



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS**

**TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

CAMACHO ALBAN JANETH MIRIAN

RIOBAMBA

2015

Agradecimiento

Agradezco antes que nada a Dios que me ha otorgado vida, salud y fuerza para poder concluir esta etapa de mi vida.

A mis padres que con sus enseñanzas, ejemplos de perseverancia y superación han sido el eje fundamental de todos mis éxitos y triunfos. Mi eterno agradecimiento por brindarme siempre su apoyo incondicional, los ánimos y el valor para emprender cada proyecto de mi vida.

A los Ingenieros Cristian Gallegos y Javier García por su amistad y por toda la colaboración brindada para culminar con éxito el objetivo trazado.

Al Ing. Jhony Vizúete director de este proyecto, y al Ing. Fernando Chávez quienes me brindaron su guía y apoyo.

A la ESPOCH y a los docentes de la EIECRI por haberme convertido en una profesional dotada de principios y ética, por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de todo este período estudiantil,

Dedicatoria

A mis padres:

Quiero dedicar este trabajo con mucha admiración y cariño a las personas que más amo en la vida mis padres *Angel Camacho* y *Gimena Albán*, quienes fueron mis forjadores. Por apoyarme en todo momento, por sus consejos, por sus valores, por la motivación constante, por su ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me han permitido ser una mujer de bien, pero más que nada por todo su amor.

A mis familiares:

A mi hermana, tíos, primos, abuelo, y a todos aquellos seres que forman parte de mi maravillosa familia, por todo su apoyo y constante motivación para lograr cada una de mis metas.

A mis amigos y amigas:

Son varias las amistades que forje durante el transcurso de mi carrera, seres a los que aprecio mucho y que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis. ¡Gracias a Ustedes!

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Gonzalo Samaniego
**DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Alberto Arellano
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

Ing. Jhony Vizuete
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Fernando Chávez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**DIRECTOR DEL CENTRO DE
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE LA TESIS

RESPONSABILIDAD DEL AUTOR

Yo JANETH MIRIAN CAMACHO ALBÁN, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Janeth Mirian Camacho Albán
AUTORA

INDICES DE ABREVIATURAS

AT.	Alta Tensión
A	Amperio
ATR	Autotransformador
BT	Baja Tensión
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
Fr.	Frecuencia
Fus.	Fusible
G	Generador
Hz.	Hertz
Int.	Interruptor
Icc	Corriente de Corto Circuito
I _L	Corriente de Carga

ITC-BT	Instrucciones Técnicas Complementarias de Baja Tensión
J.	Joule
KV	Kilovoltio
KVA	Kilovoltioampere
KVAh	Kilovoltioamperio hora
KW	Kilovatio
mV	Milivoltio
mA	Miliamperio
Mot.	Motor
M-G	Motor-Generador
N	Neutro
P	Potencia Activa
PFus.	Porta-Fusible
Pos.	Positivo
P_{st}	Índice de Severidad de Flicker de Corta Duración.
Q	Potencia Reactiva
REBT	Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
S	Potencia Nominal
Temp.	Temperatura
TC	Transformador de Corriente
T	Tierra
THD:	Factor de Distorsión Armónica Total
Tr.	Transformador

V	Voltio
Vi'	Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje.
Vi	Valor Eficaz (rms) del voltaje armónico expresado en voltios.
Vn	Voltaje Nominal del punto de medición expresado en voltios.
W	Vatio
Wh	Vatio-Hora

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO
DEDICATORIA
FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR
INDICES DE ABREVIATURAS
INDICE GENERAL
INDICE DE FIGURAS
INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	22
1.1. ANTECEDENTES	22
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.....	24
1.3. OBJETIVOS	24
1.3.1. OBJETIVO GENERAL:.....	24
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	25
1.4. HIPÓTESIS	25
1.5. INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS	25
1.5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA	25
1.5.2. DATOS DE LA EMPRESA	26
1.5.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN	27
1.5.3.1. PROCESO DE EXTRUSION.....	27
1.5.3.2. PROCESO DE RETORCIDO	29
1.5.3.3. PROCESO DE CABLEADO	31
1.6. DATOS DEL TRANSFORMADOR DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS	33
1.7. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS	34

1.7.1. LEVANTAMIENTO DEL DIAGRAMA UNIFILAR	36
1.7.2. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA.....	38
1.8. ANTECEDENTES HISTORICOS DE CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA INDUCUERDAS	39

CAPÍTULO II

2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	45
2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	45
2.2. CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN EN EL ECUADOR.....	47
2.2.1. CALIDAD DEL PRODUCTO	47
2.2.2. CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO.....	48
2.2.3. CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL	49
2.3. FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	49
2.3.1. ¿DÓNDE PUEDE ESTAR EL ORIGEN DE LA MALA CALIDAD?	50
2.3.2. PROBLEMAS QUE GENERA LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA.....	52
2.3.3. CONSUMOS LINEALES.....	52
2.3.4. CONSUMOS NO LINEALES.	53
2.3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISTURBIOS MÁS COMUNES	54
2.3.5.1. CALIDAD DE TENSIÓN	54
2.3.5.1.1. VARIACIONES DE VOLTAJE	54
2.3.5.1.1.1. IMPULSOS.....	54
2.3.5.1.1.2. TRANSITORIOS (TRANSIENT).....	55
2.3.5.1.1.3. INTERRUPCIÓN	56
2.3.5.1.1.4. HENDIDURA (NOTCHING)	58
2.3.5.1.1.5. CAÍDA PERMANENTE DE TENSIÓN (UNDER VOLTAGE).....	59
2.3.5.1.1.6. CAÍDAS MOMENTÁNEAS DE TENSIÓN (VOLTAGE SAGS - DIPS).....	59
2.3.5.1.1.7. ELEVACIONES PERMANENTES DE TENSIÓN	61
2.3.5.1.1.8. ELEVACIONES MOMENTÁNEAS DE TENSIÓN (VOLTAGE SWELLS)	62
2.3.5.1.1.9. RUIDO	64
2.3.5.1.2. CAUSAS	65
2.3.5.1.3. EFECTOS	66
2.3.5.1.4. SOLUCIONES	66
2.3.5.2. FLUCTUACIONES DE VOLTAJE (FLICKER)	67
2.3.5.2.1. EFECTOS	68
2.3.5.2.2. SOLUCIONES	68
2.3.5.3. FACTOR DE POTENCIA	69
2.3.5.3.1. CARGAS RESISTIVAS E INDUCTIVAS	69
2.3.5.3.2. CARGAS CAPACITIVAS	69
2.3.5.3.3. DEFINICION	70
2.3.5.3.4. EFECTOS DEL FACTOR DE POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS	71

2.3.5.3.5. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	74
2.3.5.3.6. EQUIPOS Y CARGAS QUE INCIDEN EN EL FACTOR DE POTENCIA PARA UN USUARIO.....	76
2.3.5.3.7. PENALIZACIÓN POR BAJO FACTOR DE POTENCIA.....	76
2.3.5.4. ARMÓNICOS	77
2.3.5.4.1. DEFINICIÓN	77
2.3.5.4.2. TIPOS DE ARMONICOS.....	78
2.3.5.4.4. MEDIDA DE LOS ARMÓNICOS: DISTORSIÓN (THD).....	82
2.3.5.4.5. CAUSAS PARA QUE APAREZCA UN ARMONICO:.....	83
2.3.5.4.6. ARMÓNICOS DE CORRIENTE	84
2.3.5.4.7. ARMÓNICOS DE TENSIÓN	85
2.3.5.4.8. FUENTES DE ARMÓNICOS Y SUS EFECTOS	86
2.3.5.4.9. PECULIARIDADES DEL TERCER Y QUINTO ARMÓNICO.....	88
2.3.5.4.9.1. TERCER ARMÓNICO.....	88
2.3.5.4.9. POSIBLES SOLUCIONES PARA LOS ARMÓNICOS	90
2.4. COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA Y LA CALIDAD DE ENERGÍA.....	92
2.5. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	94
2.6. CÓMO AFECTA A LA CALIDAD DE ENERGÍA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO	95

CAPITULO III

3. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ENERGÉTICOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS	97
3.1. RESUMEN DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS A EVALUARSE EN LA EMPRESA INDUCUERDAS ..	97
3.1.1. ANÁLISIS DE NIVELES DE VOLTAJE EN BAJA TENSIÓN	98
3.1.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.....	99
3.1.3. ANÁLISIS DE PARPADEOS O FLICKERS	100
3.1.4. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE	100
3.1.4.1. LÍMITE DE LA DISTORSIÓN DE VOLTAJE SEGÚN NORMA IEEE 519.....	102
3.1.5. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....	102
3.2. EQUIPO DE MEDICIÓN	105
3.3. PARTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435	106
3.4. CONEXIONES DE ENTRADA.....	109
3.5. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS.....	111
3.5.1. CREACION DE LA BASE DE DATOS.....	112
3.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	113
3.6.1. ANÁLISIS DE NIVELES DE VOLTAJE.....	114
3.6.1.1. VOLTAJE EN EL NEUTRO.....	115
3.6.2. ANÁLISIS DE FLICKERS.....	116
3.6.3. ANÁLISIS DE FACTOR DE POTENCIA	118
3.6.4. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE	119
3.6.5. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....	120

CAPITULO IV	125
4. PROPUESTA DE SOLUCIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA INDUCUERDAS	125
4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO	125
4.1.1. CAPACITORES Y LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	126
4.1.1.2. DEFINICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	127
4.1.1.2.1. VECTORES DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN, Y DERIVACIÓN DEL DIAGRAMA DE POTENCIA	127
4.1.1.3. PROBLEMAS DE UN FACTOR DE POTENCIA BAJO.....	130
4.1.1.4. MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA.....	131
4.1.1.5. REDUCCIÓN EN EL COSTE DE LA ELECTRICIDAD	131
4.1.1.6. OPTIMIZACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	132
4.1.1.7. BENEFICIOS DE LA COMPENSACIÓN.....	133
4.2.1. SOLUCIONES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	136
4.2.1.1. ALTERNADORES SINCRÓNICOS	136
4.2.1.2. COMPENSADORES SINCRÓNICOS	137
4.2.1.3. COMPENSADORES ESTÁTICOS	137
4.2.1.4. BANCOS O BATERÍAS DE CONDENSADORES.....	138
4.2.2. TIPOS DE CORRECCIÓN.....	138
4.2.2.1. CORRECCIÓN DISTRIBUIDA	139
4.2.2.2. CORRECCIÓN POR GRUPOS	142
4.2.2.3. CORRECCIÓN CENTRALIZADA.....	143
4.2.2.4. CORRECCIÓN MIXTA.....	144
4.2.2.5. CORRECCIÓN AUTOMÁTICA.....	145
4.2.3. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	146
4.2.4. EQUIPOS QUE SE UTILIZAN	147
4.2.4.1. COMPENSACIÓN EN BAJA TENSIÓN	147
4.2.4.1.1. BATERÍAS DE CONDENSADORES AUTOMÁTICOS	147
4.2.4.1.2. CONDENSADORES FIJOS.....	148
4.2.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	149
4.3.1. FENÓMENO RESONANTE.....	152
4.3.2. RESONANCIA EN PARALELO	154
4.3.3. PROTECCIÓN DE LOS CONDENSADORES	155
4.4. SOLUCIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS.....	155
4.4.1. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	155
4.4.1.1. CÁLCULO DE LA ENERGÍA REACTIVA	156
4.4.1.1.1. NATURALEZA DE LA ENERGÍA REACTIVA	156
4.4.1.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA A COMPENSAR	157
4.4.3. DISEÑO DEL BANCO DE CONDENSADORES TRIFÁSICO	158

4.4.3.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA EN KVAR PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	159
4.4.3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE BANCO DE CONDENSADORES.....	162
4.4.3.3. SELECCIÓN DE CONDENSADORES.....	162
4.4.3.4. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA.....	165
4.4.3.6. CONEXIÓN DEL REGULADOR DEL FACTOR DE POTENCIA.....	170
4.4.3.7. UBICACIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES.....	170
4.4.3.8. APARATOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN.....	171
4.4.3.9. ELECCIÓN DE CONTACTOR.....	173
4.4.3.12. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES.....	178
4.4.3.13. GABINETE.....	180
4.4.4. ELEMENTOS EXTERNOS DEL BANCO DE CAPACITORES.....	180
4.4.4.1. LECTURAS DE INTENSIDAD.....	181
4.4.4.3. SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	181
4.5. SOLUCIONES PARA ATENUAR ARMÓNICOS.....	182
4.5.1. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CARGAS PERTURBADORAS AL INICIO DE LA RED.....	182
4.5.2. SEPARANDO LAS FUENTES.....	183
4.5.4. FILTROS PASIVOS.....	184
4.5.4.1. FILTROS PASIVOS EN SERIE.....	184
4.5.4.2. FILTROS PASIVOS SHUNT O PARALELO.....	185
4.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FILTRO PASIVO DE POTENCIA.....	186
4.5.6. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA.....	187
4.5.6.1. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA EN SERIE.....	188
4.5.6.2. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA EN PARALELO.....	189
4.5.6.3. VENTAJAS FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA.....	190
4.5.7. FILTROS HÍBRIDOS.....	190
4.5.7.1. FILTROS HÍBRIDO EN SERIE.....	190
4.5.7.2. FILTROS HÍBRIDO EN PARALELO.....	191
4.6. SOLUCIÓN PARA LA ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS.....	191
4.6.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE FILTRO ACTIVO PARA LA ELIMINACION DE ARMÓNICOS ...	192
4.7. SOLUCIÓN PARA EL DESBALANCE DE CORRIENTE.....	193
4.8. BENEFICIO ECONÓMICO DE CONTAR CON UNA BUENA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. .	194
4.9. PROYECCIÓN DE MEJORAS EN CONSUMO ENERGÉTICO.....	194
4.11. PUESTAS A TIERRA.....	198
4.11.1. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA:.....	199
4.11.2. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	199
4.11.3. MÉTODO DEL 62% O CAÍDA DE POTENCIAL.....	200
4.11.4. TELURÓMETRO.....	201
4.11.5. DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA.....	202

CAPITULO V

5. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA.....	205
5.1. DATOS INFORMATIVOS.....	205
5.2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS.....	206
5.3. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	207
5.4. JUSTIFICACIÓN	207
5.5. OBJETIVOS	208
5.6. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LAS PERTURBACIONES ENCONTRADAS	208
5.7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA - TÉCNICA.....	209
5.7.1. ANÁLISIS TÉCNICO.....	209
5.7.1.1. ANÁLISIS TÉCNICO AL CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.....	209
5.7.1.2. ANÁLISIS TÉCNICO AL ATENUAR LOS ARMÓNICOS	212
5.7.1.2.1. VARIACIONES EN FACTOR DE POTENCIA	215
5.7.1.3. SOLUCIÓN PARA EL DESBALANCE DE CARGAS	217
5.7.2. PROPUESTA ADICIONAL	218
5.7.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	218
5.8.1. ANÁLISIS ECONÓMICO	219
<u>5.9. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....</u>	<u>223</u>
5.9.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA	223
5.9.2. FACTIBILIDAD OPERATIVA.....	224
5.9.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA	224

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

GLOSARIO

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURAS

Figura I. 1. Maquinaria para producción de rafia.....	29
Figura I. 2. Maquinaria para retorcido	31
Figura I. 3. Maquinaria para cableado	33
Figura I. 4. Distribución física exterior de la planta industrial INDUCUERDAS.....	37
Figura I. 5. Distribución física exterior de la planta industrial INDUCUERDAS.....	38
Figura I. 6. Distribución física interior de la planta INDUCUERDAS	39
Figura I. 7. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2011	41
Figura I. 8. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2012	42
Figura I. 9. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2013	43
Figura I. 10. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS	44
Figura II. 11. Onda de tensión afectada por un transitorio.....	56
Figura II. 12. Interrupción momentánea de voltaje	57
Figura II. 13. Interrupción sostenida	57
Figura II. 14. Interrupción lenta.....	58
Figura II. 15. Hendidura o Notching	59
Figura II. 16. Sag causado por falla de transformador.	60
Figura II. 17. Sag causado por falla en el sistema de subtransmisión	61
Figura II. 18. Onda de tensión afectada con un sag	61
Figura II. 19. Efecto de colocación de un banco de capacitores grande en un sistema a baja carga.	62
Figura II. 20. Elevación momentánea de tensión (SWELLS)	63
Figura II. 21. Elevación de voltaje.....	64
Figura II. 22. Onda de tensión con ruido	65
Figura II. 23. Representación de la Potencia.....	70

Figura II. 24. Circuito Eléctrico con bajo Factor de Potencia.....	72
Figura II. 25. Potencia del circuito de la Figura II.14.	73
Figura II. 26. Adición de un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia	75
Figura II. 27. Descomposición armónica	77
Figura II. 28. Gráfico de armónicos de secuencia directa	79
Figura II. 29. Gráfico de armónicos de secuencia inversa	79
Figura II. 30. Gráfico de armónicos de secuencia homopolar.....	79
Figura II. 31. Señal limpia con ausencia de distorsión armónica	92
Figura II. 32. Señal en la que existe armónicos.	92
Figura III. 33. Elementos del analizador FLUKE 435	107
Figura III. 34. Puerto RS-232.....	108
Figura III. 35. Conexión del analizador FLUKE 435 a un sistema de distribución trifásico.....	109
Figura III. 36. Conexión del analizador FLUKE 435 en el Tablero de Distribución Principal de la Planta Industrial INDUCUERDAS	110
Figura III. 37. Pantallas del software Power Log	111
Figura III. 38. Hoja de cálculo para la Presentación de los datos.....	113
Figura III. 39. Curvas de Variaciones de Voltaje de las fases L1N, L2N, L3N	115
Figura III. 40. Curva de Variación de Voltaje de la LNG de INDUCUERDAS.....	116
Figura III. 41. Curva de flicker de corta duración	117
Figura III. 42. Comportamiento de armónicos de voltaje	119
Figura III. 43. Curvas de variación de corriente de las fases L1N, L2N, L3N.....	120
Figura IV. 44. Diagrama de potencia eléctrica	128
Figura IV. 45. Características esenciales de la corrección del factor de potencia	134
Figura IV. 46. Diagrama que muestra el principio de compensación: $Q_c = P (\tan\phi - \tan\phi')$	135
Figura IV. 47. Esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.	139
Figura IV. 48. Método de compensación fija	140
Figura IV. 49. Método de corrección por grupos de cargas	143
Figura IV. 50. Método de compensación centralizada y regulada	144
Figura IV. 51. Circuito equivalente de impedancias.....	153

Figura IV. 52. Coportamiento de la Resonancia en paralelo.....	154
Figura IV. 53. Características de los capacitores VarplusCan SDuty	165
Figura IV. 54. Esquema del controlador o regulador de factor de potencia.....	166
Figura IV. 55. Características del banco del controlador de factor de potencia Schneider Electric Modelo Varlogic.....	166
Figura IV. 56. Circuito de control y fuerza del banco de capacitores.....	171
Figura IV. 57. Contactor LCQDFKM7 marca schneider electric	175
Figura IV. 58. Interruptor termo magnético trifásico	176
Figura IV. 59. Tabla para la Sección de alambres de cobre.....	179
Figura IV. 60. Diagrama con los Calibres de conductores del circuito de fuerza	180
Figura IV. 61. Filtro pasivo de potencia en serie	184
Figura IV. 62. Filtro pasivo de potencia shunt o paralelo.....	185
Figura IV. 63. Circuito equivalente para el filtro activo de corriente en paralelo.....	188
Figura IV. 64. Representación gráfica de un Filtro activo de potencia en serie.....	189
Figura IV. 65. Representación gráfica de un Filtro activo de potencia en paralelo	189
Figura IV. 66. Representación gráfica de un Filtro híbrido en serie.....	190
Figura IV. 67. Representación gráfica de un Filtro híbrido en serie.....	191
Figura IV. 68. Instalación del fitro activo en la red.....	193
Figura IV. 69. Método de la caída de potencial	201
Figura IV. 70. Mediciones de resistividad realizadas con el telurómetro	202
Figura IV. 71. Hoja de Excel para el cálculo de la malla de puesta a tierra	203
Figura V. 72. Triangulo de potencias para obtener el factor de potencias sin armónicos	215
Figura V. 73. Triangulo de potencias para obtener el factor de potencias con distorsión a causa de los armónicos	216
Figura V. 74. Ubicación del filtro y el banco de condensadores.	217

INDICE DE TABLAS

Tabla I. I. Datos del Auto transformador conectado en el área de extrusión.....	27
Tabla I. II. Flujo de producción de rafia.....	28
Tabla I. III. Flujo de producción de hilos.....	30
Tabla I. IV. Flujo de producción de cabos.....	32
Tabla I. V. Datos del transformador de la planta	33
Tabla I. VI. Levantamiento de carga de INDUCUERDAS	34
Tabla I. VI. Levantamiento de carga de INDUCUERDAS (Continuación)	35
Tabla I. VIII. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2011	40
Tabla I. IX. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2012	41
Tabla I. X. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2013	42
Tabla I. XI. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2013	43
Tabla II. XII. Problemas ocasionados por la energía reactiva	73
Tabla II. XIII. Beneficios de la corrección del factor de potencia.	74
Tabla II. XIV. Secuencia de los armónicos de acuerdo a su frecuencia fundamental	80
Tabla II. XV. Principales fuentes de armónicos	87
Tabla II. XVI. Efectos de los armónicos.....	87
Tabla III. XVII. Parámetros a evaluarse en el estudio.....	98
Tabla III. XVIII. Límites de Variaciones de voltaje.....	99
Tabla III. XIX. Límites máximos para cada armónico Vi' y para la totalidad de ellos THD.....	101
Tabla III. XX. Límites de armónicos de voltaje según IEEE 519	102
Tabla III. XXI. Límites de Distorsión de Corriente establecidos por la norma IEEE-519	103

Tabla III. XXII. Descripción de los elementos del analizador FLUKE 435	108
Tabla III. XXIII. Valores de Tensión min, med y max de las fases L1N, L2N L3N.....	115
Tabla III. XXIV. Valores de Factor de Potencia entre las tres fases y F.P. Total.....	118
Tabla III. XXV. Valores promedio de corriente RMS min, med, max, de las 3 fases.....	120
Tabla III. XXVI. Valores de desbalance de corriente en cada línea.....	121
Tabla III. XXVII. Valores de corriente de carga demandada	122
Tabla III. XXVIII. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente	123
Tabla III. XXIX. Datos de volares min, med, max, de THD de corriente registrados en las mediciones	124
Tabla IV. XXX. Factor de multiplicación para el tamaño de los cables en función de $\cos \varphi$	132
Tabla IV. XXX1. Valores min, med, max de las potencia activa, potencia aparente, y $\cos \varphi$	158
Tabla IV. XXXII. Factor k (kvar/kw)	161
Tabla IV. XXXIII. Valores calculados de potencia reactiva min, med, max; necesaria para la corrección del factor de potencia	162
Tabla IV. XXXIV. Costo de la inversión para la corrección del factor de potencia	182
Tabla IV. XXXV. Valores de las potencia activa y potencia aparente promedio.....	192
Tabla IV. XXXVI. Tabla de valores para la selección del filtro activo	193
Tabla IV. XXXVII. Presupuesto para la implementación del filtro activo de atenuación de armónicos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla IV. XXXVIII. Proyección de valores en corriente actuales y futuros después de la corrección del factor de potencia	195
Tabla IV. XXXIX. Valores de % distorsión armónica en voltaje, corriente y potencia.	196
Tabla IV. XXXX. Valores de resistividad del terreno obtenidos mediante la medición con el telurómetro.....	203
Tabla V. XXXXI. Datos min, med y max, de la potencia activa, potencia aparente, factor de potencia, y potencia reactiva necesaria para la corrección.....	210
Tabla V.XXXXIII. Precios referenciales de dispositivos para implementar un banco de capacitores automáticos	221
Tabla V.XXXXIV. Precios referenciales de dispositivos para la atenuación de armónicos	221
Tabla V.XXXXV. Precios referenciales de dispositivos para la malla de puesta a tierra.....	222

INTRODUCCIÓN

La planta Industrial INDUCUERDAS se encuentra ubicada en el km.5 de Langos San Alfonso en el Cantón Guano, de la provincia de Chimborazo, se dedica a la elaboración de productos como: cuerdas, cabos y pequeños o medianos hilos de polímero plástico. Posee un sistema eléctrico con cargas inductivas y resistivas que permiten la producción de estos productos.

Para determinar los problemas presentes en la instalación eléctrica las mediciones se realizaron mediante el analizador de calidad de energía eléctrica Fluke 435. Para comprobar los datos se midieron en tres ocasiones, dando como resultado valores similares. Los inconvenientes encontrados fueron: variaciones de tensión y corriente debido a que dos de las fases están sobrecargadas especialmente por cargas de tipo monofásico; el factor de potencia medido promedio de la Planta INDUCUERDAS se encuentra en 0,65, es decir ésta muy por debajo del límite permitido de 0,92; también se encontró armónicos de corriente presentes en la red.

Al encontrarse estos problemas en el sistema eléctrico de la planta trae consigo consecuencias como: disparo de los dispositivos de protección sin causa aparente; calentamiento de conductores; incremento de pérdidas en los conductores, transformadores y máquinas; aumento en las caídas de tensión; incrementos en las planillas eléctricas por mayor consumo de potencia en pérdidas; penalizaciones por bajo factor de potencia; incremento en la corriente de las fases, así como también en los neutros en baja tensión; parada de procesos, costos elevados de fabricación.

Razones por las cuáles los dueños de la planta decidieron brindarle atención a estos inconvenientes, mediante un análisis técnico para mejoramiento de la calidad de energía eléctrica permitiendo que se obtengan beneficios tales como: reducción en las caídas de tensión, disminución de las pérdidas en los conductores, aumento de disponibilidad de potencia en transformadores y líneas de distribución e incremento en la vida útil de las instalaciones.

También existen beneficios a nivel económico para la planta, obteniendo la eliminación del rubro por penalización debido al bajo factor de potencia.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Los estudios de calidad de energía eléctrica son de suma importancia ya que contribuyen al desarrollo de la sociedad, pues la energía es fundamental para el funcionamiento de cualquier sector. Por ello es aconsejable medir la calidad de energía, verificar las instalaciones eléctricas, para determinar y apoyar la eficiencia, incrementando la productividad.

Un estudio de calidad de energía involucra revisar consumos eléctricos históricos, planillas de consumo, vigencia de diagramas unifilares; en lo referente a las normas: revisar sistemas de puesta a tierra, analizar la implementación de un banco de capacitores y filtros de armónicos, confirmar los voltajes que entreguen los variadores, arrancadores de motores, etc., que se encuentren conectados a la red.

En el Ecuador debido a la falta de cultura de prevención, la idea de ahorrar mediante el uso de materiales de baja calidad, emplear equipos poco eficientes y por la ausencia de una legislación,

hace que los consumidores aún no comprendan las ventajas que ofrece este tipo de estudio, así también que el invertir en calidad y ahorro de energía es rentable.

Existe un problema de calidad de energía eléctrica cuando se presenta alguna interrupción del flujo de energía eléctrica o cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoquen una mala operación de los equipos y perjudiquen la economía o el bienestar de los usuarios. Existen algunos efectos en la calidad de la energía estos pueden ser: Incremento en las pérdidas de energía; daños a la producción, economía y competitividad empresarial; Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, disponibilidad y confort.

La calidad de la energía no es fácil de obtener ni de definir, porque su medida depende de las necesidades del equipo que se está alimentando; pero puede ser interpretada como un conjunto de parámetros y propiedades del voltaje entregado al usuario, ausentes de problemas de estabilidad, continuidad y deterioro de la forma de onda.

Mejorar la calidad de energía eléctrica no es sinónimo de una reducción en la facturación de energía eléctrica, lo que se trata es evitar paros inesperados en la maquinaria que ocasionen retrasos en la producción, desperdicio de materia prima y averías de equipos electrónicos; lo que ocasionaría gastos superiores a los de pérdidas en potencia por armónicos y bajo factor de potencia.

Los estudios de calidad de la energía eléctrica han adquirido mucha importancia y la principal razón es el aumento de productividad y competitividad de las empresas, porque se encuentran relacionadas la calidad de la energía eléctrica con la eficiencia y la productividad.

El Estudio de Factibilidad para el Mejoramiento de la Calidad de Energía Eléctrica en la Planta Industrial INDUCUERDAS, utiliza como herramientas la regulación CONELEC 004/01, y la norma internacional IEEE2–Standard-519-1992, que establecen límites y porcentajes de distorsión; para determinar los problemas presentes en la instalación eléctrica y recomendar soluciones prácticas, que se encuentren fundamentadas en un análisis técnico.

Después de determinar las perturbaciones presentes y sus efectos en las instalaciones de la planta, deben analizarse los procedimientos más óptimos, para presentar propuestas de solución que mejoren la calidad de energía, brindando confiabilidad en las instalaciones debido al nivel de calidad de energía eléctrica.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

El presente trabajo, realiza el Estudio de la Calidad de Energía Eléctrica en la Planta Industrial INDUCUERDAS, adoptando un enfoque global en el conocimiento de los principios teóricos, basándose en normas nacionales e internacionales que establecen los límites de variación y el porcentaje de distorsión; todo esto para determinar los problemas presentes en la instalación y recomendar las soluciones prácticas a los mismos, fundamentadas en un análisis técnico y económico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

Estudiar la calidad de energía eléctrica en la planta industrial INDUCUERDAS para detectar posibles perturbaciones en la red, los efectos asociados a este problema y sus posibles soluciones.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar cada uno de los problemas que afectan la calidad de la energía eléctrica de la Planta.
- Investigar y analizar las posibles soluciones que existen para estos problemas.
- Proponer la proyección de mejoras en la Calidad de Energía de la Planta.

1.4. HIPÓTESIS

El estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial INDUCUERDAS permitirá determinar la existencia de perturbaciones y establecer propuestas de solución para mejorar el funcionamiento de los procesos y equipos.

1.5. INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

1.5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA

RAZON SOCIAL: INDUCUERDAS Cía. Ltda.

RUC: 0691728838001

UBICACIÓN:

País: Ecuador.

Zona: Centro.

Región: Sierra.

Provincia: Chimborazo.

Cantón: Guano

DIRECCION: Langos San Alfonso

TELÉFONO: (03) 2946266
FAX: (03) 2940539.
E MAIL: inducuerdas@hotmail.com

MISIÓN

Producir y comercializar cuerdas mediante estrategias que ayuden a un crecimiento sostenido de operaciones, generando un trabajo con responsabilidad social y minimizando el impacto ambiental.

VISIÓN

Alcanzar en el 2015 un liderazgo en la fabricación de cordelería, generando un Know How como empresa, dotar de la más alta tecnología para optimizar recursos y permitir nuevas oportunidades de trabajo y superación a todos quienes integran la industria.

1.5.2. DATOS DE LA EMPRESA

La planta Industrial INDUCUERDAS se dedica a la elaboración de productos tales como: cuerdas, cabos y pequeños o medianos hilos de polímero plástico de considerable resistencia. Utilizan como canal de comercialización distribuidores en las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Guayas, Pichincha y continuamente buscan alianzas estratégicas con distribuidores potenciales a nivel nacional.

La planta cuenta con dos secciones principales las oficinas y la planta propiamente dicha, el área de oficinas trabaja de 7:30 a.m. a 16:30 p.m., mientras las demás áreas trabajan en dos turnos que cumplen las 24h00.

Sus procesos se realizan en tres áreas, las cuáles se describen a continuación:

1.5.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN

Existen tres procesos de producción los cuales trabajan en forma continua, los cuáles se describen a continuación:

1.5.3.1. PROCESO DE EXTRUSION

Como primer flujo operativo tenemos un proceso continuo de transformación plástica a través del sistema de extrusión para la producción de rafia, este proceso se describe de mejor manera en la Tabla I.II. Y en la Figura I.1.

En ésta área como carga eléctrica se tiene un conjunto de máquinas como la extrusora, tanque de enfriamiento, rodillos de estiramiento, horno y bobinadoras, los detalles de potencia se muestran en la Tabla I.VI. Este conjunto de máquinas están alimentadas por un autotransformador de 100KVA, los detalles se encuentran en la Tabla I.I.

Tabla I. I. Datos del Auto transformador conectado en el área de extrusión

AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA 3 ϕ IEC-726	
POTENCIA	100 KVA
TIPO	SECO AN
CLASE	TÉRMICA
VOLTAJE PRIMARIO	400V
VOLTAJE SECUNDARIO	230V
Cos ϕ	1

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Tabla I. II. Flujo de producción de rafia

ACTIVIDAD		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN					
FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RAFIA							
SIMBOLOS		OPERARIOS DE: MÁQUINA EXTRUSORA					
OPERACIÓN		INSPECCIÓN					SÍMBOLOS
TRANSPORTE		ALMACENAMIENTO					
ESPERA		OPERACIÓN COMBINADA					
DESCRIPCIÓN							
Requisición de Materias Primas PP, PE Y Mater Bach a bodeguero							
Mezcla de materias primas en tina plástica							
Depósito de la mezcla de PP, PE y Mastb en la tolva del extrusor							
Fundición de los polímeros en el extrusor							
Formación de lámina plástica							
Enfriamiento y corte de láminas mediante cuchillas de acero							
Elongación de lámina a través del horno para lograr resistencia apropiada de la rafia							
Recoger el producto terminado en forma de conos o bobinas							
Embalaje y etiquetado de la rafia							
Transporte y almacenamiento del producto terminado							

Fuente: Tesis "PROYECTO DE AMPLIACION DE LA FABRICA RIOPLAS A TRAVÉS DE UNA LINEA DE CREDITO DE LA CFN", Autores: Carlos Alonso Quisnia Tierra, Jessica Viviana Rivera Lafebre.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
Figura I. 1. Maquinaria para producción de rafia

1.5.3.2. PROCESO DE RETORCIDO

Es un proceso intermitente de cordelería para la producción de piolas y cordeles de polipropileno; utilizando como material de proceso la rafia elaborada en el primer flujo operativo. Ver Tabla I.III. Y Figura I. 2.

La carga eléctrica en ésta área son las retorcedoras y bobinadoras cuyos detalles de potencia se pueden verificar en la Tabla I.VI.

Tabla I. III. Flujo de producción de hilos

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HILO H1						
OPERACIÓN			OPERARIOS DE:			MÁQUINAS RETORCEDORAS
	SÍMBOLOS		SÍMBOLOS			
OPERACIÓN	○	INSPECCIÓN	□			
TRANSPORTE	⇒	ALMACENAMIENTO	▽			
ESPERA	D	OPERACIÓN COMBINADA	⊞			
DESCRIPCIÓN	○	⇒	D	□	▽	⊞
Requisición de Materiales para proceso de (rafia)						
Transportar los materiales desde bodega a planta de producción						
Amarre de conos de rafia uno a continuación de otro						
Ingreso, paso y amarre de la cinta al carrete de la máquina						
Encendido de la máquina y elaboración de la piola						
Retirar conos de hilo de la máquina						
Empaque del hilo en forma de conos o bobinas						
Inspección de la calidad del producto						
Transporte y almacenamiento del hilo en la misma planta						

Fuente: Tesis "PROYECTO DE AMPLIACION DE LA FABRICA RIOPLAS A TRAVÉS DE UNA LINEA DE CREDITO DE LA CFN", Autores: Carlos Alonso Quisnia Tierra, Jessica Viviana Rivera Lafebre.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
Figura I. 2. Maquinaria para retorcido

1.5.3.3. PROCESO DE CABLEADO

Este tercer flujo operativo está caracterizado por unir o ensamblar varios hilos con la finalidad de obtener cordeles (hilos de mayor grosor) y a través de la unión de éstos cordeles a determinadas torsiones se forma el cabo, para ver el flujo del proceso verificar la Tabla I.IV. Y ver la Figura I.3. En la Tabla I.VI. se muestran los valores de potencia de ésta área.

Tabla I. IV. Flujo de producción de cabos

ACTIVIDAD		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN					
FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CABOS PLÁSTICOS							
		SIMBOLOS				<u>OPERARIOS DE:</u>	
OPERACIÓN	○	INSPECCIÓN	□	MÁQUINA CABLEADORA			
TRANSPORTE	⇒	ALMACENAMIENTO	▽				
ESPERA	D	OPERACIÓN COMBINADA	⊗				
		SÍMBOLOS					
DESCRIPCIÓN		○	⇒	D	□	▽	⊗
Requisición de Materiales para proceso de (rafia)							
Elaboración de hilos a través de la rafia							
Elaboración de cordeles a través de hilos							
Elaboración de cabo mediante el ensamble de varios cordeles							
Verificar la calidad de los productos							
Empaque y embalaje de los rollos de cabos							
Transporte y almacenaje del producto a la bodega correspondiente							

Fuente: Tesis "PROYECTO DE AMPLIACION DE LA FABRICA RIOPLAS A TRAVÉS DE UNA LINEA DE CREDITO DE LA CFN", Autores: Carlos Alonso Quisnia Tierra, Jessica Viviana Rivera Lafebre.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
 Figura 1. 3. Maquinaria para cableado

1.6. DATOS DEL TRANSFORMADOR DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

Tabla 1. V. Datos del transformador de la planta

TRANSFORMADOR DE POTENCIA 3φ	
POTENCIA	125KVA
IMPEDANCIA	2.4%
VOLTAJE PRIMARIO	1.....14490 2.....14146 3.....13800 4.....13456 5.....13110
VOLTAJE SECUNDARIO	380/220V
CORRIENTE	189,9 A
CONEXIÓN	DYN5

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

1.7. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

Los datos fueron levantados en las instalaciones de la Planta Industrial INDUCUERDAS, desde el tablero de distribución principal, siguiendo la secuencia lógica del flujo de energía.

La información recopilada corresponde a los datos de placa más importantes, de la maquinaria y los equipos eléctricos de la planta. El principal inconveniente que se encontró fue que muchos de los datos de placa de los motores de varias máquinas no eran legibles y algunos datos no eran accesibles, en estos casos se obtuvieron mediante mediciones y consultas al personal a cargo de mantenimiento. Además se pudo apreciar que la mayor parte de la potencia instalada se encuentra en el área de extrusión.

En la Tabla I.VI. Se muestran los datos de potencia activa unitaria y total en cada una de las áreas de la planta.

Tabla I. VI. Levantamiento de carga de INDUCUERDAS

AREA	CARGA	#	F.P	POTENCIA UNITARIA	POTENCIA ACTIVA TOTAL
EXTRUSIÓN	MEZCLADORA	1	0.7	1.500,00	1.500,00
	EXTRUSORA				
	MOTOR1	1	0.83	22.000,00	22.000,00
	MOTOR2	1	0.8	37.000,00	37.000,00
	NIQUELINAS	20	1,00	500,00	10.000,00
		1	1,00	700,00	700,00
		1	1,00	300,00	300,00
		1	1,00	250,00	250,00
		1	1,00	200,00	200,00
		8	1,00	700,00	5.600,00
	BOBINADORAS				
	MOTORES PEQ	5	0.69	220,86	1.104,30
	MOTORES GRA	12	0.85	1.492,00	17.904,00
	RODILLOS MOTORES	2	0.85	3.170,35	6.340,70
					102.899,00
RETORCIDO	RETORCEDORA GALAN				
	MOTOR PEQ	1	0.7	91,49	91,49
	MOTOR GRA	1	0.83	3.036,22	3.036,22

Tabla I. VII. Levantamiento de carga de INDUCUERDAS (Continuación)

	BOBINADORA SIMA TR2T	2	0.85	8.000,00	16.000,00
	BOBINADORA ROBLON MOTOR	1	0.84	3.969,03	3.969,03
	RETORCEDORA SIANG MAY				
	SERVOMOTORES	2	0.85	120,00	240,00
	MOTOR	8	0.85	5.000,00	40.000,00
	RETORCEDORA M33-23	4	0.84	2.200,00	8.800,00
	BOBINADORA SIMA T5000	1	0.85	7.700,00	7.700,00
					79.836,74
CABLEADO	CABLEADORA SIANG MAY	3		2.648,23	7.944,69
	MOTOR PEQ	1	0,81	3.700,00	3.700,00
	MOTOR GRA	3	0.81	3.269,09	9.807,28
	CABLEADORA ROBLON	1	0.81	15.000,00	15.000,00
	BALANZA ELECTRONICA	2		300,00	600,00
	IMPRESORA BIXOLON	2		24,00	48,00
					37.099,97
LUMINARIAS PRODUCCIÓN	LAMPARAS FLUORESCENTES	18*2		40,00	1.440,00
MECÁNICA	TALADRO	1	0.77	1.500,00	1.500,00
	ESMERIL	1	0.85	504,00	504,00
	SOLDADORA	1	0.45	8.572,56	8.572,56
	COMPRESOR	1	0.87	11.000,00	11.000,00
	TORNO	1	0.85	1.500,00	1.500,00
ILUMINACIÓN MECÁNICA	LAMPARAS FLUORESCENTES	2*2		40,00	80,00
	BOMBILLAS DE SODIO	2		100,00	200,00
OFICINA MANTENIMIENTO	COMPUTADORAS	1		300,00	300,00
	IMPRESORAS	1		300,00	300,00
BODEGA PROD. EN PROCESO	COMPUTADORAS	1		300,00	300,00
OFICINAS	COMPUTADORAS	5		300,00	1.500,00
	IMPRESORAS	3		300,00	900,00
	FOCO AHORRADOR	3		24,00	72,00
	CAFETERA	1		900,00	900,00
	EQUIPO DE SONIDO	1		250,00	250,00
	LCD	1		150,00	150,00
	BOMBA DE AGUA	1		750,00	750,00
PATIO	REFLECTOR	1		500,00	500,00
					30.718,56
TOTAL					251.994,27

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

1.7.1. LEVANTAMIENTO DEL DIAGRAMA UNIFILAR

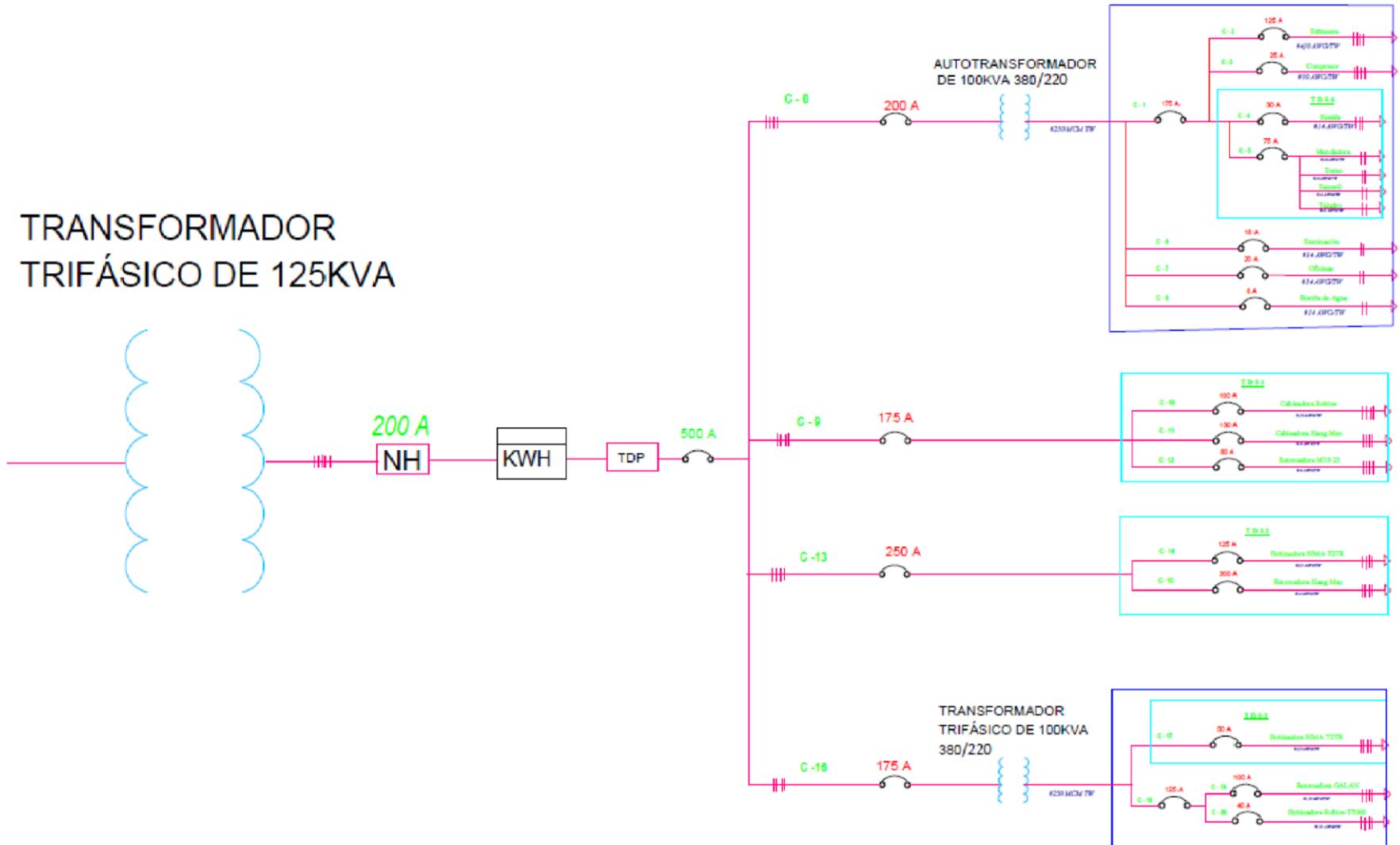
El diagrama unifilar es un plano de las instalaciones eléctricas, que permite tener un panorama de la estructura y el funcionamiento del sistema de distribución eléctrica de la planta.

Para realizar el levantamiento del diagrama unifilar es necesario trabajar con el personal de mantenimiento, para que nos guíen a través de la planta, ya que si es necesario, son ellos quienes efectúan las desconexiones de circuitos para comprobar la alimentación a las cargas.

En la inspección no se encontraron diagramas unifilares; los tableros no tienen identificación de los circuitos; los subtableros no contienen ningún tipo dispositivos de interrupción o protección, todos se encuentran instalados en el tablero de distribución principal, pero las maquinarias tienen tableros de control, en donde cuentan con dispositivos de protección y variadores de frecuencia para su funcionamiento.

El levantamiento se realizó tomando los datos de las protecciones principales, protecciones de cada carga y conductores de alimentación, el tiempo que se tomó en realizar el levantamiento del diagrama unifilar fue de 48 horas, quedando actualizado hasta el mes de julio del 2014. El mismo que puede ser observado en la figura I.4.

