro	Urbana
13	128361	Residencial	Honorato Lazo y Saraguro	Loja	Saraguro	Saraguro	Saraguro	Centro	Urbana

- Notas:
- 1 La clasificación del consumidor
 - 2 Localización de la zona en la que se realiza la medición: Urbana - Rural.
 - 3 S/E de la que se recibe el servicio.
 - 4 Alimentador del que se recibe el servicio.
 - 5 Transformador del que se recibe servicio.
 - 6 Número de suministro del consumidor

TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDORES
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS CONSUMIDORES FINALES

S/E 3	Alimentador 4	Transformador 5	No. Suministro 6	FECHA INICIAL Medición 7	FECHA FINAL Medición 8	VOLTAJE NOMINAL (F - N) Punto de medición (V) 9	VOLTAJE EFICAZ Punto de medición (V) 9	VOLTAJE MÍNIMO Punto de medición (V) 10	DIA/HORA Registro Vmin
Sur (20)	Yahuarcoma (2013)	835	66217	08/05/2007	15/05/2007	120	120,28	115,42	12/05/2007 11:40
San Cayetano (2)	Juan de Salinas (0213)	7452	272377	16/05/2007	23/05/2007	127	121,74	110,24	13/05/2007 11:40
Obrapia (1)	Consacola (0115)	490	199679	16/05/2007	23/05/2007	120	114,54	97,7	20/05/2007 5:30
Cumbaratza (23)	Yanzatza (2323)	5848	1209592	22/05/2007	29/05/2007	120	117,13	112,81	24/05/2007 15:50
Catamayo (5)	Catamayo (0511)	3709	558601	14/06/2007	21/06/2007	120	116,59	108,73	20/06/2007 18:20
Chaguarpamba (15)	Chaguarpamba (1511)	2793	110501138	15/06/2007	22/05/2007	120	125,4	115,13	18/06/2007 19:10
Vilcabamba (21)	Vilcabamba (2111)	620	1028497	29/06/2007	06/07/2007	120	114,29	103,98	04/07/2007 12:10
Vilcabamba (21)	Malacatos (2112)	9968	1057272	29/06/2007	06/07/2007	120	118,67	113,37	01/07/2007 19:50
Vilcabamba (21)	Vilcabamba (2111)	7617	1033125	29/06/2007	06/07/2007	120	109,08	101,83	02/07/2007 11:30
Obrapia (1)	Cuarto Centenario (0112)	250	144071	02/07/2007	09/07/2007	120	119,35	113,86	04/07/2007 10:20
Cariamanga (14)	Cariamanga 1 (1411)	678	469015	20/07/2007	27/07/2007	120	122,96	101,64	21/07/2007 10:10
Saraguro (9)	Saraguro (0912)	1985	918631	28/08/2007	04/09/2007	120	122,99	119,41	04/09/2007 9:50
Saraguro (9)	Saraguro (0912)	7644	883512	28/08/2007	04/09/2007	120	120,59	115,47	28/08/2007 20:20

Notas:

- 7 Fecha de inicio de la medición
- 8 Fecha de finalización de la medición.
- 9 Valor expresado en voltios y corresponde al valor eficaz promedio medido.
- 10 Valor expresado en voltios y corresponde al valor mínimo de voltaje medido.
- 11 Valor expresado en voltios y corresponde al valor máximo de voltaje medido.
- 12 Hora en la que se registró el fp inductivo mínimo.

TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDORES DE ENERGÍA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS CONSUMIDORES FINALES

VOLTAJE MÁXIMO	DIA/HORA Registro Vmax	Porcentaje de mediciones de voltaje fuera del límite	fp inductivo MINIMO	DIA/HORA Registro fp 12	fp inductivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 13	fp capacitivo MINIMO	DIA/HORA Registro fp 14	fp capacitivo MAXIMO	DIA/HORA Registro fp 15
124,05	09/05/2007 23:10	0	0,77	11/05/2007 1:50	0,99	12/05/2007 15:20	-0,98	10/05/2007 6:50	-0,99	11/05/2007 20:50
126,49	22/05/2007 22:30	0,3	0,57	20/05/2007 5:00	0,99	18/05/2007 7:20	-0,7	16/05/2007 8:40	-0,99	18/05/2007 7:40
120,95	23/05/2007 5:30	3,67	0,64	17/05/2007 13:30	0,99	20/05/2007 13:00				
120,47	23/05/2007 4:10	0	0,71	23/05/2007 5:10	0,98	25/05/2007 16:30				
123,25	14/06/2007 12:10	0	0,69	18/06/2007 12:30	0,99	14/06/2007 10:50	-0,31	16/06/2007 2:20	-0,99	15/06/2007 15:40
132,94	22/06/2007 1:40	0	0,55	17/06/2007 22:50	0,99	16/06/2007 22:00	-0,44	15/06/2007 20:20	-0,99	19/06/2007 15:00
121,34	06/07/2007 9:40	0,2	0,99	29/06/2007 12:10	0,99	29/06/2007 12:10	-0,7	02/07/2007 22:00	-0,98	02/07/2007 21:20
122,99	30/06/2007 15:20	0	0,31	30/06/2007 2:20	0,99	05/07/2007 7:10	-0,7	30/06/2007 5:00	-0,99	03/07/2007 20:10
113,67	30/06/2007 13:30	0,89	0,7	29/06/2007 22:20	0,99	02/07/2007 8:10	-0,44	29/06/2007 16:00	-0,99	01/07/2007 21:00
123,09	08/07/2007 23:10	0	0,61	07/07/2007 2:40	0,99	02/07/2007 13:10	-0,99	06/07/2007 6:10	-0,99	04/07/2007 19:20
131,58	26/07/2007 0:10	1,19	0,65	22/07/2007 5:00	0,99	21/07/2007 19:20	-0,44	20/07/2007 12:50	-0,99	24/07/2007 6:30
127,36	30/08/2007 22:40	0	0,99	28/08/2007 12:50	0,99	28/08/2007 12:50	-0,44	29/08/2007 1:50	-0,99	31/08/2007 14:40
124,7	03/09/2007 13:10	0	0,75	30/08/2007 7:50	0,99	28/08/2007 14:00	-0,98	01/09/2007 5:40	-0,99	01/09/2007 18:50