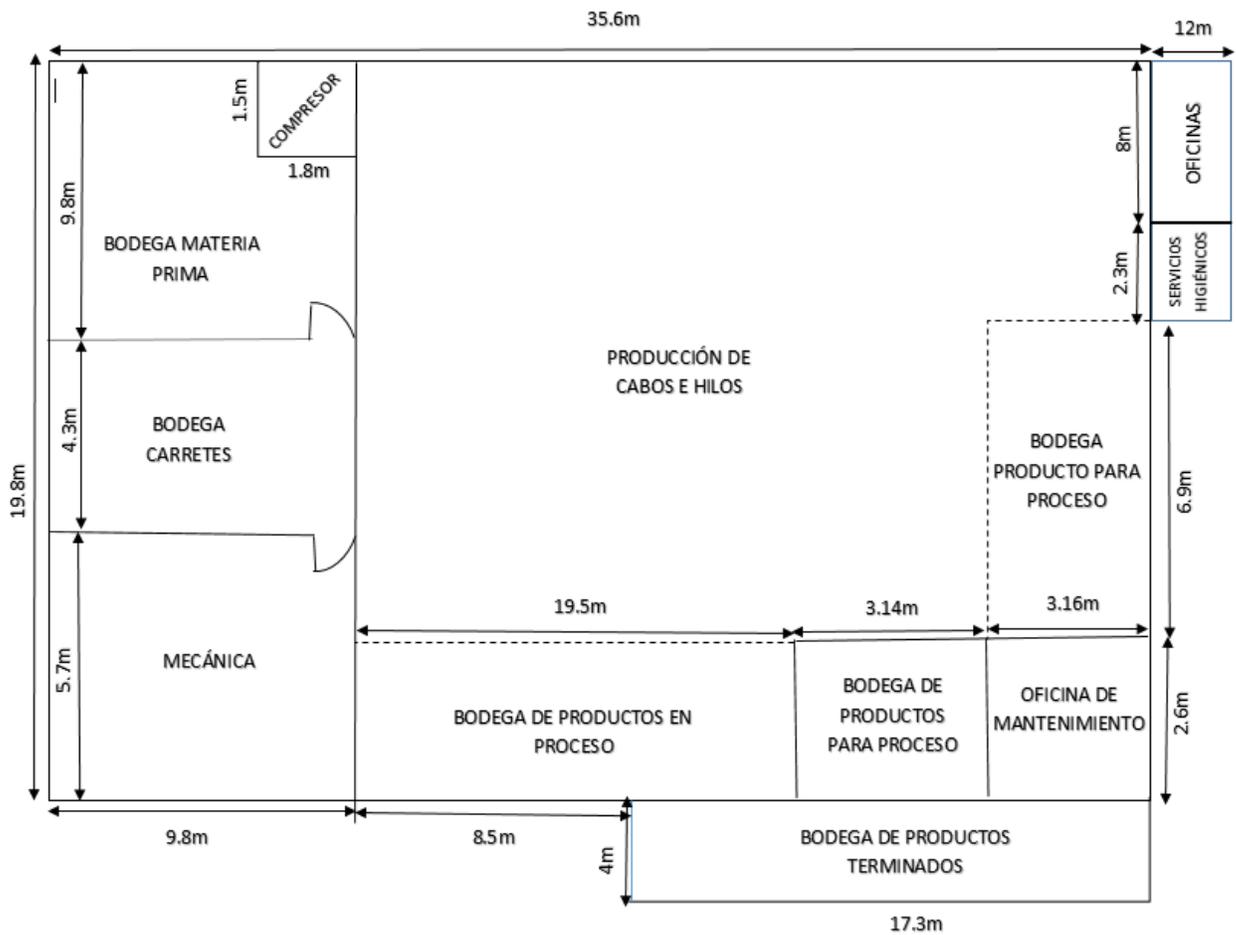
TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 125KVA



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
 Figura 1. 4. Diagrama unifilar de la planta industrial INDUCUERDAS

1.7.2. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

A continuación se muestra la distribución de la planta, indicando la ubicación desde una vista exterior de cada departamento en las instalaciones, así como la distribución física interior de las maquinarias y los equipos en cada departamento. La superficie total de la planta es de 1248 m² distribuidos de la siguiente manera:



Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Figura I. 5. Distribución física exterior de la planta industrial INDUCUERDAS

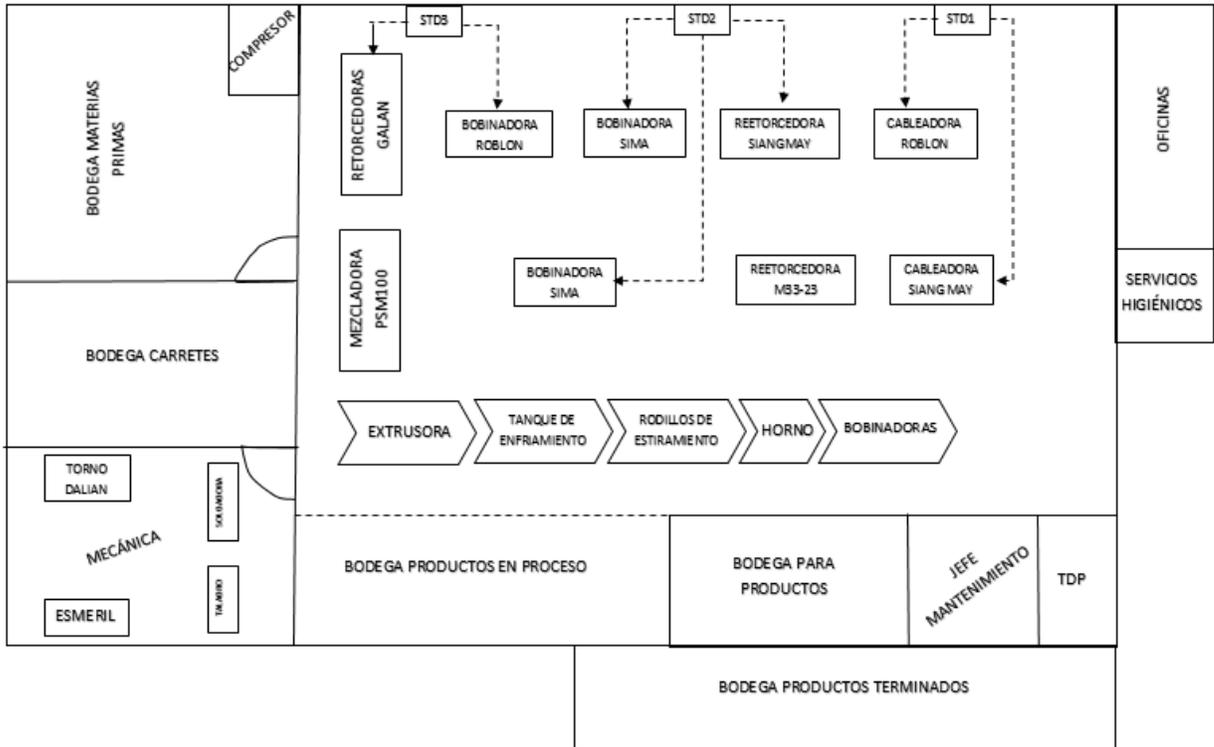


Figura 1. 6. Distribución física interior de la planta INDUCUERDAS
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

1.8. ANTECEDENTES HISTORICOS DE CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA INDUCUERDAS

Es necesario manifestar que la planta INDUCUERDAS tiene bastante demanda de energía en las horas pico, lo que implica tener un mayor factor de corrección (FC).

El factor de corrección se calcula dividiendo la Demanda máxima registrada en horas pico para la Demanda máxima durante el mes, por lo tanto la demanda facturada se obtiene multiplicando la demanda máxima por el costo de cada KW y por el factor de corrección FC. Es decir.

$$D_{FACTURADA} = DM * COSTO KW * FC$$

Por ésta razón el FC se puede considerar como un incentivo que brinda el CONELEC a determinados consumidores para que disminuyan la demanda en horas pico, siendo el mínimo valor que se reconoce el 0,6.

En las siguientes tablas y gráficas podemos observar los valores de consumo eléctrico, así como también de la demanda de energía de los últimos tres años.

Los valores promediados del año 2011 son:

VALOR DE CONSUMO	29940
VALOR DEMANDA	88,92

Tabla I. VIII. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2011

AÑO 2011	CONSUMO	DEMANDA
ENERO	2280	50
FEBRERO	48840	89
MARZO	27180	89
ABRIL	29580	89
MAYO	36240	90
JUNIO	35520	90
JULIO	28560	90
AGOSTO	26400	95
SEPTIEMBRE	27360	96
OCTUBRE	38100	96
NOVIEMBRE	29760	97
DICIEMBRE	29460	96

Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba – EERSA



Figura I. 7. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2011
Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA

Los valores promediados del año 2012 son:

VALOR DE CONSUMO 26915
VALOR DEMANDA 93,25

Tabla I. IX. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2012

AÑO 2012	CONSUMO	DEMANDA
ENERO	28560	94
FEBRERO	29400	94
MARZO	38700	101
ABRIL	36420	100
MAYO	30960	114
JUNIO	34320	96
JULIO	33600	96
AGOSTO	19140	96
SEPTIEMBRE	17520	96
OCTUBRE	22860	96
NOVIEMBRE	13500	68
DICIEMBRE	18000	68

Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba – EERSA



Figura I. 8. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2012
Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA

Los valores promediados del año 2013 son:

VALOR DE CONSUMO 20083,33
VALOR DEMANDA 63,50

Tabla I. X. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2013

AÑO 2013	CONSUMO	DEMANDA
ENERO	11500	68
FEBRERO	20200	68
MARZO	17000	68
ABRIL	19000	68
MAYO	22800	67
JUNIO	25100	65
JULIO	19100	60
AGOSTO	20800	60
SEPTIEMBRE	26100	60
OCTUBRE	23300	60
NOVIEMBRE	15600	58
DICIEMBRE	20500	60

Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA



Figura I. 9. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS del 2013
Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA

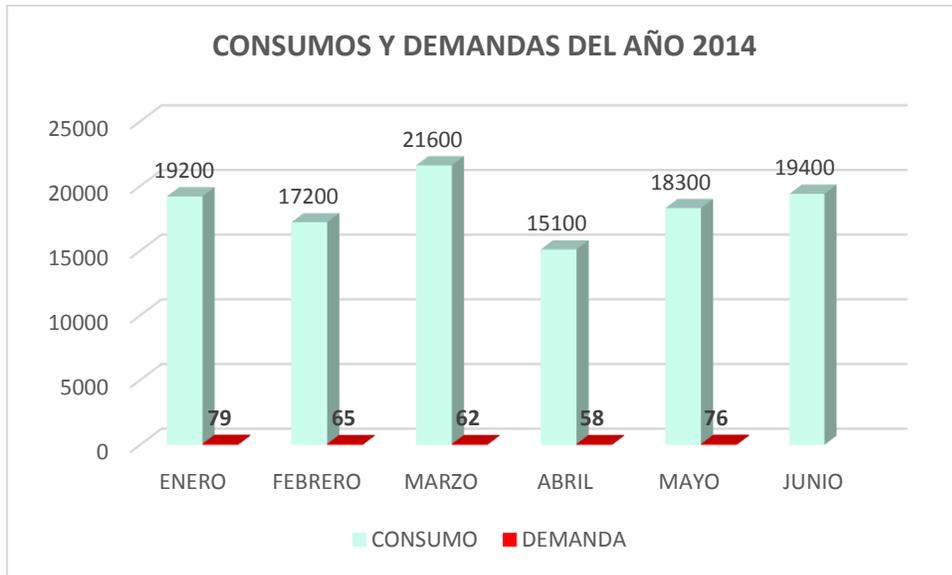
Los valores promediados de los meses de enero a junio del año 2014 son:

VALOR DE CONSUMO 18466,67
VALOR DEMANDA 68

Tabla I. XI. Datos de consumo y demanda de la Planta INDUCUERDAS del año 2013

AÑO 2014	CONSUMO	DEMANDA
ENERO	19200	79
FEBRERO	17200	65
MARZO	21600	62
ABRIL	15100	58
MAYO	18300	76
JUNIO	19400	

Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA



*Figura I. 10. Estadísticas de consumo y demandas de la planta INDUCUERDAS
Fuente: Departamento de comercialización de la Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA*

CAPÍTULO II

2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Existe calidad de energía cuando el equipo eléctrico opera de manera correcta y confiable, sin que su desempeño afecte en el rendimiento y productividad de otros equipos, causando pérdidas económicas y daños.

El trabajar con una mala calidad de energía eléctrica implica tener una serie de problemas que afectan tanto a la instalación como a los equipos que se conectan, deteriorando la seguridad de las instalaciones y la vida útil de los equipos, además elevan los costos operativos y de mantenimiento.

Es importante realizar estudios de calidad de energía puesto que es uno de los aspectos fundamentales para el desarrollo de cualquier sector, ya que la energía eléctrica es fundamental para su funcionamiento.

Un estudio de calidad de energía eléctrica involucra actividades como:

- Revisar los consumos eléctricos históricos
- Revisar las planillas de consumo de energía eléctrica
- Vigencia del diagrama unifilar
- Revisar las puestas a tierra
- Analizar el requerimiento de un banco de capacitores
- Confirmar la vida útil de las baterías de los UPS
- Verificar los voltajes que entreguen los reguladores, variadores, etc., que se tengan instalados
- Analizar el requerimiento de filtros armónicos

El costo de un estudio de calidad de energía es accesible. El valor dependerá del tamaño del inmueble, y los equipos que se tengan. Mediante estos se puede ahorrar dinero y el precio es proporcional al beneficio que se obtendrá, puesto que siempre es más económico prevenir que corregir.

En el Ecuador por la falta de cultura de prevención, y la ausencia de una legislación, los consumidores no comprenden las ventajas que ofrecen este tipo de estudios, ya que el invertir en

calidad y ahorro de energía representa rentabilidad. Se puede encontrar las causas de los problemas eléctricos en los equipos y de ésta forma plantear medidas efectivas.

Los objetivos que se alcanzaron mediante este estudio de factibilidad para mejorar la calidad de energía eléctrica fueron:

- Investigar cada uno de los problemas que afectan la calidad de la energía eléctrica de la Planta Industrial INDUCUERDAS
- Investigar y analizar las posibles soluciones que existen para estos problemas.
- Proponer mejoras en la Calidad de Energía de la Planta.

2.2. CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN EN EL ECUADOR

La supervisión y control del cumplimiento de los niveles de Calidad de Servicio, lo realizará el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, a través de los límites que se establecen en la Regulación CONELEC 004/01.

Es decir el CONELEC con esta regulación controla y vigila a las empresas eléctricas del Ecuador, la Calidad del Servicio Eléctrico, que ofrecen y se medirán considerando:

2.2.1. CALIDAD DEL PRODUCTO

Se controlará la calidad del producto técnico considerando 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 al momento que sea requerida, deberá estar a disposición de CONELEC.

2.2.2. CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO

La calidad del servicio técnico prestado se evaluará sobre la base de la frecuencia y la duración total de Interrupción.

Durante la Subetapa 1 se efectuarán controles en función a Índices Globales para el Distribuidor discriminando por empresa y por alimentador de MV. El levantamiento de información y cálculo se efectuará de forma posible la cantidad y el tiempo total de las interrupciones que afecten a los consumidores. Para los consumidores con suministros en Media Tensión o en Alta Tensión, se determinarán índices individuales.

En la Subetapa 2 los indicadores se calcularán a nivel de consumidor, de forma tal de determinar la cantidad de interrupciones y la duración total de cada una de ellas que afectan a cada consumidor.

El período de control será anual, por tanto, los Distribuidores presentarán informes anuales al CONELEC, especificando las interrupciones y los índices de control resultantes.

Sin embargo de lo anterior, los cálculos de los índices de calidad se efectuarán para cada mes del año considerado y para el año completo.

2.2.3. CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL

La empresa distribuidora tiene la obligación de proveer, aparte del suministro de la energía eléctrica, un conjunto de servicios comerciales relacionados, que son necesarios para mantener un nivel adecuado de satisfacción a los consumidores.

La calidad del servicio comercial al consumidor, que debe ser cumplida por el Distribuidor, responderá a los siguientes parámetros:

1. Niveles Individuales de Calidad Comercial.- Son aquellos vinculados a las prestaciones garantizadas a cada Consumidor.
2. Niveles Globales de Calidad Comercial.- Se corresponden con metas de calidad para todo el Distribuidor

2.3. FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

El término Calidad de Energía Eléctrica nombrado CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente.

En la parte técnica la calidad de energía eléctrica es aquella que el abonado espera obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes, lo que significa contar con un servicio de buena calidad, costos viables, un funcionamiento adecuado, seguro y confiable de equipos.

La pérdida de la Calidad de Energía significa: "Variaciones de Tensión y Corriente rms, interrupciones, sobretensiones, variaciones de frecuencia, deformaciones de la forma de onda producidas por armónicos en la red que llevan a la reducción o parada de procesos ocasionando perjuicios económicos".

Actualmente la calidad de la energía ha tomado mayor importancia por lo que representa en nuestra vida, para su uso en la iluminación, la operación de diversos equipos, video, aire acondicionado y sistemas de cómputo. La energía eléctrica se ha empleado en la fabricación de la mayoría de las cosas que utilizamos. Por consiguiente, los disturbios y variaciones de voltaje que se producen, tienden a afectarnos de alguna u otra manera.

Podemos decir que el objetivo de mejorar la calidad de la energía es proponer soluciones para corregir fallas en la energía proporcionada por las empresas distribuidoras, logrando un suministro de calidad y encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario.

2.3.1. ¿DÓNDE PUEDE ESTAR EL ORIGEN DE LA MALA CALIDAD?

Puede tener 2 orígenes: primero En la acometida de la red eléctrica que alimenta la instalación, por deficiencias en el suministro. Y segundo en la propia instalación. Los equipos electrónicos modernos (computadoras, variadores de frecuencia, UPS balastos electrónicos) presentan un comportamiento de carga no lineal a diferencia de otros equipos que presentan carga lineal (iluminación, calefactores eléctricos, motores). Normalmente la energía que requieren los equipos de carga lineal es de 60 Hz, de frecuencia y 220 voltios. Sin embargo los equipos electrónicos requieren de una energía de más eficiencia llamada "switch mode" o Modo de interrupción, que funciona a manera de pulsaciones que no tienen forma de onda de voltaje sinusoidal. Estos modernos equipos necesitan de un dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna en corriente directa. Aproximadamente el 50% de la energía eléctrica pasa por

este dispositivo antes de ser finalmente aprovechada. No obstante, estos dispositivos tienen efectos secundarios que son los que ocasionan la mala calidad de energía. (1)¹

Cada problema de calidad de energía eléctrica existente tiene causas diferentes: Unos son el resultado de infraestructuras comunes a varios usuarios. Por ejemplo, un fallo en la red puede ocasionar una caída de tensión que afectará a varios usuarios y cuanto mayor sea el nivel de la avería mayor será el número de clientes afectados, o un problema en la instalación de un abonado puede provocar un fenómeno transitorio que afecte a otros usuarios del mismo subsistema.

Otro problema son los armónicos que pueden generarse en la propia instalación del usuario y pueden propagarse o no, a la red de distribución, afectando a otros clientes. Los problemas de distorsión armónica se pueden resolver mediante una combinación de adecuados procedimientos de diseño y el empleo de equipos de eliminación o reducción de armónicos.

Las empresas suministradoras de energía eléctrica argumentan que quienes deberían asumir los sobrecostes necesarios para garantizar la calidad del suministro son los consumidores, en lugar de pretender que la empresa distribuidora proporcione una elevada calidad en el suministro de energía a todos los abonados en todos los puntos de la red. Debido a que exigiría una inversión muy importante en equipos adicionales en la red de distribución para beneficiar a un número relativamente reducido de usuarios, por lo que no resultaría económico. Por ello es necesario que

¹ **STILAR INDUSTRIAL.** s.f. Calidad de energía eléctrica disponible en URL: http://www.stilar.net/archivos%20web/calidad_de_energia_electrica.pdf. [consulta 18 de febrero de 2014].

sea el consumidor el responsable de tomar las medidas oportunas para asegurarse que la calidad de la energía suministrada es suficientemente buena.

2.3.2. PROBLEMAS QUE GENERA LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA

Entre los principales fenómenos originados están la generación de corrientes armónicas, las fugas de corrientes en la red de tierra, las variaciones de voltaje, flickers, bajo factor de potencia. Estos fenómenos técnicos ocurren por dos razones principales:

- La instalación de equipo electrónico en un ambiente determinado sin haber hecho las modificaciones necesarias en la instalación eléctrica, de tal manera que no hay un equilibrio entre el consumo de energía y la instalación que soporta este consumo.
- La construcción de edificaciones sin el conocimiento de la carga eléctrica que se requerirá para las necesidades de consumo de energía de los equipos que serán instalados.

2.3.3. CONSUMOS LINEALES.

Carga donde la corriente absorbida tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta, esta corriente, no posee contenido armónico. Los resistores, inductores y los condensadores son dispositivos lineales. Si el voltaje es sinusoidal la corriente también lo es, en general, existe un desfase entre ellos.

Al conectar cargas resistivas en el sistema de potencia obtenemos una corriente senoidal, en cambio con una carga inductiva observaremos corrientes senoidales aunque con fase diferente a la carga resistiva.

2.3.4. CONSUMOS NO LINEALES.

Son aquellas cargas no lineales que no tiene un consumo de corriente y voltaje constante, sino que depende de la aplicación en la que se esté usando y de las consecuencias del medio de operación, absorben corrientes en impulsos bruscos que crean ondas de corriente distorsionadas, originando a su vez corrientes de armónicos de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

La electrónica de potencia puso a disposición de los hogares y las empresas productivas diversos equipos capaces de controlar el producto final: iluminación variable, velocidad ajustable, etc. Así, aproximadamente un 50% de la energía eléctrica pasa por un dispositivo de electrónica de potencia antes que ésta sea finalmente aprovechada. La electrónica de potencia hace uso de diodos, transistores y tiristores, y prácticamente todos ellos trabajan en el modo de interrupción («switching»). Esto significa que trabajan esencialmente en 2 estados:

- a) **Estado de conducción.-** Corresponde a un interruptor cerrado. La corriente por el dispositivo puede alcanzar valores elevados, pero el voltaje es nulo y, por tanto, la disipación de potencia en él es muy pequeña.
- b) **Estado de bloqueo.-** Corresponde a un interruptor abierto. La corriente por el dispositivo es muy pequeña y el voltaje es elevado; así, la disipación de potencia en el dispositivo es también pequeña en este estado.

2.3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISTURBIOS MÁS COMUNES

No existe un consenso en la terminología que define los disturbios que afectan la calidad de la energía. A continuación, se describen los términos más utilizados y aceptados en este campo, tanto por fabricantes como usuarios de equipo de monitoreo de la calidad de la energía.

2.3.5.1. CALIDAD DE TENSIÓN

Término usado para describir la cantidad relativa de disturbios o variaciones de tensión. Particularmente las interrupciones, las caídas momentáneas de tensión, los impulsos y los armónicos -medidos en el mismo punto-. Esta caracterización, aplicada desde el punto de vista de las instalaciones de distribución, es el nivel de calidad que la red entrega a sus consumidores en el punto de servicio. Desde el punto de vista del consumidor, la calidad es la cantidad relativa de variaciones de tensión medidas en el punto de utilización. Los disturbios causados por otros consumidores o aún por el propio equipo del usuario afectarán la percepción de calidad de los consumidores. (2)²

2.3.5.1.1. VARIACIONES DE VOLTAJE

2.3.5.1.1.1. IMPULSOS

Uno de los problemas básicos que afectan al sistema son las variaciones de tensión de corta duración también conocidas como impulsos que duran menos de un ciclo y que inicialmente tienen la misma polaridad que el voltaje normal, de tal manera que el disturbio se suma a la forma de onda nominal. Idealmente debería tener una forma de onda cuadrada, tendrá un flanco de subida y otro de bajada.

² RAMIREZ, C.S. y CANO, P. E. Calidad del servicio de energía eléctrica. Primera ed. Manizales, Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 2006. 396 p.

2.3.5.1.1.2. TRANSITORIOS (TRANSIENT)

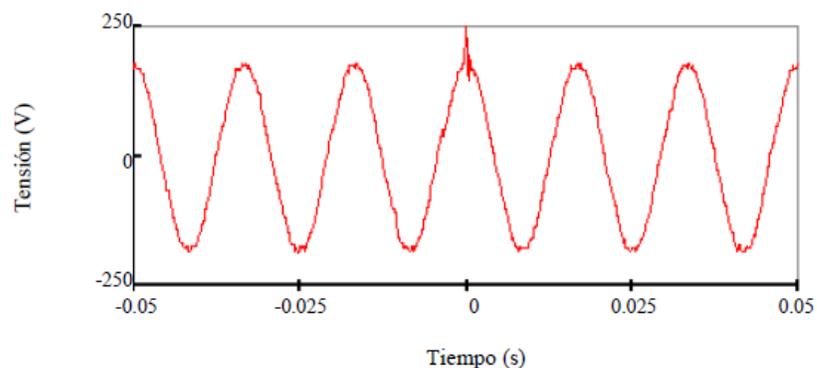
Un impulso transitorio o disturbio, es un cambio mayor en la forma de onda seno normal de tensión de AC, puede tener una duración desde una fracción de microsegundos hasta 5 milisegundos, también es conocido con el nombre de picos.

Por lo general puede resultar de descargas atmosféricas, descargas electrostáticas, o por el uso de cierto tipo de equipo electrónico en el sitio o en algún otro lugar, puede ocurrir no solamente en un sistema de potencia, sino también en telecomunicaciones, en líneas de datos, etc.

El cambio repentino en un circuito eléctrico causará un transitorio de tensión debido a la energía almacenada en la inductancia y la capacitancia de los circuitos. La amplitud y duración del transitorio depende de los valores de L y C, y de la forma de onda aplicada.

Los transitorios tanto impulsivos como oscilatorios pueden ser perjudiciales para los sistemas y circuitos eléctricos, dependerán de la amplitud, la velocidad de variación y la duración.

- Los transitorios oscilatorios duran más tiempo, por lo tanto resultan perjudiciales para los circuitos de control y mando, equipos de TV, PLC y computadoras.
- Los transitorios impulsivos (fenómenos atmosféricos), pueden deteriorar los materiales aislantes de los electrodomésticos, PLC, equipos electrónicos, etc.



*Fuente: Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Autores: Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata
Figura II. 11. Onda de tensión afectada por un transitorio*

2.3.5.1.1.3. INTERRUPCIÓN

Es un evento durante el cual el voltaje, en el punto de conexión del cliente, cae a cero y no retorna a sus valores normales automáticamente. En los sistemas trifásicos, una interrupción comienza cuando la tensión de todas las fases está por debajo del umbral y termina cuando una fase iguala o supera al umbral de interrupción más la histéresis.

De acuerdo con la IEC, el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 min. se denomina corta interrupción.

En los estándares de la IEEE definen a las interrupciones sostenidas a aquellas que duran más de 3 segundos [Std.1159] o más de 2 min.[Std.1250].

El tiempo base de la interrupción se caracteriza como:

Instantánea: 0.5 a 30 ciclos

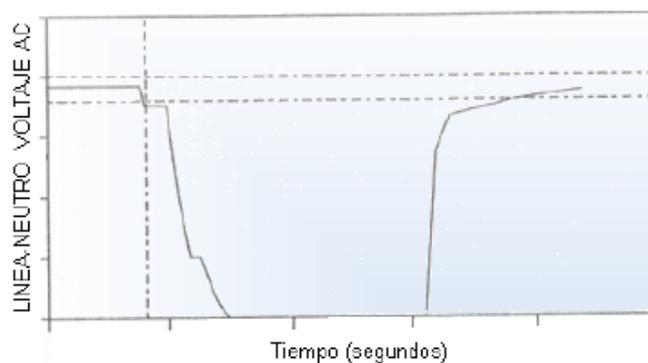
Momentánea: 30 ciclos a 2 s

Temporal: 2 s A 5 min

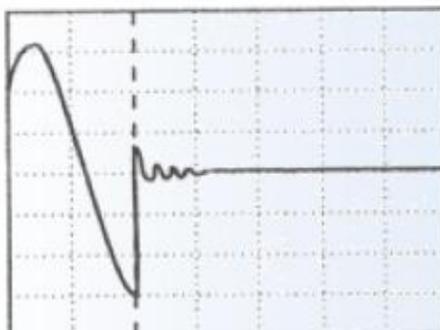
Sostenida: > 2 min

Las interrupciones temporales de energía, generalmente ocurren por algún disturbio en el sistema eléctrico: fallas en el sistema de potencia, accidentes en la red de distribución, fallas de transformadores o generadores, sobrecargas en la red de baja tensión. Su duración puede ser desde algunos milisegundos hasta varias horas.

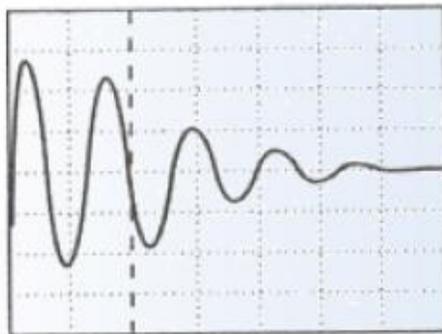
En la Figura II.12. se puede observar el valor del voltaje RMS durante una interrupción momentánea de voltaje; en la Figura II.13. se aprecia la forma de onda para una interrupción sostenida en donde el voltaje se hace cero casi de forma instantánea; y en la Figura II.14. se ilustra una interrupción en la cual el voltaje decae lentamente.



Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal, Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II. 12 Interrupción momentánea de voltaje



Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal, Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II.13. Interrupción sostenida

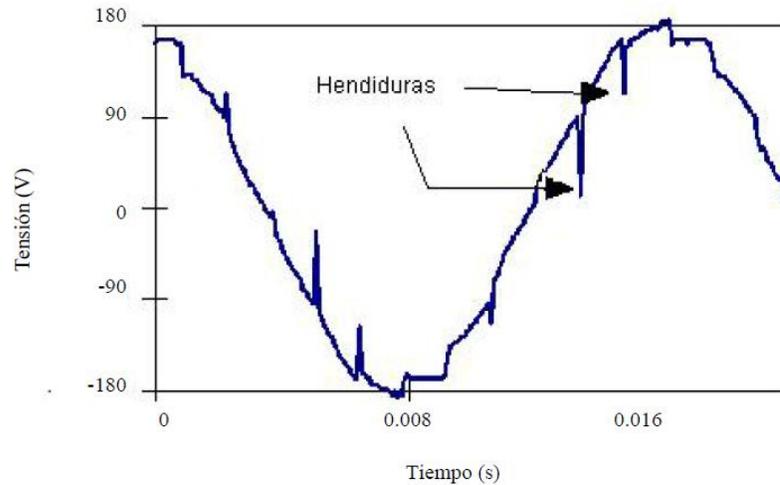


*Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal,
Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II. 14 Interrupción lenta*

2.3.5.1.1.4. HENDIDURA (NOTCHING)

Las hendiduras también llamadas notching son perturbaciones periódicas de la forma de onda de tensión, que se originan por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Existen casos en los cuales puede perderse totalmente la señal hasta por medio ciclo.

Eliminar las hendiduras de tensión implica el aislamiento de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo y una solución podría ser utilizar reactancias inductivas que ayudarán a mitigar el efecto de las hendiduras. La Figura II.15. es un ejemplo de ello.



Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal, Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II. 15 Hendidura o Notching

2.3.5.1.1.5. CAÍDA PERMANENTE DE TENSIÓN (UNDER VOLTAGE)

Es una disminución en la tensión nominal RMS a la frecuencia de potencia, para duraciones mayores a 2 minutos.

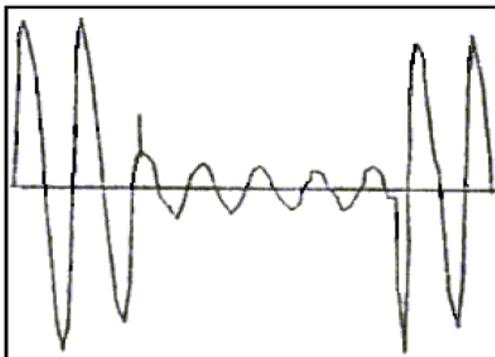
2.3.5.1.1.6. CAÍDAS MOMENTÁNEAS DE TENSIÓN (VOLTAGE SAGS - DIPS)

Sags o también llamados huecos son una disminución de corta duración en el voltaje AC, es decir es un descenso en la tensión RMS por debajo del límite permitido con una duración mayor a medio ciclo pero menor a 2 minutos.

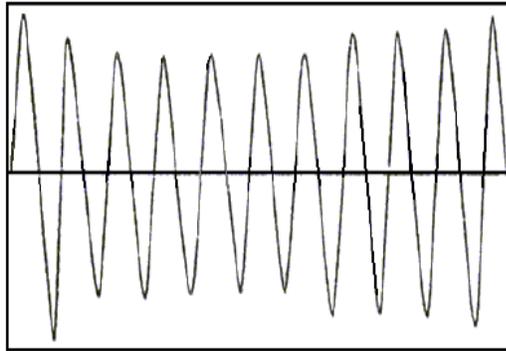
Puede ser causado por fallas en sistemas de transmisión o distribución, o por switcheo de corrientes elevadas, en las instalaciones industriales son generalmente causados por el encendido de cargas grandes, aunque también puede ocurrir en el sistema de alimentación, pero es más frecuente que las caídas momentáneas de tensión sean causadas por fallas en el sistema. Las caídas momentáneas más severas en un sistema distribución resultan de fallas en el mismo

alimentador, en la subestación, o en el alimentador adyacente, y usualmente son fáciles de identificar. Un acondicionador de potencia no protege una carga sensible contra las caídas momentáneas de tensión severas, no las puede compensar totalmente y sus relés de bajo tensión se disparan. (Ver Figura II.16. y Figura II.17.).

Las consecuencias que podrían generar son el apagado de lámparas (flickers), funcionamiento incorrecto de los dispositivos de control; variación de la velocidad o parada de motores; disparo de contactores magnéticos; fallas en PLC, computadoras o instrumentos de medición digitales; pérdida de sincronismo en motores y generadores síncronos.

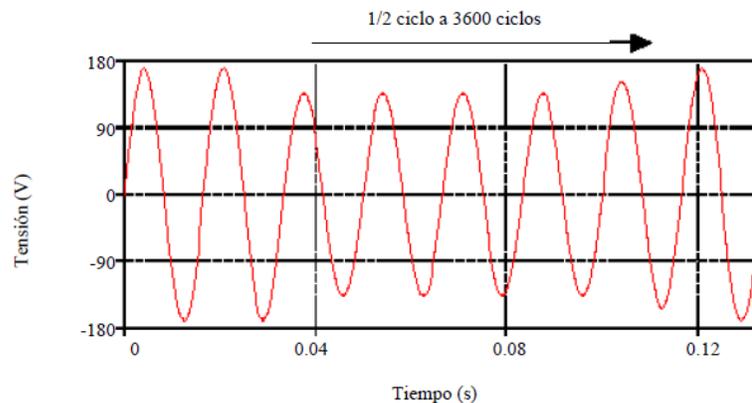


Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal,
Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II. 16 Sag causado por falla de transformador.



Fuente: Tesis Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de quito imprenta mariscal, Autores: Guachamin Cheza Vicente Patricio, Naranjo Andrade Edison Geovanny
Figura II. 17. Sag causado por falla en el sistema de subtransmisión

Las disminuciones momentáneas de tensión y las interrupciones de potencia son los problemas más importantes de calidad de potencia que afectan a los grandes consumidores industriales y comerciales. Estos eventos son usualmente asociados con fallas remotas del sistema potencia. Las caídas momentáneas de tensión son mucho más frecuentes que las interrupciones.

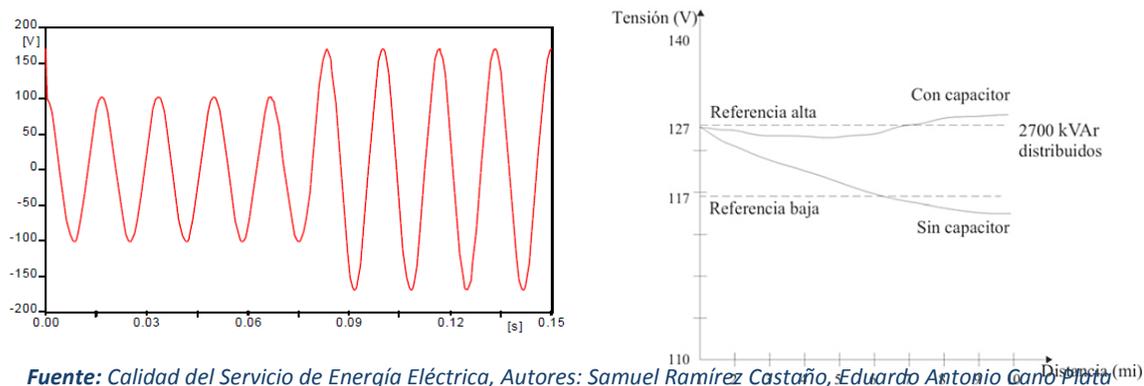


Fuente: Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Autores: Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata
Figura II. 18. Onda de tensión afectada con un sag

2.3.5.1.1.7. ELEVACIONES PERMANENTES DE TENSIÓN

Algunas veces durante condiciones de baja carga, los reguladores o los bancos de capacitores pueden sobrecompensar y crear una sobretensión que dura desde unos pocos segundos hasta

muchas horas. La tensión del sistema distribución que está usualmente limitado a 127 voltios, alcanza 130 voltios y está por encima de los rangos recomendados por la norma ANSI C84.1. (Ver Figura II.19.).

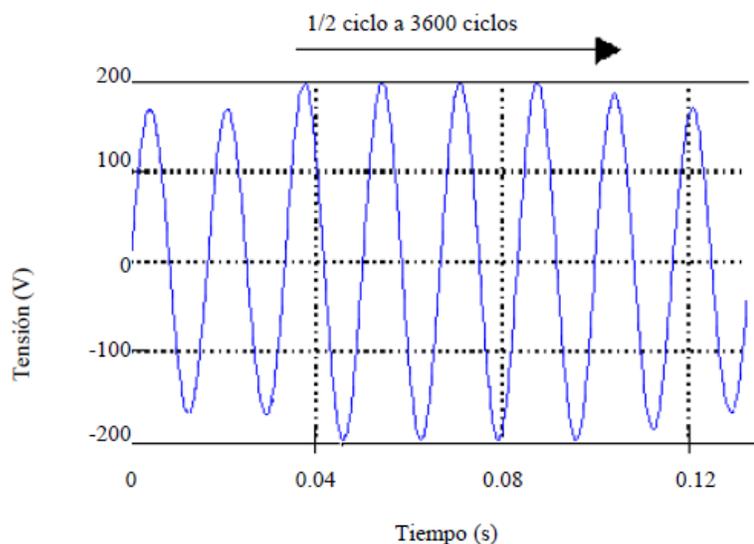


Fuente: Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Autores: Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata
Figura II. 19. Efecto de colocación de un banco de capacitores grande en un sistema a baja carga.

2.3.5.1.1.8. ELEVACIONES MOMENTÁNEAS DE TENSIÓN (VOLTAGE SWELLS)

Las elevaciones momentáneas son incrementos en la tensión RMS que superan los valores normales de entrega de la energía, con duración mayor a medio ciclo y menor a unos pocos segundos; pueden ir o no acompañados de una disminución de la tensión, caracterizadas por su magnitud y duración, típicamente las magnitudes oscilan entre 1,1 y 1,8 pu (por unidad), es decir menor a dos milisegundos y la duración entre medio ciclo a 1 minuto. La Figura II.20. muestra una onda de tensión con swell.

Se presentan en las fases no falladas de un sistema trifásico, durante una falla monofásica a tierra, en forma de impulsos de voltaje de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes, pueden tener su origen en las descargas atmosféricas, en maniobra de interruptores y al conectar o desconectar capacitores para la corrección del factor de potencia, constituyendo los llamados “picos” de voltaje.

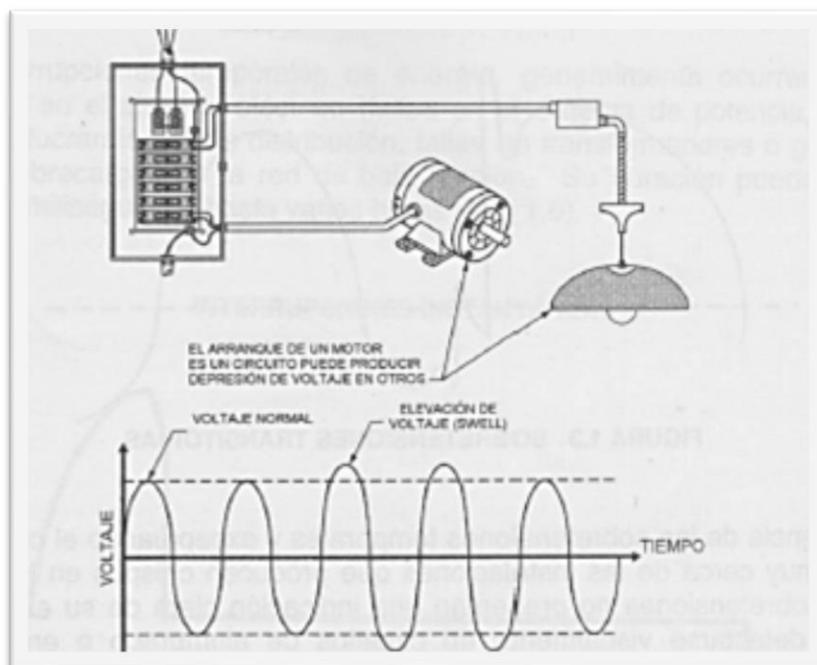


Fuente: *Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Autores: Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata*
Figura II. 10. Elevación momentánea de tensión (SWELLS)

Las consecuencias de las elevaciones momentáneas de tensión son diversas, dependen de la duración, la repetitividad, la amplitud, la forma del frente de subida, la frecuencia, entre otros factores.

- Perforación del dieléctrico en los componentes electrónicos.
- Cortes largos causados por fallas en las empresas eléctricas que producen pérdidas en la facturación en los consumidores.
- Cuando existen incrementos de tensión repetitivos se degradan los materiales por envejecimiento.
- Perturbación en los circuitos de comunicaciones con corrientes débiles, circuitos de control y mando.
- Sobre-esfuerzos electrodinámicos y térmicos causados por las descargas atmosféricas en las redes aéreas de las compañías eléctricas.

- Las sobretensiones de maniobra que son más probables y repetitivas que los rayos, aunque sean menores pueden llegar a producir defectos tan graves como los del rayo.



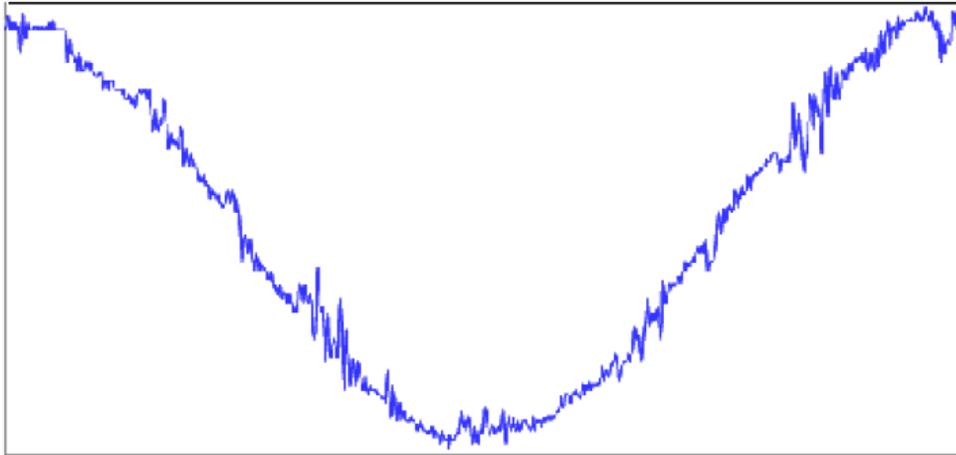
Fuente: *El ABC de la Calidad de la Calidad de la Energía Eléctrica*, Autor: *Enríquez Harper*
Figura II. 211. Elevación de voltaje

2.3.5.1.1.9. RUIDO

Se puede definir al ruido eléctrico como una señal eléctrica indeseable, que causa efectos impredecibles en los equipos susceptibles. La Figura II.22. es una onda de tensión con ruido.

El ruido es un voltaje no deseado, que distorsiona o interfiere con la señal deseada, puede ser transitorio o constante. Un ruido transitorio inesperado puede ser causado por descargas atmosféricas, o generado desde el interior de equipos, o de una fuente externa.

La generación y propagación del ruido eléctrico requiere de una fuente de ruido o un mecanismo acoplado a un circuito, éstas pueden ser: dispositivos que produzcan cambios rápidos en el voltaje (picos) o armónicos de corriente.



Fuente: Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Autores: Samuel Ramírez Castaño, Eduardo Antonio Cano Plata
Figura II. 12. Onda de tensión con ruido

2.3.5.1.2. CAUSAS

Existen diversas causas por las que se presentan estas variaciones de tensión, a continuación se describen algunas de las más comunes: Demandas excesivas de energía por sobrecarga del sistema eléctrico, switcheo de bancos de capacitores, reactores, líneas de transmisión, transformadores y cables de potencia, descargas atmosféricas, la explosión de un transformador de distribución en poste, fallas en los sistemas de transmisión y distribución, switcheo de cargas considerables, conmutación de diodos y tiristores, operación de fusibles limitadores de corriente, el incremento del uso de computadoras, microcomponentes electrónicos, semiconductores de potencia, robots y la automatización de los procesos ha causado que fabricantes, usuarios y empresas suministradores examinen la calidad de la potencia entregada y el cómo afecta ésta a las nuevas cargas. (3)³

³ MOLINA, F. y MUÑOZ, C. Medida, registro y análisis de magnitudes eléctricas en el primario de una subestacion de distribución, con vistas al estudio de calidad del producto. EPN. Ecuador. s.f. 11p.

2.3.5.1.3. EFECTOS

Cuando las variaciones de voltaje se hacen presentes, producen algunos efectos en distintos artefactos eléctricos como:

- *Las luminarias se ven afectadas en su nivel lumínico en su rendimiento y la duración de su vida útil.*
- *Los motores que representan aproximadamente un 80% de la energía que se produce, ya que se encuentran presentes en la industria, el comercio, en las residencias, etc., estos se ven afectados ya que el torque es una función del voltaje elevado al cuadrado produciendo: Reducción de la eficiencia, incremento de los costos de capital debido a: motores sobredimensionados, esquemas de control complejo, desconexiones del motor, fallas del cojinete, malfuncionamiento debido a las interacciones de los componentes, interrupciones en la producción o la elaboración de productos dañados, alteración en el apagado de los computadores. (3)⁴*

2.3.5.1.4. SOLUCIONES

Los problemas de la calidad de la energía y los causados por su defecto, son consecuencia de la evolución de la electrónica y más particularmente de su integración. Con ello se incrementa la exposición del usuario a perturbaciones eléctricas y aumenta también la sensibilidad de los equipos. Es por ello, que el suministro de corriente alterna, suele ser inadecuado para alimentar sistemas informáticos, pudiéndoles causar problemas de pérdidas de datos y errores de disco duro. Todos estos efectos se pueden agrupar en seis fenómenos que son: Regulación, Transitorios, Ruidos eléctricos, Armónicos, Tierra y Cortes de energía. Una vez que se conocen cuáles son los problemas de variaciones de voltaje que tiene el sistema entonces se puede plantear soluciones, se debe tener en cuenta el entorno eléctrico en el que se encuentra y los problemas que afectan al sistema. Una de las principales soluciones es la utilización del SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida). (3)

⁴ MOLINA, F. y MUÑOZ, C. Medida, registro y análisis de magnitudes eléctricas en el primario de una subestacion de distribución, con vistas al estudio de calidad del producto. EPN. Ecuador. s.f. 11p.

2.3.5.2. FLUCTUACIONES DE VOLTAJE (FLICKER)

El flicker o Parpadeo es un disturbio en la amplitud de la tensión, es de tipo conducido, no simétrico, la principal consecuencia es la variación del brillo de las lámparas incandescentes, que causa molestia visual, y con el pasar del tiempo produce cansancio.

Ésta intensidad luminosa varia con un factor 3.4 a 3.8 veces la variación de la tensión, generalmente las fluctuaciones de tensión son generadas por cargas, tienen características variables en el tiempo, siendo necesario fijar un periodo de observación significativo y evaluar en modo estadístico la variación de la sensación instantánea en el mismo periodo.

- a. **FLICKER DE BREVE TÉRMINO (Pst).**- *Evalúa la severidad del "flicker" en períodos cortos de tiempo, con intervalos de observación de diez minutos; se expresa en unidades pu. Para valores de Pst superiores a 1, se considera que el "flicker" es perceptible y afecta a la visión. (3)*
- b. **FLICKER DE LARGO TÉRMINO (Pst).**- *Existen aparatos generadores de disturbio que tienen un ciclo de funcionamiento prolongado, para los cuales la evaluación de la severidad del flicker utiliza una metodología de evaluación de largo término para determinar el Pst, se subdivide el periodo de observación en muchos lapsos de 10 minutos y obtener para cada uno de ellos el Pst correspondientes. Obteniendo así una serie de valores de Pst para construir una curva de duración (probabilidades acumuladas) y caracterizarla a través de porcentuales oportunamente elegidos, pero se ha preferido utilizar un método de media que ha demostrado producir buenos resultados. (3)⁵*

⁵ MOLINA, F. y MUÑOZ, C. Medida, registro y análisis de magnitudes eléctricas en el primario de una subestacion de distribución, con vistas al estudio de calidad del producto. EPN. Ecuador. s.f. 11p.

$$Plt = \frac{\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} Pst^3 \times i}}{12}$$

2.3.5.2.1. EFECTOS

Los efectos son desfavorables tanto para equipos electrónicos así como para la vista de las personas.

EFECTOS EN LAS PERSONAS: una iluminación intermitente provoca un fenómeno visual, que se caracteriza por la aparición de un escotoma, podría interpretarse como una pérdida de su capacidad de adaptación instantánea a la luz.

EFECTOS EN EQUIPOS: induce al mal funcionamiento de los circuitos de sincronización de fase PLL, los pequeños equipos electrónicos de suministro interrumpible de potencia UPS, lámparas fluorescentes, aparatos industriales, el encendido o arranque no frecuente de los motores, las computadoras, otros aparatos electrónicos de oficina sensibles que requieren fuentes de respaldo o protección para evitar interrupciones inaceptables en el servicio.

2.3.5.2.2. SOLUCIONES

- Para contrarrestar el efecto flicker donde existen fuentes generadoras de éste, la solución es construir una subestación cercana al sitio de carga problema, lo que resulta costoso.
- Fábricas de acero, pueden producir perturbaciones de voltaje incluso cuando son abastecidas a través de los grupos motor–generador sincrónico, perturbación que puede ser reducida mediante el uso de reguladores del factor de potencia en los grupos motor – generador.

- En fábricas no continuas que requieren gran potencia por cortos períodos de tiempo y donde el ciclo de operación es lo suficientemente bajo, se pueden usar efectivamente los motores de inducción de rotor devanado con regulador del deslizamiento y volante, para minimizar la perturbación del sistema de abastecimiento de potencia.
- El uso de capacitores serie constituyen una solución práctica y económica para los problemas del flicker de voltaje.

2.3.5.3. FACTOR DE POTENCIA

2.3.5.3.1. CARGAS RESISTIVAS E INDUCTIVAS

En este tipo de carga la corriente atrasa a la tensión y el factor de potencia es menor a 1 atrasado. Cuando más alta la carga inductiva, más bajo será factor de potencia. Razón por la cual al corregir este factor de potencia se pueden adicionar capacitores al circuito incrementando el factor de potencia de vuelta hacia 1.

2.3.5.3.2. CARGAS CAPACITIVAS

En estas cargas la corriente adelanta a la tensión y si la carga capacitiva es alta el factor de potencia será mayor que 1 y se adelantará. Se debe tomar en cuenta que en situaciones dónde la corriente adelanta la tensión, pueden crearse problemas en los generadores diésel, alterando el lazo de control de tensión.

2.3.5.3.3. DEFINICION

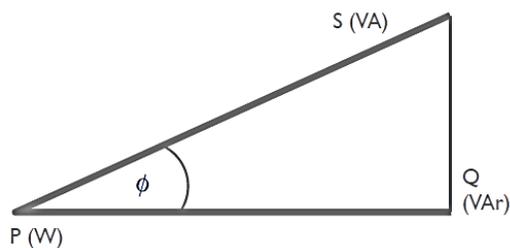
El factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica convertida en trabajo, el valor ideal es de 1, indicando que toda la energía consumida ha sido transformada en trabajo, pero si el factor de potencia es menor entonces significa un mayor consumo de energía para producir trabajo.

De acuerdo al triángulo de potencias podemos deducir que en el consumo de electricidad intervienen la potencia efectiva o activa (kW), la potencia reactiva (kVAr) y la suma vectorial de estas dos se denominan potencia aparente.

La definición del factor de potencia $\cos\phi$ es: relación entre la potencia activa (P) y potencia aparente (S), siendo ϕ el ángulo de fase entre la tensión y la corriente.

En la figura II.23. se muestra el triángulo de potencias:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \phi$$



Fuente: Artículo "Ventajas de la Corrección del Factor de Potencia. ENERGEX energía confiable"
Figura II. 213. Representación de la Potencia

Es conveniente que la energía reactiva (Q) sea baja (tendiendo a cero) y por tanto el ángulo ϕ tenderá a cero. El coseno de un ángulo cercano a cero tiende a 1 y por tanto el factor de potencia para un caso con baja energía reactiva tiende a 1 que representa la condición ideal. Por tanto, un

usuario deberá llevar su factor de potencia lo más cercano a uno para evitar la penalización por bajo factor de potencia. (4)⁶

2.3.5.3.4. EFECTOS DEL FACTOR DE POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

El origen del bajo factor de potencia son las cargas inductivas tales como: motores, balastos, transformadores, etc., ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica. En este tipo de cargas el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje provocando un bajo factor de potencia.

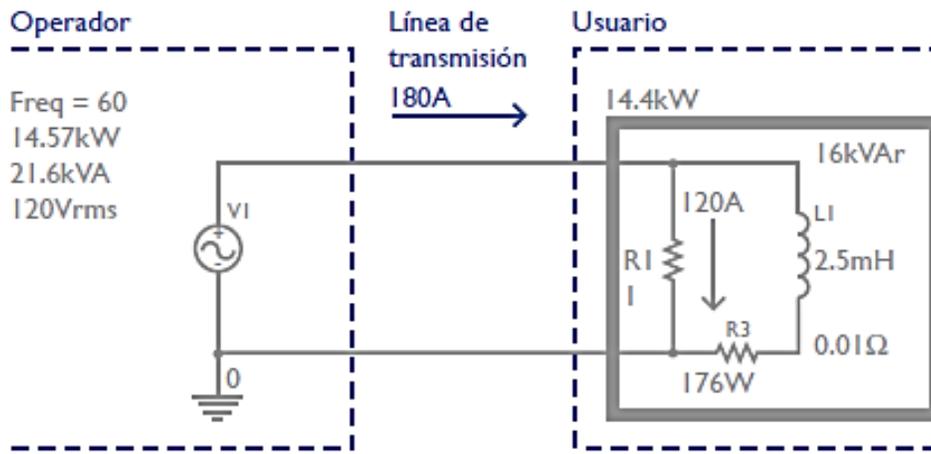
Al operar con un factor de potencia menor a 1, afectará la red eléctrica tanto en alta tensión como baja tensión, trayendo consigo las siguientes consecuencias en la medida que disminuya el factor de potencia.

- Calentamiento de conductores
- Calentamiento de embobinados de transformadores de distribución
- Disparo de los dispositivos de protección sin causa aparente
- Sobrecargas en generadores, transformadores y líneas de distribución
- Aumento en las caídas de tensión
- Mayores consumos de corriente
- Incrementos en la facturación eléctrica por mayor consumo de potencia en pérdidas

⁶ ENERGEX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].

- Penalizaciones económicas, y en caso de que el factor de potencia sea muy bajo el corte del suministro.

Para comprender de mejor manera el efecto del factor de potencia en un circuito eléctrico se anotará un ejemplo, donde se analizará la figura que se presenta a continuación.



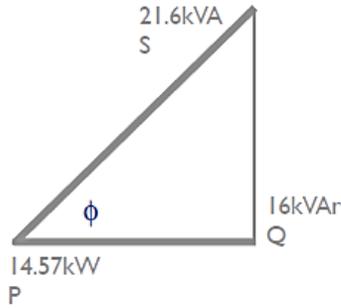
Fuente: Artículo "Ventajas de la Corrección del Factor de Potencia. ENERGEX energía confiable"
Figura II. 14. Circuito Eléctrico con bajo Factor de Potencia

La figura II.14. muestra la fuente alterna de operador de red, la línea de transmisión hasta el usuario y la carga final, esta carga lineal está constituida por elementos resistivos e inductivos, por lo cual se espera que el Factor de Potencia sea diferente a la unidad. De acuerdo a la figura la corriente que debe entregar la empresa distribuidora es de 180 A, mientras que la corriente que circula por la parte resistiva de la carga es de solo 120 A, por consiguiente está forzando a la empresa distribuidora a entregar una corriente adicional de 60 A. Al realizar la suma de potencias activas y reactivas se tiene: (4)⁷

$$P = 14400W + 176W = 14576W$$
$$Q = 16000VAR$$
$$S = \sqrt{16000^2 + 14576^2} = 21600VA$$

La figura II.25. presenta estos valores:

⁷ ENERGEX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].



Fuente: Artículo "Ventajas de la Corrección del Factor de Potencia. ENEREX energía confiable"
Figura II. 15. Potencia del circuito de la Figura II.14.

El valor de factor de potencia es muy bajo 0.674, si el usuario implementa un sistema para corregir el factor de potencia, la corriente que pediría la empresa distribuidora debería ser de 120A y no de 180A, para la empresa distribuidora esto ayudaría a reducir el calibre de los conductores a utilizar, adicionalmente podría emplear un transformador de una potencia aparente menor a la usada sin el corrector de factor de potencia, lo que implicaría para el usuario una menor facturación. (4)⁸.

Tabla II.XII. Problemas ocasionados por la energía reactiva

PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA ENERGÍA REACTIVA	
• INCREMENTO DE LAS PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES	
✚	Calentamiento de los bobinados de los transformadores de distribución
✚	Disparo sin causa aparente de las protecciones
✚	Calentamiento de los conductores, que aceleran el deterioro de los aislamientos, reduciendo la vida útil de los mismos, pueden ocasionar cortocircuitos.
✚	Pérdidas por efecto Joule. $P_{pérdidas} = I^2 * R$. Dónde: I = intensidad de corriente que atraviesa el conductor (A); R = resistencia del conductor (Ω)
• SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES Y GENERADORES.-el exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia origina que generadores y transformadores trabajen con cierto grado de sobrecarga, reduciendo su vida útil al sobrepasar sus valores de diseño.	
• AUMENTO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.-al circular corriente por un conductor eléctrico se produce una caída de tensión definida por la ley de ohm. El incremento de la intensidad de corriente se debe al bajo factor de potencia, produciendo una mayor caída de tensión, resultando en ineficiente suministro de potencia en las cargas de consumo, reduciendo la potencia de salida en las cargas	

Fuente: Compensación de energía reactiva. RTR Energía S.L.

⁸ ENEREX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].

2.3.5.3.5. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

El Art. 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas Eléctricas establece que las empresas distribuidoras de energía eléctrica registrarán el valor del factor de potencia aceptable con un mínimo de 0.92; caso contrario si los usuarios demandan un factor de potencia menor al 0,92 tendrán una sanción económica denominada penalización por bajo factor de potencia, que deberán pagar en su factura eléctrica. Al corregir el factor de potencia se lograrán obtener beneficios económicos y en los equipos, estos se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla II.XIII. Beneficios de la corrección del factor de potencia.

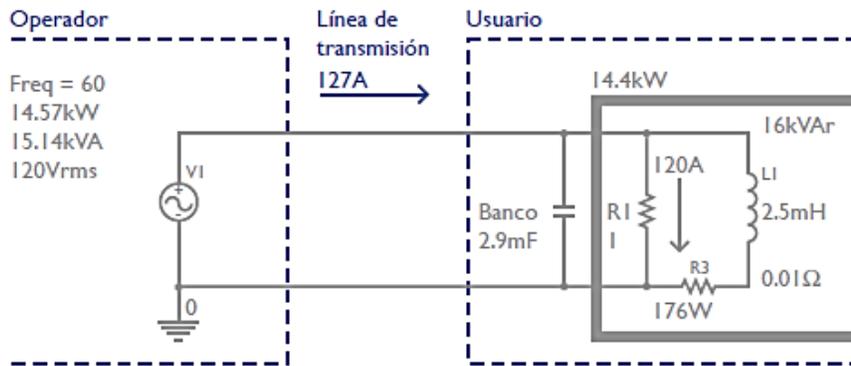
BENEFICIOS ECONÓMICOS	BENEFICIOS EN LOS EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none">• Reducción en los costos de facturación eléctrica• Eliminación del rubro por penalización por bajo factor de potencia• Menor sección de cables y protecciones.	<ul style="list-style-type: none">• Disminución en las caídas de tensión• Reducción de las pérdidas en conductores• Aumento en la vida útil de las instalaciones• Incremento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Se tomará nuevamente la figura anterior para establecer un ejemplo para la corrección del factor de potencia:

Si al circuito de la figura II.24. se le adiciona un elemento para la corrección del factor de potencia, como lo es un banco de capacitores compensará la potencia reactiva, la potencia aparente que debe entregar el operador de red no es ya 21.6kVA sino 14.5kVA logrando una gran reducción. (4)⁹

⁹ ENERGEX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].



Fuente: Artículo "Ventajas de la Corrección del Factor de Potencia. ENERGEX energía confiable"
Figura II. 16. Adición de un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia

La figura II.26.muestra la adición de un banco de capacitores de 2.9mF, el resultado: Una corriente de entrada de 127A en lugar de los 180A que ingresaban antes de la incorporación del banco de condensadores. De acuerdo a la figura II.16. las potencias y el Factor de Potencia para el operador y el usuario son: $P=14.57kW$, $S=15.14kVA$. Un Factor de potencia de 0.96 no implicará sanciones al usuario y permitirá reducir los cables usados para la transmisión por parte del operador. Con todo esto se demuestran las dos grandes ventajas de los sistemas que incluyen corrección del factor de potencia: Menores tarifas y menor exigencia de infraestructura eléctrica. (4)¹⁰

En las instalaciones eléctricas donde las cargas están compuestas principalmente por motores de inducción tienen un factor de potencia atrasado, es decir bajo. Siendo preciso tomar acciones de corrección para que los motores trabajen en condiciones adecuadas de carga para mejorar el factor de potencia de la instalación.

La solución más sencilla de corrección es la implementación de un banco de condensadores, que proporcionará los KVAR reactivos necesarios para la compensación del factor de potencia, haciendo que se encuentre por encima del 0,92 establecido.

¹⁰ ENERGEX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].

Otra forma de compensación es el uso de motores síncronos de alta eficiencia en lugar de los motores standard de inducción. Solución que demanda una mayor inversión económica, requiriendo de un análisis económico donde se reflejen las ventajas y desventajas de ésta implementación.

2.3.5.3.6. EQUIPOS Y CARGAS QUE INCIDEN EN EL FACTOR DE POTENCIA PARA UN USUARIO

Hoy en día proliferan cargas de tipo no lineal que contribuyen a que el usuario demande una gran potencia reactiva y deba incrementar sus pagos a la empresa de suministro eléctrico u operador de red. Es muy común el uso de UPSs para conexión de cargas de tipo no lineal, de esta manera la UPS agrupa un conjunto de cargas que normalmente poseen un bajo factor de potencia. En la etapa de entrada, algunas UPS incluyen un sistema para la corrección del factor de potencia (PFC) de forma que la red eléctrica del operador no tendrá que suplir la potencia reactiva para las cargas y el usuario tampoco tendrá que incrementar sus pagos al operador. De ahí la importancia de que equipos como UPS ofrezcan un alto factor de potencia a su entrada. (4)¹¹

2.3.5.3.7. PENALIZACIÓN POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

Cuando el factor de potencia tiene un valor inferior a 0,92, la empresa distribuidora de energía eléctrica tendrá derecho a cobrar al usuario un rubro por concepto de penalización o cargo.

$$fp_B = \frac{0,92}{fp_r} - 1$$

Donde

fp_B = factor de penalización por bajo factor de potencia

fp_r = factor de potencia registrado

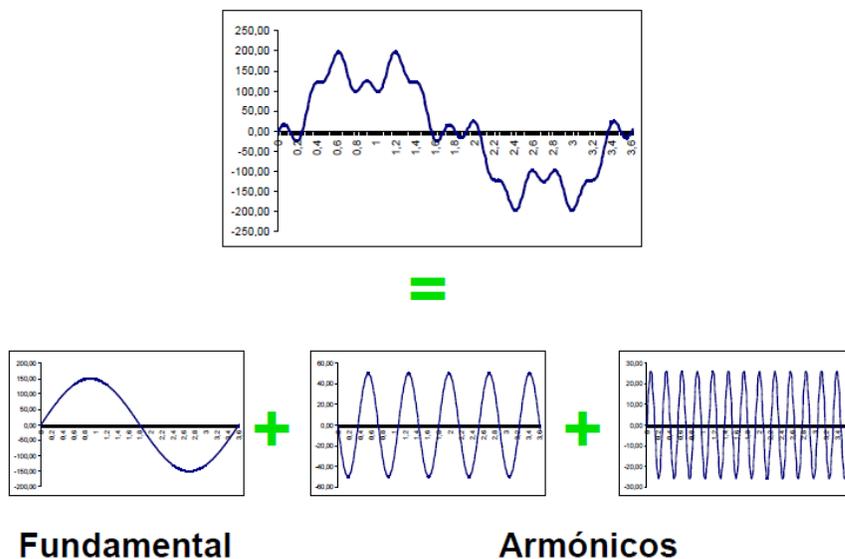
¹¹ ENERGEX. s.f. Ventajas de la corrección del factor de potencia disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].

Art. 27.- Cargos por bajo factor de potencia.- Para aquellos consumidores a los cuales el Sistema de Medición fijado por el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, considere la medición de energía reactiva, el distribuidor registrará mensualmente el factor de potencia. Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, la facturación total mensual será recargada en un factor igual a la relación por cociente entre 0,92 y el factor de potencia registrado. Cualquiera sea el tipo de consumidor, cuando el valor medido del factor de potencia fuese inferior a 0,60, el distribuidor, previa notificación, podrá suspender el servicio eléctrico hasta tanto el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite. (5)¹²

2.3.5.4. ARMÓNICOS

2.3.5.4.1. DEFINICIÓN

El matemático francés Jean Baptiste Fourier definió este fenómeno afirmando toda forma de onda periódica no-senoidal puede ser representada como la suma infinitas de ondas senoidales cuya frecuencias son enteros múltiplos de la frecuencia fundamental.



Fuente: Los armónicos y la Calidad de la Energía Eléctrica, RTR Energía
Figura II. 17. Descomposición armónica

¹² ECUADOR, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Codificación del reglamento de tarifas eléctricas. Decreto ejecutivo No. 2713, Registro Oficial 598. 17 de junio de 2002.

Los armónicos son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación (60 Hz). Resultan de varias ondas de diferentes órdenes armónicos a la vez, constituyendo un espectro y dando como resultado una onda distorsionada. Ver figura II.27.

Los armónicos habitualmente son definidos con:

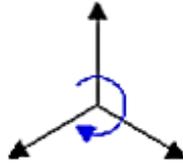
- Amplitud: hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico,
- Orden: hace referencia al valor de su frecuencia fundamental (60 Hz). Por ejemplo un armónico de orden 5 tiene una frecuencia 5 veces superior a la fundamental, es decir $5 \times 60 \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$.

En la industria la utilización de capacitores para corregir el factor de potencia puede ocasionar la aparición de condiciones de resonancia entre los capacitores y la inductancia de los transformadores. La existencia de armónicas en la red de distribución provoca aumento de las pérdidas en equipos por efecto Joule, con el consecuente aumento de temperatura, sobre esfuerzo en aislamientos y disturbios provocados por interferencia en circuitos de control, de protecciones y en sistemas de telecomunicaciones.

Para cuantificar la distorsión en una señal, es preciso definir parámetros que determinen su magnitud y contar con equipos adecuados de medición.

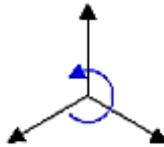
2.3.5.4.2. TIPOS DE ARMONICOS

Armónicos fundamentales: también son conocidos como armónicos de secuencia directa, en los que su campo tiene el mismo sentido que el campo que genera la frecuencia fundamental.



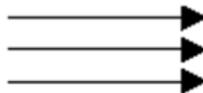
*Fuente: Proyecto de titulación "Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales.". Autor: Roberto Demes Jasso. Universidad grupo CEDIP S.C. MÉXICO.
Figura II. 18. Gráfico de armónicos de secuencia directa*

Segundos armónicos: llamados de secuencia inversa, por su oposición al campo de la frecuencia fundamental y en las maquinas rotatorias hacen el freno al oponerse al giro de las maquinas producto de la señal fundamental, provocando el calentamiento de las maquinas, aunque en algunos casos se aprovechan sus características para frenar motores al inyectar una pequeña señal de corriente directa a la máquina.



*Fuente: Proyecto de titulación "Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales.". Autor: Roberto Demes Jasso. Universidad grupo CEDIP S.C. MÉXICO.
Figura II. 19. Gráfico de armónicos de secuencia inversa*

Terceros armónicos: también denominados de secuencia homopolar, son aquellos que circulan únicamente por el neutro donde se suman.



*Fuente: Proyecto de titulación "Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales.". Autor: Roberto Demes Jasso. Universidad grupo CEDIP S.C. MÉXICO.
Figura II. 20. Gráfico de armónicos de secuencia homopolar*

La frecuencia del armónico lo indica el número de armónico: el primer armónico es la frecuencia fundamental (60 o 50 Hz), el segundo armónico es el componente con el doble de frecuencia

fundamental (120 o 100 Hz), y así sucesivamente. La secuencia de los armónicos puede ser positiva (+), negativa (-), o cero (0).

Tabla II. XIV. Secuencia de los armónicos de acuerdo a su frecuencia fundamental

	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Frecuencia	60 Hz	120 Hz	180 Hz	240 Hz	300 Hz	360 Hz
	50 Hz	100 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz	300 Hz
Secuencia	+	-	0	+	-	0

	7°	8°	9°	10°	11°	...
Frecuencia	420 Hz	480 Hz	540 Hz	600 Hz	660 Hz	...
	350 Hz	400 Hz	450 Hz	500 Hz	550 Hz	...
Secuencia	+	-	0	+	--	...

Fuente: Manual de funcionamiento del analizador FLUKE 435. Disponible en www.fluke.com

Los armónicos de secuencia positiva intentan que el motor funcione más rápido que el fundamental; los armónicos de secuencia negativa intentan que funcione más lentamente que el fundamental. En ambos casos, el motor pierde par y se recalienta. Los armónicos también pueden hacer que los transformadores se sobrecalienten. Si las formas de onda son simétricas (es decir, igual de positivas que de negativas), incluso los armónicos desaparecen. Los armónicos de secuencia cero se suman en los conductores neutros, lo cual puede provocar el sobrecalentamiento de dichos conductores. Cabe esperar distorsión de corriente en un sistema con cargas no lineales, como suministros de energía CC. Cuando la distorsión de corriente comienza a producir una distorsión de tensión (THD) de más de 5% es señal de un problema de potencial. (6)¹³

2.3.5.4.2.1. ARMÓNICOS DE ORDEN PAR

Normalmente no existen armónicos de orden par, esto se presenta debido a que la señal tiene la misma forma de onda en el semiciclo positivo y en el semiciclo negativo razón por la cual, los armónicos de orden par se anulan entre sí. Esto determina si suponemos que hay armónicos de 2° orden, podemos escribir que:

¹³ FLUKE. s.f. Manual de uso FLUKE 435 disponible en URL: <http://www.fluke.com>. [consultada 15 de julio de 2013].

$$I \cos wt = I_1 \sin wt + I_2 \sin 2wt$$

Por tanto:

$$I \cos wt + \pi = I_1 \sin wt + \pi I_1 + I_2 \sin 2wt + \pi$$

$$I \cos wt + \pi = -I_1 \sin wt + I_2 \sin 2wt$$

Entonces:

$$I \cos wt + \pi = -I_1 \cos wt$$

Demostrándose que I_2 es nulo, y cumpliendo con la expresión anterior.

2.3.5.4.3. PARÁMETROS DE LOS ARMÓNICOS

Los parámetros que definen la función del armónico correspondiente en las redes eléctricas se clasifican en orden, frecuencia y secuencia.

2.3.5.4.3.1. EL ORDEN DE LOS ARMÓNICOS

El número de orden de los armónicos determina el número de veces que la frecuencia del armónico es mayor que la fundamental 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, orden natural de los números. También es definido como la relación que existe entre la frecuencia del armónico y la frecuencia fundamental.

2.3.5.4.3.2. FRECUENCIA

Es el resultado de la multiplicación del número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz). Los armónicos de orden impar son los que se encuentran en las redes de la

industria, edificios y explotaciones industriales, aeropuertos, etc. Pero los de orden par aparecen sólo cuando hay asimetría en la señal eléctrica.

2.3.5.4.3.3. SECUENCIA

La secuencia de los armónicos ya sea positiva, negativa o cero no determinan el comportamiento de los mismos en las redes eléctricas, pero son perjudiciales unos que otros.

En las baterías de condensadores para la corrección del factor de potencia tienen mayor impacto los de secuencia negativa y fundamentalmente el quinto armónico.

Los armónicos de secuencia cero, debido a que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la fundamental se desplazan por el neutro haciendo que circule por él la misma intensidad o mayor que por las fases, haciendo que se produzca calentamiento del mismo, razón por la cual es necesario igualar la acción del neutro a las fases.

2.3.5.4.4. MEDIDA DE LOS ARMÓNICOS: DISTORSIÓN (THD)

El factor de distorsión armónica total o Total Harmónica Distortion (THD) es utilizado para estimar el grado de contaminación armónica en una forma de onda.

Es el parámetro de medición de distorsión armónica más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales o globales en (corriente y voltaje). Tanto a la mayor o la menor presencia de armónicos en una red es denominada distorsión y su magnitud se cuantifica por las tasas de distorsión armónica:

- **Tasa de distorsión individual. (I_n %):** Representa en porcentaje la importancia de cada armónico respecto al valor de la fundamental:

$$I_n \% = \frac{I_n}{I_1} * 100$$

Donde:

I_n = valor de tensión o intensidad del armónico de orden n.

I₁ = valor de tensión o intensidad a la frecuencia fundamental (60 Hz).

- **THD: Tasa de distorsión global:** Representa en porcentaje la importancia de la distorsión total respecto al valor de la fundamental o respecto al valor total de la onda. Existen dos formas de identificar dicho valor:

1. Tasa de distorsión referida al valor eficaz total (%THD):

$$\%THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_{ef}} * 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_n^2}}{I_{ef}} * 100\%$$

2. Tasa de distorsión referida al valor fundamental (%d):

Los valores de d y THD dan la misma información.

2.3.5.4.5. CAUSAS PARA QUE APAREZCA UN ARMONICO:

Los armónicos principalmente son producidos por cargas no lineales, cuya característica es absorber una corriente que no tiene la misma forma que la tensión que los alimenta, compuesta por componentes armónicos. Son deformaciones de la onda sinusoidal, generalmente aparecen en

líneas de corriente alterna al conectar cargas no lineales, cuyo consumo de corriente no es sinusoidal.

Los armónicos son un desperdicio de energía, que reducen la vida útil del equipo, la confiabilidad del sistema eléctrico, la eficiencia del sistema y la productividad del equipo.

Ejemplos de cargas no lineales son las computadoras, copiadoras, máquinas de fax, motores de velocidad variable y en general todo equipo que posea una fuente de poder interna. Sin embargo, últimamente se han desarrollado fuentes de poder muy especiales que se presentan al sistema eléctrico como cargas lineales. Estas se denominan fuentes con Corrector de Factor de Potencia o sistemas con "Factor de Potencia Corregido". (6)¹⁴

2.3.5.4.6. ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Las cargas monofásicas no lineales son equipos que poseen fuentes de alimentación con condensadores y diodos, los cuáles producen armónicos de corriente. Los diodos rectifican la tensión alterna de entrada, luego es utilizada para cargar un condensador de gran capacidad, que después de un semiperíodo, carga al valor pico de voltaje de la onda sinusoidal, para que seguidamente los equipos electrónicos absorban corriente de esta tensión continua, alimentando al resto del circuito.

¹⁴ JASSO, D. R. Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales. Tesis Ing. Sist. Comp. Electrónica y Electromec. Universidad Grupo CEDIP S.C. Centro educacional y desarrollo en informática personal. México. s.f. 92p.

Este proceso se repite varias veces, el condensador sólo absorbe un impulso de corriente durante la cresta de la onda; cuando la tensión es inferior al valor residual del condensador, éste no absorbe corriente.

Las corrientes armónicas pueden ser inyectadas en dispositivos arriba de los circuitos de conmutación, causando una distorsión de tensión en la salida de este dispositivo, que a su vez puede ocasionar funcionamientos defectuosos o bajo rendimiento de los equipos. En su mayoría los equipos modernos generan corrientes armónicas: impresoras, fotocopiadoras, ascensores, UPS's, motores de velocidad variable, computadoras, luces fluorescentes, faxes.

Las armónicas son el resultado de cargas que son no lineales. Los circuitos rectificadores de las UPS's son cargas no lineales. En las instalaciones de las UPS trifásicas las armónicas de mayor intensidad son la tercera y la quinta. La tercera armónica puede causar serios problemas en los sistemas trifásicos, ya que estas corrientes no se cancelan en el conductor de neutro y pueden sobrecargarlo. Este conductor normalmente no está dimensionado para altas corrientes, ya que las corrientes de la fundamental se cancelan en el neutro. En el peor de los casos, la sobrecarga podría causar fuego. De cualquier manera, o que usualmente sucede es que el interruptor del circuito se abre o se queman fusibles sin razón aparente, causando disturbios inexplicables en la operación.
(6)¹⁵

2.3.5.4.7. ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Un ejemplo de una fuente indirecta de armónicos de tensión puede ser una red de alimentación la cual es producida por los distintos componentes del sistema, en algunos casos un computador personal que es una carga no lineal, es sensible a los armónicos de tensión, que pueden provocar

¹⁵ JASSO, D. R. Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales. Tesis Ing. Sist. Comp. Electrónica y Electromec. Universidad Grupo CEDIP S.C. Centro educacional y desarrollo en informática personal. México. s.f. 92p.

una reducción de la amplitud máxima de la onda de tensión, disminuyendo el pico de tensión, y afectando al computador a causa de la falla de alimentación.

En el área industrial, los motores de inducción y los condensadores para corrección del factor de potencia pueden resultar afectados por los armónicas de tensión. Los condensadores de corrección del factor de potencia pueden formar un circuito resonante con las partes inductivas de un sistema de distribución de corriente, si la frecuencia resonante coincide con la frecuencia de la tensión armónica, la corriente armónica podrá aumentar considerablemente, sobrecargando los condensadores y quemando los fusibles de éstos.

2.3.5.4.8. FUENTES DE ARMÓNICOS Y SUS EFECTOS

Los armónicos son producidos por cargas no lineales que a pesar de ser alimentadas con una tensión senoidal absorben una corriente no senoidal. Las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red. Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Otro tipo de cargas tales como reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. El resto de cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos: inductancias, resistencias y condensadores. (3)¹⁶

En la Tabla II.XV., se citan, las principales fuentes de armónicos, que se pueden clasificar según su pertenencia al entorno industrial o doméstico.

¹⁶ MOLINA, F. y MUÑOZ, C. Medida, registro y análisis de magnitudes eléctricas en el primario de una subestacion de distribución, con vistas al estudio de calidad del producto. EPN. Ecuador. s.f. 11p.

Tabla II. III. Principales fuentes de armónicos

ENTORNO DE PERTENENCIA	TIPO DE CARGA	DESCRIPCIÓN
CARGAS INDUSTRIALES	CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS DE POTENCIA	Equipos de computación, control de luminarias, UPS, variadores estáticos de velocidad, rectificadores con diodos o tiristores, PLC's, control de motores, televisores, microondas, impresoras, etc.
	EQUIPOS CON ARQUEO DE ELECTRICIDAD	Hornos de fundición, balastos electrónicos, equipos de soldadura eléctrica
	EQUIPOS FERROMAGNÉTICOS	Transformadores operando cerca del nivel de saturación, balastos magnéticos
CARGAS DOMÉSTICAS	CARGAS DOMÉSTICAS CON CONVERTIDORES O CON FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA	Televisores, hornos microondas, computadores, impresoras, fotocopiadoras, reguladores de luz, equipos electrodomésticos, lámparas fluorescentes. Aunque su potencia unitaria es menor a las de las cargas industriales el efecto asociado a su presencia y utilización las convierte en fuentes importantes de distorsión armónica.

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Los armónicos pueden incrementar los niveles de corriente a un valor de saturación o sobrecalentamiento del equipo, aumentando las pérdidas eléctricas y disminuyendo la vida útil de los equipos. De similar forma en la Tabla II.XVI., se presenta los efectos sobre algunas cargas representativas en el sistema de distribución.

Tabla II. XVI. Efectos de los armónicos

EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Causan interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control. • En los motores de inducción puede producirse sobrecalentamiento y vibraciones excesivas si la distorsión de tensión es superior a 5%. • Provocan la disminución del factor de potencia • Producen calentamiento de los condensadores y pueden llegar a quemarse si a corriente es 1,3 veces la corriente nominal • Pueden provocar ferresonancia • Provocan sobrecalentamiento de transformadores si en factor k es superior a 2,7 y la carga es superior al 90% de la nominal. • Incremento en la corriente debido a los armónicos, aumentando el calentamiento y las pérdidas en los cables. Presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión. • Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios afectando el normal funcionamiento de los tiristores. • En los equipos de computación podrían producirse pérdidas de algunos datos y daños de algunos componentes electrónicos debido al voltaje máximo superior al nominal o que existe diferencia entre voltaje neutro y tierra.

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

2.3.5.4.9. PECULIARIDADES DEL TERCER Y QUINTO ARMÓNICO

2.3.5.4.9.1. TERCER ARMÓNICO

En las instalaciones eléctricas con el neutro distribuido, las cargas no lineales pueden provocar en este conductor sobrecargas importantes debidas a la presencia del armónico de 3.er orden. Las cargas no lineales producen corrientes armónicas, es decir, absorben una corriente que no tiene la misma forma que la tensión que las alimenta. Las cargas que más frecuentemente producen este fenómeno son los circuitos rectificadores. Una carga no lineal absorberá una corriente que contiene todos los armónicos, pares e impares. La mayor parte de las cargas conectadas a la red son, sin embargo, simétricas, es decir, que las dos semiondas de corriente son iguales y opuestas. En este caso, los armónicos de orden par son nulos. Si en una instalación nos encontramos con cargas trifásicas, no lineales, equilibradas, simétricas y sin conexión de neutro; y estas cargas no lineales absorben componente armónica de 3er orden, las corrientes armónicas del 3er armónico serán iguales; pero como no hay conexión a neutro la suma de las corrientes del 3.er armónico será 0. Por tanto, si no están conectadas a un cable de neutro, las cargas trifásicas equilibradas simétricas no producen armónico de 3er orden. Este planteamiento se puede aplicar a todos los armónicos múltiplos de 3. El armónico de 3.er orden generalmente predomina en las cargas monofásicas. En las cargas con rectificador monofásico a diodos con filtro capacitivo, el armónico de 3er orden puede alcanzar el 80% de la fundamental. (7)¹⁷

El tercer armónico se caracteriza por que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental, tiene secuencia cero y también se denominan homopolares, por lo que en un sistema trifásico de cuatro hilos (R,S,T y N), circulan entre las tres fases (R, S, T) desplazándose por el neutro (N) y creándole sobrecargas. La corriente de neutro sólo tiene las componentes impares los múltiplos de 3 (3, 9, 15...), y por tanto su amplitud es 3 veces respecto a la de las fases.

Corrientes homopolares son aquellas que no cierran el circuito por las fases activas, sino por el neutro o por tierra.

¹⁷ SCHNEIDER ELECTRIC. s.f. Compensación de energía reactiva, Capitulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

Si no existe conductor neutro la carga no puede generarlos, pero si existe conductor neutro todas las corrientes armónicas de tercer orden se suman y circularán por el neutro con su consecuente sobrecarga.

En aquellas instalaciones donde existen gran número de cargas no lineales la corriente en el neutro puede llegar a superar la corriente en cada fase, por lo que requerirá utilizar un conductor de neutro sobredimensionado, es decir instalar un conductor de neutro de sección doble de la del conductor de fase. Los aparatos de protección y mando como interruptor automático, interruptores, contactores, etc., también deben estar dimensionados en función de la corriente del neutro.

En instalaciones donde existen dispositivos de conmutación, lámparas fluorescentes con balastro electrónico, el porcentaje del tercer armónico es alto, en este tipo de cargas puede tener una importancia significativa en el dimensionamiento del conductor neutro.

Las diferentes soluciones a adoptar son:

- Utilizar un conductor neutro separado para cada fase.
- Duplicar la sección del conductor neutro.
- Utilizar un transformador triángulo-estrella.
- Filtro de rango 3 en el neutro.

2.3.5.4.8. QUINTA ARMÓNICA

La quinta armónica se forma de la suma de la onda fundamental y la onda deformada teniendo su valor pico en el mismo instante, tiene una amplitud igual a cinco veces la quinta armónica. La quinta armónica se diferencia del tercer armónico ya que no es múltiplo de la fundamental por lo

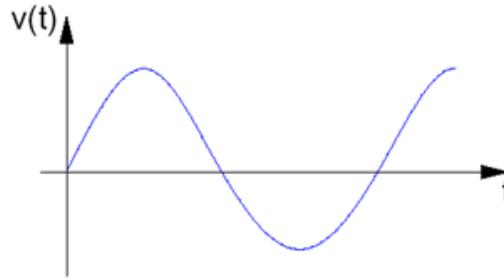
que se desplaza por las tres fases R, S, T y es la primera armónica que afecta a los condensadores y al sistema trifásico al igual que lo hacen la séptima, onceava, etc.

2.3.5.4.9. POSIBLES SOLUCIONES PARA LOS ARMÓMICOS

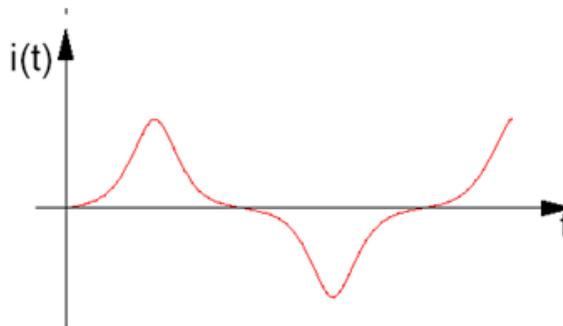
Para reducir los efectos producidos por los armónicos, se podrían aplicar las siguientes soluciones:

- Monitorear constantemente los sistemas para detectar la presencia de armónicos.
- Uso de filtros activos para reducir la cantidad de armónicos
- Uso de transformadores de separación que separan las armónicas múltiplos de 3 de la fuente de alimentación.
- Uso de reactores de línea para corriente alterna puesto que pueden eliminar el disparo de sobretensión con interferencias de los accionamientos de frecuencia variable de CA y pueden reducir la distorsión armónica de sistemas de accionamientos de CA y CC.
- Realizar una nueva distribución de cargas y balance eléctrico de la instalación,
- Mayor dimensionado de los transformadores y cables para disminuir las perturbaciones,
- Realizar un mantenimiento preventivo de la instalación eléctrica,
- Separar las cargas lineales de las no lineales,
- Realizar un monitoreo continuo del sistema, cuando las cargas no lineales no son más del 20% de las cargas totales de un sistema de distribución, en la mayoría de los casos, es posible mantener la distorsión dentro de los límites recomendados por la IEEE-519-1992, con simples reactores en serie colocados en las cargas no lineales.
- El efecto de las armónicas de secuencia cero, que son múltiplos de 3, se minimiza mediante:

- El empleo de filtros de tercera armónica
- La conexión de transformadores trifásicos zig-zag, con o sin secundario conectado en delta.
- El efecto de las armónicas de secuencias positiva y negativa se contrarresta intercalando en paralelo con la fuente de armónicos, un filtro de trampa activo o pasivo. En un rectificador trifásico de 6 pulsos, la quinta armónica (300Hz) es la más baja armónica producida, por lo que un filtro ajustado a 282 Hz absorberá la 5ª y parte significativa de la 7ª armónica. Si con ello no se reducen las corrientes armónicas a las recomendaciones de la IEEE-519-1992, se puede instalar un filtro multifrecuencia para la 7ª, 11ª, 13ª armónicas. Un transformador de aislamiento o un reactor en serie colocado entre la fuente y el filtro LC incrementa la impedancia del sistema para las frecuencias armónicas. Como resultado se tiene que las corrientes armónicas en el sistema se reducen y, otras armónicas de otras partes del sistema no sobresaturan el filtro.
- Los filtros pueden ser colocados en la barra o en el transformador principal para reducir las armónicas de la carga completa, pero el filtrado más efectivo ocurre al colocar el filtro en cada carga no lineal.
- En los casos más contaminados con armónicas, se requiere de un "Analizador de Espectro" para obtener la magnitud y fase de cada frecuencia, su cambio en el tiempo, ya que en estos casos puede causar otros efectos indeseables al bajar la frecuencia característica del sistema.
- Un transformador neutralizante de inducciones (INT) es un dispositivo pasivo que se conecta en serie con el cable. Se usa para mitigar los voltajes de CA, las corrientes o los armónicos inducidos que pueden causar ruido, malfuncionamiento del equipo o daño.



Fuente: Proyecto de titulación "Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales.". Autor: Roberto Demes Jasso. Universidad grupo CEDIP S.C. MÉXICO.
Figura II. 21. Señal limpia con ausencia de distorsión armónica



Fuente: Proyecto de titulación "Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales.". Autor: Roberto Demes Jasso. Universidad grupo CEDIP S.C. MÉXICO.
Figura II. 22. Señal en la que existe armónicos.

2.4. COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA Y LA CALIDAD DE ENERGÍA

La optimización de las instalaciones eléctricas conlleva al empleo de cargas no lineales y equipos sensibles a las perturbaciones para ser utilizados en los diversos procesos de producción, lo cual hace necesario que a la hora de diseñar los equipos de compensación se tomen en consideración factores que hasta ahora no eran relevantes.

Es necesario evaluar el nivel de calidad de la energía eléctrica de la instalación, evaluación que consiste en cuantificar los fenómenos electromagnéticos súbitos o generados, que pueden llegar a perturbar la forma, la continuidad, el equilibrio o la estabilidad de la tensión y de la corriente. Los

parámetros más importantes que hay que conocer y cuantificar para optar por la solución más apropiada son:

- $\cos \varphi$.
- La tasa de distorsión armónica, THD, en tensión y en corriente.
- La amplitud y la duración de los huecos y cortes de tensión.
- Los valores y la duración de las sobretensiones (temporales o permanentes).
- La amplitud, la duración y la frecuencia de las fluctuaciones de tensión.
- Las perturbaciones más comunes que podemos encontrarnos son:
 - Los huecos de tensión.
 - Las sobretensiones.
 - Los armónicos.
 - Desequilibrios.
 - Fluctuaciones de tensión.

Encontrar éste tipo de fenómenos dentro de las instalaciones, son indicadores de deficiencia en la calidad de la energía eléctrica, provocando efectos que resultan costosos para los usuarios:

- Parada de los procesos.
- Pérdida de la fabricación.
- Rotura de maquinaria.
- Pérdida de datos.
- Calidad irregular.

- Costes de fabricación elevados.

2.5. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

El estudio de la Calidad de Energía Eléctrica ha adquirido bastante importancia debido a la necesidad del aumento de productividad y competitividad de las empresas, ya que existe estrecha relación entre calidad de la energía eléctrica, eficiencia y productividad, convirtiéndose en un sinónimo de seguridad, continuidad del servicio eléctrico y buen rendimiento.

Los principales parámetros que determinan calidad son: variaciones de tensión y corriente, flicker, factor de potencia, y armónicos de tensión, los mismos que deben estar dentro de los límites establecidos por la regulación CONELEC 004/01 y los armónicos de corriente en los límites de la norma IEEE-519.

Gran parte de las cargas no lineales son responsables de los grandes logros en la industria debido a la automatización, pero son cargas electrónicas altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico que está siendo perturbado por su propia presencia.

El incremento de los equipos de control y automatización en las industrias han aumentado los problemas debido a la sensibilidad hacia las distorsiones o magnitud de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de energía eléctrica puede producir fallas que suspenderán la producción, ocasionando pérdidas inesperadas de tiempo y costos de producción.

La mayoría de las veces resultan en una interrupción temporal de los procesos industriales asociados a altos costos, causa de pérdidas significativas de producción y descarte de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en la secuencia que se encontraba y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas o por concluir con productos defectuosos. Surge entonces la necesidad de encontrar soluciones óptimas, para lo cual el estudio de los fenómenos que afectan la calidad de la energía es indispensable.

En síntesis el contar con una energía de calidad permitirá minimizar fallas de alimentación eléctrica y contar con instalaciones seguras que minimizan riesgos eléctricos para personas y equipos, aumentando la confiabilidad y optimizando la productividad de las empresas.

2.6. CÓMO AFECTA A LA CALIDAD DE ENERGÍA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO

La calidad de la energía, es el grado en el cual la utilización y el suministro de potencia eléctrica afectan la operación del equipo eléctrico, cualquier desviación de la magnitud o frecuencia de la onda senoidal de voltaje puede ser considerada como un disturbio en la calidad de energía. Al usar estas definiciones, es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- Rango de “aceptación en el diseño de equipos eléctricos sensibles y compatibles con el sistema.
- Selección, instalación y conexión a tierra de equipos eléctricos.

- La mejor medición de la calidad de la energía es la capacidad del equipo eléctrico para operar de una manera satisfactoria, dándole su propio cuidado y mantenimiento.
- La carga deberá ser seleccionada y adaptada para ser compatible con el sistema eléctrico.
- El desarrollo de mediciones y las guías de operación para elegir equipo eléctrico deben estar definidas en normas, políticas y procedimientos.
- La calidad de la energía es un tema cada vez de mayor importancia, dependiendo de la frecuencia de los problemas experimentados por el usuario final.
- Los factores que más contribuyen a los problemas asociados con la calidad de la energía son los siguientes:
 - a) Cargas sensibles.
 - b) Complejidad de equipos e instalaciones.
 - c) Equipos que provocan disturbios.

CAPITULO III

3. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ENERGÉTICOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

3.1. RESUMEN DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS A EVALUARSE EN LA EMPRESA INDUCUERDAS

Los datos fueron obtenidos del tablero de distribución principal de la empresa, mediante el analizador de calidad de energía eléctrica FLUKE 435, conectado durante siete días continuos, programado para períodos de diez minutos como indica la Regulación CONELEC-004/01.

Después de haber obtenido los datos requeridos, se realizó un análisis de cada uno de los parámetros de calidad de energía, en lo que se refiere a variaciones de voltaje, flicker, factor de potencia, armónicos en voltaje y corriente; con la ayuda de una hoja electrónica que facilitó las diferentes evaluaciones de dichos datos.

Para el análisis de los datos obtenidos de las mediciones, se siguieron los procedimientos señalados en la Regulación CONELEC-004/01, cuyo objetivo es determinar los niveles de calidad del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras en lo que se refiere a Calidad del Producto. Para los armónicos de corriente se utilizó la norma IEEE 519, lo cual complementan el análisis.

Tabla III. XVII. Parámetros a evaluarse en el estudio

PARÁMETRO	REGULACION/NORMA	CRITERIOS DE APROBACIÓN
Niveles de voltaje en baja tensión	Conelec 004/01	El 5% de los registros no debe exceder de $\pm 10\%$ del voltaje nominal
Factor de potencia	Conelec 004/01	El 5% de los registros debe estar bajo el 0.92
Flickers	Conelec 004/01	El 5% de los registros debe estar bajo $P_{st}=1$.
Armónicos de voltaje	Conelec 004/01	El índice de THD no debe sobrepasar el 8%
Armónicos de corriente	IEEE 519	El índice de THD no debe sobrepasar el % que dé como resultado el cálculo de I_{cc}/I_L

Fuente: Janeth Camacho, (Autora)

3.1.1. ANÁLISIS DE NIVELES DE VOLTAJE EN BAJA TENSIÓN

Se determina a la calidad de voltaje como las variaciones de los valores eficaces (rms), medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. No cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición cuando el 5% o más de los registros durante del período de medición de 7 días continuos, no se encuentren dentro de los límites de voltaje admitidos con respecto al valor del voltaje nominal como se señala:

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

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.

Los niveles de voltaje dependen de la zona en donde se ha realizado la medición: zona urbana o zona rural, la Subetapa 1 comprende media tensión (distribución), la Subetapa 2 al nivel de consumidor. Por consiguiente la planta INDUCUERDAS corresponde a la categoría Bajo voltaje, zona rural y Subetapa 2, como se resalta en la tabla III.XVIII.

Tabla III.XVIII. Límites de Variaciones de voltaje

	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 %

Fuente: Regulación CONELEC 004-01

3.1.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA

Para evaluar la calidad en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior al límite de 0,92, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

3.1.3. ANÁLISIS DE PARPADEOS O FLICKERS

Para evaluar la calidad del 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; el índice de severidad del flicker se determina 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.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

El límite del índice de severidad de flicker $P_{st}=1$, que determina el máximo de irritabilidad asociado a la fluctuación de la iluminación que puede soportar sin molestia el ojo humano. No cumple con el límite cuando las perturbaciones superan el 5% de los datos del período de medición.

3.1.4. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE

Para estudiar los índices de calidad de armónicos de voltaje puede hacerse por cada armónico V_i' :

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

O para la totalidad THD:

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

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.

El cálculo de estas ecuaciones los realiza el instrumento de medición, pero los límites tanto para cada armónico como para su totalidad, deben ser analizados aquellos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive. En la Tabla III.XIX. se muestran estos valores, la cual indica que los niveles de THD máximos son del 8%, respecto al voltaje nominal, para instalaciones donde el voltaje es menor o igual a 40kv.

Tabla III. XIX. Límites máximos para cada armónico V_i' y para la totalidad de ellos THD

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ 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	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2

Tabla III.III. Límites máximos para cada armónico V_i y para la totalidad de ellos THD (Continuación)

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

Fuente: Regulación CONELEC 004-01

3.1.4.1. LÍMITE DE LA DISTORSIÓN DE VOLTAJE SEGÚN NORMA IEEE 519

La Norma IEEE-519 establece los límites de distorsión de voltaje, se indican a continuación en la Tabla III.XX.

Tabla III. XX. Límites de armónicos de voltaje según IEEE 519

VOLTAJE	DISTORSIÓN	
	INDIVIDUAL DE VOLTAJE (%)	TOTAL DE VOLTAJE (%)
69 (KV) y menos	3,0	5,0
69,001 (KV) a 161 (KV)	1,5	2,5
161,001 (KV) y mas	1,0	1,5

Fuente: Norma IEEE-519-1992

3.1.5. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE

La Norma IEEE-519 establece una Tabla con los límites para las corrientes armónicas inyectadas por un usuario, para establecer este límite se debe conocer:

- a) El valor de la corriente de cortocircuito I_{SC} en el empalme del usuario, es decir, en el lugar donde se medirá la inyección de armónicas. Este valor debe ser entregado por la compañía

distribuidora de electricidad ya que depende del valor de sus transformadores de distribución.

- b) La demanda media 1L del usuario, calculada como el valor medio de las demandas máximas leídas durante los 12 meses precedentes a la medición.
- c) Con estos valores se determinan los valores máximos permitidos de distorsión de corriente de cada usuario en particular. Ver Tabla III.XXI.

Tabla III. XXI. Límites de Distorsión de Corriente establecidos por la norma IEEE-519

MÁXIMA DISTORSIÓN DE CORRIENTE ARMÓNICA EN PORCENTAJE DE I_L						
ORDEN ARMÓNICO INDIVIDUAL (ARMÓNICOS IMPARES)						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4	2	1.5	0-6	0.3	5
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50<100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100<1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Incluso los armónicos son limitados al 25% de los límites armónicos impares anteriores.