- Notas:**
- 13 Hora en la que se registró el fp inductivo máximo.
 - 14 Hora en la que se registró el fp capacitivo mínimo.
 - 15 Hora en la que se registró el fp capacitivo máximo.
 - 16 Energía registrada en el período de medición.
 - 17 Hora en la que se registró el índice de severidad del Flicker de corta duración.
 - 18 Hora en la que se registró el índice de severidad del Flicker de larga duración.

TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDORES DE ENERGÍA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS CONSUMIDORES FINALES

fp Total	Porcentaje de mediciones de fp fuera de límites	ENERGÍA Consumida kWh 16	PST	PST MAXIMO	DIA/HORA Registro PST 17	Porcentaje de mediciones de Pst fuera de límite	PLT	PLT MAXIMO	DIA/HORA Registro PLT 18	Porcentaje de mediciones de Plt fuera de límite	THD
0,96	34,03	35,61	0,17	1,07	09/05/2007 23:20	0,1	0,21	0,53	11/05/2007 21:40	0	2,89
0,96	70,73	39,44	0,45	2,11	21/05/2007 7:10	3,77	0,52	1,07	21/05/2007 8:40	2,38	2,44
0,9	14,48	14,88	1,49	5,46	22/05/2007 9:20	81,45	1,59	3,85	22/05/2007 10:50	98,91	3,69
0,82	97,22	110,53	0,41	1,16	24/05/2007 0:00	0,2	0,45	0,77	25/05/2007 9:20	0	2,88
0,92	44,64	33,18	1,01	2,36	16/06/2007 14:00	53,37	1,04	1,81	16/06/2007 14:50	65,38	2,52
0,71	76,59	20,89	0,93	2,7	19/06/2007 12:50	47,52	1,03	1,84	19/06/2007 14:00	54,56	1,95
0,96	12	2,66	1,17	4,11	05/07/2007 13:00	62,8	1,26	2,79	05/07/2007 16:40	78,57	2,26
0,82	70,73	17,25	0,44	1,59	02/07/2007 22:50	0,69	0,48	0,91	06/07/2007 9:50	0	1,64
0,93	41,57	12,49	0,9	7,53	01/07/2007 16:00	16,57	0,97	6,17	01/07/2007 17:20	25,89	3,28
0,92	45,73	43,1	0,52	1,9	07/07/2007 8:50	3,89	0,61	1	07/07/2007 10:00	0	1,61
0,93	60,62	11,51	1,63	14,04	20/07/2007 21:00	87,4	1,84	7,29	20/07/2007 21:40	98,91	3,13
0,99	28,08	19,31	0,25	1,04	29/08/2007 12:10	0,1	0,3	0,71	30/08/2007 17:00	0	2,03
0,96	23,81	34,49	0,49	2,14	31/08/2007 20:30	1,79	0,54	1,42	31/08/2007 21:30	1,59	2,12

Nota: 19 Hora en la que se registró la tasa de distorsión armónica total máxima.

TABLA DE RESULTADOS DE MEDIDORES DE ENERGÍA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO DE LOS CONSUMIDORES FINALES

THD MAXIMO	DIA/HORA Registro THD 19	Porcentaje de mediciones de THD fuera de límite	
4,49	09/05/2007 21:20	0	
6,41	21/05/2007 11:20	0	
6,65	22/05/2007 20:50	0	
4,51	28/05/2007 20:10	0	
4,94	20/06/2007 21:30	0	
3,49	17/06/2007 14:00	0	
3,85	01/07/2007 19:30	0	
3	01/07/2007 19:30	0	
5,34	05/07/2007 20:00	0	
3	04/07/2007 21:40	0	
4,98	25/07/2007 14:30	0	
2,94	30/08/2007 22:00	0	
3,57	31/08/2007 20:10	0	