Las distorsiones de corriente que resulten en una compensación DC, p.e. convertidores de media onda, no son permitidas.

Donde
 I_{sc} = máxima corriente de cortocircuito en el PCC
 I_L = máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC

Fuente: Norma IEEE-519-1992

El límite de las armónicas pares es un 25% del valor indicado. Para sistemas de más de 69 kV los límites son un 50% de los indicados

2

$$I_{CC} = \frac{1}{X_{pu}}$$

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}}$$

Donde:

X_{pu} = Valor de la impedancia por unidad del transformador

I_{CC} = Corriente de corto circuito en valores por unidad

I_{Lpu} = Corriente de carga máxima por unidad

Los valores de impedancia del transformador X_{pu} pueden obtenerse directamente de los datos de placa o empleando tablas.

El valor de la corriente de carga I_L se encuentra con:

$$S = V * I_L * \sqrt{3}$$

Donde:

S = Potencia del transformador (VA)

I_L = Corriente de carga (A)

V = Voltaje secundario del transformador (V)

Valor por unidad de la corriente de carga

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L}$$

Donde:

I_{Lpu} = Corriente de carga máxima p.u.

I_{fase} = Corriente de fase (A)

I_L = Corriente de carga (A)

3.2. EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo que se utilizó para analizar la calidad de la energía eléctrica es el analizador FLUKE 435. En el anexo1 se encuentran las hojas de características técnicas del equipo, el cual ofrece una serie de funciones para la comprobación de sistemas de distribución eléctrica. Entre sus funciones se encuentran la de osciloscopio el cual permite verificar las formas de onda; el modo fluctuaciones se utiliza para registrar los cambios que ocurren en un período de medición. Las funciones del FLUKE 435 permiten obtener una visión general del funcionamiento del sistema eléctrico, así también examinar detalles específicos; tales como:

TENSIONES DE FASE.- Las formas de onda de tensión deben ser del tipo sinusoidal, suavizadas y sin distorsiones, deben ser similares al valor nominal.

CORRIENTES DE FASE.- Mediante la opción Volt./Amp./Hz. y Fluctuaciones puede comprobarse las relaciones de corriente/tensión. La opción Corriente de arranque sirve para registrar aumentos repentinos tanto de la corriente como de la corriente de arranque de motores.

FACTOR DE CRESTA.- Un factor de cresta con un valor de 1,8 o superior, supone una distorsión notable en la forma de onda. La distorsión se puede comprobar en el modo osciloscopio, con el modo Armónicos puede identificarse armónicos y la distorsión armónica total (THD).

ARMÓNICOS.- El modo Armónicos se utiliza para comprobar armónicos de tensión y corriente, así como la THD por fases.

FLICKER (PARPADEO).- El modo Parpadeo permite comprobar los parpadeos de tensión a corto y largo plazo, así como otros datos relacionados por fases.

FLUCTUACIONES.- El modo Fluctuaciones sirve para registrar cambios repentinos de tensión de corto y medio ciclo.

FRECUENCIA.- La frecuencia debe ser similar al valor nominal, pues se trata de un factor bastante estable. La función Volt. /Amp. /Hz. Sirve para mostrar la frecuencia, en cambio la variación de la frecuencia durante un período determinado se registra en la pantalla de tendencias.

DESEQUILIBRIO.- Para examinar los desequilibrios en un diagrama fasorial se utiliza la opción osciloscopio. La tensión de cada fase no debe variar más de un 1% de la media obtenida a partir de las tres, y el desequilibrio de corriente no debe ser superior al 10%.

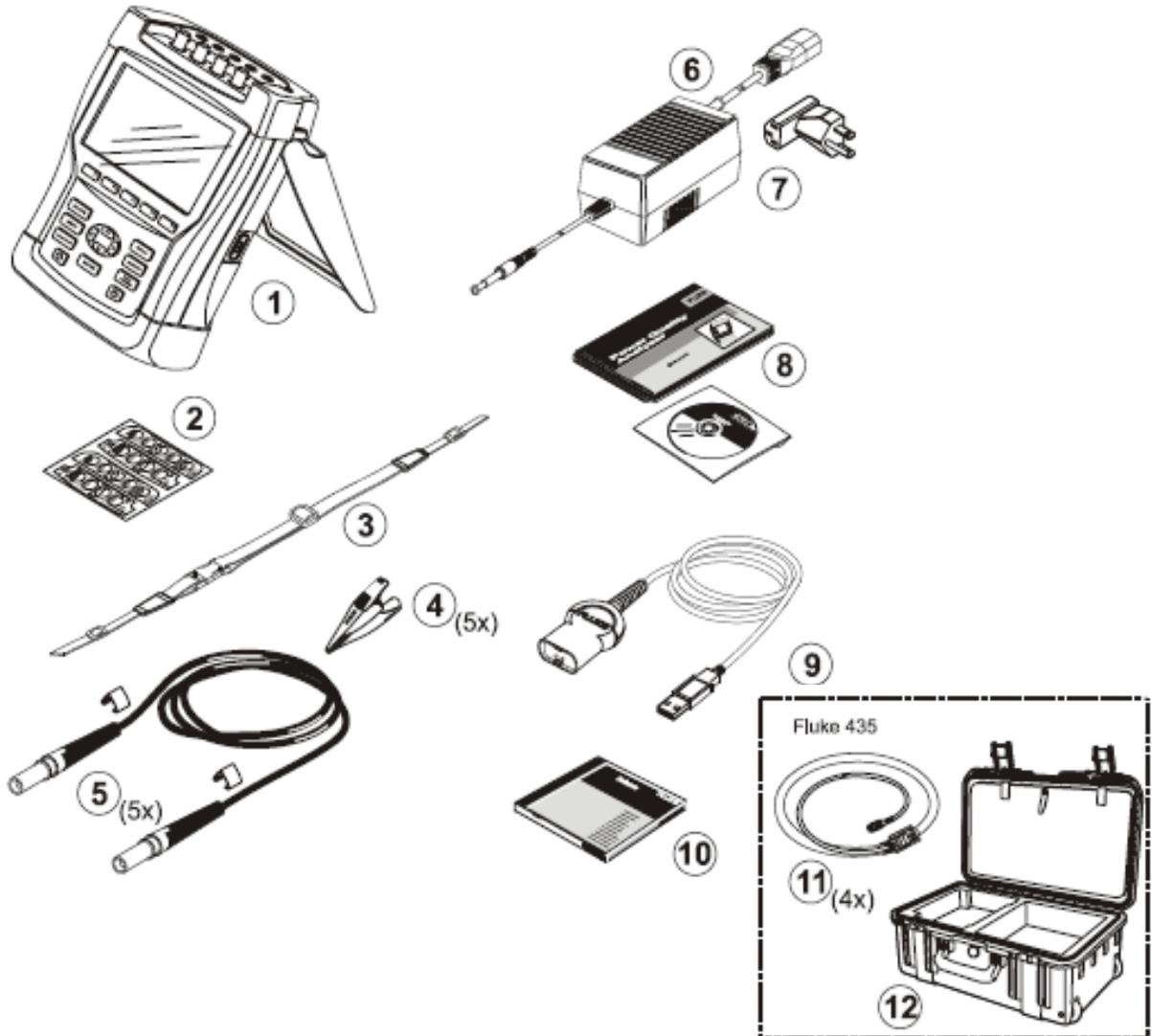
TRANSMISIÓN DE SEÑALES.- Esta función se puede utilizar para el análisis del nivel de señales de control remotas que con frecuencia se encuentran en los sistemas de alimentación eléctrica.

REGISTRADOR.- Permite almacenar en la memoria varias lecturas de alta resolución

El FLUKE 435 es un instrumento de medición que permite analizar los parámetros de calidad eléctrica, mostrando datos y formas de onda de las señales eléctricas de voltajes, corrientes, potencias, armónicos, en forma de histogramas, formas de onda, gráficas fasoriales, espectros armónicos, etc.

3.3. PARTES DEL ANALIZADOR FLUKE 435

El FLUKE 435 es un analizador de redes de tipo trifásico, que mide los parámetros de un sistema eléctrico, tales como tensión, corriente, potencia, energía, desequilibrio, flickers, armónicos. Permitiendo analizarlos mediante la captura eventos como: fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión.



Fuente: www.fluke.com

Figura III. 33. Elementos del analizador FLUKE 435

Tabla III. XXII. Descripción de los elementos del analizador FLUKE 435

Nº	Descripción	
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica	
2	Juego de adhesivos para las tomas de entrada	
3	Correa	
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5	
5	Cables de prueba, 2,5 m. Juego de 5	
6	Cargador de batería / Adaptador de red	
7	Adaptador de enchufe de línea (según el país)	
8	Manual de iniciación + CD ROM con Manual de uso y Manual de iniciación (varios idiomas)	
9	Cable óptico USB	
	Fluke 434:	Fluke 435:
10	CD ROM con el software FlukeView® para Windows®	CD ROM con el software FlukeView® para Windows® + software de registro de potencia para Windows®
11	Pinzas amperimétrica de CA 400 A (1 mV/A) y 40 A (10 mV/A) conmutable. Juego de 4 piezas i400s.	Pinzas amperimétricas de CA flexibles 3000 A. Juego de 4 piezas Modelo i430flex-4pk.
12	Estuche rígido C430.	Maletín con ruedas de alta resistencia C435.

Fuente: www.fluke.com

El analizador FLUKE 435 tiene un soporte de sujeción que permite ver la pantalla inclinada cuando se coloca sobre una superficie. Una vez desplegado el soporte, es posible acceder al puerto óptico RS-232, situado en el lateral derecho del analizador para la descarga respectiva de los datos.

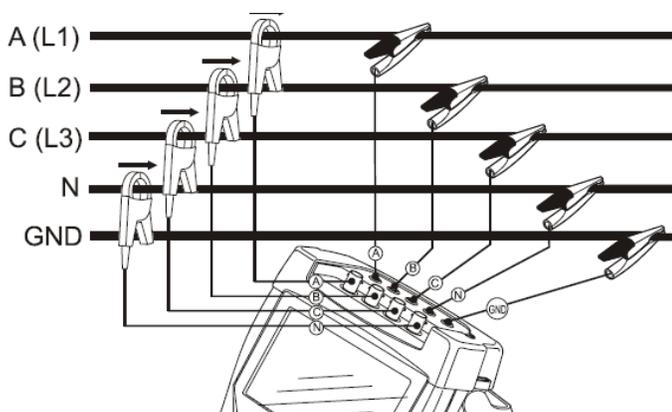


Fuente: www.fluke.com

Figura III. 34. Puerto RS-232

3.4. CONEXIONES DE ENTRADA

El analizador cuenta con 4 entradas BNC para pinzas amperimétricas y 5 entradas tipo banana para tensiones. De ser posible eliminar la tensión de los sistemas eléctricos antes de realizar las conexiones. Evitar trabajar solo y seguir las instrucciones de uso y puesta de funcionamiento de los manuales. La planta industrial INDUCUERDAS cuenta con un sistema trifásico, por ello se colocó de acuerdo al diagrama de la Figura III.35.

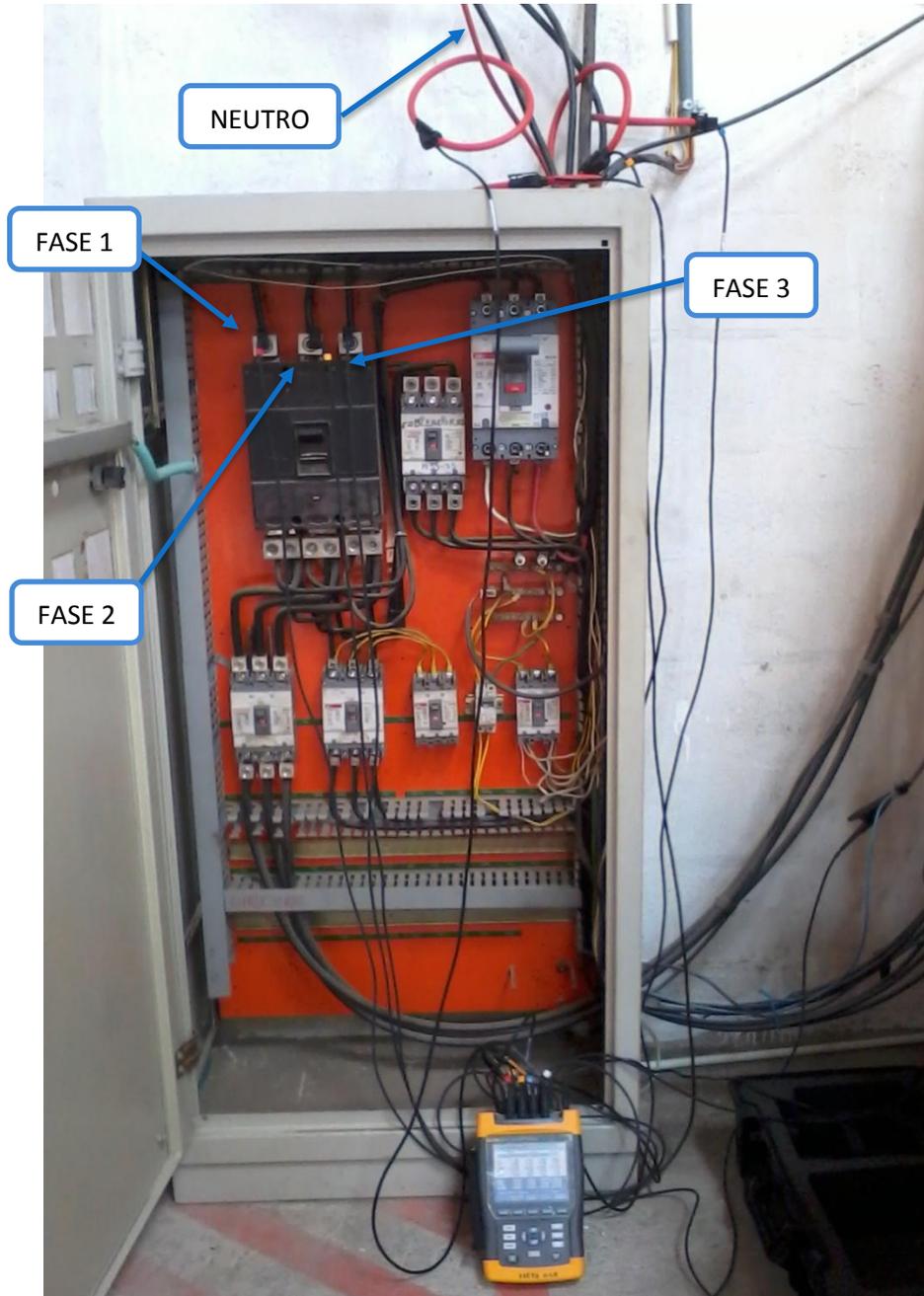


Fuente: www.fluke.com

Figura III. 15. Conexión del analizador FLUKE 435 a un sistema de distribución trifásico

1. Colocar primero las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (neutro). Las pinzas se encuentran marcadas con una flecha que indica la polaridad correcta de la señal.
2. Seguidamente colocar las conexiones de tensión: iniciar con la toma de tierra (necesario para obtener un resultado correcto) y luego con N, A (L1), B (L2) y C (L3), sucesivamente. Comprobar siempre dos veces las conexiones. Asegurarse de que las pinzas están firmemente conectadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.

Debemos recordar que antes de realizar cualquier medida, se debe configurar el analizador para la tensión, frecuencia y configuración del cableado del sistema eléctrico que se desea medir.

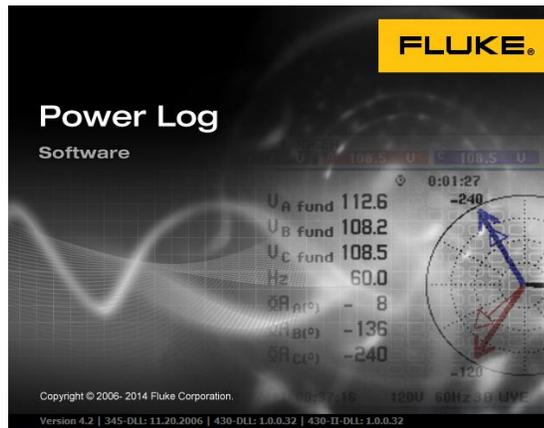


Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Figura III. 36. Conexión del analizador FLUKE 435 en el Tablero de Distribución Principal de la Planta Industrial INDUCUERDAS

3.5. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

Para transferir los datos registrados al PC se utilizó el software Power Log, este visualiza los datos en opciones de ventana como: Resumen, Tabla, Tensión y Corriente, Estadísticas, Armónicos, Frecuencia/Desequilibrio, Potencia, Pantallas, Energía, Transitorios, Flicker, Señal, portadora, Armónicos Potencia.



Fecha	Función	L1N(V) / L1(A) Min	L1N(V) / L1(A) Med	L1N(V) / L1(A) Max	L2N(V) / L2(A) Min	L2N(V) / L2(A) Med	L2N(V) / L2(A) Max	L3N(V) / L3(A) Min	L3N(V) / L3(A) Med	L3N(V) / L3(A) Max	LNG(V) / I
14/04/2014 15:42:00	Tensión	216,1 V	217,58 V	218,6 V	214,7 V	216,18 V	217,48 V	211,96 V	213,4 V	214,7 V	0,06 V
14/04/2014 15:42:00	Corriente	12,5 A	14,1 A	15,5 A	12,9 A	14,9 A	16,8 A	7,3 A	8,8 A	10,7 A	0,03 A
14/04/2014 15:42:00	Tensión de Pico	330,7 V	332,6 V	334,2 V	314,3 V	317,9 V	322,4 V	309,7 V	311,8 V	315,3 V	0,2 V
14/04/2014 15:42:00	Corriente de Pico	47,6 A	54,4 A	81,2 A	51,4 A	59,6 A	66 A	25 A	30,8 A	65 A	0,06 A
14/04/2014 15:42:00	Factor Cresta Tensión	1,52	1,53	1,54	1,45	1,47	1,49	1,46	1,46	1,47	327,67
14/04/2014 15:42:00	Factor Cresta Corriente	3,54	3,66	5,88	3,76	4,01	4,34	2,86	3,52	7,4	327,67
14/04/2014 15:42:00	Tensión de Medio Ciclo	215,6 V	217,58 V	218,66 V	214,16 V	216,18 V	217,54 V	211,48 V	213,4 V	214,78 V	0,06 V
14/04/2014 15:42:00	Corriente de Medio Ciclo	12,1 A	14,1 A	16,2 A	12,4 A	14,9 A	17,7 A	6,8 A	8,8 A	11,8 A	0,02 A
14/04/2014 15:42:00	Frecuencia										
14/04/2014 15:42:00	Tensión Fundamental	216,6 V	217,4 V	218,3 V	215,2 V	216 V	217,2 V	212,4 V	213,3 V	214,3 V	0 V
14/04/2014 15:42:00	Corriente Fundamental	3 A	4,4 A	6,8 A	5 A	7,8 A	10,6 A	4 A	6,2 A	8,8 A	0 A
14/04/2014 15:42:00	Potencia Activa	0,133 kW	0,213 kW	0,427 kW	0,12 kW	0,347 kW	0,627 kW	0,507 kW	0,773 kW	1,04 kW	
14/04/2014 15:42:00	Potencia Aparente	0,653 kVA	0,96 kVA	1,48 kVA	1,093 kVA	1,667 kVA	2,267 kVA	0,853 kVA	1,307 kVA	1,867 kVA	
14/04/2014 15:42:00	Potencia Reactiva	-1,44 kvar	-0,947 kvar	-0,613 kvar	-2,24 kvar	-1,627 kvar	-1,053 kvar	-1,56 kvar	-1,053 kvar	-0,693 kvar	
14/04/2014 15:42:00	Factor de Potencia	0,02	0,04	0,1	0,01	0,08	0,16	0,28	0,4	0,5	
14/04/2014 15:42:00	DPF	0,13	0,22	0,39	0,09	0,21	0,35	0,55	0,59	0,65	
14/04/2014 15:42:00	Cos Phi	0,13	0,22	0,39	0,09	0,21	0,35	0,55	0,59	0,65	
14/04/2014 15:42:00	Energía Activa			0,00 Wh			0,00 Wh			0,00 Wh	
14/04/2014 15:42:00	Energía Aparente			0,00 VAh			0,00 VAh			0,00 VAh	
14/04/2014 15:42:00	Energía Reactiva			0,00 VARh			0,00 VARh			0,00 VARh	
14/04/2014 15:42:00	Pst _{min}		0,302			0,372		0,357			
14/04/2014 15:42:00	Pst		0,304			0,377		0,36			
14/04/2014 15:42:00	Pst		0			0		0			
14/04/2014 15:42:00	PInst			1,68			2,58			2,67	
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio Vn										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio Vz										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio An										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio Az										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio V pos										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio V neg										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio V zero										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio A pos										
14/04/2014 15:42:00	Desequilibrio A neg										

Fuente: Janeth Camacho (Autora)
 Figura III. 37. Pantallas del software Power Log

Posteriormente los datos se exportaron a Microsoft Excel, para utilizarlos los abre desde un archivo, donde estarán visibles las mismas fichas y opciones de ventana para la evaluación, tabulación y gráfica de los datos.

3.5.1. CREACION DE LA BASE DE DATOS

Microsoft Excel es el software elegido para crear las bases de datos por las facilidades que presenta para la realización de los cálculos, generar gráficas estadísticas, y porque es de uso muy común.

Para poder crear la base de datos primero se deben organizar los datos que fueron exportados del equipo de medición en la hoja de cálculo, estos datos comprenden la totalidad de los registros de voltajes, corrientes, potencias, flickers, armónicos de voltaje y corriente, etc. Incluyéndose también la fecha y hora de la toma de cada registro.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Fecha	Hora	Tensión L1N	Tensión L1N	Tensión L1N	Tensión L2N	Tensión L2N	Tensión L2N	Tensión L3N	Tensión L3N	Tensión L3N	Tensión NG I	Tensión NG I	Tensión NG I	Tensión de F	Tensión de F	Tensión de F
2	05/06/2014	11:25:18.361	211,54	214,9	216,86	210,8	214,34	216,26	208,38	211,98	213,9	0,06	0,06	0,1	319,5	322,4	322,4
3	05/06/2014	11:35:18.361	210,8	215,16	217,38	209,84	214,64	216,88	207,74	212,22	214,58	0,06	0,06	0,1	315,9	323,2	323,2
4	05/06/2014	11:45:18.361	211,68	215,14	216,52	211,1	214,62	216,36	208,26	212,08	213,66	0,06	0,06	0,08	318,2	323,8	323,8
5	05/06/2014	11:55:18.361	211,66	215,28	217,38	210,78	214,74	216,92	208,44	212,16	214,44	0,06	0,06	0,18	318,9	324,1	324,1
6	05/06/2014	12:05:18.361	213,56	216,02	218,2	213	215,44	217,5	210,42	212,78	214,9	0,06	0,06	0,08	321,7	325,2	325,2
7	05/06/2014	12:15:18.361	213,36	217,12	218,5	212,74	216,54	218,02	210,22	214	215,42	0,06	0,06	0,1	320,8	326,7	326,7
8	05/06/2014	12:25:18.361	213,8	217,12	218,32	213,16	216,5	219,92	210,64	213,9	215,34	0,06	0,06	0,08	320,8	326,3	326,3
9	05/06/2014	12:40:28.241	213,64	218,18	220,08	213,48	217,44	219,78	211,06	215,08	217,58	0,06	0,06	0,08	319,8	327,9	327,9
10	05/06/2014	12:50:28.241	214,7	218,08	220,18	214,4	217,44	219,56	212,04	215,14	217,06	0,06	0,06	0,06	322,8	327,3	327,3
11	05/06/2014	13:00:28.241	215,2	218,7	220,22	214,78	218,16	219,86	212,36	215,9	217,48	0,06	0,06	0,06	323,2	328,9	328,9
12	05/06/2014	13:10:28.241	215,04	218,28	219,94	214,76	217,82	219,62	212,4	215,6	217,46	0,06	0,06	0,06	325	328,1	328,1
13	05/06/2014	13:20:28.241	214,94	218,5	220,18	214,62	218,06	220,12	212,38	215,86	217,6	0,06	0,06	0,08	323,7	328,7	328,7
14	05/06/2014	13:30:28.241	213,58	217,88	220,1	213,68	217,32	219,64	211,38	215,1	217,56	0,06	0,06	0,12	322	327,6	327,6
15	05/06/2014	13:40:28.241	217,02	218,3	219,3	216,4	217,72	218,9	214,16	215,38	216,58	0,06	0,06	0,08	325,2	327,6	327,6
16	05/06/2014	13:50:28.241	214,42	218,22	219,48	213,64	217,72	219,48	211,32	215,44	217,14	0,06	0,06	0,06	321,1	327,3	327,3
17	05/06/2014	14:00:28.241	215,44	217,14	218,54	215,64	217	218,74	213,16	214,56	216,14	0,06	0,06	0,06	322,9	325,9	325,9
18	05/06/2014	14:10:28.241	213,36	217,66	219,42	213,32	217,38	219,42	211,02	215	217,02	0,06	0,06	0,08	319,6	327,2	327,2
19	05/06/2014	14:20:28.241	214,38	217,02	218,82	213,44	216,54	218,76	211,52	214,28	216,32	0,06	0,06	0,08	324,6	327,4	327,4
20	05/06/2014	14:30:28.241	212,52	216,28	217,58	212,06	215,88	217,2	209,84	213,42	214,76	0,06	0,06	0,08	319,7	325,8	325,8
21	05/06/2014	14:40:28.241	211,32	215,5	217,82	210,48	214,92	217,44	208,2	212,56	214,94	0,06	0,06	0,08	317,6	324,8	324,8
22	05/06/2014	14:50:28.241	210,54	214,4	216,32	209,88	213,66	216	207,7	211,42	213,4	0,06	0,08	0,08	317,3	323,1	323,1
23	05/06/2014	15:00:28.241	211,32	214,76	216,16	210,7	214,04	215,5	208,18	211,82	213,18	0,06	0,08	0,1	319,6	324,5	324,5

Fuente: Janeth Camacho (Autora)
Figura III. 38. Hoja de cálculo para la Presentación de los datos

En la Figura III.38. se muestra como se presenta la información obtenida de las mediciones, ésta es muy extensa para poder determinar si existen problemas en la Calidad de Energía Eléctrica. Para ello es necesario filtrar los datos, para obtener los valores de cada parámetro.

3.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los registros fueron obtenidos durante un período de medición de siete días continuos, en intervalos de 10 minutos, como lo indica la regulación CONELEC 004-01. Los datos tomados fueron del período que inició el 05/06/2014 a las 11:25:18.361 finalizando el 12/06/2014 a las 11:40:52.575. dando como resultado una muestra de 1008 datos.

Para el análisis también se ha tomado en cuenta que:

- Cada una de las tensiones de fase no debería diferenciarse más de un 1% de la media de las tres.
- El desequilibrio de corriente no debe ser superior al 10%. (8)¹⁸

3.6.1. ANÁLISIS DE NIVELES DE VOLTAJE

Después de aplicar la fórmula de índice de calidad para el nivel de voltaje, establecida en la regulación del CONELEC 004-01, a los datos obtenidos de una muestra de 1008 datos, se aprecia que los valores de las líneas se encuentran dentro de los límites permitidos, por lo tanto cumplen con la regulación.

Lo que se puede apreciar es que entre la L1 y L2 la variación de tensión no es significativa (no supera el 1%); lo que no ocurre con la L3 que se encuentra con variación respecto a las L1 y L2 significativa (superando el 1%). Ver Figura III.39.

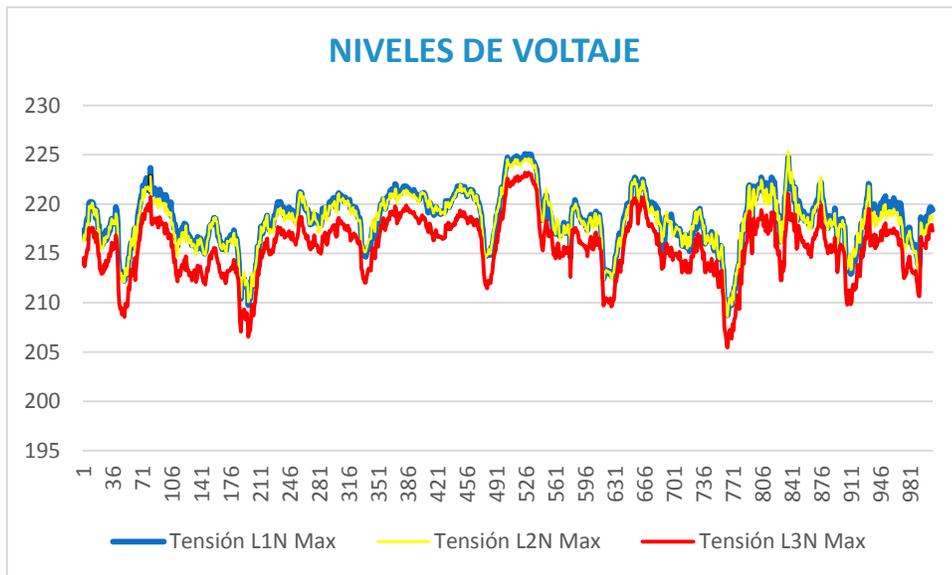
En la Tabla III.XXIII. se pueden apreciar los valores promediados de tensión de fase mínima, media y máxima de las L1N, L2N y L3N.

¹⁸ FLUKE. s.f. Manual de uso FLUKE 435 disponible en URL: <http://www.fluke.com>. [consultada 15 de julio de 2013].

Tabla III.XXIII. Valores de Tensión min, med y max de las fases L1N, L2N L3N

	L1N	L2N	L3N
TENSIÓN MIN	214,63	214,45	211,87
TENSIÓN MED	217,20	216,96	214,42
TENSIÓN MAX	218,51	218,30	215,78

Fuente: Janeth Camacho (Autora)



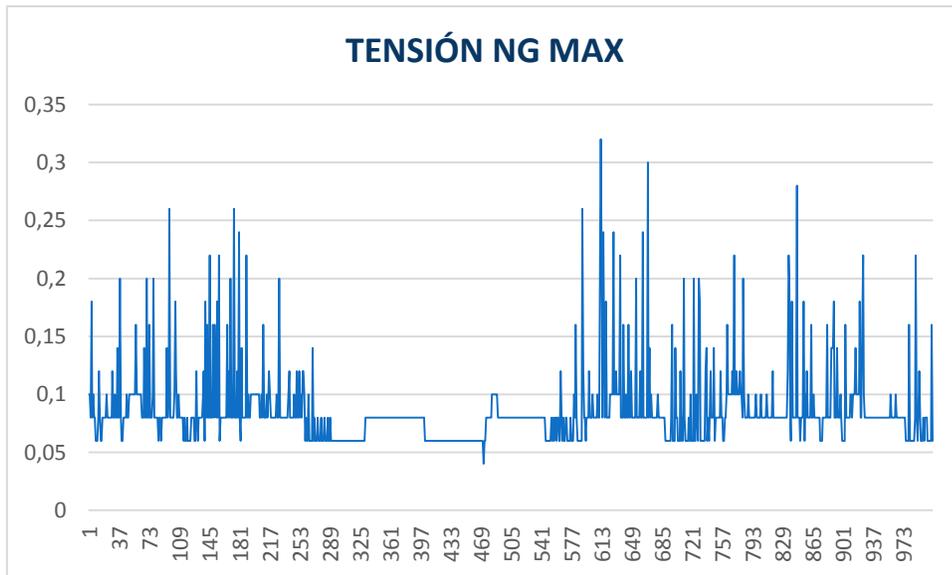
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Figura III.39. Curvas de Variaciones de Voltaje de las fases L1N, L2N, L3N

3.6.1.1. VOLTAJE EN EL NEUTRO

En la Figura III.40. Se observa la curva de variación de voltaje en el neutro, donde se aprecia que existen voltajes dentro de un rango de variación de (0,04-0,35) V. Tomando en cuenta que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero, se puede determinar que éstas tensiones parásitas se producen ya que el sistema no se encuentra balanceado.

Considerando la Regulación CONELEC 004-01 en lo que respecta a la Calidad del Producto sobre los límites de voltaje no se tiene referencia respecto al voltaje en el neutro, pero se puede decir que el voltaje es bastante aceptable ya que no supera los 0,35V, y al estar trabajando con tensiones de fase que promedian los 220V, se lo puede considerar como cero.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)

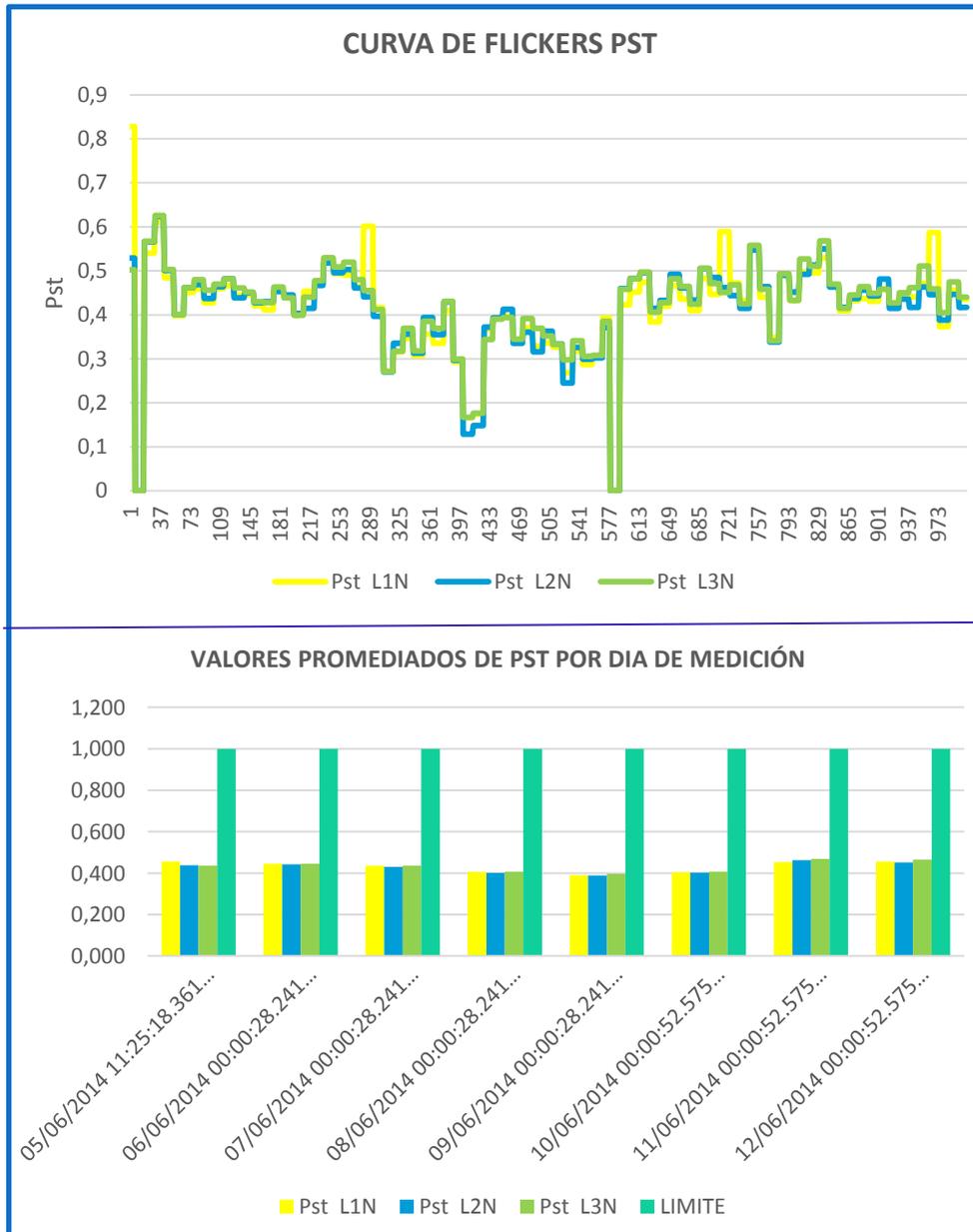
Figura III. 40. Curva de Variación de Voltaje de la LNG de INDUCUERDAS

3.6.2. ANÁLISIS DE FLICKERS

El flicker es una variación de la frecuencia de la tensión de entrada de suficiente duración que permite ser observada visualmente, se caracteriza por: severidad a corto plazo Pst (medida en 1 minuto para ofrecer rápidamente la información, o bien medida durante 10 minutos) y severidad a largo plazo Plt (medida durante 2 horas). El Pst de 10 minutos emplea un periodo de medida más largo para eliminar la influencia de las variaciones de tensión aleatorias. También es lo suficientemente largo como para detectar interferencias de una sola fuente con un ciclo de trabajo largo, como aparatos eléctricos domésticos y bombas. (8)¹⁹

¹⁹ FLUKE. s.f. Manual de uso FLUKE 435 disponible en URL: <http://www.fluke.com>. [consultada 15 de julio de 2013].

Todos los datos analizados son por su severidad a corto plazo Pst de 10 minutos. En la Figura III.41. se aprecia una curva de flickers PST y una comparación de los valores promediados de PST de cada una de las líneas con el límite de 1 que establece la regulación.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
Figura III.41. Curva de flicker de corta duración

Al aplicar la fórmula del índice de calidad del flicker para los valores de cada línea se obtuvieron los siguientes resultados.

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

$$P_{st} L1N = \sqrt{0.0314*0 + 0.0525*0 + 0.0657*0.54 + 0.28*0.427 + 0.08*0.336}$$

$$P_{st} L2N = \sqrt{0.0314*0 + 0.0525*0 + 0.0657*0.566 + 0.28*0.437 + 0.08*0.363}$$

$$P_{st} L3N = \sqrt{0.0314*0 + 0.0525*0 + 0.0657*0.567 + 0.28*0.456 + 0.08*0.352}$$

$$P_{st} L1N = 0,427$$

$$P_{st} L2N = 0,434$$

$$P_{st} L3N = 0,439$$

Al promediar los tres valores de P_{ST} se obtiene un $P_{ST}TOTAL=0.433$, cumpliendo con lo que establece la Regulación CONELEC 004-01, puesto que se encuentra bajo el límite.

3.6.3. ANÁLISIS DE FACTOR DE POTENCIA

Los registros obtenidos indican un factor de potencia total de 0,65; superando el 5% de los valores permitidos por la regulación del CONELEC 004-01, por lo tanto se encuentra bajo el límite establecido, incumpliendo la regulación.

Tabla III. III. Valores de Factor de Potencia entre las tres fases y F.P. Total

	MIN	MED	MAX	OBSERVACIONES
F.P. L1N	0,29	0,68	0,98	No cumple con la regulación
F.P. L2N	0,21	0,57	0,98	No cumple con la regulación
F.P. L3N	0,21	0,65	0,97	No cumple con la regulación
F.P. TOTAL	0,24	0,65	0,94	No cumple con la regulación

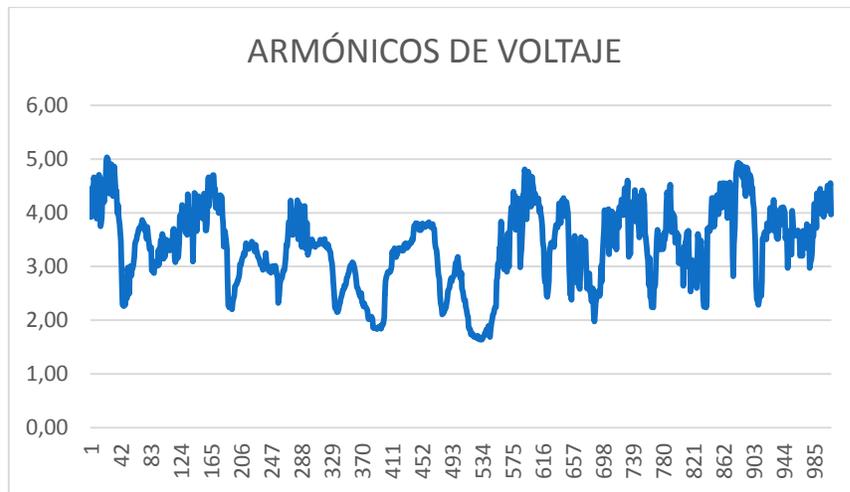
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

3.6.4. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE

La planta cuenta con cargas monofásicas, en su mayoría no lineales, por ello es necesario tener en cuenta que los dispositivos monofásicos generalmente exhiben las siguientes armónicas de la fundamental en las formas de onda: 3, 5, 7, 9, 11, 13, etc. (esto incluye todas las armónicas impares). Mientras que las cargas trifásicas no lineales generan la quinta armónica y las de grado más elevado.

De la Figura III. 42. se puede concluir que el THD máximo de voltaje entre las 3 fases no supera el 5,03%, y considerando la Regulación CONELEC 004-01 en lo que se refiere a la Calidad del Producto sobre los límites de THD de voltaje se tiene que el nivel tolerable es del 8%.

El nivel de THD de voltaje tiene un promedio de 3,39% entre las tres líneas, como no supera el límite se puede decir que el 100% de los datos obtenidos se encuentran dentro de los valores permitidos. Por lo tanto cumple con la regulación.



Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Figura III. 2. Comportamiento de armónicos de voltaje

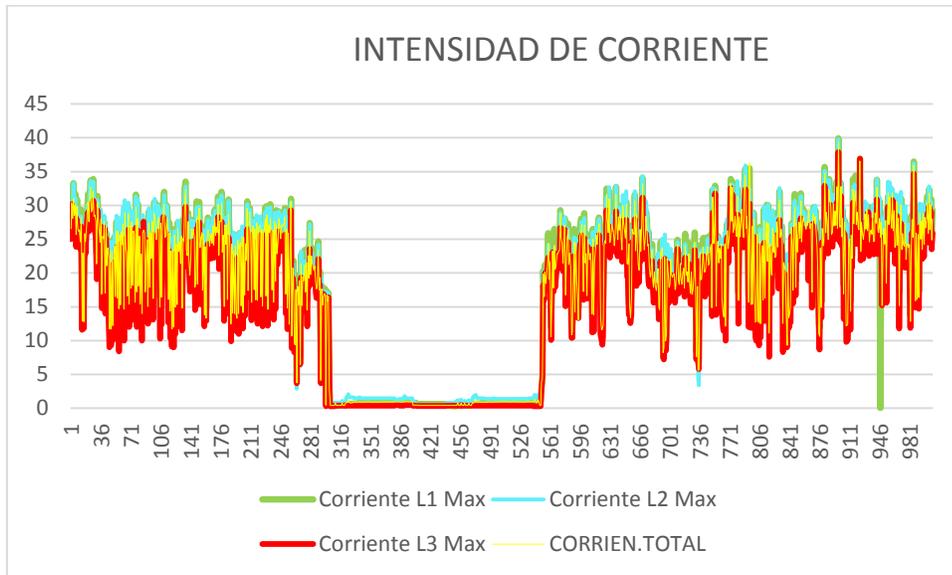
3.6.5. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Al analizar los valores de corriente se encuentra que entre las L1N y L2N la diferencia no supera el 10%, en cambio la L3N tiene una notable diferencia con respecto a las dos fases. Lo que indica que el sistema se encuentra desbalanceado, esto podemos notarlo en la Tabla III.XXV. Es decir existen una mayor cantidad de cargas que están conectadas a L1N y L2N. Ver Figura III.43.

Tabla III. IVV. Valores promedio de corriente RMS min, med, max, de las 3 fases

	L1N	L2N	L3N
CORRIENTE MIN	8,24	8,40	5,67
CORRIENTE MED	10,22	10,35	7,55
CORRIENTE MAX	14,32	14,51	11,86

Fuente: Janeth Camacho (Autora)



Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Figura III. 433. Curvas de variación de corriente de las fases L1N, L2N, L3N

Para conocer el porcentaje de desbalance de corriente se calcula a partir de la corriente del neutro y de línea en valores promedio:

$$I_{desbalance} = \frac{IN_{avg}}{IL_{avg}} * 100$$

Donde:

$I_{desbalance}$ valor de desbalance de corriente expresada en %

IN_{avg} valor promedio de la corriente en el neutro

IL_{avg} valor promedio de la corriente en la línea

Tabla III. XXVI. Valores de desbalance de corriente en cada línea

	L1N	L2N	L3N
CORRIENTE DE DESBALANCE	8,17%	8,06%	9,87%

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

$$I_{desbalance} = \frac{1,17}{13,56} * 100 = 8,63\%$$

La distorsión armónica en corriente se obtiene al realizar los cálculos que se indican en las ecuaciones de la sección 3.1.5. para verificar los límites permitidos por la IEEE 519.

Para calcular la corriente de cortocircuito I_{cc} , la impedancia del transformador X_{pu} se tomó directamente de los datos del transformador, los cuáles pueden verificarse la Tabla I.V.

El transformador ubicado en la planta industrial INDUCUERDAS es de 125 KVA, la impedancia es de 2.4% o 0,024 p.u.

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}}$$

$$I_{cc} = \frac{1}{0,024} = 41,67$$

Para obtener el valor de α , primeramente se calcula la corriente de carga I_L en amperios, para posteriormente obtener la corriente de carga en valores por unidad I_{Lpu} . Para obtener la corriente de carga se emplea la ecuación:

$$S = V * I_L * \sqrt{3}$$

$$I_L = \frac{S}{V \sqrt{3}}$$

La potencia que se considera es la del transformador 125 KVA, el voltaje es el del secundario del transformador 380 V.

$$I_L = \frac{125000}{380 \sqrt{3}} = 189,92A$$

La corriente de carga en valores por unidad se calcula:

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L}$$

Tabla III. VI. Valores de corriente de carga demandada

	L1	L2	L3	LNG
MIN	21,5	23,88	16,66	0,75
MED	26,18	29,15	21,8	0,83
MAX	50,72	47,95	52,56	1,93

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

A continuación se debe calcular el TDD.

TDD.- distorsión de demanda total, distorsión de corriente armónica en % de la máxima corriente de carga demandada.

Por lo tanto para la fase 1 tendremos:

- Una corriente de carga en valores por unidad de:

$$I_{Lpu} = \frac{50,72}{189,92} = 0,27$$

- El factor de α :

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} = \frac{41,67}{0,27} = 154,33$$

Para la fase 2:

- Una corriente de carga en valores por unidad de:

$$I_{Lpu} = \frac{47,95}{189,92} = 0,25$$

- El factor de α :

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} = \frac{41,67}{0,25} = 166,68$$

Para la fase 3:

- Una corriente de carga en valores por unidad de:

$$I_{Lpu} = \frac{52,56}{189,92} = 0,28$$

- El factor de α :

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} = \frac{41,67}{0,28} = 148,82$$

Tabla III. VII. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente

FASES	X_{pu}	$I_{cc}(A)$	I_{Lpu}	I_{cc}/I_{Lpu}
I1	0,024	41,67	0,27	154,33
I2	0,024	41,67	0,25	166,68
I3	0,024	41,67	0,28	148,82

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Una vez obtenido el valor de α , éste se compara con los valores de la Tabla III.XXII. que indica el límite máximo de THD de corriente.

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} = \frac{41,67}{189,92} * 100 = 21,94\%$$

De acuerdo a lo establecido en la norma IEEE-519, el valor de I_{cc}/I_{Lpu} debe estar entre $100 < 1000$ y el límite permitido es del 15%, en la Tabla III.XII. se muestran los valores de I_{cc}/I_{Lpu} que oscilan entre 150, y el valor de α es de 21,94%, al compararlos con el valor de THD sobrepasa el límite.

Tabla III. VIII. Datos de volares min, med, max, de THD de corriente registrados en las mediciones

	L1	L2	L3	NEUTRO
MIN	12,56	104,25	17,25	124,70
MED	188,09	224,47	193,27	227,30
MAX	327,67	327,67	327,67	327,67
TOTAL	176,11	218,80	179,40	226,56

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

En la Tabla III.XIII. se muestran los valores de THD de corriente registrados en las mediciones y el I_{cc}/I_{Lpu} está entre $100 < 1000$, pero como el valor de α supera el límite, se determina que no cumple con lo establecido en la norma.

CAPITULO IV

4. PROPUESTA DE SOLUCIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA INDUCUERDAS

Después de analizar los datos obtenidos del Tablero de Distribución Principal, se observa variaciones de voltaje, bajo factor de potencia, y armónicos de corriente. En este capítulo se presentan las propuestas de solución para la atenuación de armónicos, mejora del factor de potencia y criterios para el balance de cargas.

4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El factor de potencia, los armónicos y demás perturbaciones afectan la eficiencia en una instalación, por ello es necesario conocer las causas y desventajas de la presencia de esas anomalías, así como los métodos para corregirlos.

4.1.1. CAPACITORES Y LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

En las instalaciones eléctricas uno de los problemas más comunes es el bajo factor de potencia, también relacionado con la calidad del suministro de la energía eléctrica, por los conceptos de las variaciones de voltajes y las pérdidas en las instalaciones, alrededor de estos existen implicaciones económicas importantes. Sus fundamentos se encuentran en los conceptos básicos de los circuitos de corriente alterna, con referencia en las potencias activas, reactivas y aparentes.

- a) **POTENCIA ACTIVA.**- puede ser expresada en watts (W). Los motores, transformadores y todos los dispositivos eléctricos que hacen uso de un campo electromagnético, requieren de potencia activa para efectuar un trabajo útil.
- b) **POTENCIA REACTIVA.**- La potencia reactiva corresponde a la potencia reactiva estando a 90° desfasada de la potencia activa, se expresa en volts-ampere reactivos (VAR).
- c) **POTENCIA APARENTE.**- es el producto entre el voltaje y la corriente, también es la resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y la potencia reactiva.
- d) **FACTOR DE POTENCIA.**- es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente conocido también como $\cos \phi$.

4.1.1.2. DEFINICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia de una carga, que puede ser un elemento único que consume energía o varios elementos (por ejemplo, toda una instalación), lo da la relación de P/S, es decir, kW divididos por kVA en un momento determinado. El valor de un factor de potencia está comprendido entre 0 y 1. Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia es igual a $\cos \phi$. Un factor de potencia cercano a la unidad significa que la energía reactiva es pequeña comparada con la energía activa, mientras que un valor de factor de potencia bajo indica la condición opuesta. (7)²⁰

CORREGIR.- *significa actuar para incrementar el factor de potencia en una sección específica de la instalación, proporcionando localmente la potencia reactiva necesaria para reducir, a igual potencia útil requerida, el valor de la corriente y, por tanto, de la potencia que transita la red aguas arriba. De esta forma, las líneas, los generadores y los transformadores pueden ser dimensionados para un valor de potencia aparente inferior. (9)²¹*

4.1.1.2.1. VECTORES DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN, Y DERIVACIÓN DEL DIAGRAMA DE POTENCIA

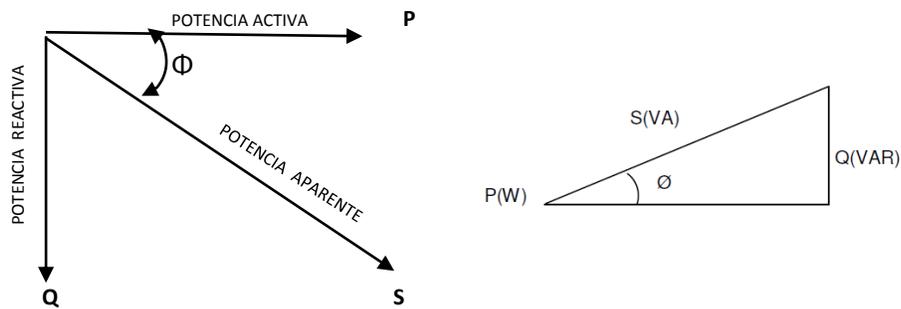
El diagrama “vectorial” de potencia se deriva directamente del auténtico diagrama vectorial giratorio de corriente y de tensión, de la siguiente manera:

Las tensiones del sistema de alimentación se toman como cantidades de referencia y sólo se tiene en cuenta una única fase basándose en la suposición de una carga trifásica equilibrada. La tensión de fase de referencia (V) coincide con el eje horizontal y la corriente (I) de esa fase, prácticamente para todas las cargas del sistema de alimentación retrasa la tensión en un ángulo ϕ . El

²⁰ SCHNEIDER ELECTRIC. Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos, Capítulo I. disponible en URL: <http://www.schneiderelectric.com>. [consulta 09 de julio de 2014].

²¹ ABB. Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 8 . Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas disponible en URL: www.abb.com [consulta 16 de julio de 2014].

componente de I que está en fase con V es el componente activo de I y es igual a $I \cos \varphi$, mientras que $VI \cos \varphi$ es igual a la potencia activa (en kW) del circuito, si V está expresado en kV. El componente de I desfasado 90 grados respecto al V es el componente reactivo de I y es igual a $I \sin \varphi$, mientras que $V \sin \varphi$ es igual a la potencia reactiva (en kVAR) del circuito, si V está expresado en kV. Si se multiplica el vector I por V, expresado en kV, entonces VI es igual a la potencia aparente (en kVA) para el circuito. Los valores kW, kVAR y kVA por fase, cuando se multiplican por 3, pueden representar convenientemente las relaciones de kVA, kW, kVAR y el factor de potencia para una carga trifásica total, tal como se muestra en la Figura IV.44. (10)²²



Fuente: Janeth Camacho (Autora)
Figura IV.44. Diagrama de potencia eléctrica

Del diagrama se pueden deducir las siguientes expresiones:

$$fp = \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

²² SCHNEIDER ELECTRIC. s.f. Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos, Capítulo I. disponible en URL: <http://www.schneiderelectric.com>. [consulta 09 de julio de 2014].

En el consumo de electricidad, cuando las ondas de voltaje y corriente son sinusoidales y las cargas son lineales, como son los motores de inducción o las resistencias, están implicadas la potencia activa (P), la potencia reactiva (Q), y la suma vectorial de estas dos se denomina potencia aparente (S). (11)²³.

Lo ideal es que la energía reactiva (Q) sea baja y el ángulo (ϕ) tienda a cero. El coseno del ángulo cercano a cero tiende a 1 y por consiguiente el factor de potencia para el caso de baja potencia reactiva se aproxima a 1, representando la condición ideal. Por lo tanto la planta industrial INDUCUERDAS, deberá llevar su factor de potencia a un valor que cumpla la regulación del CONELEC para evitar penalizaciones en la facturación de la energía eléctrica.

La potencia reactiva (Q) puede ser compensada con capacitores, mientras que la potencia de distorsión (D) se puede reducir limitando la distorsión armónica de la corriente. Por lo tanto se necesita capacitores para (Q) filtros de atenuación de armónicos para (D). En un sistema eléctrico las corrientes armónica provocadas por cargas no lineales, pueden causar Un Factor de Potencia Total muy bajo (entre 0.6 y 0.7), mientras que el Factor de Potencia de Desplazamiento puede estar relativamente alto (entre 0.90 y 0.95). Con cargas lineales, las mediciones para determinar el Factor de Potencia de Desplazamiento se pueden hacer con instrumentos manuales que midan a potencia activa (KW) y la potencia aparente (KVA). Cuando existen armónicas en el circuito, los instrumentos deben tener la capacidad de medir la corriente verdadera (rms) para determinar el factor de potencia total. (11)²⁴

²³ GUACHAMIN, C.V. y NARANJO, A. E. Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de Quito Imprenta Mariscal. Tesis Ing. Electrónica. y Control. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2011. 144p.

²⁴ GUACHAMIN, C.V. y NARANJO, A. E. Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de Quito Imprenta Mariscal. Tesis Ing. Electrónica. y Control. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2011. 144p.

El origen de un bajo factor de potencia proviene de las cargas inductivas tales como motores, balastos, transformadores, etc., debido a que son cargas no lineales que contaminan las redes eléctricas, la intensidad corriente que éstas consumen desfasan al voltaje, provocando un bajo factor de potencia.

4.1.1.3. PROBLEMAS DE UN FACTOR DE POTENCIA BAJO

Un bajo factor de potencia tiene una considerable influencia sobre el valor de la corriente que demanda el sistema, este punto en que se incrementa la corriente ocasionará desventajas al usuario con repercusiones económicas, éstas se sitúan en 4 categorías como:

- **INCREMENTAN LAS PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE.-** que son las pérdidas de potencia que se transforman en calor, debido a que están en función del cuadrado de la corriente, por ejemplo: cables entre el medidor y el usuario, embobinados de los transformadores de distribución, Dispositivos de operación y protección
- **INCREMENTOS EN LAS CAÍDAS DE VOLTAJE.-** la circulación de intensidad de corriente a través de los conductores ocasionan pérdidas de la potencia transportada por los conductores, y una caída de tensión entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, dan como resultado un ineficiente suministro de potencia a las cargas, reducen su potencia de salida, afectando a embobinados de los transformadores de distribución, cables de alimentación y los sistemas de protección y control.
- **SOBRECARGA DE LOS GENERADORES, TRANSFORMADORES LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.-** el exceso de corriente a causa de un bajo factor de potencia, da como resultado que los

generadores, transformadores y líneas de distribución trabajen a sobrecarga y disminuyan su vida útil. Las instalaciones no pueden ser usadas a toda su capacidad, dando como resultado altos costos de depreciación, muy importante en el caso de transformadores de distribución.

- **INCREMENTO EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA.**- Afectan al productor y al distribuidor de energía eléctrica, quien penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad, ya que implica pérdidas de energía en la red eléctrica.

4.1.1.4. MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA

Al mejorar el factor de potencia de una instalación, se obtienen varias ventajas técnicas y económicas, sobre todo en la reducción de las facturas eléctricas

4.1.1.5. REDUCCIÓN EN EL COSTE DE LA ELECTRICIDAD

Una buena gestión del consumo de energía reactiva proporciona ventajas económicas. De acuerdo al sistema tarifario vigente la instalación de condensadores de potencia permite al consumidor reducir la factura eléctrica al mantener el nivel de consumo de potencia reactiva bajo el valor penalizable.

Generalmente, la energía reactiva se factura en función del criterio $\tan \varphi$ o $\cos \varphi$.

Frente a las ventajas económicas de una facturación reducida, el consumidor deberá tener en cuenta el costo de la compra, la instalación y el mantenimiento del equipo de compensación.

4.1.1.6. OPTIMIZACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

Un factor de potencia alto permite la optimización de los diferentes componentes de una instalación, se evita el sobredimensionamiento de algunos equipos; pero sin embargo para lograr mejores resultados, a nivel técnico, la corrección debe llevarse a cabo lo más cerca posible de los receptores demandantes de reactiva.

Reducción de la sección de los cables.- La Tabla IV.XXX. muestra el aumento de la sección de los cables cuando se reduce el factor de potencia de la unidad a 0,4.

Tabla IV. XXX. Factor de multiplicación para el tamaño de los cables en función de $\cos \phi$

Factor de multiplicación para el área de la sección transversal de los cables	1	1.25	1.67	2.5
Cos ϕ	1	0.8	0.6	0.4

Fuente: Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos. Disponible en www.schneiderelectric.es

Reducción de las pérdidas (P, kW) en cables.- Las pérdidas en los cables son proporcionales a la corriente al cuadrado y se cuantifican en kWh; la reducción de la corriente total en un conductor en un 10%, por ejemplo, reducirá las pérdidas en casi un 20%.

Reducción de las caídas de tensión.- Los condensadores de potencia reducen o incluso eliminan por completo la corriente reactiva en los conductores arriba del equipo de compensación, por lo que se reducen o eliminan las caídas de tensión. Una sobrecompensación producirá un aumento de la tensión en los condensadores.

Aumento de la potencia disponible.- Al mejorar el factor de potencia de la instalación, se reduce la corriente que pasa a través del transformador, lo que permite optimizar el transformador y añadir más receptores.

En la práctica, puede resultar menos costoso mejorar el factor de potencia, instalando equipos de compensación, que sustituir el transformador.

4.1.1.7. BENEFICIOS DE LA COMPENSACIÓN

Para tener un uso racional de energía, es de suma importancia la Corrección del Factor de Potencia. En la compra de artefactos y maquinarias existen algunas marcas que ya traen compensada esta energía a valores exigibles por las empresas distribuidoras.

El mantenimiento de valores controlados del factor de Potencia repercutirá en su beneficio y en el de la planta, ya que:

- Aumentará la vida útil de la instalación
- Evitará la penalización en la facturación.
- Mejorará la regulación de la tensión de suministro.
- Reducirá las pérdidas por recalentamiento en líneas y elementos de distribución.

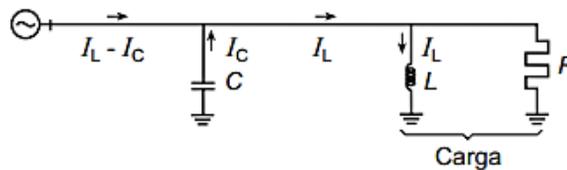
4.1.2. PRINCIPIOS TEÓRICOS PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Una carga inductiva con un bajo factor de potencia hace que los generadores y los sistemas de transmisión/distribución entreguen la corriente reactiva, ocasionando retrasos en la tensión del sistema en 90 grados, con pérdidas de energía asociadas y caídas de tensión.

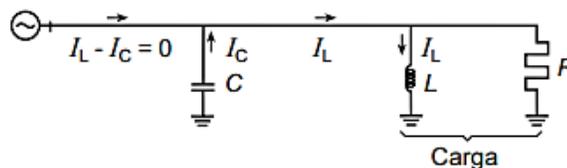
Al añadir a la carga una batería de condensadores, su corriente reactiva (capacitiva) recorrerá la misma trayectoria a través del sistema de alimentación que la de la corriente reactiva de carga. Como esta corriente capacitiva I_C que desfasa la tensión 90 grados, está en oposición de fase directa a la corriente reactiva de carga (I_L), los dos componentes que fluyen a través de la misma trayectoria se anularán mutuamente, de tal forma que si la batería de condensadores es suficientemente grande e $I_C = I_L$, no habrá flujo de corriente reactiva en el sistema aguas arriba de los condensadores.

Es decir, si añadimos a la instalación una batería de condensadores con una potencia reactiva igual o mayor que la demandada por la instalación, aguas arriba de la batería de condensadores no habrá demanda de energía reactiva.

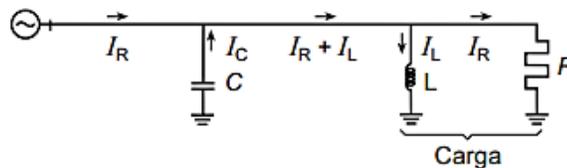
a) Patrón de flujo de los componentes de corriente reactiva



b) Cuando $I_C = I_L$, la batería de condensadores suministra toda la potencia reactiva



c) Con la corriente de carga añadida al caso (b)



Fuente: Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos. Disponible en www.schneiderelectric.es
Figura IV. 45. Características esenciales de la corrección del factor de potencia

Podemos apreciar gráficamente en la Figura IV.45. (a) y (b)

Donde:

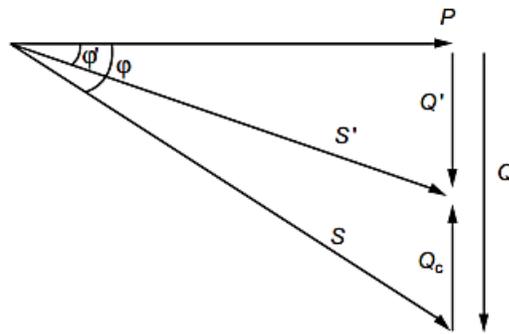
R representa los elementos de potencia activa de la carga.

L representa los elementos de potencia reactiva (inductiva) de la carga.

C representa los elementos de potencia reactiva (capacitiva) del equipo de corrección del factor de potencia.

Se observa en el diagrama (b) de la Figura IV.45. que la batería de condensadores C aparece como suministradora de toda la corriente reactiva de la carga.

En el diagrama (c) de la Figura IV.45., se ha añadido el componente de corriente de potencia activa y se indica que la carga (totalmente compensada) tiene en el sistema de alimentación un factor de potencia de 1.



Fuente: Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos. Disponible en www.schneiderelectric.es
Figura IV. 46. Diagrama que muestra el principio de compensación: $Q_c = P (\tan \phi - \tan \phi')$

La Figura IV.46. utiliza el diagrama de potencia (ver la Figura IV.44) para ilustrar el principio de compensación al reducir una potencia reactiva Q a un valor más pequeño Q' mediante una batería

de condensadores que tiene una potencia reactiva Q_c . Con esto, se observa que la magnitud de la potencia aparente S se reduce a S' .

Ejemplo

Un motor consume 100 kW con un factor de potencia de 0,75 (es decir, $\tan \varphi = 0,88$). Para mejorar el factor de potencia a 0,98 (por ejemplo, $\tan \varphi = 0,2$), la potencia reactiva de la batería de condensadores debe ser: $Q_c = 100 (0,88 - 0,2) = 68 \text{ kVAr}$.

4.2.1. SOLUCIONES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

La corrección del factor de potencia es sinónimo de reducción en el costo de energía reactiva en las planillas eléctricas. Para ello es necesario distribuir las unidades capacitivas dependiendo de su utilización, en el lado del usuario. Entre los métodos para la corrección del factor de potencia se destacan:

- Compensadores síncronos
- Compensadores estáticos
- Alternadores síncronos
- Bancos o baterías de condensadores

4.2.1.1. ALTERNADORES SINCRÓNICOS

Los alternadores síncronos son máquinas eléctricas utilizadas para generación de energía eléctrica, para compensar el bajo factor de potencia se puede actuar sobre la excitación del

alternador para variar el valor de la tensión que genera regulando la potencia reactiva suministrada a la red, de esta forma se logra reducir las caídas de tensión del sistema y disminuir las pérdidas por efecto joule en las líneas.

4.2.1.2. COMPENSADORES SINCRÓNICOS

Son motores síncronos que funcionan en vacío, al ponerlos en sincronía con la red se los puede hacer trabajar en subexcitación para absorber la potencia reactiva excedente, o sino que trabajen en sobreexcitación para que proporcionen la potencia que necesita la red. Estos dispositivos son generalmente usados en los nodos de la red de transmisión y subtransmisión para regular la tensión y el flujo de potencia reactiva, con el inconveniente en las redes de distribución ya que no son viables económicamente debido al alto costo de instalación y mantenimiento de estos.

4.2.1.3. COMPENSADORES ESTÁTICOS

Los compensadores estáticos son una versión electrónica de los sistemas de compensación de la energía reactiva que están basados en componentes electromecánicos, en la que la inserción de los condensadores no viene dada por la apertura y cierre de contactores sino por parejas de tiristores colocados en antiparalelo.

Existen dos configuraciones los thyristor switched capacitors (TSC) y los thyristor controlled reactors (TCR), al ser instalados es posible tener una regulación modulada con continuidad de la potencia reactiva producida o absorbida.

Los TSC permiten realizar un control escalonado de la potencia reactiva suministrado por grupos de condensadores.

Los TCR permiten controlar con continuidad la potencia reactiva absorbida por las inductancias.

Al instalar un TSC y un TCR se puede realizar una regulación modulada con continuidad de la potencia reactiva producida/absorbida, estos dispositivos son empleados en redes de alta y muy alta tensión.

4.2.1.4. BANCOS O BATERÍAS DE CONDENSADORES

Un condensador al recibir tensión alterna entre las armaduras, está sometido a ciclos de carga y descarga durante los cuales acumula energía reactiva para luego inyectarla al circuito en donde se encuentra conectado.

Por su capacidad de acumular y suministrar energía, el condensador es utilizado como el elemento base para la corrección del factor de potencia mediante bancos de capacitores y dispositivos de regulación. Los condensadores de corrección utilizados en baja tensión están constituidos por elementos monofásicos realizados con películas de polipropileno metalizado y pueden ser de tipo autorregenerables, la parte dieléctrica dañada por una descarga es capaz de regenerarse, es decir la película de polipropileno afectada por la descarga se volatiliza por el efecto térmico causado por la misma descarga, haciendo que se reestablezca la parte dañada.

4.2.2. TIPOS DE CORRECCIÓN

La ubicación de los condensadores para los diferentes tipos de instalaciones no tiene reglas específicas, en teoría, pueden ser instalados en cualquier punto, pero es preciso evaluar su ejecución práctica y económica, los principales métodos de corrección son:

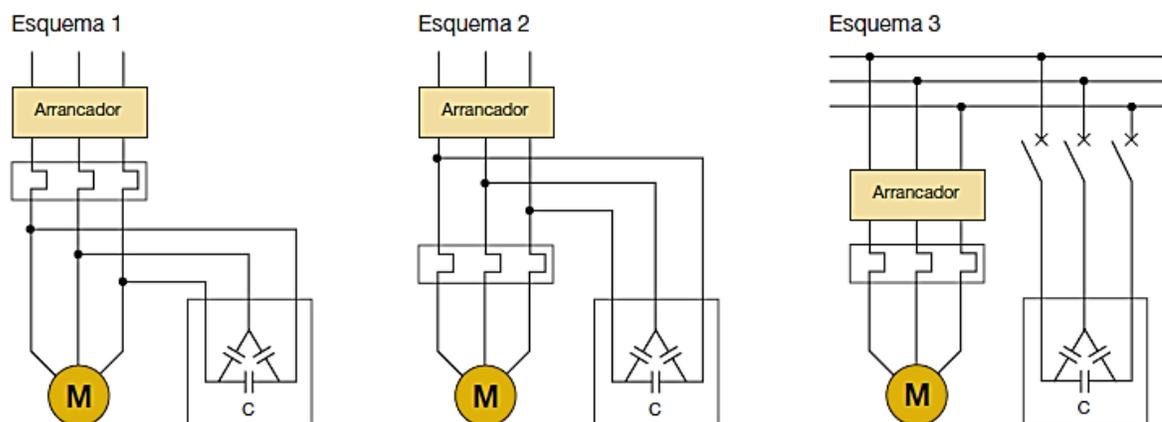
- Corrección distribuida;

- Corrección por grupos;
- Corrección centralizada;
- Corrección mixta;
- corrección automática.

4.2.2.1. CORRECCIÓN DISTRIBUIDA

La corrección distribuida se realiza conectando una batería de condensadores a los terminales del dispositivo que necesita la potencia reactiva, la cual debe estar debidamente dimensionada. La instalación del equipo es sencilla y poco costosa, el condensador y la carga pueden beneficiarse de las mismas protecciones contra sobrecorrientes y se insertan o desconectan a la vez.

Es aconsejable utilizar este tipo de corrección para grandes aparatos con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión prolongados, es utilizado generalmente en motores y lámparas fluorescentes.



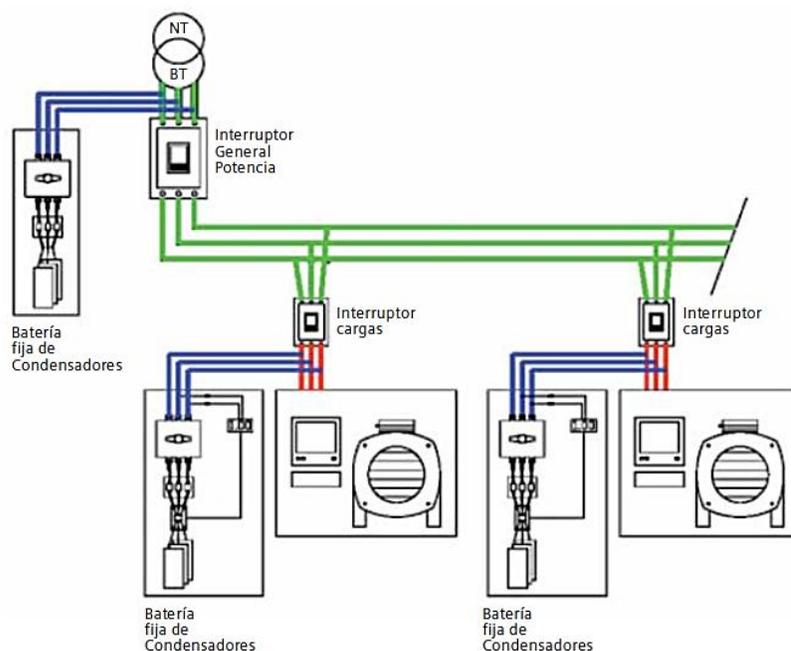
Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8. Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. ABB

Figura IV. 17. Esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.

En caso de conexión directa (ver Figura IV.47. esquemas 1 y 2) existe el riesgo que tras el corte de alimentación, el motor al continuar rotando y autoexcitándose con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, se transforme en un generador asíncrono. Al ocurrir esto la tensión se mantiene en el lado de carga del dispositivo de maniobra y control, con riesgo de peligrosas sobretensiones, hasta el doble de la tensión nominal.

El esquema 3 en la Figura IV.47., la batería de compensación se conecta al motor sólo cuando éste está en marcha y se desconecta del mismo antes de que se produzca el corte de la alimentación del motor.

Con esta corrección toda la red arriba de la carga, trabaja con un factor de potencia elevado; la desventaja de esta solución es que resulta costosa económicamente.



Fuente: Corrección del factor de potencia, catálogo PFC, baterías de condensadores, siemens
Figura IV.48. Método de compensación fija

La compensación fija o distribuida compensa todos los elementos productores de energía reactiva punto a punto.

- En los motores, evita la desexcitación del rotor durante el arranque del motor, realizando una compensación retardada.
- En los transformadores se instalan condensadores fijos dimensionados al 5% de la potencia nominal del transformador, en instalaciones donde el medidor de la empresa distribuidora está situado en Media Tensión, debiéndose compensar la energía reactiva del mismo. Es aconsejable colocar seccionadores en carga para la eventual sustitución de fusibles.

Este método utiliza uno o varios condensadores para obtener la potencia reactiva necesaria. La conexión se puede realizar:

- Por interruptor de corte en carga o interruptor automático.
- Por contactor.
- Directamente a bornes del receptor a compensar y maniobrado conjuntamente.

La utilización de esta configuración se suele aplicar en:

- En bornes de los dispositivos inductivos (motores y transformadores).
- En los casos en los que el nivel de carga es razonablemente constante, y no hay riesgo de sobrecompensación.

*En el REBT en la ITC-BT 43 - Apartado 2.7, Compensación del factor de potencia, se deduce que: REBT- Legislación Nacional Española - REBT - **INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN** La presente instrucción establece los requisitos generales de instalación de receptores dependiendo de su clasificación y utilización que estén destinados a ser alimentados por una red de suministro exterior con tensiones que no excedan de 440 V en valor eficaz entre fases (254 V en valor eficaz entre fase y tierra). Las características de los condensadores y su instalación deberán ser conformes a lo establecido en la norma UNE-EN 60831-1.-. y UNE-EN 60831-2. Condensadores de potencia autorregenerables a instalar en paralelo en redes de corriente alterna de tensión nominal inferior o igual a 1 000 V . (12)²⁵*

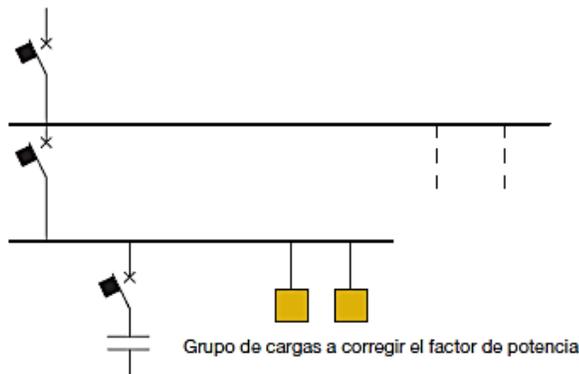
- La compensación de la energía reactiva se podrá realizar pero en ningún momento la energía absorbida por la red podrá ser capacitiva.
- La compensación fija se realizará para uno o varios receptores siempre que funcionen por medio de un único interruptor, es decir simultáneamente.
- Para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático.

En la práctica se realiza la compensación fija de algunos motores y de transformadores y una compensación automática para la compensación global en cabecera de la instalación.

4.2.2.2. CORRECCIÓN POR GRUPOS

Consiste en corregir localmente grupos de cargas con características de funcionamiento similares mediante la instalación de una batería de condensadores. Este método brinda tanto la solución económica como el correcto servicio de la instalación, la corrección beneficia sólo a las líneas arriba del punto en el que se encuentra instalada la batería de condensadores.

²⁵ ESPAÑA. MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Compensación del factor de potencia, Instrucciones técnicas complementarias del reglamento electrotécnico de baja tensión. REBT. ITC-BT 43-Apartado2.7. 2002.



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8. Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. ABB

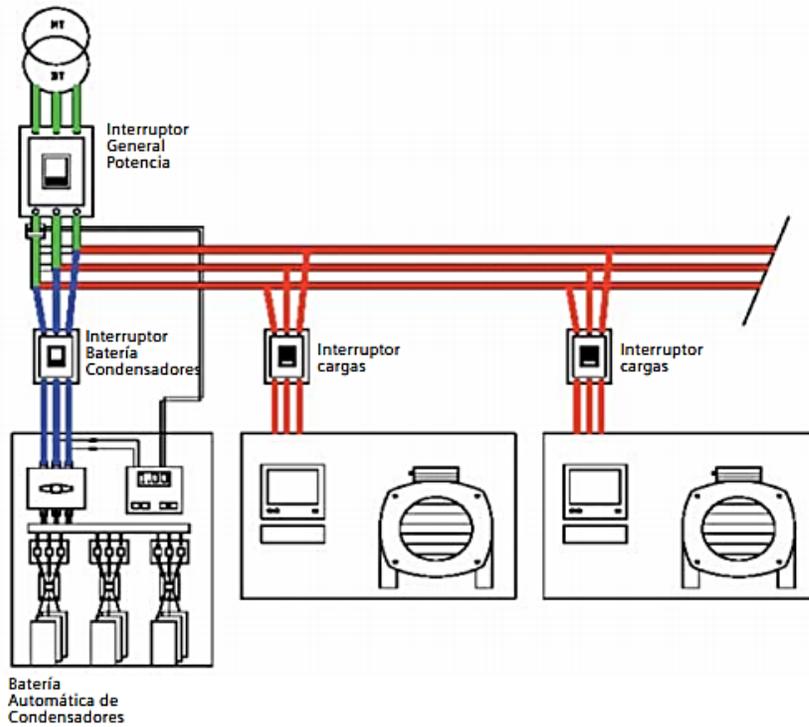
Figura IV. 49. Método de corrección por grupos de cargas

4.2.2.3. CORRECCIÓN CENTRALIZADA

El comportamiento diario de las cargas tiene fundamental importancia para la elección del tipo más conveniente de corrección.

En instalaciones que poseen muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y algunos están conectados sólo unas pocas horas al día, la solución de la corrección distribuida resulta demasiado costosa, permaneciendo durante largos periodos inutilizados muchos de los condensadores instalados. Por tanto, utilizar un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir notablemente la suma de potencias de los condensadores instalados.

En la corrección centralizada se emplean normalmente automatismos con baterías fraccionadas en más escalones, instalados directamente en los tableros principales de distribución. Utilizar una batería conectada permanentemente sólo es posible si la absorción de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día.



Fuente: Corrección del factor de potencia, catálogo PFC , baterías de condensadores, siemens
Figura IV. 50. Método de compensación centralizada y regulada

La corrección centralizada permite optimizar los costos de la batería de condensadores, pero presenta la desventaja que las líneas de distribución de la instalación abajo del dispositivo de corrección deben estar dimensionadas teniendo en cuenta la totalidad de la potencia reactiva absorbida por las cargas.

4.2.2.4. CORRECCIÓN MIXTA

Esta solución resulta de la combinación de las correcciones distribuida y centralizada, adoptando las ventajas de ambas soluciones. Se utiliza la corrección distribuida para los aparatos eléctricos de mayor potencia y la centralizada para la restante parte.

La corrección mixta es empleada generalmente cuando sólo se utilizan con periodicidad los equipos más pesados, de manera que éstos son compensados individualmente mientras que los demás aparatos son compensados de forma centralizada.

4.2.2.5. CORRECCIÓN AUTOMÁTICA

Es utilizada cuando en las instalaciones no tiene lugar una absorción constante de potencia reactiva, por ejemplo: a causa de ciclos de trabajo en los que se utilizan máquinas con diferentes propiedades eléctricas. En éste tipo de instalaciones se emplean sistemas de corrección automáticos, por medio de un sistema de detección de tipo varimétrico y de un regulador del factor de potencia, permitiendo la inserción o la desconexión automática de las diferentes baterías de condensadores, siguiendo de esta forma las variaciones de la potencia reactiva absorbida y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación.

Este tipo de sistema de corrección automática se encuentra compuesto por:

- Sensores que detectan las señales de corriente y tensión;
- Un regulador del factor de potencia, unidad inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y ejecuta la inserción o la desconexión de las baterías de condensadores en función de la potencia reactiva necesaria;
- Un tablero de potencia, que contiene dispositivos de protección y maniobra;
- Baterías de condensadores.

La corrección automática tiene el objetivo de proporcionar una potencia lo más cercana posible a la requerida, la inserción de los condensadores tiene lugar de forma escalonada; la precisión de

control será mayor cuantos más escalones exista y cuanto más pequeña sea la diferencia entre ellos.

4.2.3. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Para el dimensionamiento de la batería de condensadores a instalar, se debe determinar de manera precisa el factor de potencia a partir de los consumos o del ciclo de carga de la instalación; evitando la inyección excesiva energía reactiva, condición que normalmente no está permitida por las empresas distribuidoras.

Al efectuar una corrección distribuida o por grupos, es necesario determinar el $\cos\varphi$ de la carga o del grupo de cargas; esto puede llevarse a cabo de los siguientes modos:

- Directamente.- a través de medida directa por medio de un cosfímetro;
- Indirectamente.- por medio de la lectura de los contadores de energía activa y reactiva.

COSFÍMETRO.- instrumento de medida que permite visualizar el factor de potencia **$\cos\varphi$** , con el que la carga está absorbiendo energía.

La lectura con el cosfímetro se efectuará en diferentes momentos del ciclo de carga para así poder extraer un factor de potencia medio, si disponemos de las lecturas de energía activa y reactiva absorbidas por la carga o por el conjunto de las cargas en un ciclo de trabajo, el factor de potencia medio puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\cos\varphi = \cos \operatorname{tg}^{-1} \frac{E_{Qf} - E_{Qi}}{E_{Pf} - E_{Pi}}$$

Donde:

- E_{Pi} y E_{Qi} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al comienzo del ciclo de trabajo;
- E_{Pf} y E_{Qf} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al término del ciclo de trabajo.

Efectuar una compensación centralizada requiere obtener el factor de potencia medio mensual, puede extraerse siguiendo el procedimiento descrito anteriormente o directamente de las planillas eléctricas.

4.2.4. EQUIPOS QUE SE UTILIZAN

4.2.4.1. COMPENSACIÓN EN BAJA TENSIÓN

La compensación de la energía reactiva puede realizarse mediante:

- Baterías automáticas de condensadores.
- Condensadores fijos.

4.2.4.1.1. BATERÍAS DE CONDENSADORES AUTOMÁTICOS

Es un equipo de compensación automática capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el factor de potencia objetivo de la instalación. Se instalan en los puntos de una instalación en los que las variaciones de potencia activa o reactiva son importantes, por ejemplo:

- En la cabecera de la instalación.
- En la salida de un cuadro secundario muy cargado.

Está constituido por 3 elementos principales:

EL REGULADOR: su función es medir el $\cos \varphi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al $\cos \varphi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva.

LOS CONTACTORES: elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que tenga el regulador.

LOS CONDENSADORES: elementos que aportan la energía reactiva a la instalación

4.2.4.1.2. CONDENSADORES FIJOS

Este tipo de configuración puede ser realizada en uno o varios condensadores para obtener la potencia reactiva necesaria, se aplica en:

- Bornes de los dispositivos inductivos como los motores y los transformadores.
- Cuando el nivel de carga es constante y no existe riesgo de sobrecompensación.

Su conexión se puede realizar:

- Por interruptor de corte en carga o interruptor automático.
- Por contactor.
- Directamente a bornes del receptor a compensar y maniobrado conjuntamente.

Una compensación automática global para la compensación fija de algunos motores y de transformadores, se realiza en la cabecera de la instalación.

4.2.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Cada sistema tiene su utilidad, la más utilizada generalmente es la compensación centralizada, especialmente por el precio del equipo y de la instalación que resulta más económica que la distribución de toda la fábrica. El inconveniente es que la mejora en el rendimiento de la instalación se realiza únicamente a nivel del interruptor general de la empresa.

La compensación distribuida tiene como ventaja dejar toda la instalación en el mejor punto de funcionamiento, aunque ésta es la solución más costosa.

En instalaciones nuevas se utiliza la compensación centralizada, dejando la compensación distribuida para posteriores ampliaciones de maquinaria, las cuales pueden dejar algunas líneas con potencia limitada, por ello conviene dejar en condiciones óptimas de transmisión, o dejar la batería de condensadores regulada sin suficiente potencia para compensar dichas ampliaciones. En estos casos, puede resultar más económica la instalación de equipos fijos sincronizados con la puesta en marcha de sus maquinarias para favorecer su alimentación y no sobrecargar la batería central.

4.3. LOS ARMÓNICOS

Los armónicos son originados por cargas no lineales que absorben corriente en pulsos bruscos en lugar de hacerlo suavemente en forma senoidal, estos crean ondas de corriente distorsionadas que originan corrientes armónicas de retorno hacia otras partes de la instalación. Al analizar los armónicos se puede comprobar que tanto en corriente como en tensión sus frecuencias son

múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación, es decir si la frecuencia fundamental es de 60 Hz, el segundo armónico será de 120 Hz, el tercero de 180 Hz, etc.

Los efectos que producen de los armónicos se manifiestan en la fuente de energía que da servicio a la instalación y alimenta las cargas no lineales, existen dos tipos básicos de cargas no lineales: monofásica y trifásica; las cargas monofásicas no lineales generalmente se encuentran en las oficinas, mientras que las cargas trifásicas predominan en la industria. Los armónicos afectan a cada componente de la instalación, manifestando sus efectos, ya los equipos conectados son propensos a posibles averías e ineficientes rendimientos.

CONDUCTOR NEUTRO.- Los conductores de neutro en un sistema trifásico de cuatro hilos, pueden ser afectados por cargas no lineales conectadas a los circuitos derivados de 120 V. En condiciones normales una carga lineal equilibrada, la frecuencia fundamental de 60 Hz de las corrientes de fase se anula en el conductor neutro, en cambio en un sistema de 4 conductores con cargas monofásicas no lineales, ciertos armónicos impares denominados triplens (múltiplos impares del tercer armónico: 3º, 9º, 15º, etc.) no se anulan entre sí, sino que se suman y se añaden al conductor neutro. Tener una corriente excesiva en el neutro puede provocar caídas de tensión superiores a lo normal entre el conductor neutro y la conexión a tierra en la toma de corriente de 120 V.

INTERRUPTORES MAGNETOTÉRMICOS.- poseen un mecanismo diseñado para responder al calentamiento que produce el valor eficaz de la onda de corriente de manera que se dispare si se

calienta demasiado. Es una gran solución para proteger los circuitos frente a sobrecargas debido a corrientes armónicas.

BARRAS COLECTORAS Y TERMINALES DE CONEXIÓN.- Las barras colectoras de neutro y los terminales de conexión han sido dimensionados para soportar el valor máximo de la corriente de fase, pero pueden sufrir sobrecarga si se añade a los conductores neutros la suma de los armónicos triplens.

CIRCUITOS ELÉCTRICOS.- Los circuitos eléctricos que han sido diseñados para corrientes de 60 Hz pueden mostrar resonancia mecánica debido a los campos magnéticos generados por corrientes de armónicos de alta frecuencia; produciendo que el panel empiece a vibrar descontroladamente emitiendo un zumbido como consecuencia de las frecuencias de armónicos.

TELECOMUNICACIONES.- Los cables utilizados en las telecomunicaciones suele tenderse muy cerca de los cables de alimentación eléctrica, provocando interferencia inductiva que se escucha en algunas líneas telefónicas, manifestando zumbidos molestos, posibles pérdidas de datos, etc., a causa de la corriente de las fases de los cables o tercer armónicos, para reducir este efecto se tienden cerca del conductor neutro.

Realizar un análisis de armónicos en las instalaciones eléctricas permitirá saber si se encuentran causando algún problema y dónde está localizado. Algunos pasos que se pueden seguir son:

- Realizar un inventario de cargas.
- Comprobar el calentamiento de los transformadores.

- Verificar la corriente del secundario de los transformadores.
- Comprobar la corriente del neutro de los circuitos eléctricos secundarios.
- Comprobar la tensión entre neutro y tierra en las tomas de enchufe.

Entre los principales efectos de los armónicos que se presentan en una red eléctrica están:

- Incremento de la potencia a transportar, haciendo decaer el factor de potencia de la red.
- Sobrecargas en los conductores
- Disparo intempestivo de interruptores automáticos.
- Los relés de protección presentan mal funcionamiento
- Vibraciones y sobrecargas en las máquinas.
- Crean inestabilidad en el sistema eléctrico.
- Disminución de la impedancia ($X_C = 1/w * C$), lo que provoca fallas en la batería de condensadores instalada para la corrección del factor de potencia cuando aparece el fenómeno resonante $X_L = X_C$.
- Las mediciones a obtener mediante los equipos de medida pueden ser erróneas, también pueden aparecer perturbaciones en los equipos de control.

4.3.1. FENÓMENO RESONANTE

Este fenómeno se produce cuando $X_L = X_C$ en circuitos en donde están colocados en serie o en paralelo cargas no lineales, cargas inductivas y condensadores.

$$X_L = w * L$$

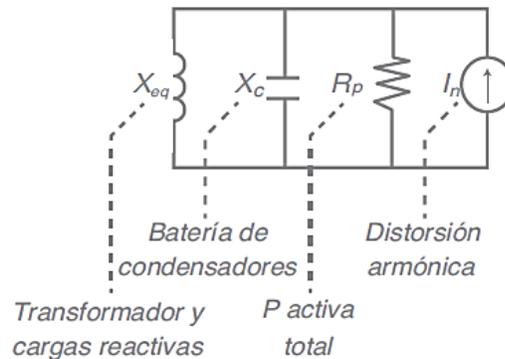
$$X_C = \frac{1}{w * C}$$

$$\omega * L = \frac{1}{\omega * C}$$

La frecuencia de resonancia f_R es la frecuencia para la cual los valores de X_L y X_C se igualan. Las dos impedancias son función de la frecuencia pero X_L es directamente proporcional y X_C es inversamente proporcional a la frecuencia. Es decir al incrementarse la frecuencia también aumenta X_L pero disminuye X_C .

$$\omega_R = \frac{1}{L * C} \rightarrow 2\pi * f_R = \frac{1}{L * C} \rightarrow f_R = \frac{1}{2\pi * L * C}$$

Los condensadores se ubican en paralelo por lo general, pero esta configuración funciona como un divisor de corriente y X_C es el valor más pequeño y la intensidad de corriente principalmente pasa por donde el circuito ofrece menor resistencia, es decir por los condensadores, razón por la cual los condensadores fallan.

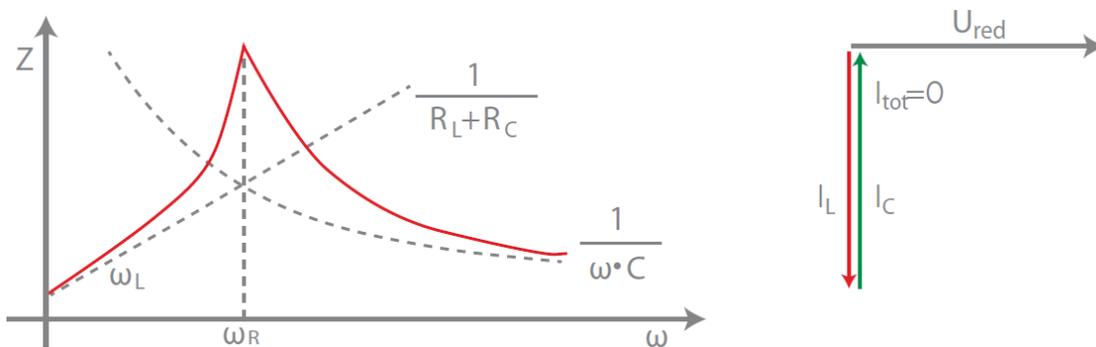


Fuente: Los armónicos y la calidad de energía. RTR Energía. pg. 41-52
Figura IV. 51. Circuito equivalente de impedancias.

4.3.2. RESONANCIA EN PARALELO

La resonancia en paralelo se produce cuando la corriente resultante y la tensión de la línea están en fase. Es decir en este circuito paralelo (L-C) a una determinada frecuencia de resonancia, la corriente está retrasada respecto a la tensión si el circuito es inductivo ($\omega < \omega_R$), pero si la corriente está adelantada con respecto a la tensión es un circuito capacitivo ($\omega > \omega_R$).

En este tipo de circuito la corriente resultante de la bobina es igual a la corriente resultante de los capacitores, pero de signo contrario, por lo que la suma algebraica y vectorial de ambas tiene como resultado una corriente resultante igual a cero, y la impedancia su valor máximo, en el circuito serie ocurre lo contrario. Consecuentemente la corriente en ambas ramas L-C se hace extremadamente alta, corriendo peligro el condensador, por tener un valor de X_C muy bajo.



Fuente: Los armónicos y la calidad de energía. RTR Energía. pg. 41-52

Figura IV. 52. Comportamiento de la Resonancia en paralelo

En la figura IV.52. se aprecia como la impedancia Z se eleva hasta alcanza valores máximos, razón por la cual es necesario la protección de los condensadores cuando estén colocados en circuitos con alto contenido armónico y en paralelo. También cuando la instalación posea un transformador de potencia ya sea de media o baja tensión para suministro eléctrico, es necesario que los

condensadores de compensación del transformador instalados en la parte baja se encuentren protegidos.

4.3.3. PROTECCIÓN DE LOS CONDENSADORES

La norma UNE-EN-61642 establece que cuando existe presencia de distorsiones armónicas, la solución es el uso de filtros de rechazo (L-C), cuya principal función es proteger los condensadores. El manual de RTR Energía S.L. establece como un dato práctico que en las instalaciones donde la quinta armónica en tensión es superior al 3% y las distorsiones armónicas de corriente de la quinta armónica sean superiores al 30% se debe colocar un filtro L-C.

4.4. SOLUCIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

Después de haber identificado los problemas existentes en la planta, se procedió a investigar y analizar las posibles soluciones para estos problemas, es necesario elegir la mejor opción para corregir el factor de potencia, el problema de armónicos de corriente y desbalance de carga.

4.4.1. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Debido a que la planta posee una curva de carga variable, la corrección del factor de potencia se debe realizar a través de un banco de capacitores con un sistema automático de control, mediante un corrector activo de factor de potencia, el cual no permita que exista carga reactiva excesiva al tener valores de carga activa baja.

4.4.1.1. CÁLCULO DE LA ENERGÍA REACTIVA

4.4.1.1.1. NATURALEZA DE LA ENERGÍA REACTIVA

Todas las máquinas eléctricas como motores, transformadores, etc. se alimentan con corriente alterna, con dos formas de consumo: el que transforman en potencia activa, con las correspondientes pérdidas por efecto Joule (calentamiento), y el correspondiente a la creación de campos magnéticos denominada reactiva.

La energía activa corresponde a la potencia activa dimensionada en W , y se transforma íntegramente en energía mecánica (trabajo) y en calor (pérdidas térmicas). Las cargas que absorben este tipo de energía son las resistivas.

La energía reactiva corresponde a la energía necesaria para crear los campos magnéticos que necesitan ciertos receptores para su funcionamiento. Esta energía es suministrada por la red de alimentación o por los condensadores instalados. Los elementos reactivos de las corrientes de carga son inductivos, mientras que las impedancias de las líneas de transporte y distribución son capacitivos.

La combinación de una corriente inductiva que pasa a través de una reactancia inductiva produce las peores condiciones posibles de caídas de tensión, es decir en oposición de fase directa con la tensión del sistema. Debido a:

- Pérdidas eléctricas en los cables.
- Caídas de tensión.

Las empresas distribuidoras intentan reducir en sus redes de transporte la corriente reactiva. Las corrientes capacitivas tienen el efecto inverso en los niveles de tensión y producen aumentos de tensión.

Todas las instalaciones y equipos de corriente alterna que tengan dispositivos electromagnéticos, o devanados acoplados magnéticamente, necesitan corriente reactiva para crear flujos magnéticos. Los más comunes son los transformadores, inductancias, motores y los balastos de las lámparas de descarga.

4.4.1.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA A COMPENSAR

La potencia reactiva necesaria a compensar en las instalaciones de la planta se puede obtener a través de:

1. **ANÁLISIS DE LAS FACTURAS ELÉCTRICAS:** los datos necesarios son: la energía consumida en horas pico, que se debe verificar con la potencia contratada para realizar una aproximación a la cantidad de horas de trabajo de la instalación. El mínimo de facturas que se necesitan es de 3 consecutivas.
2. **ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN:** mediante un analizador de calidad de energía donde se registrará el consumo en potencia activa y reactiva, es aconsejable un mínimo de 7 días de mediciones.
3. **TOMA DE LECTURAS DEL MEDIDOR:** importante en este caso conocer el número de horas trabajadas y el número de máquinas en marcha.

Con estos métodos, se puede calcular una potencia de energía reactiva, para dimensionar la batería de condensadores adecuada.

4.4.2. DIMENSIONAMIENTO DE BANCO DE CAPACITORES

Mediante el ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA FLUKE 435, se obtuvieron los datos de cada uno de los parámetros eléctricos necesarios, tales como: potencia aparente (S), potencia activa (P), factor de potencia (FP).

El período de medición fue a partir del 05/06/2014 a las 11:25:18.361 hasta el 12/06/2014 a las 11:40:52.575.

Tabla IV.XXXI.. Valores min, med, max de las potencia activa, potencia aparente, y $\cos \phi$

	POTENCIA ACTIVA	POTENCIA APARENTE	Cos ϕ
MIN	386,667	2237,90	0,23
MED	4011,511	6577,32	0,65
MAX	10986,668	14826,668	0,74

Fuente: janeth Camacho (Autora)

En la base de datos obtenida mediante Microsoft Excel, se puede observar que el factor de potencia va variando en el período de tiempo de análisis, aquí el factor de potencia presenta valores por debajo del límite permitido (0,92); lo que implica una penalización.

4.4.3. DISEÑO DEL BANCO DE CONDENSADORES TRIFÁSICO

Con los parámetros eléctricos adquiridos se procederá a realizar el diseño del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la planta Industrial INDUCUERDAS.

Estos parámetros son los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia, los cuáles permitirán seleccionar el tipo de banco de condensadores a utilizar, se podrá seleccionar el valor de la potencia reactiva en kVAr del banco de condensadores, esta selección dependerá de la demanda de potencia reactiva y del factor de potencia de la empresa.

Con todo ello, las ventajas principales de la corrección pueden resumirse de la siguiente manera:

- Uso optimizado de las máquinas eléctricas;
- Uso optimizado de las líneas eléctricas;
- Reducción de las pérdidas;
- Reducción de la caída de tensión.

4.4.3.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA EN kVAr PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Este cálculo permitirá obtener el valor de los kVAr necesarios para no tener penalizaciones por un bajo factor de potencia y obtener beneficios técnicos-económicos. A continuación se muestra el proceso para obtener el valor de la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia.

Una vez conocido el factor de potencia de la instalación y el que se quiere obtener, es posible determinar la potencia reactiva necesaria de la batería de condensadores para alcanzar la corrección. Mediante la siguiente ecuación:

$$Q_c = \operatorname{tg}\varphi_i - \operatorname{tg}\varphi_f * P = k * P$$

Donde:

- P la potencia activa instalada
- φ_i el ángulo de desfase antes de la corrección
- φ_f el ángulo de desfase que se quiere obtener con la corrección

El factor k es un valor que se toma mediante la Tabla XXXII, permite calcular, dado el $\cos \varphi_i$ inicial, la potencia de la batería de condensadores en kvar por kW instalado necesaria para obtener un determinado factor de potencia. En un sistema trifásico, la batería de condensadores dimensionada, constituida por tres condensadores de igual capacidad, puede conectarse en triángulo o en estrella. A la hora de elegir la modalidad de conexión, hay que tener presente que en la conexión en triángulo cada capacidad está sujeta a la tensión de línea de alimentación, pero, a igual potencia reactiva generada, tiene un valor de un tercio del que tendría en la conexión en estrella.

$$Q_{cY} = Q_{c\Delta} \rightarrow C_Y = 3 * C_{\Delta}$$

En baja tensión, donde los problemas de aislamiento son menos relevantes, suele preferirse emplear la conexión en triángulo de la batería de condensadores, ya que permite un dimensionamiento inferior de las capacidades de cada fase. (13)²⁶

²⁶ ABB. Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 8 . Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. Sección 7.7. Determinación de la potencia reactiva necesaria. disponible en URL: www.abb.com [consulta 16 de julio de 2014].

Tabla IV. XXXII. Factor k (kvar/kw)

cosφ inicial	cosφ final												
	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.563	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas no. 8. Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. Abb

La potencia activa promedio es de 4011,51 a 380 V y un cos φ de 0,65 se quiere aumentar el factor de potencia a 0,98. De la tabla IV.XXXII., se toma la intersección del valor 0,65 de la columna de cos φ inicial con el valor de 0,98 de la columna cos φ final. Se obtiene un coeficiente de k de 0,966. Por lo tanto la potencia de la batería de condensadores Q_c es igual a:

$$Q_c = k * P = 0,966 * 4011,51 = 3875,12VAR$$

Tabla IV. XXXIII. Valores calculados de potencia reactiva *min, med, max*; necesaria para la corrección del factor de potencia

	POTENCIA ACTIVA (KW)	Cos φ	POTENCIA REACTIVA (KVAR)
MIN	386,667	0,23	373,52
MED	4011,511	0,65	3875,12
MAX	10986,668	0,74	10613,12

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

4.4.3.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE BANCO DE CONDENSADORES

La potencia reactiva que se debe compensar es variable de acuerdo a los cálculos de la Tabla.IV.XXXIII. razón por a cuál se decidió proponer la implementación de un banco de capacitores automático para realizar la corrección del factor de potencia.

Durante todo el período de análisis existen fluctuaciones del valor el factor de potencia, esto se debe a la cantidad de producción, al tiempo en que se encienden y apagan las máquinas, de acuerdo al proceso que se realice en cada área y de acuerdo a la cantidad de producción.

Se puede observar también como el factor de potencia va variando, presentando valores que están por debajo del límite permitido (0,92), lo cual implica penalización.

4.4.3.3. SELECCIÓN DE CONDENSADORES

Los valores de la Tabla IV.XXXIII. son los necesarios de potencia reactiva que necesitará la planta por día de trabajo (24 horas), para no incurrir en penalizaciones mediante un banco de condensadores. Estos valores se presentan en todo el período de análisis del 05 de junio al 12 de junio, notándose que los valores son variables, por ende si se alimenta con potencia reactiva máxima o media se tendrá siempre una sobrecompensación.

En el caso de realizar una compensación de demanda máxima con los 10613,12VAR; se tendrá una sobrecompensación durante todo el día ya que esta potencia reactiva no es requerida durante todo el período de análisis, por ejemplo: en el período donde se demande de potencia reactiva media se tendría una sobrecompensación y solo en el período donde se tenga una demanda de potencia reactiva máxima se la estará compensando.

Realizando una compensación fija con 3875,12VAR ésta se adaptará a la demanda de potencia reactiva media que hay en la planta, pero con la desventaja de que en ciertas horas el sistema eléctrico se encontraría sobrecompensado y subcompensado.

Al compensar la instalación en la que la potencia reactiva tiene muchas fluctuaciones, es conveniente analizar la utilización de una compensación que se adapte en cada momento a las necesidades de potencia reactiva de la instalación. Para conseguir esto se utilizará un banco de condensadores automático.

Mediante el concepto de compensación automática y aplicándolo al diseño del banco de condensadores automático, se pretenderá entregar a cada momento del día la potencia reactiva necesaria que requiere el sistema eléctrico de la planta, evitando una sobrecompensación o una subcompensación.

También hay que considerar un posible crecimiento de la planta, variación en carga, implementación de nueva tecnología en equipos, etc. Razones por las cuales debe considerarse dimensionar los capacitores con un 15-20% más.

$$\begin{aligned} Q_c &= k * P = 0,966 * 10986,668 = 10613,12VAR + 20\% = 12735,744VAR \\ &= 10613,12VAR + 15\% = 12205,088VAR \end{aligned}$$

Se necesitará una potencia reactiva de 12735,744VAr, la misma que permitirá asegurar un factor de potencia de 0,98 cuando se tenga una carga máxima, se utilizará para el diseño un banco de condensadores automático de 4,5KVAr, obteniéndose una potencia total de 13,5KVAr. Para la regulación eléctrica se empleará un equipo de control automático básico, con una resolución de 3 pasos (1:1:1), es decir se tendrá en condiciones de carga mínima una potencia de 4,5kVAr, y al conectar cada paso se completará los 13,5kVAr requeridos, permitiendo lograr un valor lo más cercano a 0,98.

Se ha seleccionado para el diseño un condensador Varpluscan de la marca schneider electric de 4,5KVAr, debido a que en el mercado local no se consiguieron de menor capacidad, y a mayor número de pasos el ajuste es más fino, logrando compensar más eficientemente la instalación pero con la desventaja que la inversión económica crece.

"Un banco de condensadores automático esta formadas básicamente por: Controlador de factor de potencia, Condensadores, Contactores. El controlador detectará las variaciones en el factor de potencia, y en función de estas fluctuaciones actuará sobre los contactores permitiendo la entrada o salida de los condensadores necesarios". (7)²⁷

El valor de los capacitores fijos depende del número de pasos previamente seleccionado, así como, de la cantidad necesaria en kVAR's para compensar el FP a 1. A mayor número de pasos, el ajuste es más fino, dado que cada paso del capacitor es más pequeño, permitiendo lograr un valor más cercano a 1, no obstante ocasiona un mayor costo. La conmutación de los contactores y sus capacitores individuales es controlada por un regulador (vámetro). (13)²⁸

²⁷ SCHNEIDER ELECTRIC. Compensación de energía reactiva, Capitulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

²⁸ CAPACITORES Y CORRECIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, ELEMENTOS DE LOS BANCOS AUTOMÁTICOS, s.f. <http://www.electropar.com.py/pdf/electricidad/Capacitores%20y%20correccion%20del%20Factor%20de%20Potencia.pdf>

Las características los condensadores Varpluscan se encuentran en el ANEXO B.



Figura IV.53. Características de los capacitores VarplusCan SDuty
Fuente: <http://www.schneider-electric.com.es>

4.4.3.4. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA

El controlador de factor de potencia es el encargado de detectar el factor de potencia, de obtener un bajo factor de potencia enviará una señal para activar los contactores, para que permitan suministrar potencia reactiva de acuerdo a las necesidades de la planta. Pero si detecta un factor de potencia mayor a 0,92 no accionará ningún contactor, asegurando que no se produzca una sobrecompensación al momento que se tenga una demanda de carga mínima, donde se requiere una potencia reactiva mínima.

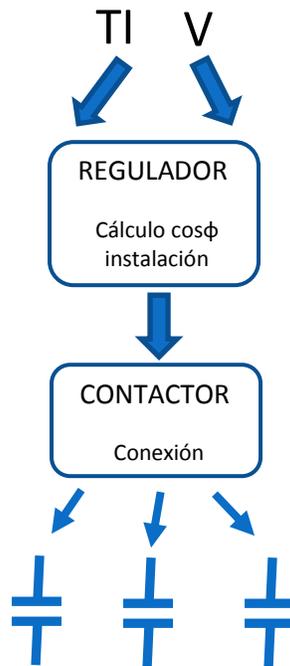


Figura IV.54. Esquema del controlador o regulador de factor de potencia
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

El controlador de factor de potencia, para el banco de capacitores de 4,5kVAR es el modelo Varlogic NR6 (marca Schneider electric) con contactos de salida de 6 pasos. Ver características en ANEXO C.

Controlador de factor de potencia Schneider Electric Varlogic NR6. El dispositivo es negro con un panel de control que incluye un display LCD y botones. El logo 'Schneider Electric' y 'Varlogic NR6' están visibles en la parte superior del panel.

CARACTERÍSTICAS	
MARCA	Schneider Electric
MODELO	Varlogic NR6
PASOS	6
VOLTAJE	220/480 VAC
FRECUENCIA	50/60 Hz
COMUNICACIÓN	RS-485

Figura IV.55. Características del banco del controlador de factor de potencia Schneider Electric Modelo Varlogic
Fuente: <http://www.schneider-electric.com.es>

Cuando se presente una demanda mínima de carga se necesitará un valor mínimo de potencia reactiva, debido a que el factor de potencia es cercano a la unidad, por consiguiente el controlador de factor de potencia necesita del ajuste del parámetro de sensibilidad C/K.

Se ha calculado un valor de $C/K=0,17$, esto significa que el controlador actuará cuando la instalación requiera una potencia reactiva mayor a 765VAr ($0,17*4,5KVAR=765VAr$), esto asegura que cuando la demanda sea menor no exista sobrecompensación.

El parámetro C/K permite accionar los pasos una vez disminuya el $\cos\phi$ y supere los 765VAr, accionando el primer paso de 4,5KVAR, si el controlador detecta un $\cos\phi$ promedio entonces accionará el segundo obteniendo 9KVAR, y cuando detecte el $\cos\phi$ mínimo se accionará el tercer paso, obteniendo 13,5KVAR. Pero si se detecta un factor de potencia mayor al fijado de 0,98, entonces dejará de entregar potencia reactiva al sistema.

4.4.3.5. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

Los datos principales a programar son:

- El $\cos\phi$ deseado en la instalación.
- La relación C/K (sensibilidad).

Estos datos son únicos para cada instalación y no se pueden programar de fábrica.

El C/K.- El controlador es el componente que decide la entrada o salida de los distintos escalones de potencia en función de 3 parámetros:

- **El Cosφ que se desea en la instalación.-** El Cosφ que existe en cada momento en la instalación.
- **La intensidad del primer escalón.-** es el que marca la regulación mínima del banco de condensadores.

La entrada de intensidad al regulador se efectúa siempre a través de un TI (transformador de intensidad de corriente) de relación X/5, para que el controlador pueda tomar la decisión de conectar o desconectar un escalón debe saber cuál va a ser la intensidad reactiva que se introducirá en la instalación, y esta intensidad debe estar referida al secundario del TI ya que es el valor que el controlador lee.

La forma de programar este valor es lo que se conoce como C/K y su fórmula es la siguiente:

$$\frac{C}{K} = \frac{Q1}{R_{TI} \sqrt{3} * V}$$

Donde:

C/K = sensibilidad

Q1= potencia reactiva del primer escalón (VAr).

V = tensión FF (fase-fase).

RTI = relación TI (X/5)

AJUSTE DEL Cos ϕ .- Este valor es el Cos ϕ objetivo, el que permitirá obtener un factor de potencia adecuado para no incurrir en penalizaciones. Para el caso de la planta INDUCUERDAS este valor será de 0,98.

CÁLCULO DEL C/K (SENSIBILIDAD).- El controlador de factor de potencia necesitará un segundo ajuste, que es el de sensibilidad, para lo cual se debe conocer el valor del primer escalón en kVAR y la relación de transformación de corriente del cual toma la señal.

El ajuste del C/K se lo consigue con la ecuación anterior para lo cual se tiene los siguientes datos: Q1 = 4,5KVAR y V = 380V. RTI = de la tabla del ANEXO C, se obtiene la corriente del secundario del transformador que es de 189,9A a 380V, se procederá a determinar en catálogos el transformador de corriente que existe en el mercado y se tiene uno de 150A entonces la relación es 200/5 = 40.

$$\frac{C}{K} = \frac{Q1}{R_{TI} \sqrt{3} * V}$$
$$\frac{C}{K} = \frac{4,5KVAR}{200/5 \sqrt{3} * 380}$$
$$\frac{C}{K} = 0,17$$

Al fijar el valor de C/K de 0,17 el condensador de 4,5 kVAR actuará únicamente cuando los requerimientos de potencia reactiva excedan los 765VAR (0,17*4500≈ 765), asegurándonos que cuando se presenta una demanda de carga mínima no se produzca una sobrecompensación. Además cuando el controlador de factor de potencia al detecte un factor de potencia mayor al fijado dejará automáticamente de entregar potencia reactiva al sistema eléctrico de la planta.

4.4.3.6. CONEXIÓN DEL REGULADOR DEL FACTOR DE POTENCIA

La manera de conectar el regulador de factor de potencia se muestra en la Figura IV.56, en la cual se indican cada una de las protecciones dimensionadas para el regulador de factor de potencia. Este es el diagrama que se empleará para el diseño del banco de condensadores en la planta INDUCUERDAS. Es necesario realizar la instalación complementaria de un transformador de intensidad que “lea” el consumo total de la instalación.

En la Figura IV.56. se muestra la ubicación del transformador de intensidad o de corriente que es la indicada para que el equipo funcione correctamente.

Para conexiones trifásicas, la entrada de voltaje debe conectarse entre dos fases; el transformador de corriente debe insertarse en la fase restante. La polaridad de la entrada amperiométrica no es relevante. Si se tiene en cuenta la conexión automática de escalones de condensadores, hay que asegurarse de que el condensador que vaya a entrar esté totalmente descargado. Generalmente las baterías automáticas están controladas por un regulador de energía reactiva que asegura que, a la conexión de un escalón, el condensador está descargado.
(7)²⁹

4.4.3.7. UBICACIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES

La ubicación del banco de capacitores es a la salida del interruptor general, en el tablero de distribución principal TDP, el cual corresponde al transformador de 125 KVA.

²⁹²⁹ SCHNEIDER ELECTRIC. Compensación de energía reactiva, Capítulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

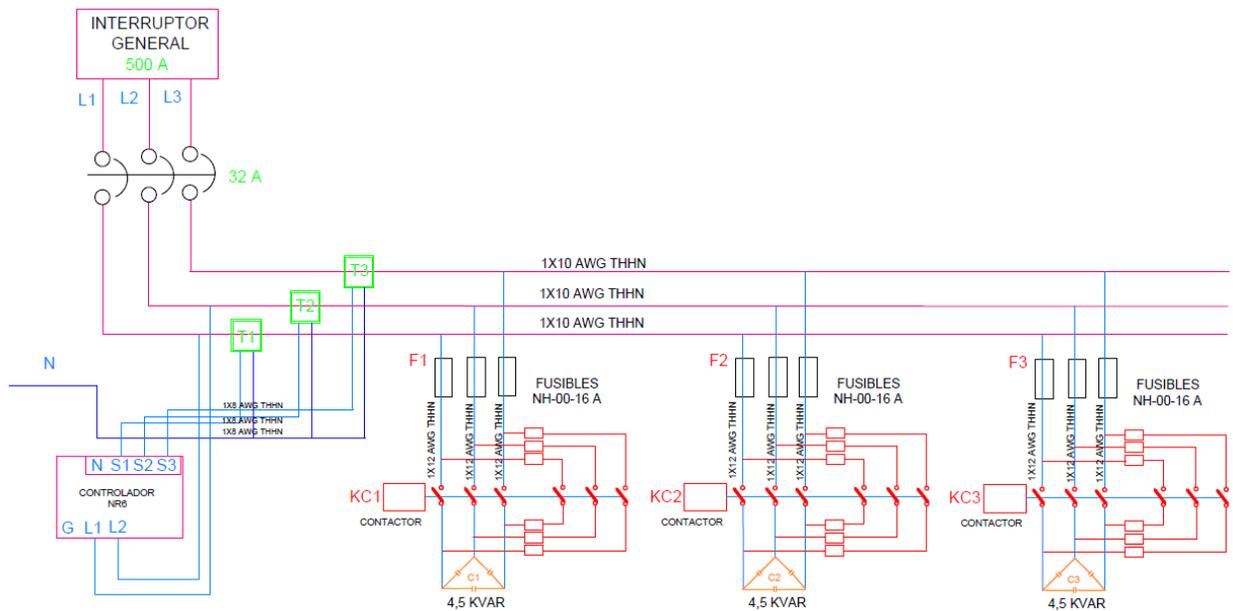


Figura IV. 56. Circuito de control y fuerza del banco de capacitores.
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

4.4.3.8. APARATOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN

Un condensador provoca grandes intensidades de carga que deben ser limitadas a 100 In. Lo desfavorable se presenta cuando existen otros condensadores en servicio que se descargan sobre el último en entrar. Para su elección se deberán tomar en cuenta tres funciones.

- El seccionamiento
- La protección contra cortocircuitos
- La conmutación

La solución más simple, confiable y compacta es la asociación de dos productos

- Un interruptor que garantice la función, seccionamiento y protección
- Un contactor para la función de conmutación.

Para la elección de estos dos productos se deberá considerar que la corriente de inserción de un condensador puede alcanzar valores muy elevados y la generación de armónicas provoca sobrecalentamientos de los aparatos.

Los dispositivos empleados para la protección de las baterías de condensadores deben ajustarse a las siguientes condiciones:

- 1. soportar las corrientes transitorias que tienen lugar con la inserción y la desconexión de la batería. Particularmente, las protecciones instantáneas de los relés de protección termomagnéticos y electrónicos no deben interferir con las corrientes de inserción; (9)*
- 2. soportar las sobrecorrientes periódicas o permanentes debidas a los armónicos de tensión y a la tolerancia admitida respecto al valor nominal de la capacidad; (9)*
- 3. estar coordinados con los eventuales aparatos de maniobra externos (contactores). (9)*

Además, la capacidad de cierre y de corte del interruptor debe ser proporcional al nivel de cortocircuito de la instalación. Las normas IEC EN 60831-1 e IEC EN 60931-1 afirman que: (9)

- los condensadores deben poder funcionar a régimen con una corriente de valor eficaz de hasta un 30% superior a su intensidad nominal I_{cn} (esto se debe a la posible presencia de armónicos de tensión en la red); (9)*
- se admite una tolerancia (variante 1 de las susodichas normas) del +10% respecto al valor de la capacidad en baterías de hasta 100 kvar y del +5% para baterías superiores a 100 kvar. (9)*

Por tanto, la corriente máxima que puede absorber la batería de condensadores I_{cmax} será:

$Q_c \leq 100 \text{ kvar}$

$$I_{cmax} = 1.3 * 1.1 * (Q_c / \sqrt{3} * U_n) = 1.43 * I_{cn}$$

$Q_c > 100 \text{ kvar}$

$$I_{cmax} = 1.3 * 1.05 * (Q_c / \sqrt{3} * U_n) = 1.365 * I_{cn}$$

Donde:

- Q_c es la potencia reactiva;*
- U_n es la tensión de línea nominal;*
- I_{cn} es la corriente nominal.*

En resumen, dependiendo de la potencia reactiva nominal de la batería de condensadores, para la correcta protección contra las sobrecargas:

- la corriente nominal del interruptor deberá ser superior a dichos valores;*

- *la regulación de la protección contra sobrecargas deberá ser igual a los valores indicados.*

La inserción de una batería de condensadores, comparable a un cierre de cortocircuito, va asociada a corrientes transitorias de elevada frecuencia (1÷15 kHz), de corta duración, con pico elevado (25÷200.lcn). (9)

Para la protección de la batería de condensadores:

- *el interruptor deberá estar dotado de una adecuada capacidad de cierre;*
- *la regulación de la protección instantánea contra cortocircuitos no deberá generar disparos intempestivos.*

La segunda condición es generalmente respetada:

- *por los relés de protección termomagnéticos, regulando la protección magnética I₃ a valores no inferiores a 10I_{cmáx}*

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{cmáx} \text{ (9)}^{30}$$

4.4.3.9. ELECCIÓN DE CONTACTOR

Es un elemento que permite realizar la conexión o desconexión de los condensadores, para que entreguen la potencia reactiva necesaria al sistema eléctrico de la planta. Para disminuir el efecto de la corriente de cierre, se conecta con una resistencia en paralelo con cada polo principal y en serie con un contacto de pre cierre que se desconecta en servicio. Esta asociación, permite limitar la corriente de cierre a 80 I_n max, y por otra parte reducir los riesgos de incendio.

Los condensadores con los circuitos a cuyos bornes están conectados, forman circuitos oscilantes que pueden producir en el momento de la conexión corrientes transitorias de elevada intensidad (>180 I_n) y de frecuencias elevadas (de 1 a 15 kHz). Para solucionar este problema sin tener que

³⁰ ABB. Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 8 . Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. Maniobra y protección disponible en URL: www.abb.com [consulta 16 de julio de 2014].

acudir a contactores extraordinariamente sobredimensionados se recomienda un contactor específicamente diseñado para el mando de condensadores.

Para el banco de condensadores automático se utilizará tres condensadores de 4,5KVAR. La corriente nominal por fase de un condensador trifásico viene dada por la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{KVAR}{\sqrt{3} * KV}$$

Donde:

I_n : Corriente de fase nominal

kVAR: Potencia reactiva nominal del condensador

kV: Voltaje Fase - Fase

La corriente nominal de cada condensador será:

$$I_n = \frac{4,5KVAR}{\sqrt{3} * 0,38kV}$$

$$I_n = 6,84 \text{ A}$$

Esta corriente se utilizará para realizar la elección del contactor y las protecciones del banco de condensadores automático.

Se utilizará tres contactores, que son especial para el mando de condensadores, el modelo del contactor seleccionado es el LC1DFK11F7 (marca Schneider electric) que satisface las demandas de diseño.

$$1,8I_n = 1,8 * 6,84A = 12,31 \text{ A}$$



Figura IV. 57. Contactor LCQDFKM7 marca Schneider electric

Fuente: <http://www.idcm.cl/SCHNEIDER%20ELECTRIC/varplus/descargas/folletovarpluscan.pdf>

4.4.3.10. ELECCIÓN DEL INTERRUPTOR

Deberán tomarse algunas precauciones:

- *Deberá ser un interruptor con protecciones termomagnética del tipo C60N/H o C120N/H.*
 - *El calibre de la protección deberá ser 1,43 veces la I_n de la batería, con el objeto de limitar el sobrecalentamiento producido por las armónicas que general los capacitores*
 - *Protección magnética.- se debe proteger contra cortocircuitos con corrientes al menos 10 veces la I nominal de condensador por lo que se debe utilizar Curva D en todos los casos.*
- (7)³¹

Para el banco de condensadores automático de 13,5 KVAR se utilizará un interruptor C60N de la marca schneider electric, este dispositivo permitirá el mando y protección contra sobrecargas y cortocircuitos en la instalación.

Para determinar la capacidad del interruptor principal tenemos la potencia total del banco de condensadores que es de 13,5 KVAR se utiliza la siguiente ecuación:

³¹ SCHNEIDER ELECTRIC. s.f. Compensación de energía reactiva, Capítulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

$$I_n = \frac{KVA_r}{\sqrt{3} * KV}$$

$$I_n = \frac{13,5 KVA_r}{\sqrt{3} * 0,38KV} = 20,51A$$

Aplicando lo expuesto en (7)³², tenemos

$$I_{nINTERRUPTOR} = 1,43 * I_{NBANCO}$$

$$I_{nINTERRUPTOR} = 1,43 * 20,51A$$

$$I_{nINTERRUPTOR} = 29,33 A$$

Por lo tanto se debe seleccionar un interruptor termo magnético de 29,33 A o uno de valor inmediato superior. Se eligió el interruptor magnetotérmico IC60N de 32A, del catálogo de la marca Schneider electric.



Figura IV. 58. Interruptor termo magnético trifásico

Fuente: Catalogo Schneider electric, capítulo 2, compensación de energía reactiva. <http://www.schneider-electric.com.ar/>

³² SCHNEIDER ELECTRIC. s.f. Compensación de energía reactiva, Capítulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar.> [consulta 10 de julio de 2014].

4.4.3.11. FUSIBLES INDIVIDUALES PARA CADA CONDENSADOR

Es necesario proteger cada fase del condensador con un fusible, lográndose de esta forma las exigencias de una protección por fusibles, con las siguientes ventajas:

- El fusible sacará de servicio al condensador averiado, permitiendo que el resto del banco quede en funcionamiento, y el cambio se podrá hacer en el momento oportuno.
- Previene daños a los condensadores cercanos que entren en falla, como también a instalaciones cercanas al banco.
- El fusible que haya actuado facilita una indicación visual de cuál ha sido la unidad que entro en falla, simplificando de esta forma las tareas de mantenimiento del banco de condensadores.

"Los fusibles deberán ser de alta capacidad de ruptura tipo gl, calibrados entre 1,6 y 2 veces la intensidad nominal, recomendado anteponer un seccionador o interruptor manual enclavado eléctricamente con el contactor para evitar que aquel realice maniobras bajo carga." (7)³³

Como el fusible va a proteger a cada condensador del banco de condensadores 4,5kVAr que tienen una corriente nominal calculada de 4,56 A aplicando la referencia anterior se tendrá:

$$I_{nINTERRUPTOR} = 1,7 * 6,84$$

$$I_{nINTERRUPTOR} = 11,63 A$$

³³ SCHNEIDER ELECTRIC. s.f. Compensación de energía reactiva, Capitulo 2 disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

Entonces se seleccionarán fusibles de 11,63A o uno del valor al inmediato superior y que existan en el mercado, eligiendo fusibles del tipo NH-00-16 (fusible tipo NH con base tipo 00 de 16A), para cada paso.

4.4.3.12. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Para el dimensionamiento de los cables de alimentación de los condensadores, deben dimensionarse teniendo en cuenta que su corriente nominal puede verse incrementada hasta un 30%. Entonces para dimensionar los conductores se utilizará la corriente nominal de cada condensador y también la corriente total del banco de condensadores.

Para la sección de los conductores de cada condensador, se tiene una corriente nominal del condensador de 4,5kVAR de 6,84 A.

$$I_{nCONDUCTOR} = 1,3 * I_{CONDENSADOR}$$

$$I_{nCONDUCTOR} = 1,3 * 6,84A$$

$$I_{nCONDUCTOR} = 8,89A$$

La corriente que deberá soportar el conductor de los condensadores es de 8,89 A, se seleccionará un conductor que tenga estas características de corriente o un valor al inmediato superior y que exista en el mercado, equivale a un conductor de calibre 12 AWG de tipo siliconado. Como el valor de los siguientes pasos KVAR son iguales se seleccionarán del mismo calibre.

Para la sección de conductor del banco de condensadores se procede de la misma manera tomando en cuenta el valor de la corriente total del banco de condensadores.

$$I_{nCONDUCTOR} = 1,3 * I_{BANCO CONDENSADOR}$$

$$I_{nCONDUCTOR} = 1,3 * 20,51A$$

$$I_{nCONDUCTOR} = 26,66 A$$

Utilizando la tabla de calibre de conductores de cobre, el conductor que satisface estas características de diseño es 10 AWG. Las características de los conductores de cobre se puede observar en el ANEXO D.

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION	ESP ESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.				Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.52	1 x 0.813	0.76	2.33	9.81	6	7	TF	A,E
18	0.82	1 x 1,02	0.76	2.54	13.16	6	7	TF	A,E
16	1.31	1 x 1,29	0.76	2.81	18.10	10	8	TF	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.76	3.15	26.10	20	15	TW	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.76	3.57	38.30	25	20	TW	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.76	4.11	57.40	40	30	TW	A,D
8	8.34	1 x 3,26	1.14	5.54	95.20	60	40	TW	A,B
14	2.08	7 x 0,62	0.76	3.38	27.80	20	15	TW	A,B
12	3.31	7 x 0,78	0.76	3.86	40.10	25	20	TW	A,C
10	5.26	7 x 0,98	0.76	4.46	59.90	40	30	TW	A,D
8	8.37	7 x 1,23	1.14	5.97	105.20	60	40	TW	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	1.52	7.69	170.40	80	55	TW	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1.52	8.92	255.50	105	70	TW	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1.52	10.45	388.90	140	95	TW	A,E
1	42.36	7 x 2,78	2.03	12.40	482.90	165	110	TW	A,D,E
1/0	53.49	19 x 1,89	2.03	13.51	621.00	195	125	TW	D,E,Z
2/0	67.43	19 x 2,12	2.03	14.66	778.00	225	145	TW	D,E,Z
3/0	85.01	19 x 2,39	2.03	16.01	934.00	260	165	TW	D,E,Z
4/0	107.20	19 x 2,68	2.03	17.46	1159.00	300	195	TW	D,E,Z
250	127.00	37 x 2,09	2.41	19.45	1368.00	340	215	TW	Z
300	152.00	37 x 2,29	2.41	20.85	1623.00	375	240	TW	Z
350	177.00	37 x 2,47	2.41	22.11	1876.00	420	260	TW	Z
400	203.00	37 x 2,64	2.41	23.30	2128.00	455	280	TW	Z
500	253.00	37 x 2,95	2.41	25.47	2631.00	515	320	TW	Z
600	304.00	37 x 3,23	2.79	28.19	3174.00	575	355	TW	Z
650	329.00	37 x 3,37	2.79	29.17	3345.00	600	370	TW	Z
700	355.00	37 x 3,49	2.79	30.01	3609.00	630	385	TW	Z

Figura IV. 59. Tabla para la Sección de alambres de cobre
Fuente: Electro Cabes – DISENSA ECUADOR. www.disensa.com

En la figura IV.60. se puede observar los conductores a utilizarse en el circuito de fuerza del banco de condensadores.

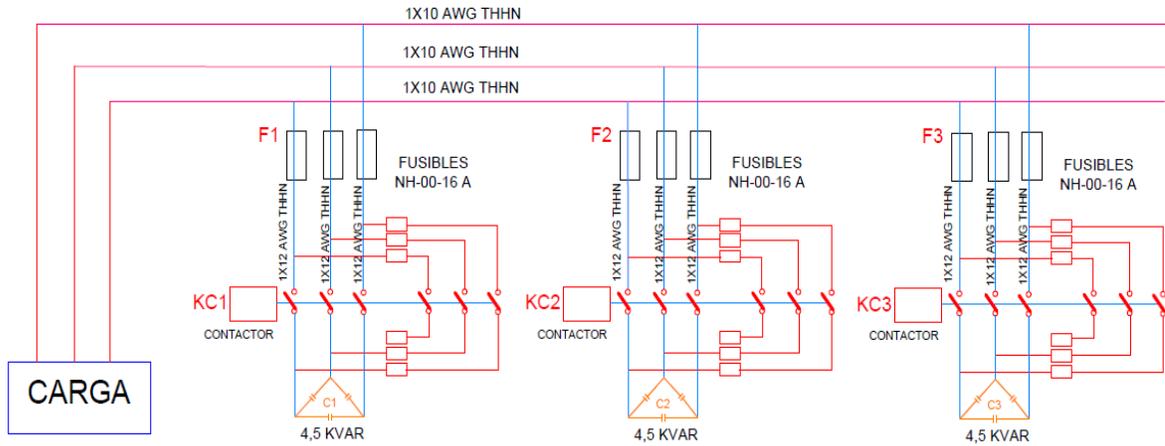


Figura IV. 60. Diagrama con los Calibres de conductores del circuito de fuerza
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

4.4.3.13. GABINETE

El gabinete es un elemento en donde se encontrarán los condensadores, aparatos de maniobra, de protección y por ende debe tener las medidas adecuadas de acuerdo al tamaño de los elementos que se utilizaran, además deberán contar con una buena ventilación. El Gabinete eléctrico a ser utilizado será de 60x80x30.

4.4.4. ELEMENTOS EXTERNOS DEL BANCO DE CAPACITORES

El equipo de compensación automático y del controlador de factor de potencia necesitan para su funcionamiento de la toma de datos de la instalación; estos son los elementos externos que le permitirán actuar correctamente al equipo:

4.4.4.1. LECTURAS DE INTENSIDAD

El equipo de compensación requiere de la conexión de un transformador de intensidad (TC) que lea el consumo de la totalidad de corriente de la instalación y que esté en relación a la corriente del sistema.

De acuerdo a la Tabla I.II. del capítulo I, la corriente del secundario del transformador es de 189,9 A, requiriéndose un TC de 189,9 A o uno de valor al inmediato superior.

4.4.4.2. LECTURA DE TENSIÓN

Normalmente se incorpora en el propio banco de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor. Esta información de la instalación (tensión e intensidad), le permite al controlador efectuar el cálculo del $\text{Cos}\phi$ existente en la instalación en todo momento; y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones (pasos) de potencia reactiva.

4.4.4.3. SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Se debe conectar un transformador de intensidad (TC) que lea el consumo de la totalidad de corriente de la instalación, esto se logrará con un transformador de corriente que esté en relación a la corriente del sistema. La corriente del secundario del transformador de la planta es de 189,9 A, por ende se necesitará un CT de 189,9 A o uno de valor al inmediato superior. Basándose en el catálogo de Schneider electric, se seleccionará el transformador de corriente con una relación de 200/5 que es el que más se acerca al valor deseado.

La inversión que se necesita para la corrección del factor de potencia se muestra en la tabla IV.XXXIV.

Tabla IV.XXXII. Costo de la inversión para la corrección del factor de potencia

COSTO DE MATERIALES			
CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
3	CONDENSADORES VarplusCan HDuty BLRCS050A060B40 DE 4,5KVAr	101,98	305,94
1	REGULADOR DE F.P. VARLOGIC NR6 DE 6 PASOS	518,56	518,56
3	CONTACTORES TRIFÁSICO LC1-DFKM7 12,5KVAr	69,50	208,50
5	FUSIBLES TIPO NH-00-16	15,00	45,00
1	INTERRUPTOR GENERAL TERMOMAGNÉTICO IC60N 32A	33,80	33,80
3	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 200/5 METSECT5CC020	160	305,94
6m	CONDUCTOR 12 AWG siliconado para banco de condensadores	1,80	10,80
8m	CONDUCTOR 12 AWG-THHN para conexión del banco a la carga	0,35	2,80
7m	CONDUCTOR 10 AWG-THHN para circuito de fuerza	0,35	2,45
3m	CONDUCTOR 8 AWG-THHN para circuito de mando	0,35	1,05
7m	CABLE DESNUDO 6 AWG para conexión a tierra	4,50	112,50
1	GABINETE ELÉCTRICO 60x80x30	195,00	195,00
	MATERIALES VARIOS	150,00	150,00
		SUBTOTAL	1779,84
		IVA 12%	213,58
		TOTAL	1993,42

Fuente: catálogos de Schneider electric

4.5. SOLUCIONES PARA ATENUAR ARMÓNICOS

Para evitar la propagación de los armónicos en la red eléctrica, es necesario tomar varias medidas, especialmente cuando se diseña una instalación nueva.

4.5.1. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CARGAS PERTURBADORAS AL INICIO DE LA RED

Las perturbaciones armónicas se incrementan a medida que la potencia de cortocircuito disminuyen, si dejamos de lado el tema económico es preferible la conexión de las cargas

perturbadoras antes del resto de cargas. Cuando se empieza a elaborar el diagrama unifilar es recomendable separar los equipos perturbadores de los otros. Al agrupar las cargas perturbadoras, se incrementa la posibilidad de recomposición angular, debido a que la suma vectorial de las corrientes armónicas es menor que la suma algebraica. Debe evitarse que exista circulación de corrientes armónicas en los conductores, así podremos limitar las caídas de tensión y el incremento de la temperatura en los cables.

4.5.2. SEPARANDO LAS FUENTES

Una mejora contra los armónicos se puede obtener mediante la alimentación de las cargas lineales y no lineales, con transformadores separados, pero el inconveniente es que el costo de la instalación se incrementa.

4.5.3. USO DE TRANSFORMADORES CON CONEXIONES ESPECIALES

Para la eliminación de ciertos armónicos, se usan algunas conexiones especiales en los transformadores, el orden de los armónicos eliminados dependerá del tipo de conexión a implementar.

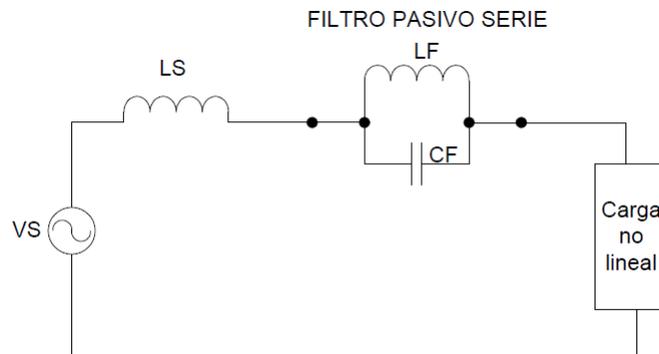
La conexión delta-estrella-delta elimina la quinta y séptima armónica, una operación delta-estrella elimina los armónicos de tercer orden que circulan por cada una de las fases y reforman el neutro por el transformador, la conexión delta-zigzag elimina los armónicos de quinto orden.

4.5.4. FILTROS PASIVOS

Existen dos configuraciones de filtro pasivo que permitirá atenuar los distorsión armónica que generan las cargas no lineales: los filtros serie y los filtros shunt o paralelo

4.5.4.1. FILTROS PASIVOS EN SERIE

Es denominado así porque la estructura de una rama del filtro en serie consta de un elemento inductivo y otro capacitivo conectado en paralelo, pero su implementación se lo realiza en serie con la carga no lineal.



*Figura IV. 61. Filtro pasivo de potencia en serie
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana*

Éste circuito tiene una impedancia Z_F la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$Z_F = \frac{X_{LF} * X_{CF}}{X_{LF} + X_{CF}}$$

Para la señal que tenga la frecuencia que iguale al denominador a 0 evitando así el paso de la perturbación, y si hacemos que el filtro se comporte como un circuito abierto entonces:

$$X_{LF} + X_{CF} = 0$$

Surge la ecuación para encontrar la frecuencia que hará resonar el filtro, en un circuito LC paralelo, presentando una resistencia infinita en sus terminales.

$$\omega_n = 2\pi f_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

El filtro serie evita el paso de la señal que esté compuesta por la frecuencia a la que el filtro este sintonizado, disminuyendo las perturbaciones existentes en la señal enviada desde la carga.

4.5.4.2. FILTROS PASIVOS SHUNT O PARALELO

Se denomina así debido a que la implementación del circuito se realiza en paralelo a la carga no lineal, el elemento inductivo y el capacitivo se encuentran conectados en una rama en serie.

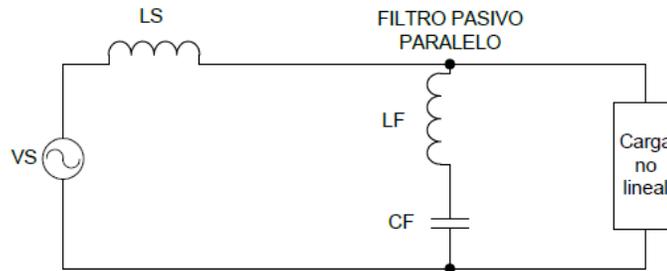


Figura IV. 62. Filtro pasivo de potencia shunt o paralelo
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana

La impedancia del filtro shunt paralelo se presenta como ZF

$$Z_F = X_{LF} + X_{CF}$$

El objetivo del filtro Shunt paralelo es servir como ruta de descarga hacia tierra para las señales armónicas, la impedancia total del filtro debería ser cero.

$$X_{LF} = X_{CF}$$

La frecuencia de resonancia del filtro con una resistencia mínima en sus terminales se halla con la siguiente ecuación.

$$\omega_n = 2\pi f_n = \frac{1}{LC}$$

Para lograr una gran disminución en las perturbaciones de varias componentes armónicas es necesario la utilización de varias ramas, cada de estas debe ser sintonizada a una frecuencia de las corrientes armónicas que conforman la perturbación, presentando una ruta de impedancia mínima para que la corriente armónica se descargue hacia tierra, evitando que las perturbaciones viajen hacia la fuente.

4.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FILTRO PASIVO DE POTENCIA

Entre las desventajas que se pueden presentar están:

- Si las cargas no lineales cambian su comportamiento no se adaptarán al circuito, produciendo que la atenuación de las corrientes armónicas no se realicen en forma eficiente.
- Al cambiar la topología de la red también cambiará el comportamiento del filtro pasivo a causa de la impedancia de la fuente, ocasionando variaciones en la frecuencia de resonancia del filtro.

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_S + L_F} C}$$

- La principal ventaja es que los filtros pasivos tienen una tecnología ya conocida, y la inversión en su costo es razonable.

La ubicación de los filtros pasivos se debe realizar bajo los criterios de existencia de cargas altamente contaminantes y la existencia de cargas armónicas distribuidas, pueden ser ubicados de dos maneras:

1. En media tensión en el transformador con el objetivo de disminuir las pérdidas del sistema a causa de la circulación de corrientes armónicas en cargas distribuidas.
2. En baja tensión cerca de las cargas no lineales, para reducir la propagación de componentes armónicas de corriente al sistema, de esta manera el transformador sirve de amortiguador o de aislante de armónicos, tanto de las corrientes armónicas provenientes de otras cargas como las corrientes generadas por la carga, aislando el problema.

4.5.6. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

Los filtros activos también denominados acondicionadores de línea o acondicionadores de red o simplemente acondicionadores, están basados en convertidores de electrónica de potencia, su finalidad es cancelar los armónicos de tensión y las corrientes armónicas, otras de sus funciones son la corrección del factor de potencia, y el suministro de energía a una carga crítica en intervalos breves de tiempo.

Las corrientes armónicas que demandan las cargas no lineales producen distorsiones en la tensión en el punto de conexión común con otras cargas, esto se debe a que la impedancia de cortocircuito de la Red tiene un valor finito. Una solución a este problema es la colocación de un equipo que genere corrientes armónicas que demanden las cargas, para evitar la circulación por la red eléctrica, esto se realiza mediante la inserción de filtros pasivos en paralelo con la carga, pero la variedad de armónicos a compensar o la interacción con las características de impedancia con la red hacen que no sea la solución más óptima, por ello es necesario la implementación de filtros

activos de corriente basados en convertidores estáticos de potencia, de tal manera que las cargas no lineales y el filtro activo sea visto como un conjunto por parte de la red.

Los filtros activos tienen como objetivo principal compensar la variable eléctrica deseada en tiempos inferiores al ciclo de tensión de la red, con el requerimiento de no introducir armónicos adicionales,

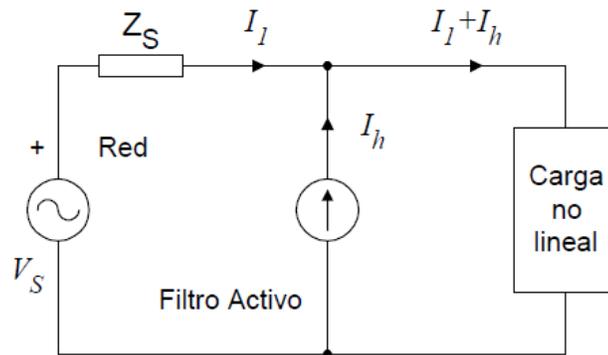


Figura IV.63. Circuito equivalente para el filtro activo de corriente en paralelo
Fuente: tesis filtros activos híbridos para compensación armónica de corriente y corrección de factor de potencia en sistemas trifásicos. CENEDIT. Cuernavaca, México

También es posible combinar topologías de filtros activos de corriente con filtros pasivos, estas configuraciones son llamadas híbridas.

Existen dos tipos de filtros activos de potencia los filtros activos de potencia en serie y los filtros activos de potencia en paralelo.

4.5.6.1. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA EN SERIE

Es recomendable la utilización de un filtro activo en serie cuando el voltaje de la red eléctrica es causado por armónicas y se encuentra muy distorsionado, este filtro compensará la red a la fuente

de armónicos entregando a la carga un voltaje con la componente fundamental. También puede bloquear las corrientes armónicas que se generan en las cargas no lineales.

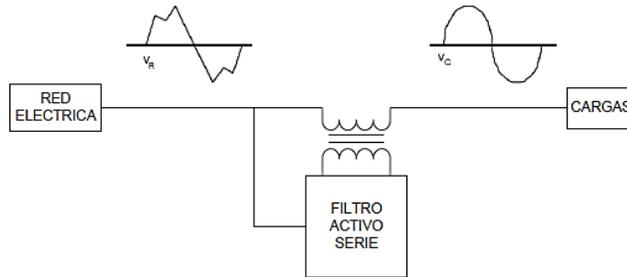


Figura IV. 642. Representación gráfica de un Filtro activo de potencia en serie
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana

4.5.6.2. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA EN PARALELO

Este sistema puede diseñarse como una fuente de corriente controlada que suministrará una intensidad de compensación en paralelo con la carga, posee una etapa de control que utiliza como referencia de la intensidad deficiente generada por las cargas no lineales, luego procesa la señal para que sea controlada por el circuito de potencia que generará las corrientes de compensación, evitando que circulen por el resto del sistema eléctrico de distribución, incrementando la capacidad del sistema para transmitir energía útil.

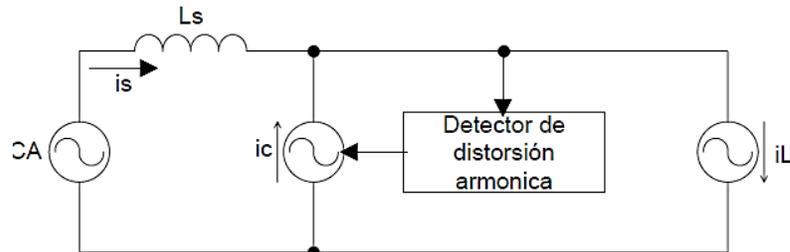


Figura IV.65. Representación gráfica de un Filtro activo de potencia en paralelo
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana

4.5.6.3. VENTAJAS FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

Los filtros activos de potencia están compuestos por una fuente de corriente controlada mediante la cual pueden suministrar corrientes de cualquier amplitud, fase y frecuencia, lo que les permite adaptarse al comportamiento de las cargas y de las instalaciones eléctricas sin producir resonancia con el filtro.

4.5.7. FILTROS HÍBRIDOS

El filtro híbrido es una combinación de los filtros pasivos y activos, configuración que les permite reducir el tamaño y el costo de los filtros con parte activa, conservando las ventajas frente a los filtros pasivos.

4.5.7.1. FILTROS HÍBRIDO EN SERIE

Está compuesto por un filtro activo conectado en serie con la impedancia de la fuente y el filtro pasivo se encuentra en paralelo con la carga. Permite la reducción de armónicos de tensión en la carga, regular la tensión, reducir los flickers y los micro cortes de tensión.

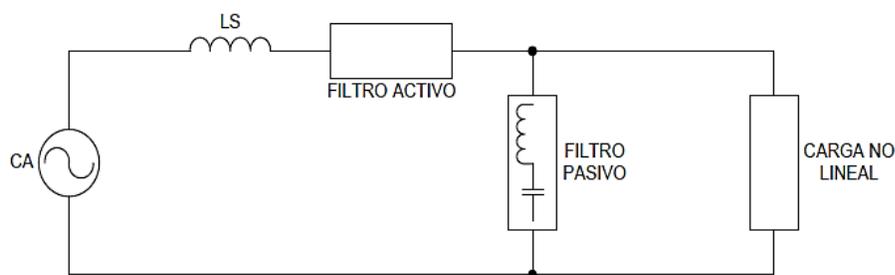


Figura IV.66.. Representación gráfica de un Filtro híbrido en serie
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana

4.5.7.2. FILTROS HÍBRIDO EN PARALELO

Esta configuración consta de un filtro activo y un filtro pasivo que se conectan en serie formando el híbrido, para posteriormente conectarse en paralelo con la carga no lineal. Este tipo de filtros permiten reducir los armónicos de corriente, compensar el factor de potencia y suprimir la corriente por el neutro.

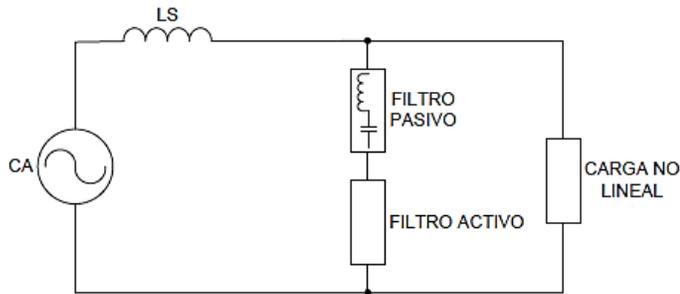


Figura IV.67. Representación gráfica de un Filtro híbrido en serie
Fuente: Tesis Calidad de energía. Politécnica Salesiana

4.6. SOLUCIÓN PARA LA ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS

Para la atenuación se utilizará una compensación centralizada, en donde se colocará un filtro activo de eliminación de armónicos.

El equipo a utilizar para la compensación es el modelo AccuSine de Schneider electric, el cuál ha sido seleccionado en base al costo, variedad de potencias disponibles, amplio rango de eliminación de armónicos de corriente, contribución a la mejora del factor de potencia y además incluye el gabinete eléctrico lo cual simplifica su instalación.

Los datos para el cálculo del filtro activo se pueden tomar de la tabla IV.XXXV.

Tabla IV.XXXVII. Valores de las potencia activa y potencia aparente promedio

	POTENCIA ACTIVA	POTENCIA APARENTE
MIN	386,667	2237,90
MED	4011,511	6577,32
MAX	10986,668	14826,668

Fuente: janeth Camacho (Autora)

4.6.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE FILTRO ACTIVO PARA LA ELIMINACION DE ARMÓNICOS

Los datos que se necesitan para el dimensionamiento del filtro son: el nivel de voltaje en donde se instalara el equipo y a potencia reactiva a manejar. Para seleccionar el filtro activo se debe obtener la potencia reactiva promedio a través de la siguiente ecuación.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$14826,668^2 = 10986,668^2 + Q^2$$

$$Q = 9956,064 \text{Var}$$

$$THD_i\% = \frac{I_{CC}}{I_L} = \frac{41,67}{189,92} = 21,94\%$$

$$I_L = \frac{I_{CC}}{THD_i \text{ deseado}} = \frac{41,67}{0,1} = 416,7 \text{ A}$$

$$I_{FILTRO \text{ CORRECCION}} = 416,7 - 189,92 = 226,78 \text{ A de corrección}$$

De acuerdo a los datos obtenidos mediante los cálculos necesitamos un filtro activo que inyecte una corriente armónica de corrección de 226,78 A, según la Tabla IV. XXXVI. Para elección del filtro

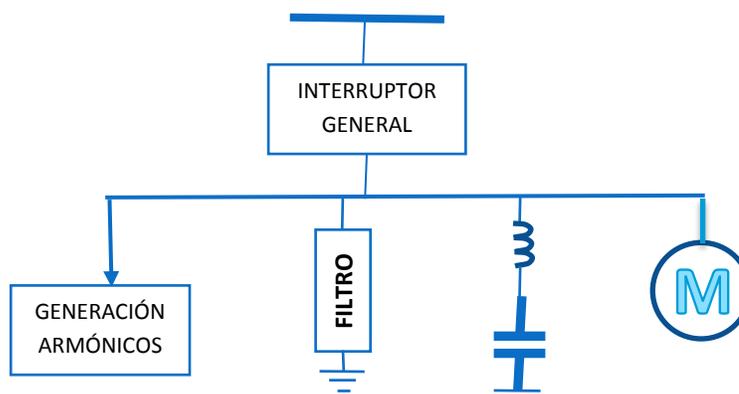
de schneider electric el valor próximo es el filtro de 300 A, que traducido en potencia reactiva máxima da 207,8 KVAR.

Tabla IV. III. Tabla de valores para la selección del filtro activo

CORRIENTE NOMINAL A (RMS)	MÁXIMA POTENCIA REACTIVA (KVAR)		
	208 VAC	400VAC	480V
50	18	34,8	41,8
100	38	88,2	83,1
300	108	207,8	249,4

Fuente: Catalogo Schneider electric, Accu Sine filtro activo de armónicos. <http://www.schneider-electric.com.ar/>

Este equipo al igual que el banco de capacitores debe ubicarse en el lado de baja tensión del transformador, para lograr una eliminación global de los armónicos. Ver figura IV.68.



Fuente: janeth Camacho (Autora)
Figura IV.68. Instalación del filtro activo en la red

4.7. SOLUCIÓN PARA EL DESBALANCE DE CORRIENTE

Existen varias medidas con diferentes grados de complejidad técnica para reducir los efectos del desbalance de corriente.

La primera solución es reorganizar o redistribuir las cargas, de tal manera que el sistema quede equilibrado. Para reducir la influencia de las corrientes de secuencia negativa que provocan caídas de voltaje de alimentación, se necesita de una baja impedancia interna del sistema.

En el sistema existe la presencia de cargas monofásicas correspondientes a iluminación, equipos de oficina, equipos de taller y un par de electrodomésticos, los cuales se encuentran sobrecargados hacia dos de las líneas, produciendo un desbalance de cargas.

La solución consiste en distribuir las cargas equilibradamente entre las fases, para hacer que la corriente en el conductor neutro sea lo más baja posible, éste trabajo conlleva la necesidad de elaborar cronogramas de actividades para el apagado por áreas de producción y la utilización de equipos de medición para comprobar el correcto balance de cargas.

4.8. BENEFICIO ECONÓMICO DE CONTAR CON UNA BUENA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

El mejorar la calidad de energía eléctrica, no significa una reducción en la facturación de la energía eléctrica, sino, se trata de evitar paros inesperados en la maquinaria, que ocasionan retrasos en la producción, desperdicios en la materia prima, averías de equipos electrónicos, que finalmente representan costos superiores al bajo factor de potencia.

4.9. PROYECCIÓN DE MEJORAS EN CONSUMO ENERGÉTICO.

Tener un bajo factor de potencia conlleva a tener inconvenientes en el consumo de potencia reactiva, ya que el sistema consume más de lo que necesita, al corregirlo reducimos la presencia de armónicos en la red y disminuye la corriente rms.

La tabla IV.XXXVII. contiene una muestra de 20 datos provenientes del equipo analizador de calidad de energía eléctrica, con el objeto de mostrar la ventaja que se adquiere al mejorar el factor de potencia. La tabla muestra valores de factor de potencia actuales y el valor aproximado que se va a obtener con la instalación del banco de capacitores automático se realizó el cálculo de la corriente de línea promedio considerando la potencia actual versus la potencia obtenida al implementarse el banco de capacitores, la última columna muestra los valores de corriente mejorados. Se puede apreciar que existe una disminución en la corriente de línea lo cual traerá consigo disminución en pérdidas eléctricas por calentamiento de conductores y por ende el incremento de capacidad de conducción en cables.

Tabla IV. IVVII. Proyección de valores en corriente actuales y futuros después de la corrección del factor de potencia

POTENCIA ACTIVA	F.P. ACTUAL TOTAL	TENSION	F.P. CORREGIDO	CORRIENTE ACTUAL	CORRIENTE CORREGIDA
1373,33	0,32	208,78	0,98	11,87	3,88
5373,334	0,61	209,69	0,98	24,25	15,10
1720	0,33	209,25	0,98	14,38	4,84
1346,667	0,33	208,76	0,98	11,29	3,80
1306,667	0,33	207,78	0,98	11,00	3,70
5626,667	0,64	207,57	0,98	24,45	15,97
1213,333	0,36	208,62	0,98	9,33	3,43
4746,667	0,56	209,17	0,98	23,40	13,37
5933,334	0,69	208,62	0,98	23,80	16,76
6600,001	0,66	209,3	0,98	27,58	18,58
213,333	0,57	224,01	0,98	0,96	0,56
7906,667	0,75	216,73	0,98	28,08	21,49
8200,001	0,77	214,79	0,98	28,63	22,49
8186,667	0,74	214,8	0,98	29,74	22,45
8266,668	0,71	220,36	0,98	30,51	22,10
8880,001	0,71	218,95	0,98	32,98	23,89
10040,001	0,74	217,21	0,98	36,06	27,23
7680,001	0,72	217,38	0,98	28,33	20,81
10986,668	0,74	217,37	0,98	39,43	29,78
9680,001	0,7	216,86	0,98	36,82	26,30
8666,668	0,71	214,53	0,98	32,85	23,80

Fuente: janeth Camacho (Autora)

El equipo de medición FLUKE 435 también nos brinda los datos de distorsión total armónica en voltaje, corriente y potencia actuales, en la Tabla IV.XXXVIII. se presenta una muestra de 20 datos. La reducción se logrará a partir de la implementación del filtro activo AccuSine. La principal ventaja que ofrece es una reducción en la corriente rms total, se eliminará la componente adicional que genera los armónicos. De esta forma se logrará disminuir pérdidas por calentamiento en conductores y devanados, pérdidas en el núcleo del transformador, consiguiendo importantes ahorros de energía.

Tabla IV. VXXVIII. Valores de % distorsión armónica en voltaje, corriente y potencia.

THD V L1N Max	THD V L2N Max	THD V L3N Max	THD V TOTAL PROMEDIO	THD A L1 Max	THD A L2 Max	THD A L3 Max	THD A TOTAL PROMEDIO	THD W L1N Max	THD W L2N Max	THD W L3N Max	THD W TOTAL PROMEDIO
1,52	1,4	2	1,64	192,34	227,32	171,88	197,18	0,4	2,72	3,37	2,16
1,53	1,37	2,01	1,64	281,3	268,06	237,46	262,27	0,42	2,69	3,48	2,20
1,56	1,41	2,01	1,66	249,87	245,32	208,1	234,43	0,4	2,71	3,44	2,18
1,53	1,38	2	1,64	299,48	325,26	281,61	302,12	0,4	2,89	3,42	2,24
1,72	1,55	2,01	1,76	327,67	327,67	327,67	327,67	0,44	4,22	4,03	2,90
1,66	1,49	1,96	1,70	327,67	327,67	327,67	327,67	0,41	4,12	7,04	3,86
1,65	1,44	1,97	1,69	327,67	118,27	263,67	236,54	0,41	4,24	4,34	3,00
2,65	2,08	2	2,24	107,09	253,23	61,1	140,47	14,21	7,12	32,24	17,86
2,69	2,1	2	2,26	289,1	182,48	168,01	213,20	14,49	6,8	10,3	10,53
2,68	2,07	1,97	2,24	157,65	153,12	121,14	143,97	15,59	7,29	53,58	25,49
3,32	3,22	3,71	3,42	85,69	127,19	327,67	180,18	1,19	9,67	10,36	7,07
3,33	3,23	3,66	3,41	85,04	127,29	327,67	180,00	1,18	9,48	9,66	6,77
3,22	3,12	3,57	3,30	84,27	127,15	327,67	179,70	1,12	9,21	34,69	15,01
3,22	3,1	3,56	3,29	83,39	126,91	327,67	179,32	1,14	9,63	11,38	7,38
3,21	3,07	3,51	3,26	83,13	126,81	327,67	179,20	1,22	9,35	9,43	6,67
3,09	2,97	3,38	3,15	81,85	125,5	327,67	178,34	1,12	9,07	8,85	6,35
3,03	2,84	3,3	3,06	80,82	124,81	327,67	177,77	1,06	8,64	9,06	6,25
2,88	2,63	3,22	2,91	80,08	123,96	327,67	177,24	0,95	7,86	9,15	5,99
3,09	3,03	3,45	3,19	81,83	126,19	327,67	178,56	1,05	9,2	8,66	6,30
2,94	2,81	3,29	3,01	79,82	122,16	327,67	176,55	0,97	8,1	8,63	5,90
2,83	2,59	3,15	2,86	78,94	120,87	327,67	175,83	0,91	7,83	14,65	7,80
1,8	1,57	2,1	1,82	76,37	122,45	327,67	175,50	0,61	5,2	4,96	3,59

Fuente: janeth Camacho (Autora)

4.10. PROYECCIÓN DE MEJORAS EN CALIDAD DE ENERGÍA

Actualmente las grandes empresas se encuentran implementando sistemas para el mejoramiento de la calidad de energía, debido a los inconvenientes que se han presentado por ejemplo detener un proceso de producción en serie, daño de los equipos debido a sobrecalentamientos, interrupciones continuas del fluido eléctrico, parpadeos o flickers, etc. Se ha tomado mucha atención a la calidad de energía eléctrica debido a los problemas que se originan por detenerse los procesos de producción, dados en los equipos debido al calentamiento.

El presente estudio utiliza este criterio pretendiendo brindar confiabilidad en el sistema eléctrico, garantizando que el proceso de producción no se detenga, reduciendo pérdidas económicas e incrementando la vida útil de equipos e instalaciones eléctricas en la planta.

Las corrientes armónicas pueden ocasionar problemas de distorsión, lo cual se refleja en la operación errática del equipo computarizado, sobrecalentamiento de los conductores fallas prematuras en los equipos, disparo de interruptores. En los transformadores el efecto son incremento en las pérdidas en el cobre y en el hierro, consecuencia del envejecimiento prematuro del mismo, a causa de sobrecalentamiento producido por el incremento de las pérdidas. El incremento depende de la frecuencia, por lo tanto las componentes armónicas de alta frecuencia pueden ser más importantes que los de baja frecuencia causando calentamiento en los transformadores.

La implementación de las soluciones propuestas para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial INDUCUERDAS, se encuentran basadas en el criterio de confiabilidad en el sistema eléctrico, ya que se lograrán reducir los riesgos involucrados en la para

de un proceso, evitar la disminución de la vida útil de los equipos, calentamientos excesivos de conductores, gastos por mantenimientos de maquinarias y equipos, sobretodo disminuir los valores de las planillas eléctricas evitando penalizaciones.

4.11. PUESTAS A TIERRA

Tener un sistema de puesta a tierra es de suma importancia, ya que la principal función que realizan consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen en caso de una corriente transitoria peligrosa.

El sistema de puesta es muy importante en la calidad de la energía eléctrica, debido a que muchos de los problemas en la operación de equipos electrónicos se deben a prácticas inadecuadas de puesta a tierra.

Una conexión a tierra eficiente es responsable de la preservación de la vida humana, maquinarias, aparatos y líneas de gran valor, razones por las cuales debe insistirse y exigirse una instalación a tierra, eficaz y adecuada a su servicio para seguridad, buen trabajo y preservación

El término tierra se refiere a todas las características que interviene en la puesta a tierra incluyendo: seguridad, caminos de retorno de las corrientes de falla, ruido de modo común, protección ante descargas atmosféricas y otros impulsos, barra de cero lógico, apantallamiento, estática, para mitigar el riesgo de choque a las personas y para establecer un sistema de referencia.

4.11.1. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA:

- Habilitar la conexión a tierra en sistemas con neutro a tierra.
- Proporcionar el punto de descarga para las carcasas, armazón o instalaciones.
- Asegurar que las partes sin corriente, tales como armazones de los equipos, estén siempre a potencial de tierra, aun en el caso de fallar en el aislamiento.
- Proporcionar un medio eficaz de descargar los alimentadores o equipos antes de proceder en ellos a trabajos de mantenimiento.
- Brindar seguridad a las personas.
- Proteger a las instalaciones, equipos y bienes en general, facilitando y garantizando la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Establecer un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación

4.11.2. RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, siendo importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores

Influyen varios factores en la resistividad del terreno que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: Naturaleza del Terreno, Humedad, Temperatura, Salinidad, Estratigrafía, Compactación y las Variaciones estacionales.

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras.

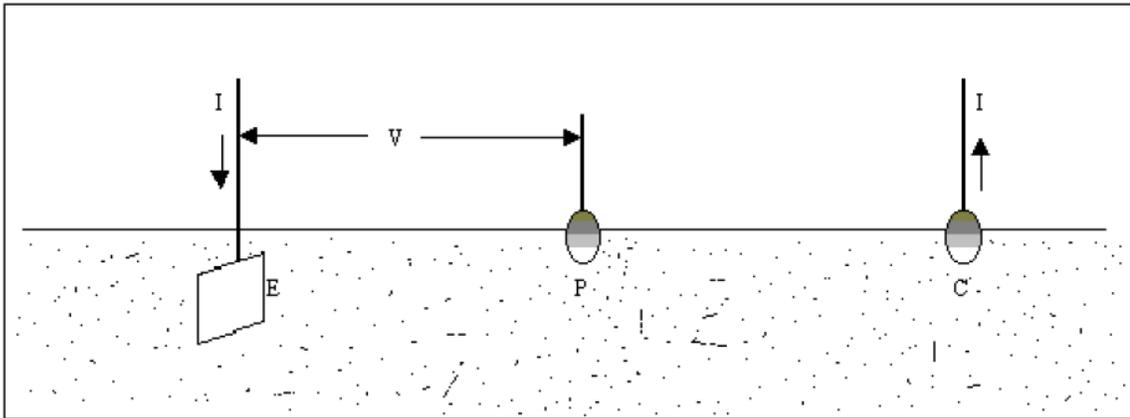
Los electrodos pueden ser artificiales o naturales, los electrodos artificiales son utilizados con el objeto de obtener la puesta a tierra, y los electrodos naturales son las masas metálicas que puedan existir enterradas.

4.11.3. MÉTODO DEL 62% O CAÍDA DE POTENCIAL

Es el método más empleado, los electrodos son dispuestos como lo muestra la Figura IV.69.

Donde:

- E** Es la varilla de cobre enterrada a 50cm, con resistencia desconocida;
- P y C** Son los electrodos auxiliares o picas colocados a una distancia adecuada. Donde P se coloca a una distancia x [m] de la varilla de cobre y C se coloca a $(x+62\%x)$ [m] de la varilla de cobre.
- I** Corriente conocida que se hace circular a través de la tierra, entrando por el electrodo E y saliendo por el electrodo C. La medida de potencial entre los electrodos E y P se toma como el voltaje V para hallar la resistencia desconocida por medio de la relación V/I .



*Figura IV.69. Método de la caída de potencial
Fuente: Luis Ignacio Oña. Hawái Technologies*

La resistencia de los electrodos auxiliares se desprecia, porque la resistencia del electrodo C no tiene determinación de la caída de potencial V . La corriente I una vez determinada se comporta como constante. La resistencia del electrodo P, hace parte de un circuito de alta impedancia y su efecto se puede despreciar.

4.11.4. TELURÓMETRO

Para medir la resistencia se utiliza un instrumento denominado telurómetro. Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de corriente alterna, que lleva un transformador en serie de relación exacta, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.

- El lugar físico de las puntas de prueba.

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad, cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por los servicios oficiales (unidades verificadoras) al dar la instalación de alta para el funcionamiento.

4.11.5. DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA.

Para el diseño de la puesta a tierra se utilizó una plantilla en Excel, la cual fue facilitada por técnicos de la empresa HUAWEI, quienes usan estas herramientas para el diseño de sus antenas. Mediante el método de caída de potencial y el telurómetro se obtuvieron varios valores, que posteriormente fueron ingresados en la plantilla de Excel para obtener el valor de resistividad del terreno. Estos datos se visualizan en la Tabla IV.XXXIX. Y la Figura IV. 70.



Figura IV.70. Mediciones de resistividad realizadas con el telurómetro
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Tabla IV. VIXXIX. Valores de medición con el telurómetro y de resistividad de terreno

PUNTOS DE REFERENCIA	DISTANCIA	RESISTENCIA MEDIDA (OHMS)	RESISTIVIDAD CALCULADA (OHMS*M)
1	18m-30m	332	230,3
2	18m-30m	314	217,8
3	18m-30m	300	208,1
RESISTIVIDAD DEL TERRENO (OHMS * M)		315,33	218,73

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Hoja de calculo de Resistividad y Resistencia sistema OHM LESS [Modo de compatibilidad] - Excel

RESISTIVIDAD CALCULADA: $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$

Resistividad: $\rho = 242.1 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$
 Longitud: $L = 1 \text{ m}$
 Diámetro: $d = 0.1 \text{ m}$
 TG- Porcentaje de reducción estimado con THOR GEL: 95%

RESISTIVIDAD $\Omega \cdot \text{m}$	DOSIFICACIÓN
de 50 a 200	1 dosis x m ³
de 200 a 400	2 dosis x m ³
de 400 a mas	3 dosis x m ³

RESISTENCIA INICIAL EN Ω	% DE REDUCCIÓN	RESISTENCIA FINAL EN Ω
600	95	30
300	85	45
100	70	30
50	60	20
20	50	10
10	40	6

RESISTENCIA DE GRUPO DE ELECTRODOS VÁLIDAS PARA TERRENOS HOMOGÉNEOS

RESISTENCIA OBTENIDA	RESISTENCIA FINAL
R1: RESISTENCIA OBTENIDA 1 ELECTRODO: 7.10 Ω	7.10 Ω
R2: RESISTENCIA OBTENIDA CON 1 ELECTRODO + 2 Varillas: 3.55 Ω	4.89 Ω
R3: RESISTENCIA OBTENIDA CON 1 ELECTRODO + 3 varillas: 2.37 Ω	2.45 Ω
R4: RESISTENCIA OBTENIDA CON 1 ELECTRODO + 4 Varillas: 1.78 Ω	1.65 Ω

Figura IV.71. Hoja de Excel para el cálculo de la malla de puesta a tierra

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Para el diseño de la puesta a tierra se utilizó la plantilla de la Figura IV.71, el programa nos calculará varias opciones, donde se eligió la utilización de 1 electrodo químico OHM LESS de 1m de longitud y 0,1m de diámetro enterrado a una distancia mínima de 50 cm, y unido mediante soldadura exotérmica a un cable de cobre desnudo 2/0 AWG. Para mejorar el sistema se debe utilizar THOR GEL, que brindará un porcentaje de reducción estimado del 95%, la dosis recomendada es de 10 kilos por m³. La caja de revisión será construida en hormigón simple de 40x40x50cm, con tapa del mismo material. Obteniéndose una resistencia de puesta a tierra de 6,42Ω.

CAPITULO V

5. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA

5.1. DATOS INFORMATIVOS

TITULO DE LA PROPUESTA

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA MEJORAR LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ENCONTRADOS EN LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

UBICACIÓN:

País:	Ecuador.
Zona:	Centro.
Región:	Sierra.
Provincia:	Chimborazo.
Cantón:	Guano
DIRECCION:	Langos San Alfonso
TELÉFONO:	(03) 2946266
FAX:	(03) 2940539.
GERENTE PROPIERATARIO:	Ing. Jorge Quisnia

5.2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS

La planta Industrial INDUCUERDAS se dedica a la elaboración de productos tales como: cuerdas, cabos y pequeños o medianos hilos de polímero plástico de considerable resistencia. Utilizan como canal de comercialización distribuidores en las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Guayas, Pichincha y continuamente buscan alianzas estratégicas con distribuidores potenciales a nivel nacional. La planta cuenta con dos secciones principales las oficinas y la planta propiamente dicha, el área de oficinas trabaja de 7:30 a.m. a 16:30 p.m., mientras las demás áreas trabajan en dos turnos que cumplen las 24h00.

Existen tres procesos de producción los cuales trabajan en forma continua, los cuáles se describen a continuación:

PROCESO DE EXTRUSION.- Como primer flujo operativo tenemos un proceso continuo de transformación plástica a través del sistema de extrusión para la producción de rafia. Esta área tiene un conjunto de máquinas como la extrusora, tanque de enfriamiento, rodillos de estiramiento, horno y bobinadoras, conjunto de máquinas alimentadas por un autotransformador de 100KVA. También se alimentan las cargas monofásicas y la mecánica, determinándose que en esta zona es en donde existe mayor cantidad de cargas no lineales conectadas y en donde se producen la mayor cantidad de perturbaciones.

PROCESO DE RETORCIDO.- Es un proceso intermitente de cordelería para la producción de piolas y cordeles de polipropileno; utilizando como material de proceso la rafia elaborada en el primer flujo operativo. La carga eléctrica en ésta área son las retorcedoras y bobinadoras.

PROCESO DE CABLEADO.- Este tercer proceso es utilizado para unir o ensamblar varios hilos con la finalidad de obtener cordeles (hilos de mayor grosor) y a través de la unión de éstos cordeles a determinadas torsiones se forma el cabo.

5.3. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Realizando el análisis a los datos obtenidos durante el período de medición en base a lo establecido por la regulación CONELEC 004/01, y la norma internacional IEEE2–Standard-519-1992, que establecen límites y porcentajes de distorsión; para determinar los problemas presentes en la instalación eléctrica. Se determinó que existen problemas de bajo factor de potencia, armónicos de corriente y desbalance de carga.

Después de determinar las perturbaciones presentes en las instalaciones de la planta, y realizar una revisión teórica de las posibles soluciones, se consideraron propuestas de solución para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica y brindar confiabilidad en las instalaciones.

5.4. JUSTIFICACIÓN

Al analizar los datos obtenidos en el período de medición se identifica un alto contenido de armónicos de corriente, bajo factor de potencia y desbalance de cargas, con la finalidad de optimizar las instalaciones incrementando la vida útil de maquinarias y equipos con el siguiente ahorro económico por penalizaciones, se presentan propuestas de solución para mejorar los problemas de calidad de energía eléctrica encontrados en la planta industrial INDUCUERDAS, realizando una proyección de mejoras fundamentadas en un análisis técnico .

5.5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer soluciones para el mejoramiento de los problemas de calidad de energía eléctrica encontrados en la planta industrial INDUCUERDAS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer soluciones a cada una de las perturbaciones que afectan a la calidad de energía eléctrica en la planta
- Realizar un análisis técnico de las propuestas de solución a las perturbaciones encontradas
- Realizar un estudio de factibilidad de las propuestas de solución

5.6. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LAS PERTURBACIONES ENCONTRADAS

Se eligieron las soluciones más óptimas de acuerdo a la investigación realizada, el análisis técnico se detalla más adelante y los costos se muestran en el apartado de rentabilidad.

- Para la corrección del factor de potencia se propone implementar un banco automático de capacitores, con un total de corrección de reactiva de 13,5 KVAR y una resolución de tres pasos, cada paso activa 4,5KVAR de corrección, a un factor de potencia deseado de 0,98.
- Para los armónicos de corriente se propone implementar un filtro activo para una eliminación global del porcentaje de distorsión armónica de corriente, obteniendo una reducción notable de las corrientes de carga, también se propone utilizar un filtro de rechazo para evitar la resonancia en los capacitores.

- Para el desbalance de cargas debe distribuirse equitativamente entre las tres fases las cargas monofásicas, ya que se encuentran sobrecargadas hacia dos de las fases, elaborar cronogramas de paros de producción por áreas y utilizar equipos de medición para comprobar la correcta distribución de las cargas.

5.7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA - TÉCNICA

5.7.1. ANÁLISIS TÉCNICO

Una vez identificadas cada una de las perturbaciones presentes en la planta y luego de haber realizado una investigación teórica de las posibles soluciones, se presentan propuestas de las mejores opciones para corregir el factor de potencia, atenuar los armónicos de corriente y el desbalance de cargas.

5.7.1.1. ANÁLISIS TÉCNICO AL CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.

Potencia reactiva es aquella que es consumida por motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que tienen algún tipo de bobina para crear un campo electromagnético. Las bobinas, que forman parte del circuito eléctrico, componen cargas para el sistema eléctrico que consumen tanto potencia activa como potencia reactiva y la eficiencia de su trabajo depende el factor de potencia.

Contar con un bajo factor de potencia, es decir mientras más alejado de la unidad se encuentre, ayudará a que la potencia reactiva consumida sea mayor, sin que produzca ningún trabajo útil y

perjudique la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica, siendo este consumo penalizado por la empresa distribuidora en este caso la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA).

Los datos obtenidos en el período de análisis de 7 días como indica la regulación CONELEC 004-01 y con los cuales se ha trabajado para proponer la solución al problema de bajo factor de potencia se pueden ver en la Tabla V.XXXX. donde también se encuentra la cantidad de potencia reactiva necesaria para la corrección.

Tabla V. XXXX. Datos min, med y max, de la potencia activa, potencia aparente, factor de potencia, y potencia reactiva necesaria para la corrección

	POTENCIA ACTIVA (W)	POTENCIA APARENTE (VA)	Cos φ	POTENICA REACTIVA NECESARIA (VAr)
MIN	386,667	2237,90	0,23	373,52
MED	4011,511	6577,32	0,65	3875,12
MAX	10986,668	14826,668	0,74	10613,12

Fuente: Janeth Camacho (Autora)

Se utilizará un banco de condensadores de 4,5kVAr para un $\cos\phi$ de 0,98, con una resolución de 3 pasos (1:1:1). El c/k se ajustará a 0,17, el banco automático de condensadores actuará cuando la instalación requiera más de 765VAr, es decir se tendrá en condiciones de carga mínima una potencia de 4,5kVAr, y al conectar cada paso se completará los 13,5kVAr requeridos, permitiendo lograr un valor lo más cercano a 0,98, caso contrario cuando la demanda sea menor no trabajará, evitando el riesgo que exista sobrecompensación.

Dentro de los beneficios de compensar la energía reactiva o compensar el factor de potencia se encuentran:

1. DISMINUCIÓN DE LAS VARIACIONES EN LA TENSIÓN.- ya que la corriente debe vencer la impedancia eléctrica propia del conductor (Z), determinada mediante la ley de Ohm que

es igual al producto de la intensidad de corriente por la resistencia, luego al sustituir la intensidad demandada por la potencia conectada al suministro se obtiene:

$$\Delta V = \frac{P_{activa} * Z}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{corte}{\cos\varphi} \rightarrow \frac{\Delta V_i}{\Delta V_f} = \frac{\cos\varphi_i}{\cos\varphi_f}$$

$$\Delta V = \frac{0,65}{0,98}$$

$$\Delta V = 33,67\% \text{ aprox.}$$

Al compensar la instalación se obtendrá un 33,67% de disminución de las variaciones en tensión de las líneas de distribución.

2. DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE.- aumentando el factor de potencia se reducen las corrientes evitando que se produzcan calentamientos en los conductores que deterioran los aislamientos reduciendo su vida útil, calentamiento de los bobinados del transformador, y disparo de los dispositivos de operación y protección sin causas aparentes.

La corriente absorbida con el factor de potencia de 0,65 es de 292,18 A

$$I_{0,65} = \frac{P_N}{\sqrt{3} V_N \cos\varphi} = \frac{125000}{\sqrt{3} 380 0,65} = 292,18 \text{ A}$$

Al corregir el factor de potencia a 0,98 se tendrá una corriente de 193,79 A

$$I_{0,98} = \frac{P_N}{\sqrt{3} V_N \cos\varphi} = \frac{125000}{\sqrt{3} 380 0,98} = 193,79 \text{ A}$$

Entonces al corregir el factor de potencia de 0,65 a 0,98 se obtiene una reducción de la intensidad de corriente de aproximadamente del 33,67%.

3. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES.- para la misma potencia transmitida una mejora del factor de potencia significa una reducción en la corriente principal. Para un conductor dado las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente, al mejorar el factor de potencia inicial $\cos \phi_1$ a un valor $\cos \phi_2$, las pérdidas I^2R en watts se reducen a un factor K.

$$\Delta K = 1 - \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}^2 * 100 = 1 - \frac{0,65}{0,98}^2 * 100 = 56\%$$

Al corregir el factor de potencia se consigue una reducción aproximada del 56% en las pérdidas de los conductores.

5.7.1.2. ANÁLISIS TÉCNICO AL ATENUAR LOS ARMÓNICOS

De acuerdo a los límites establecidos por la norma IEEE-519 el valor de α debería estar entre $\alpha=100<1000$ y el porcentaje límite es de 15%. Pero de acuerdo a los cálculos se obtiene 21,94% sobrepasando el límite e incumpliendo la norma.

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{41,67}{189,92} = 21,94\%$$

Para solucionar este problema se propone la implementación de un filtro activo conectado en paralelo con la carga y para protección de los condensadores para evitar la resonancia ya que el quinto armónico se encuentra elevado, se utilizará un filtro de rechazo desintonizado.

Para dimensionar el filtro activo se necesita el valor deseado de reducción del THDi y despejando de la fórmula se obtendrá el valor de la corriente necesaria para corrección

$$THD_i\% = \frac{I_{CC}}{I_L} = \frac{41,67}{189,92} = 21,94\%$$

$$I_L = \frac{I_{CC}}{THD_{i\ deseado}} = \frac{41,67}{0,1} = 416,7\ A$$

$$I_{FILTRO\ CORRECCION} = 416,7 - 189,92 = 226,78\ A\ de\ corrección$$

En los catálogos de schneider electric se encuentra un filtro AccuSine PCS de 300 A con una potencia reactiva máxima de 207,8 KVAR. Este filtro mide la corriente total de carga del sistema, determina la componente fundamental e inyecta a la red la componente armónica en fase opuesta, de tal forma que los armónicos quedan cancelados. Supervisa la carga a través de transformadores de corriente montados en la línea de alimentación de la carga en cuestión. Esta información es analizada por lógica para determinar la magnitud de la corrección a inyectar por el equipo.

Para estimar la corriente rms armónica o la corriente efectiva armónica relacionada con las frecuencias no fundamentales se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\frac{1}{THD_i^2} + 1}$$

Dónde: IRMS: corriente total de carga

THDi: tasa de distorsión armónica en corriente

I_H: corriente efectiva armónica

La corriente necesaria para la compensación reactiva que absorbe la carga, asumiendo el factor de potencia objetivo unitario es:

$$I_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3}V_{LL}}$$

La capacidad total de inyección de filtro AccuSine PCS está dada por la relación:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde I_{FILTRO}: capacidad requerida del filtro activo

I_H: corriente efectiva armónica requerida

I_R: corriente efectiva reactiva requerida

Con

$$I_H = \frac{50,41}{\frac{1}{0,10^2 + 1}} = 5,02 \text{ A}$$

$$I_R = \frac{13500}{\sqrt{3} \cdot 380} = 20,51 \text{ A}$$

$$I_{FILTRO} = \sqrt{5,02^2 + 20,51^2} = 21,15 \text{ A}$$

Entonces al tener una corriente total de carga influenciada por las armónicas de 50,41 el filtro inyectará una corriente de compensación de 21,15 A haciendo que el nuevo valor de la corriente de carga sea 29,26 A.

$$I_{RMS} = 50,41$$

$$I_{FILTRO} = 21,15 A$$

$$I_{RMS\ CORREGIDA} = 29,26 A$$

El filtro de rechazo utilizado para la protección del banco automático de condensadores fue elegido de los catálogos de schneider electric, su finalidad es eliminar la resonancia que pudiera producirse a causa del quinto armónico, la frecuencia de sintonización es al 5,7%, a 342Hz, su valor es de 4,31mH, combinado con el condensar VarplusCan HDuty Harmonic forman un filtro de rechazo desintonizado.

5.7.1.2.1. VARIACIONES EN FACTOR DE POTENCIA

Debido a la presencia de perturbaciones armónicas se produce una variación en el factor de potencia, a causa del desequilibrio del consumo entre fases.

Sin armónicos el factor de potencia es:

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{P^2 + Q^2}$$

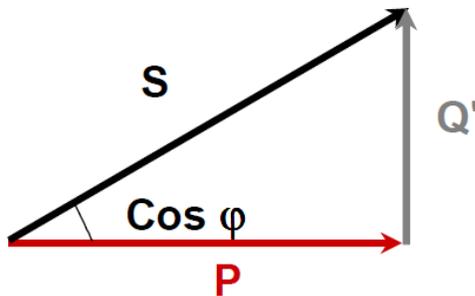


Figura V. 72. Triangulo de potencias para obtener el factor de potencias sin armónicos
Fuente: armónicos, efectos, diagnóstico y soluciones. Circuitos. Francesc Fornieles

En presencia de armónicos se adquiere un factor de desplazamiento:

$$PF_{dist} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

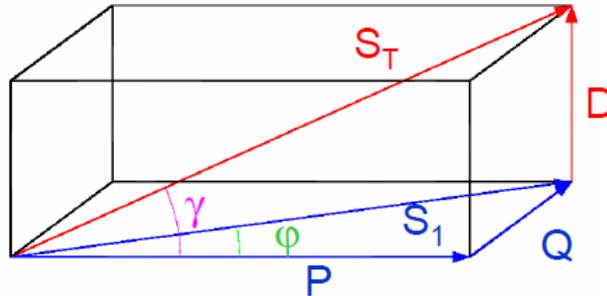


Figura V. 73. Triángulo de potencias para obtener el factor de potencias con distorsión a causa de los armónicos
Fuente: armónicos, efectos, diagnóstico y soluciones. Circuitur. Francesc Fornieles

Para el cálculo del factor de potencia en presencia de armónicos se utiliza

$$PF = \cos\phi * PF_{dist}$$

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

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}}$$

Aplicando la fórmula se evidencia que al tener un $\cos\phi$ de 0,65 con una presencia de distorsión armónica de corriente de 21,94%, se verá reducido a un factor de potencia de 0,63.

$$\cos\phi = 0,65$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,2194^2}} = 0,98$$

$$PF = 0,65 * 0,98 = 0,63$$

Al corregir el factor de potencia a 0.98 e implementando el filtro activo, la distorsión armónica se reducirá a 10%, por lo tanto el factor de potencia queda estabilizado en 0,98.

$$\cos\phi = 0,98$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{1 + 0,1^2} = 0,995$$

$$PF = 0,98 * 0,995 = 0,98$$

Implementar el filtro activo de armónicos propuesto permitirá reducir las pérdidas de energía por armónicos, los desequilibrios de corrientes y la variación del factor de potencia, que se producen por este problema. También mejorará la eficiencia de los transformadores al reducirse las pérdidas por efecto joule y las pérdidas en el hierro.

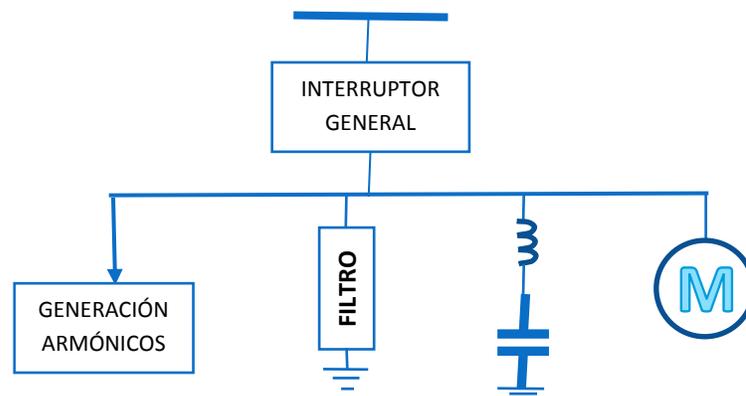


Figura V. 74. Ubicación del filtro y el banco de condensadores.
Fuente: Janeth Camacho (Autora)

5.7.1.3. SOLUCIÓN PARA EL DESBALANCE DE CARGAS

Existe un autotransformador de 380/220 que alimenta el área de extrusión, en donde se encuentran las cargas monofásicas, el compresor, la mezcladora, motores de inducción, extrusora,

horno, bobinadoras, mecánica. Pero son las cargas monofásicas correspondientes a iluminación, equipos de oficina, equipos de taller y varios electrodomésticos, los cuales se encuentran sobrecargados hacia dos de las líneas, produciendo un desbalance de cargas.

La solución consiste en reorganizar o redistribuir las cargas, de tal manera que el sistema quede equilibrado. Para reducir la influencia de las corrientes de secuencia negativa que provocan caídas de voltaje de alimentación, se necesita de una baja impedancia interna del sistema, éste trabajo requiere de la elaboración de cronogramas de actividades para detener ciertos procesos y realizar la desconexión, sin que la producción se vea afectada y la utilización de equipos de medición para comprobar el correcto balance de las cargas.

5.7.2. PROPUESTA ADICIONAL

5.7.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

El principal objetivo de implementar una puesta a tierra es la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen en caso de una corriente transitoria peligrosa y para la seguridad del personal. Para el diseño de la puesta a tierra se utilizó una plantilla en Excel, el programa nos calculará varias opciones, donde se eligió la utilización de 1 electrodo químico OHM LESS de 1m de longitud y 0,1m de diámetro enterrado a una distancia mínima de 50 cm, y unido mediante soldadura exotérmica a un cable de cobre desnudo 2/0 AWG. Para mejorarle sistema se debe utilizar THOR GEL, que brindará un porcentaje de reducción estimado del 95%, la dosis recomendada es de 10 kilos por m³. La caja de revisión será construida en hormigón simple de

40x40x50cm, con tapa del mismo material. Obteniéndose una resistencia de puesta a tierra de 6,42Ω.

5.8. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

5.8.1. ANÁLISIS ECONÓMICO

En éste capítulo se analizarán los beneficios económicos, así como también la factibilidad para la implementación de un banco de condensadores automático para la mejora del factor de potencia y un filtro AccuSine para reducir los armónicos.

El análisis económico considerará los costos y beneficios que se derivan del proyecto, para determinar si su ejecución es conveniente o no.

Se decidió tomar en cuenta para el diseño: del banco de capacitores, filtro de armónicos, las mediciones obtenidas a través del analizador de calidad de energía eléctrica Fluke 435.

La planta industrial INDUCUERDAS, tiene un factor de potencia promediado de 0,65, por lo cual debe ser penalizado. La fórmula para el cálculo de las penalizaciones es la siguiente:

$$Penalización PF_{bajo} = \frac{0,92}{\cos \theta_{real}} - 1 = \frac{0,92}{0,65} - 1 = 0,41538$$

El valor calculado de 0,41538 se utiliza para multiplicar por el valor consumido de energía, y el resultado será el valor a cancelar por concepto de penalización por bajo factor de potencia. En la Tabla V.XXXI. Se presenta un resumen de los pagos correspondientes al período de agosto 2013 a julio 2014, realizados de acuerdo a las planillas de consumo eléctrico, pueden verse con mayor detalle en el ANEXO G.

Tabla V. XXXXI. Resumen de las planillas de consumo eléctrico canceladas en el período agosto 2013 a julio 2014

MES	VALOR CONSUMO CANCELADO	PAGO POR PENALIZACIÓN	CONSUMO SIN PENALIZACIONES	PENALIZACION POR BAJO F.P.
AGOSTO	1687,85	1,48	1686,37	700,48
SEPTIEMBRE	2019,36	21,09	1998,27	830,04
OCTUBRE	1873,88	33,43	1840,45	764,49
NOVIEMBRE	1371,89	14,47	1357,42	563,85
DICIEMBRE	1703,18	12,87	1690,31	702,12
ENERO	1445,5	8,28	1437,22	596,99
FEBRERO	1375,57	6,84	1368,73	568,54
MARZO	1737,82		1737,82	721,86
ABRIL	1218,82		1218,82	506,27
MAYO	1464,49		1464,49	608,32
JUNIO	1979,84		1979,84	822,39
JULIO	2232,45		2232,45	927,32
TOTAL				8312,67

Fuente: Planillas de consumo eléctrico de la Planta Industrial INDUCUERDAS

Como podemos notar el valor a cancelar por concepto de penalizaciones durante un año es aproximadamente 8312,67 dólares. Estos valores formarán parte de los ingresos ya que se dejará de pagar las penalizaciones una vez implementado el banco automático de capacitores.

5.8.1.1. PRESUPUESTO REFERENCIAL

La inversión requerida para la implementación del banco automático de capacitores es de 1993,42 dólares como se puede verificar detalladamente en la tabla V.XXXXII.

Tabla V.XXXXI. Precios referenciales de dispositivos para implementar un banco de capacitores automáticos

COSTO DE MATERIALES			
CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
3	CONDENSADORES VarplusCan HDuty BLRCS050A060B40 DE 4,5KVA	101,98	305,94
1	REGULADOR DE F.P. VARLOGIC NR6 DE 6 PASOS	518,56	518,56
3	CONTACTORES TRIFÁSICO LC1-DFKM7 12,5KVA	69,50	208,50
5	FUSIBLES TIPO NH-00-16	15,00	45,00
1	INTERRUPTOR GENERAL TERMOMAGNÉTICO IC60N 32A	33,80	33,80
3	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 200/5 METSECT5CC020	160	305,94
6m	CONDUCTOR 12 AWG siliconado para banco de condensadores	1,80	10,80
8m	CONDUCTOR 12 AWG-THHN para conexión del banco a la carga	0,35	2,80
7m	CONDUCTOR 10 AWG-THHN para circuito de fuerza	0,35	2,45
3m	CONDUCTOR 8 AWG-THHN para circuito de mando	0,35	1,05
7m	CABLE DESNUDO 6 AWG para conexión a tierra	4,50	112,50
1	GABINETE ELÉCTRICO 60x80x30	195,00	195,00
	MATERIALES VARIOS	150,00	150,00
	SUBTOTAL		1779,84
	IVA 12%		213,58
	TOTAL		1993,42

Fuente: catálogos de schneider electric

La inversión requerida para la implementación de los filtros atenuadores de armónicos es de 1993,42 dólares como se puede verificar detalladamente en la tabla V.XXXXIII.

Tabla V.XXXXIII. Precios referenciales de dispositivos para la atenuación de armónicos

COSTO DE MATERIALES			
CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	FILTRO ACTIVO DE ARMÓNICOS ACCUSINE 300A	3780	3780
1	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO C60N 25 A	10,80	10,80
3	BOBINAS DR HDUTY PARA PROTECCIÓN DE CONDENSADORES	95	285
7m	CONDUCTOR 10 AWG-THHN para circuito de fuerza	0,35	2,45
	MATERIALES VARIOS	60	60,00
	SUBTOTAL		4138,25
	IVA 12%		496,59
	TOTAL		4634,84

Fuente: catálogos de schneider electric

Con la finalidad de ofrecer protección al personal que laborar en la planta se recomienda la implementación de una puesta a tierra el presupuesto requerido es de:

Tabla V.XXXVIII. Precios referenciales de dispositivos para la puesta a tierra

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	ELECTRODO QUÍMICO OHM LESS	280,00	280,00
10 m	CABLE DESNUDO 2/0 AWG para conexión a tierra	11,00	110,00
1	THOR GEL	40,00	40,00
1	PUNTOS SUELDA	30,00	30,00
	KIT DE MATERIALES CEMENTO, ARENA, RIPIO, ETC.	120,00	120,00
	TRANSPORTE	20,00	20,00
	MANO DE OBRA	120,00	120,00
	DIRECCIÓN TÉCNICA	100,00	100,00
	MATERIALES VARIOS	20,00	20,00
SUBTOTAL			840,00
IVA 12%			100,80
TOTAL			940,80

Fuente: proveedores de alfa construcciones en aceros

La inversión que se necesita para la implementación de las propuestas de solución del banco de capacitores automático, la atenuación de armónicos y la malla de puesta a tierra es de 7569,06 dólares, estos rubros pueden ser cubiertos con el dinero que se ahorraría al dejar de cancelar por concepto de penalizaciones por bajo factor de potencia.

$$AHORRO POR PENALIZACIONES = 8312,67$$

$$INVERSIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN = 7569,06$$

$$TIEMPO RECUPERACIÓN INVERSIÓN = \frac{7569,06}{8312,67} * 12 \text{ meses} = 10,93 \text{ meses}$$

$$RELACIÓN BENEFICIO COSTO = \frac{8312,67}{7569,06} = 1,10$$

El proyecto es rentable puesto que el período de recuperación de la inversión de capital se da en un tiempo razonable de once meses ya que el tiempo de vida útil de los equipos es de diez años, y al revisar la relación beneficio/costo denota la viabilidad del proyecto puesto que tiene un valor mayor a 1, con un beneficio de 0,10 centavos por cada dólar.

Implementar el banco automático de capacitores y el filtro activo de armónicos tiene como principal beneficio el ahorro económico que podrá ser constatado a través de la reducción en los pagos de las planillas eléctricas de consumo. Es necesario acotar que el valor de los costos totales de inversión, los ingresos por penalizaciones, han sido proyectados con precios del mercado actual, es decir, que existirán variaciones ya que no se tienen valores definidos para: tasas de interés, costo de materiales y equipos, mano de obra, y penalizaciones. Las fluctuaciones dependerán de la variación de precios en el mercado y los incrementos en la producción (que podrían también generar fallas y mayor cantidad de pérdidas en cada parámetro analizado).

5.9. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

5.9.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA

El Estudio de factibilidad para el mejoramiento de la Calidad de Energía Eléctrica en la Planta Industrial INDUCUERDAS es factible desde el punto de vista técnico; ya que todos los equipos, elementos y recursos tecnológicos a utilizarse en la implementación de las propuestas de solución, existen en el mercado local.

Así también se demuestra que al implementar el banco automático de capacitores, los filtros de armónicos y balancear las cargas del sistema, se obtendrá una mejora: del factor de potencia, reducción de la intensidad corriente en la red, eficiencia en el transformador. Por ende la reducción de las pérdidas de energía y las caídas de tensión, optimizando todos los procesos energéticos con ahorro y calidad.

5.9.2. FACTIBILIDAD OPERATIVA

Desde el punto de vista operativo el estudio es factible debido a que las propuestas de solución ayudarán a reducir cualquier anomalía o perturbación presente en la red de la Planta y principalmente permitirá mejorar el funcionamiento de los procesos y equipos.

5.9.3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Las propuestas planteadas tienen factibilidad económica, puesto que es una inversión a corto plazo, donde el principal beneficio económico será eliminar el pago de penalizaciones por bajo factor de potencia, rubro que pasará a formar parte de los ingresos a favor de la empresa, gracias al nivel de calidad de energía eléctrica. Los fenómenos que afectan a los equipos son controlados, garantizando confiabilidad en las instalaciones eléctricas de la planta, puesto que al contar con buena calidad de energía eléctrica se podrá invertir en maquinaria y equipo, manteniendo la vida útil de los mismos.

5.10. RESULTADOS

A través del análisis técnico y de rentabilidad del proyecto queda demostrada la factibilidad del mismo para implementar las propuestas de solución presentadas.

En la parte técnica se demuestran la mejora del factor de potencia, que conlleva a una reducción de corrientes, reducción en caídas de tensión, reducción de pérdidas en conductores y transformadores. Con la atenuación de armónicos también se reducen el nivel de distorsión armónica para reducir las corrientes y garantizar el factor de potencia, permitiendo una mejor eficiencia del transformador al reducir las pérdidas por efecto joule y pérdidas en el hierro. Al realizar la redistribución de cargas se tendrá un sistema balanceado lo cual garantizará el correcto funcionamiento de los procesos y equipos.

En la parte de rentabilidad del proyecto se demuestra que el tiempo para recuperar la inversión es de aproximadamente 11 meses, es decir menor a 1 año, tiempo razonable para cubrir lo invertido, también la relación beneficio costo es mayor a 1 con un beneficio de 0,10 centavos por cada dólar invertido. Razones por las cuáles hacen que tenga una factibilidad económica para implementar el proyecto.

CONCLUSIONES

- Se analizaron los datos registrados mediante el analizador FLUKE 435, basándose en la regulación CONELEC 004-01, se determina que el nivel de variación de voltaje cumple con la regulación, ya que el 100% de los datos no excede el 10% de voltaje nominal, pero existen fluctuaciones en tensión y corriente debido a sobrecarga de tipo monofásico hacia dos de las fases; el valor de los flickers es de 0,433 por lo tanto se encuentra bajo el límite de 1; los armónicos de voltaje tienen un THD de 3,39%, por ende el 100% de los datos están bajo el límite de 8; el factor de potencia promedio es de 0,65 y no cumple con la regulación porque está bajo el límite mínimo de 0,92. También existe la presencia de armónicos de corriente, como la regulación CONELEC 004/01 no analiza ni establece límites para los mismos, se ha realizado el análisis en base a la norma IEEE-519-1992, detectándose que la distorsión de demanda total es de alrededor del 21,94%, superando el límite establecido del 15%. El quinto armónico de corriente se encuentra en 94,08% el límite es 12%, éste afectaría al banco automático de capacitores provocando la aparición de resonancia.

- El factor de potencia promedio medido que es de 0,65, se propone implementar para su corrección un banco automático de capacitores 13,5KVAR, cada condensador es de 4,5KVAR para un $\cos \phi$ de 0,98, con una resolución de tres pasos, el ajuste de sensibilidad del regulador se debe programar a 0,17. El banco automático se activará cuando la instalación requiera más de 765VAr, es decir se tendrá en condiciones de carga mínima 4,5VAr y después de conectar cada paso se completará los 13,5KVAR, evitando que exista una sobrecompensación. Este diseño fue dimensionado con un 20% más considerando un posible crecimiento de la plana, variaciones de carga e implementación de nueva tecnología en equipos.
- Para la atenuación de armónicos se propone implementar un filtro activo de armónicos AccuSine PCS de 300A para reducir la distorsión de demanda total al 10%, para protección de los capacitores y evitar la resonancia se utilizará una bobina de rechazo de 4,31mH, entonces el conjunto capacitor-bobina forman un filtro desintonizado. Debido a la presencia de perturbaciones armónicas de corriente aparece un factor de desplazamiento que altera el factor de potencia, al implementar el filtro activo y el filtro desintonizado se garantiza tener un factor de potencia de 0,98.
- Existe un autotransformador de 380/220 que alimenta el área de extrusión y las cargas monofásicas correspondientes a iluminación, equipos de oficina, equipos de taller y varios electrodomésticos, los cuales se encuentran sobrecargados hacia dos de las líneas, produciendo un desbalance de cargas. La solución consiste en balancear adecuadamente las cargas, de tal manera que el sistema quede equilibrado, éste trabajo requiere de la elaboración de cronogramas de actividades, para detener ciertos procesos y realizar la

desconexión, sin que la producción se vea afectada y la utilización de equipos de medición para comprobar el correcto balance de las cargas.

- Implementar el banco automático de capacitores, filtro activo de armónicos y la puesta tierra, requiere una inversión de 7569,06 dólares; valor que será cubierto con el dinero que se ahorraría al eliminarse el pago de penalizaciones por bajo factor de potencia de un año que es de alrededor de 8312,67 dólares. En la parte de rentabilidad del proyecto se demuestra que el tiempo para recuperar la inversión es de aproximadamente 11 meses, es decir menor a 1 año, tiempo razonable para cubrir lo invertido, también la relación beneficio costo es mayor a 1 con un beneficio de 0,10 centavos por cada dólar invertido. Razones por las cuáles hacen que exista factibilidad para implementar el proyecto.
- A través del análisis técnico del proyecto queda demostrada la viabilidad del mismo para implementar las propuestas de solución presentadas, ya que evitarán daños en tarjetas, devanados, conductores, además de riesgos de paradas intempestivas de producción que detienen los procesos y disminuyen la vida útil de la maquinaria y equipo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un sistema de puesta a tierra en la Planta Industrial INDUCUERDAS con el propósito de limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o por contactos no intencionados con cables de voltajes más altos, lo que brindará seguridad a las personas, buen trabajo y preservación de cada uno de los equipos.
- Con la finalidad de obtener datos confiables para la realización del análisis de armónicos de voltaje, armónicos de corriente, flickers, variaciones de voltaje, y factor de potencia es muy importante utilizar un analizador de calidad de energía eléctrica que sea exacto y confiable.
- Para elegir las protecciones y conductores, para el banco de condensadores, filtro de armónicos y el sistema de puesta a tierra, se recomienda seleccionar aquellos que tengan características de un valor al inmediato superior del calculado y que exista en el mercado.

- Al realizar la redistribución de cargas se recomienda hacerlo de manera que la corriente en el neutro sea lo más baja posible, es por ello necesario que nos aseguremos de esto con la ayuda de equipos de medición.
- Se recomienda invertir en el proyecto ya que es factible técnicamente, y económicamente de acuerdo a los datos medidos, la inversión se recupera en un tiempo razonable, gracias a evitar recargos por penalización por bajo factor de potencia. Debe aplicarse inmediatamente y aprovechar los costos actuales de inversión porque no se tienen valores definidos para las tasas de interés, costos de equipos y materiales, mano de obra, todo dependerá de las variaciones de precios en el mercado.

RESUMEN

Estudio técnico de las instalaciones eléctricas de la planta industrial INDUCUERDAS, situada en Guano, Chimborazo; para determinar las perturbaciones que la afectan y presentar soluciones.

Inspeccionando y verificando las instalaciones, mediante el analizador FLUKE 435, se registraron datos, que fueron analizados aplicando la regulación CONELEC 004-01, para determinar: el nivel de variación de voltaje, observándose que el 100% de datos no exceden el 10% del voltaje nominal, cumpliendo con la regulación, existen fluctuaciones en tensión y corriente por desbalance de cargas; los flickers son de 0,433 hallándose bajo el límite de 1; los armónicos de voltaje alcanzan un THD de 3,39%, encontrándose bajo el límite de 8; el factor de potencia promedio es de 0,65, siendo el límite mínimo 0,92 incumpliendo la regulación; los armónicos de corriente fueron analizados aplicando la norma IEEE-519-1992, presentan una distorsión del 21,94%, superando el límite del 15%.

Se propone las siguientes soluciones: corrección del factor de potencia a 0,98, implementando un banco automático de capacitores de 13,5KVAR, resolución (1:1:1), 4,5KVAR cada uno; atenuación de armónicos de corriente implementando filtro activo AccuSine PCS, protección de

condensadores mediante filtro de rechazo y distribución balanceada de cargas monofásicas entre las tres fases.

Las propuestas presentadas permitirán reducir: las intensidades de corriente, las pérdidas en los conductores y transformadores, optimizando su eficiencia y garantizando el correcto funcionamiento de los procesos y equipos, mejorando la calidad de energía eléctrica de la planta.

El análisis de rentabilidad del proyecto muestra que es factible implementar las propuestas presentadas.

ABSTRACT

This is a technical study of the electric installations belonging to the industrial plant INDUCUERDAS which is located in Guano, Chimborazo. This is in order to determine problems that affect the company and to present possible solutions to them.

When checking and verifying the installations with FLUKE 435, some data were registered and they were analyzed by using CONELEC 004-01 regulation. The following was determined: concerning voltage variation level, it could be observed that 100% of the information does not exceed 10% of the nominal voltage this complies with the regulations. There are tension and current fluctuations because of load imbalance. Flickers reach 0,433 which is a value lower than its limit 1. The voltage harmonics have 3,39% THD which is lower than the limit of 8. The power factor average is 0,65 , and its minimal limit is 0,92 showing inconsistency with the regulation. The current harmonics were analyzed by applying the regulation IEEE-519-1992. They showed distortion of 21,94% over its limit which is 15%.

The following solutions are proposed: power factor correction to 0,98 by implementing an automatic capacitor bank of 13,5KVA_r, resolution (1:1:1), 4,5KVA_r each; voltage harmonic attenuation of current by implementing an active filter AccuSine PCS, condenser protection through a rejection filter, and a balanced distribution of single phase loads among three phases.

The presented proposals will allow reducing the following: current intensity and loss in conductors and transformers optimizing this way its efficiency and guaranteeing the correct functioning of processes and equipment. It will improve power quality in the plant. The profit analysis of the Project shows the present proposal is feasible to implement.

GLOSARIO

ARMÓNICO: Se denominan armónicos a las ondas de tensión o corriente cuya frecuencia es varias veces mayor de la frecuencia fundamental de la red (60 Hz). Resultan de varias ondas de diferentes órdenes armónicos a la vez constituyendo un espectro y dando como resultado una onda distorsionada.

CAÍDAS MOMENTÁNEAS DE TENSIÓN (VOLTAGE SAGS - DIPS): Sags o también llamados huecos son una disminución de corta duración en el voltaje AC. Es decir es una reducción en la tensión RMS por debajo de lo permitido a frecuencia industrial con una duración mayor a medio ciclo pero menor a 2 minutos.

CAÍDA PERMANENTE DE TENSIÓN (UNDER VOLTAGE): es una disminución en la tensión nominal RMS a la frecuencia de potencia, para duraciones mayores a 2 minutos.

CALIDAD DE ENERGÍA: presencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

CALIDAD DE TENSIÓN: término usado para describir la cantidad relativa de disturbios o variaciones de tensión. Particularmente las interrupciones, las caídas momentáneas de tensión, los impulsos y los armónicos medidos en el mismo punto.

CARGA LINEAL: carga en la cual la relación I-V es constante y basada en una impedancia de carga relativamente constante.

CARGA NO LINEAL: carga en la cual la corriente no tiene relación lineal con la tensión.

CARGAS RESISTIVAS: Un resistor es un mecanismo que resiste el flujo de la electricidad. Al hacerlo, parte de la energía eléctrica es disipada como calor. Las cargas comunes son los bulbos de luz incandescente y los calentadores eléctricos.

CARGAS INDUCTIVAS: La corriente se retrasa a la tensión y el factor de potencia es < 1 atrasado. Cuando más alta la carga inductiva, más bajo será factor de potencia.

CARGAS CAPACITIVAS: Aquí la corriente se adelantará a la tensión y si la carga capacitiva es alta, el factor de potencia será mayor que 1 y se adelantará.

DISTORSIÓN ARMÓNICA: distorsión de la onda seno cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia fundamental. Convierte la onda normal seno en una forma de onda compleja.

DISTORSIONES ARMÓNICAS DE CORRIENTE: distorsionan la onda de tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando la reducción de la vida útil en motores y causando la operación errática de equipos electrónicos.

EFFECTO JOULE: fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

ELEVACIÓN MOMENTÁNEA DE TENSIÓN (SWELL): incremento en la tensión RMS por encima de lo permitido a frecuencia industrial, con duración mayor a medio ciclo y menor a unos pocos segundos. Se presenta en las fases no falladas de un sistema trifásico, durante una falla monofásica a tierra.

ELEVACIONES PERMANENTES DE TENSIÓN: Algunas veces durante condiciones de baja carga, los reguladores o los bancos de capacitores pueden sobrecompensar y crear una sobretensión que dura desde unos pocos segundos hasta muchas horas.

FACTOR DE POTENCIA: Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, etc.

HENDIDURA (NOTCHING): hace referencia a depresiones sustractivas de tensión. Hay casos en los cuales puede perderse totalmente la señal hasta por medio ciclo. Los notching se presentan durante el periodo de conmutación de los puentes convertidores, debido a la acción de conmutación de los elementos que lo componen.

IMPULSOS: son las variaciones de tensión que duran menos de un ciclo y que inicialmente tienen la misma polaridad que el voltaje normal, de tal manera que el disturbio se suma a la forma de onda nominal.

INTERRUPCIÓN: pérdida completa de la tensión por un período de tiempo.

PARPADEO (FLICKER): es una variación en la frecuencia de la tensión de entrada de suficiente duración que permite ser observada visualmente como un cambio en la intensidad luminosa de las lámparas incandescentes, que causa molestia visual, y con el pasar del tiempo produce cansancio.

PUESTAS A TIERRA: Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen en caso de una corriente transitoria peligrosa.

RESISTIVIDAD DEL TERRENO: La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

RUIDO: el ruido eléctrico es una señal eléctrica indeseable, que produce efectos impredecibles en los equipos susceptibles.

SOBRETENSIÓN: Incremento de la tensión RMS sobre el nivel permitido a frecuencia industrial con una duración mayor a 2 minutos. Puede ser causada por sobrecompensación con capacitores y taps de transformadores en posición elevada.

TRANSITORIO (TRANSIENT): es un evento de alta frecuencia sobrepuesto a la señal AC. La duración es por lo general inferior a medio ciclo, puede ser aditivo o sustractivo y decae oscilatoriamente.

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERÍSTICAS DEL FLUKE 435

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA DEL FLUKE 435

Entradas de voltaje	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC
Máximo voltaje de entrada	1.000 Vrms
Rango de voltaje nominal	1 V a 1000 V seleccionable
Máximo voltaje de medición pico	6 kV (modo de transitorios sólo)
Impedancia de entrada	4 M Ω /5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para modo de transitorios
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC o CA
Tipo	Pinza o transformador de corriente con salida mV o punta de prueba, modelo i430flex-TF
Rango	0,5 Arms a 600 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 10x) 5 Arms a 6000 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 1x) 0,1 mV/A a 1 V/A y personalizado para utilizar con pinzas CA o CC opcionales
Impedancia de entrada	1 M Ω
Ancho de banda	> 10 kHz
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Sistema de muestreo	
Resolución	Convertidor analógico a digital de 16 bits en 8 canales
Máxima velocidad de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente
Muestreo RMS	6000 muestras en 10/12 ciclos conforme a IEC61000-4-30
Sincronización PLL	4096 muestras en 10/12 ciclos conforme a la norma IEC61000-4-7
Frecuencia nominal	434-II y 435-II: 50 Hz y 60 Hz. 437-II: 50 Hz, 60 Hz y 400 Hz

MODOS DE VISUALIZACIÓN

Visualización de formas de onda	Disponible en todos los modos con la tecla SCOPE 435-II y 437-II: Modo de visualización por defecto para función de transitorios Velocidad de actualización de 5x por segundo Presenta 4 ciclos de datos de forma de onda en pantalla, hasta 4 formas de onda simultáneamente
Diagrama fasorial	Disponible en todos los modos mediante la función SCOPE Vista predeterminada para modo de desequilibrio
Lecturas del medidor	Disponible en todos los modos excepto Monitor y Transitorios, proporciona una vista tabular de todas las lecturas disponibles Completamente personalizable hasta 150 lecturas para el modo de registrador
Gráfico de tendencia	Disponible en todos los modos excepto Transitorios Cursor vertical simple con lectura mín, máx y media en la posición del cursor
Gráfico de barras	Disponible en los modos de Monitor y Armónicos
Lista de eventos	Disponible en todos los modos Proporciona información de ciclos 50/60** de forma de onda y valores rms de 172 ciclo asociados para voltios y amperios

MODOS DE MEDICIÓN DEL ANALIZADOR FLUKE 435

Modo osciloscopio (SCOPE)	4 formas de onda de voltaje, 4 formas de onda de corriente, Vrms, Vfund. Arms, A fund, V @ cursor, A @ cursor, ángulos de fase
Voltios/amperios/hercios	Vrms fase a fase, Vrms fase a neutro, Vpico, factor de cresta en V, Arms Apico, factor de cresta en A, Hz
Caídas de tensión y sobretensiones	Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Pinst con niveles de umbral programables para detección de eventos
Armónicos CC, 1 a 50, hasta 9º armónico para 400 Hz	Voltios de armónicos, THD, amperios de armónicos, amperios de factor K, vatios de armónicos, vatios de umbral, vatios de factor K, voltios de interarmónicos, amperios de interarmónicos, Vrms, Arms (relativo a rms total o fundamental)
Potencia y energía	Vrms, Arms, Wfull, Wfund., VAfull, VAfund., VAarmónicos, VAdesequilibrio, var, PF, DPF, CosQ, factor de Eficiencia, Wforward, Wreverse
Calculadora de pérdida de energía	Wfund, VAarmónicos, VAdesequilibrio, var, A, Pérdida Activa, Pérdida Reactiva, Pérdida de Armónicos, Pérdida de Desequilibrio, Pérdida de Neutro, Costo de Pérdida (basado en costo definido por el usuario / kWh)
Eficiencia del inversor (requiere pinza amperimétrica CC opcional)	Wfull, Wfund, Wdc, Eficiencia, Vdc, Adc, Vrms, Arms, Hz
Desequilibrio	Vneg%, Vzero%, Aneg%, Acero%, Vfund, Afund, ángulos de fase V, ángulos de fase A
Corriente de arranque	Corriente de arranque, duración de la corriente de arranque, Arms $\frac{1}{2}$, Vrms $\frac{1}{2}$
Monitor	Vrms, Arms, voltios de armónicos, voltios de THD, PLT, Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Hz, caídas de tensión, sobretensiones, interrupciones, cambios rápidos de voltaje, desequilibrio y señalización de la red. Todos los parámetros se miden simultáneamente de acuerdo con la norma ENS0160. La marcación se aplica según la norma IEC61000-4-30 para indicar lecturas poco confiables causadas por caídas de tensión o sobretensiones
Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión) (435-II y 437-II solamente)	Pst(1 min), Pst, Pit, Pinst, Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Hz
Transitorios (435-II y 437-II sólo)	Formas de onda de transitorios, voltaje 4x, amperios 4x, disparadores: Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Pinst
Señalización de la red (435-II y 437-II sólo)	Voltaje de señalización relativa y absoluta, promediado a lo largo de tres segundos hasta para dos frecuencias seleccionables
Onda de potencia eléctrica (435-II y 437-II sólo)	Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$ W, Hz y formas de onda de osciloscopio para amperios de voltaje y vatios
Registrador	Selección personalizada de hasta 150 parámetros PQ medidos simultáneamente en 4 fases

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

	Modelo	Rango de medida	Resolución	Precisión
Voltio				
Vrms (ca+cc)	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % del voltaje nominal****
	435-II y 437-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,01 V	± 0,1 % del voltaje nominal****
Vpico		1 Vpico a 1400 Vpico	1 V	5 % del voltaje nominal
Factor de cresta (CF) de tensión		1,0 > 2,8	0,01	± 5 %
Vrms $\frac{1}{2}$	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 1 % del voltaje nominal
	434-II y 435-II		0,1 V	± 0,2 % del voltaje nominal
Vfund	434-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % del voltaje nominal
	435-II y 437-II		0,1 V	± 0,1 % del voltaje nominal
Amperios (precisión sin incluir precisión de pinza)				
Amperios (CA+CC)	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Apico	i430-Flex	8400 Apico	1 Arms	± 5 %
	1mV/A	5500 Apico	1 Arms	± 5 %
Factor de cresta (CF) de corriente		1 a 10	0,01	± 5 %
Amps $\frac{1}{2}$	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 1 % ± 10 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
Afund	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Hz				
Hz	Fluke 434 a 50 Hz nominal	42,50 Hz a 57,50 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 434 a 60 Hz nominal	51,00 Hz a 69,00 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 50 Hz nominal	42,500 Hz a 57,500 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 60 Hz nominal	51,000 Hz a 69,000 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 437 a 400 Hz nominal	340,0 Hz a 460,0 Hz	0,1 Hz	± 0,1 Hz

Alimentación				
Vatios (VA, var)	i430-Flex 1 mV/A	máx. 6000 MW máx. 2000 MW	0,1 W a 1 MW 0,1 W a 1 MW	± 1 % ± 10 cuentas ± 1 % ± 10 cuentas
Factor de potencia (Cos ϕ /DPF)		0 a 1	0,001	± 0,1 % con condiciones de carga nominal
Energía				
kWh (kVAh, kvarh)	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		± 1 % ± 10 cuentas
Pérdidas de energía	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		± 1 % ± 10 cuentas Excluyendo precisión de resistencia de línea
Armónicos				
Orden de armónicos (n)		CC, agrupamiento de 1 a 50: Grupos de armónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Orden de interarmónicos (n)		Desactivado, agrupamiento de 1 a 50: Subgrupos de armónicos e interarmónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Voltios.	%f	0,0 % a 100 %	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,1 %
	%r	0,0 % a 100 %	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,4 %
	Absoluto	0,0 a 1000 V	0,1 V	± 5 % *
	THD (Dispersión armónica total)	0,0 % a 100 %	0,1%	± 2,5 %
Amperios	%f	0,0 % a 100 %	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,1 %
	%r	0,0 % a 100 %	0,1%	± 0,1 % ± n x 0,4 %
	Absoluto	0,0 a 600 A	0,1 A	± 5 % ± 5 cuentas
	THD (Dispersión armónica total)	0,0 % a 100 %	0,1%	± 2,5 %
Watios	%f o %r	0,0 % a 100 %	0,1%	± n x 2 %
	Absoluto	Según escala de la pinza de corriente y V nominal	–	± 5 % ± n x 2 % ± 10 cuentas
	THD (Dispersión armónica total)	0,0 % a 100 %	0,1%	± 5 %
Ángulo de fase		-360° a +0°	1°	± n x 1°

Especificaciones del producto, continuación

Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión)				
Plt, Pst, Pst(1min) Pinst		0,00 a 20,00	0,01	± 5 %
Desequilibrio				
Voltios.	%	0,0 % a 20,0 %	0,1%	± 0,1 %
Amperios	%	0,0 % a 20,0 %	0,1%	± 1 %
Señalización de la red				
Niveles de umbral		Los umbrales, límites y duración de la señalización son programables para dos frecuencias de señalización	–	–
Frecuencia de señalización		60 Hz a 3000 Hz	0,1 Hz	
V% relativo		0 % a 100 %	0,10 %	± 0,4 %
V3s absoluto (promedio de 3 segundos)		0,0 V a 1000 V	0,1 V	± 5 % del voltaje nominal

Registro de tendencias

Método	Registra automáticamente los valores mínimo, máximo y medio a lo largo del tiempo para todas las lecturas que se están mostrando simultáneamente para las tres fases y el neutro
Muestreo	Muestreo continuo de 5 lecturas/s por canal, 100/120** lecturas/s para valores de 1/2 ciclo y Pinst
Tiempo de grabación	1 h a 1 año, seleccionable por el usuario (configuración predeterminada 7 días)
Tiempo de promediación	0,25 s a 2 h, seleccionable por el usuario (valor predeterminado 1 s), 10 minutos al utilizar el modo Monitor
Memoria	Los datos se almacenan en una tarjeta SDcard (8 GB incluida, 32 GB máx.)
Sucesos	434-II: Tabulados en la lista de eventos 435-II y 437-II: Tabulados en la lista de eventos, incluidos ciclos de 50/60** de forma de onda y tendencia de voltaje y amperios rms de 1/2 ciclo y 7,5 s

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Vrms, Arms	Intervalos de 10/12 ciclo no superpuestos y contiguos usando 500/416 ³ muestras por ciclo de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
Vpico, Apico	Muestra de valor máximo dentro del intervalo de 10/12 ciclos con una resolución de la muestra de 40 µs
Factor de cresta en V	Mide la relación entre el valor de Vpico y Vrms
Factor de cresta en A	Mide la relación entre el valor de Apico y Arms
Hz	Medido cada 10 s de acuerdo con la norma IEC61000-4-30. Los valores de Vrms½, Arms½ se miden a lo largo de 1 ciclo, comenzando en un cruce de cero de la fundamental, y se actualiza cada medio ciclo. Esta técnica es independiente para cada canal de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30.
Armónicos	Calculados a partir de mediciones de grupos de armónicos sin separación de 10/12 ciclos, en voltajes y amperios, de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7
Vatios	Pantalla de visualización de la potencia real de la fundamental y total. Calcula el valor medio de la potencia instantánea a lo largo de periodos de 10/12 ciclos para cada fase. Potencia activa total PT = P1 + P2 + P3.
VA	Pantalla de visualización de la potencia aparente y total de la fundamental. Calcula la potencia aparente utilizando el valor de Vrms x Arms a lo largo de un período de 10/12 ciclos.
var	Pantalla de visualización de la potencia reactiva de la fundamental. Calcula la potencia reactiva en componentes de secuencia positiva de la fundamental. La carga capacitiva e inductiva se indica con los iconos del capacitor e inductor.
Armónicos VA	Potencia total de perturbación debido a los armónicos. Calculada para cada fase y para el sistema total basada en la potencia aparente total y la potencia real de la fundamental.
Desequilibrio VA	Potencia de desequilibrio para el sistema total. Calculada usando el método de componentes simétricos para potencia aparente de la fundamental y potencia aparente total.
Factor de potencia (PF)	Vatios/VA totales calculados
Cos φ	Coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente de la fundamental
DPF	Vatios/VA fundamentales calculados
Energía/coste de energía	Los valores de potencia se acumulan a lo largo del tiempo para valores de kWh. El costo de la energía se calcula con la variable de costo /kWh definida por el usuario
Desequilibrio	El desequilibrio del voltaje de suministro se evalúa utilizando el método de componentes simétricos de acuerdo con la norma IEC61000-4-30
Flicker (Fluctuaciones rápidas de tensión)	De acuerdo con la norma IEC 61000-4-15 de medición de flicker—especificación funcional y de diseño. Incluye modelos de lámpara de 230 V 50 Hz y de lámpara de 120 V 60 Hz.
Captura de transitorios	Captura la forma de onda activada en la envolvente de la señal. Además, se activa con caídas de tensión, sobretensiones, interrupciones y nivel de amperios
Corriente de arranque	La corriente de arranque comienza cuando el medio ciclo de Arms aumenta por encima del umbral de arranque y finaliza cuando el valor de rms del medio ciclo de Arms es igual , o menor que, el umbral de arranque menos un valor de histéresis seleccionado por el usuario. La medición es la raíz cuadrada de la media de los valores de medio ciclo de Arms al cuadrado medidos durante el período de arranque. Cada intervalo de medio ciclo es contiguo y no superpuesto según las recomendaciones de la norma IEC 61000-4-30. Los marcas indican la duración de la corriente de arranque. Los cursores permiten la medición del medio ciclo de Arms pico.
Señalización de la red	Las mediciones se basan en: el valor eficaz de 10/12 ciclos del interarmónico correspondiente, o el verdadero valor eficaz de los cuatro valores rms de 10/12 ciclos del interarmónico correspondiente, según la norma IEC 61000-4-30. La configuración de los límites para el modo de Monitor sigue los límites de la norma EN50160.
Sincronización del tiempo	El módulo opcional de sincronización del tiempo GPS430-II proporciona una incertidumbre temporal de ≤ 20 ms o ≤ 16,7 ms en función del tiempo marcado de eventos y en función del tiempo de mediciones agregadas . Cuando no está disponible la sincronización, la tolerancia temporal es de ≤ 1-s/24h

Configuraciones de cableado

1Ø + NEUTRO	Monofásico con neutro
1Ø FASE DIVIDIDA	Fase dividida
1Ø IT SIN NEUTRO	Sistema monofásico con voltajes bifásicos sin neutro
3Ø EN ESTRELLA	ESTRELLA del sistema trifásico de cuatro hilos
3Ø EN TRIÁNGULO	Triángulo del sistema trifásico de tres hilos
3Ø IT	Sistema trifásico sin ESTRELLA para el neutro
3Ø DERIVACIÓN ALTA	Sistema en triángulo trifásico de cuatro hilos, con derivación alta central
3Ø DERIVACIÓN ABIERTA	Sistema en triángulo abierto de tres hilos, con 2 bobinados de transformador
2 ELEMENTOS	Sistema trifásico de tres hilos sin sensor de corriente en la fase L2/B (método de medidor de 2 vatios)
2½ ELEMENTOS	Sistema trifásico de cuatro hilos sin sensor de voltaje en la fase L2/B
EFICACIA DEL INVERSOR	Entrada de corriente y voltaje CC con potencia de salida CA (se muestra y selecciona automáticamente en el modo de Eficiencia del inversor)

Especificaciones generales

Estuche	Diseño reforzado y a prueba de choques con funda protectora integrada A prueba de salpicaduras y polvo, modelo IP51 de acuerdo con la norma IEC 60529 cuando se utiliza en la posición de soporte inclinado Golpes y vibración. Golpes: 30 g, vibración: 3 g sinusoidal, aleatorio 0,03 g/Hz de acuerdo con MIL-PRF-28800F Clase 2
Pantalla	Brillo: 200 cd/m ² tip utilizando adaptador de potencia eléctrica, 90 cd/m ² típico utilizando energía de la batería Tamaño: LCD de 127 mm x 88 mm (153 mm/6,0 pulg. diagonal) Resolución: 320 x 240 píxeles Contraste y brillo: ajustable por el usuario, compensado por temperatura
Memoria	Tarjeta SD de 8 GB (compatible con SDHC, formato FAT32) estándar, hasta 32 GB opcionales Almacena pantallas y varias memorias de datos para almacenar incluso registros (en función del tamaño de la memoria)
Reloj de tiempo real	Indicación de fecha y hora para modo de Tendencia, pantalla de visualización de Transitorios, monitor del sistema y captura de eventos

Medioambiental

Temperatura de trabajo	0 °C ~ +40 °C; +40 °C ~ +50 °C sin incluir batería
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ~ +60 °C
Humedad	+10 °C ~ +30 °C: 95% de humedad relativa sin condensación +30 °C ~ +40 °C: 75% de humedad relativa sin condensación +40 °C ~ +50 °C: 45% de humedad relativa sin condensación
Altitud máxima de operación	Hasta 2.000 m (6666 pies) para CAT IV 600 V, CAT III 1000 V Hasta 3.000 m (10.000 pies) para CAT III 600 V, CAT II 1000 V Altitud de almacenamiento máxima: 12 km (40.000 pies)
Compatibilidad electromagnética (CEM), según la norma	EN 61326 (2005-12) para emisión e inmunidad
Interfaces	mini-USB-B, puerto USB aislado para conectividad a la PC Ranura para tarjeta SD accesible detrás de la batería del instrumento
Garantía	3 años (piezas y mano de obra) para el instrumento principal, 1 año para los accesorios

Accesorios incluidos

Opciones de potencia eléctrica	Adaptador eléctrico, modelo BC430 Juego de adaptadores de enchufe internacional BP290 (batería de ion litio de capacidad normal) 28 Wh (7 horas o más)
Puntas	Juego de puntas de prueba y pinzas cocodrilo, modelo TL430
Códigos de color	Pinzas con códigos de color y adhesivos regionales, modelo WC100
Puntas de prueba de corriente flexibles	Modelo i430flex-TF, 61 cm (24 pulg.) de longitud, 4 pinzas amperimétricas
Memoria, software y conexión a PC	Tarjeta SD de 8 GB PowerLog en CD (incluye manuales de instrucciones en formato PDF) Cable USB A-B mini
Maletín de transporte	Estuche blando C1740 para 434-II y 435-II Maletín rígido C437 con ruedas para el 437-II

- * ± 5 % si ≥ 1 % de voltaje nominal ± 0,05 % de voltaje nominal si < 1 % de voltaje nominal
- ** 50 Hz/60 Hz de frecuencia nominal de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
- *** No se admiten mediciones de 400 Hz para modos Flicker, Señalización de red y Monitor.
- **** para voltaje nominal de 50 V a 500 V

ANEXO B. CARACTERÍSTICAS DE LOS CAPACITORES VARPLUSCAN SDUTY



	SDuty	HDuty
Construcción	Can: Botella de aluminio	
Rango de tensión	380 V - 525 V	380 V - 830 V
Rango de potencia (trifásico)	Can: 5 - 25 kvar Box: 7,5 - 100 kvar	Can: 5 - 50 kvar Box: 7,5 - 100 kvar
Perdidas (tota)	< 0,5 W/kvar	
Peak de corriente (Inrush)	hasta 200 x In	hasta 250 x In
Sobretensión	1.1 x Vn (8h cada 24h)	1.1 x Vn (8h cada 24h)
Sobrecorriente	1,5 x In	1,8 x In
Vida útil promedio	hasta 100.000 h	hasta 130.000 h
Seguridad	Auto cicatrización + desconexión sensible a la presión + resistencia de descarga del dispositivo	
Dieléctrico	Película de polipropileno metalizado con aleación Zn/Al	Película de polipropileno metalizado con aleación de Zn/Al con metalización de perfil especial y corte de onda
Impregnación	Resina biodegradable, libre de PCB	
Temperatura ambiente	Mínimo: -25 °C; Máximo: 55 °C	
Humedad	95%	
Altitud	2000 mt.	
Grado de protección	IP20	
Montaje	vertical	vertical, horizontal
Terminales	Can (<= 10 kvar): Cable Can (10 < , <= 30): Terminal tipo Clampite Can (> 30 kvar): Terminal tipo Stud	
Estándar	IEC 60831-1/2	

Principio de construcción de las referencias

B	L	R	C	H	1	0	4	A	1	2	5	B	4	0
			Modelo C = CAN	Gama S = SDuty H = HDuty	Potencia a 50 Hz 10.4 kvar at 50 Hz A = 50 Hz				Potencia a 60 Hz 12.5 kvar at 60 Hz B = 60 Hz			Voltaje 24 - 240 V 40 - 400 V 44 - 440 V 48 - 480 V 52 - 525 V 57 - 575 V 60 - 600 V 69 - 690 V 83 - 830 V		

Ejemplo: **BLRCH172A206B48** = VarplusCan Heavy Duty, 480 V, 17.2 kvar a 50 Hz y 20.6 kvar a 60 Hz

Una solución segura, fiable y de alto rendimiento para la corrección del factor de potencia en condiciones normales de funcionamiento.



Condiciones de funcionamiento

- Redes con poca contaminación armónica: (NLL ≤ 10%).
- Baja variación de voltaje en la red.
- Temperatura de hasta 55 ° C.
- Cantidad normal de operaciones (5000/año).
- Corriente máxima 1,5 x IN (incluyendo armónicos)

Tecnología

Construidos internamente con tres condensadores monofásicos montados en un diseño altamente optimizado. Cada condensador se fabrica utilizando una película de polipropileno metalizado (dieléctrico) con características que mejoran las propiedades de "auto-cicatrización"

Los elementos activos del condensador se encapsulan en una resina biodegradable que asegura la estabilidad térmica y disipación de calor desde el interior del condensador.

Los terminales del condensador integran las resistencias de descarga, permitiendo además un adecuado apriete para una correcta conexión.

Beneficios

- Seguridad:
 - Auto-cicatrización
 - Desconexión por sobre presión
 - Resistencia de descarga.
- Esperanza de vida útil de hasta 100.000 horas.
- Fácil instalación debido a su tamaño compacto y bajo peso.
- Fácil mantenimiento.

Rango de voltaje 380/400/415 V					μF (X3)	Tamaño	Referencia
50 Hz							
Q _n (kvar)			I _n (A)				
380 V	400 V	415 V	at 400 V				
4.5	5	5.4	7.2	33.1	HC	BLRCS050A060B40	
6.8	7.5	8.1	10.8	49.7	HC	BLRCS075A090B40	
9.4	10	11.2	15	68.9	MC	BLRCS104A125B40	
11.3	12.5	13.5	18	82.9	NC	BLRCS125A150B40	
13.5	15	16.1	21.7	99.4	NC	BLRCS150A180B40	
18.1	20	21.5	28.9	133	SC	BLRCS200A240B40	
22.6	25	26.9	36.1	166	SC	BLRCS250A300B40	

Características de seguridad



Fig 1 a) Capa metálica (b) Dieléctrico



Fig 2

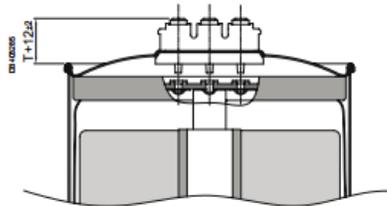
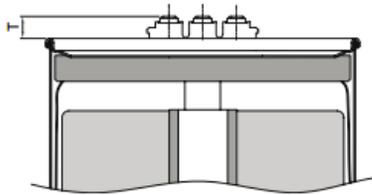


Fig 3

La auto-cicatrización es un proceso mediante el cual el condensador se restaura en el caso de un fallo en el dieléctrico producto de sobrecargas, transitorios de voltaje, etc.

Cuando el aislamiento se rompe, se forma un arco de corta duración (figura 1).

El intenso calor generado por el arco, provoca un proceso de metalización en las cercanías de la misma. Al mismo tiempo que aísla, mantiene el funcionamiento e integridad del condensador (figura 3).

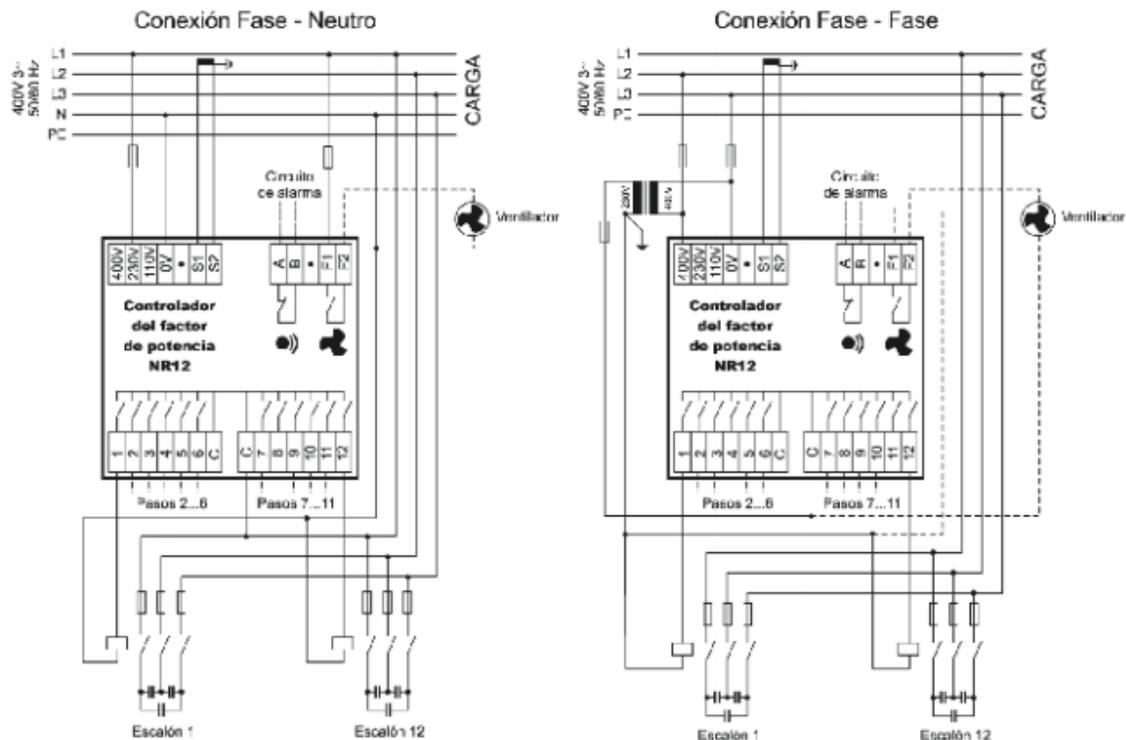


Desconexión por sobre presión (también llamado "corte del fusible"): este mecanismo está presente en cada fase del condensador, permitiendo la desconexión segura y manteniendo el aislamiento eléctrico del condensador cuando este ha llegado al final de su vida útil.

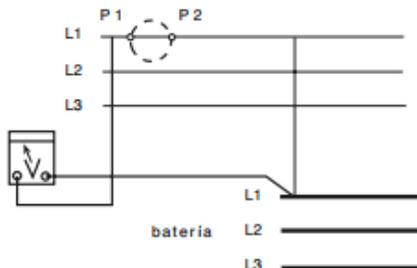
El mal funcionamiento provoca un aumento de la presión dentro del condensador, expandiendo verticalmente la tapa lo que provoca una desconexión irreversible del condensador.

Vista transversal de un condensador después de la operación del dispositivo de desconexión por sobre presión: la tapa se dobla y desconecta irreversiblemente el condensador

ESQUEMA TIPO BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO



RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DEL BANCO DE CONDENSADORES



■ Dimensionamiento de los cables:

□ Sección del cable de conexión TC / regulador:
2,5 mm² como mínimo.

■ Conexión del TC

(circuito de medida de intensidad):

□ Situación del TC:

Verificar que el transformador está instalado "aguas arriba" de la batería y de las cargas en una de las fases (identificarla como fase 1).

□ Verificación de la correcta conexión

de la fase 1 del condensador:

Cerchiórese de que la fase 1 del condensador sea conectada a la fase sobre la cual se ha instalado el TC.

En caso de duda conecte un voltímetro entre el borne L1 del equipo y la fase donde está el TC. El voltímetro debe marcar 0 V; si no es así, cambie el TC a la fase adecuada, o mantenga el TC en su sitio y permute los cables de potencia de alimentación del condensador hasta alcanzar la posición deseada.

□ Conexión del TC a la batería:

Conecte los cables provenientes del TC en el regletero del equipo: S1 en el borne K y S2 en el borne L.

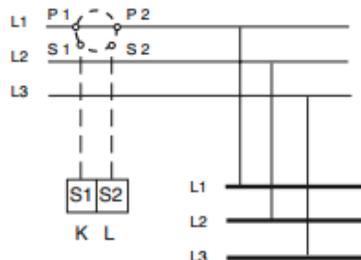
■ Conexión a tierra:

Efectúe la conexión al borne identificado para este efecto en el equipo.

■ Conexión de los 2 cables de alimentación de la maniobra.

■ Conexión de los 3 cables de potencia:

Conecte las fases definidas anteriormente como L1, L2, L3 en las bornas L1, L2, L3 del equipo.



ANEXO C. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA

Características

controlador de factor potencia - Varlogic NR6 - contactos de salida de 6 pasos



Principal

Rango de producto	Varlogic N
Grado de protección IP	IP20 cara tras. IP41 cara frontal
Tipo de pantalla	Pant. ilum. ctrluz 65 x 21 mm
Idioma	Alemán Inglés Portugués Español Francés
Nombre de modelo de dispositivo	NR6
Soporte de montaje	Perfil DIN 35 mm EN 50022
Número de contactos sal. paso	6
[Us] rated supply voltage	110 V AC 50/60 Hz 220...240 V AC 50/60 Hz 380...415 V AC 50/60 Hz

Códificación cromática	RAL 7016
Tipo de medición	Ciclos de conmutación y contador de tiempo de conexión Cos μ Datos técn de red: carga y corrientes reactivas, voltaje, alimentación (S, P, Q) Distorsión armónica de tensión total THD(U) Historia de alarm Pasos conectad Temperatura ambiente dentro del cubículo
Tipo de alarmas	Corr alta > 115 % mensaje Corr baja < 2.5 % mensaje Distors armón total > 7 % mensaje y contacto alarma Factor alim. baja mensaje y contacto alarma Oscilante (regulac. inestable) mensaje y contacto alarma Sobrecompensac mensaje y contacto alarma Sobrintens. > 115 % I1 mensaje y contacto alarma Sobretemperatura $\theta \geq \theta_0$ ($\theta_0 = 50$ °C máximo) mensaje y contacto alarma Sobretemperatura $\theta \geq \theta_0 - 15$ °C fan switch Sobretens > 110 % U _o mensaje y contacto alarma Tensión baja < 80 % U _o en 1 s mensaje y contacto alarma \angle Coseno anormal? < 0,5 ind. o 0,8 cap. mensaje y contacto alarma
Tipo de entrada	Entr corr CT...X/5 A Fase a fase Fase a neutral Insensible a polaridad CT Insensible a polaridad de rotación de fase
Tipo de salida	Free outputs contacts current 1 A 400 V CA 50/60 Hz Free outputs contacts current 2 A 250 V CA 50/60 Hz Free outputs contacts current 5 A 120 V CA 50/60 Hz Free outputs contacts current 0.3 A 110 V CC Free outputs contacts current 0.6 A 60 V CC Free outputs contacts current 2 A 24 V CC
Ajustes modo funcionam.	Automático Manual
Tipo de ajuste	Choice of stepping programs circular Choice of stepping programs linear Choice of stepping programs normal Choice of stepping programs optimal Delay between 2 successive switch on the same step 10...600 s Step configuration programming Target cos phi 0.85 inductive...0.9 capacitive

Secuencias escalonadas	1.1.1.1.1.1 1.1.2.2.2.2 1.1.2.3.3.3 1.2.2.2.2.2 1.2.3.3.3.3 1.2.3.4.4.4 1.2.4.4.4.4 1.2.4.8.8.8
Ubicación de montaje	Panel
Alto	150 mm
Ancho	150 mm
Fondo	70 mm
Peso del producto	1 kg
Tensión de medida	110 V AC 50/60 Hz 220...240 V AC 50/60 Hz 380...415 V AC 50/60 Hz
Modo de funcionamiento	Manual

Entorno

Estándares	EN 61010-1 IEC 61010-1 IEC 61326
Temperatura ambiente para funcionamiento	0...60 °C
Temperatura ambiente para almacenamiento	-20...60 °C
Resistencia climática	Temperatura de aire ambiente para almacenamiento - 20...60 °C

Garantía contractual

Periodo	18 meses
---------	----------

Salidas:

- Contactos secos:
- CA: 1 A/400 V, 2 A/250 V, 5 A/120 V.
- CC: 0,3 A/110 V, 0,6 A/60 V, 2 A/24 V.

Ajustes y programación:

- Ajuste $\cos \phi$ objetivo: 0,8 ind. a 0,9 cap.
- Posibilidad de doble consigna para $\cos \phi$.
- Parametrización manual o automática del regulador.
- Búsqueda automática del C/K.
- Ajuste manual del C/K: 0 a 1,99.
- Programas de regulación:
 - Universal.
 - Lineal.
 - Circular.
 - Optimizado.

La compensación de energía reactiva automática permite una optimización del equipamiento usándolo solo cuando se requiere. Los reguladores VarLogic miden permanentemente el $\cos \phi$ de la instalación y controlan la conexión y desconexión de los distintos escalones para llegar en todo momento al $\cos \phi$ objetivo. VarLogic utiliza una lógica inteligente intercambiando los condensadores de igual paso para obtener un desgaste uniformizado de los condensadores.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTROLADOR VARLOGIC

Número de escalones	6 o 12
Dimensiones	155 x 155 x 70 mm
Frecuencia	48...52 Hz, 58...62 Hz
Corriente de medición	0...5 A
Tensiones de alimentación y medición	88...130 V 185...265 V 320...460 V
Salidas rele	120 Vac/5A, 250 Vac/2A, 400 Vac/1A 110 Vdc/0,3A, 60 Vdc/0,6A, 24 Vdc/2A
Visualizador	Cristal LCD con 160 símbolos, retroiluminada
Cristal de protección	Panel frontal IP41, parte posterior IP20
Rango cos Φ - de destino	0,85 ind ... 1,00 ... 0,90 cap
Limites de respuesta	0,01 ... 1,99 simétrico
Temporización de reconexión	10...600 s
Temporización de respuesta	20% de temporización de reconexión, mín. 10s
Medidas mostradas	cos Φ , P, Q, S, THD (U), temperatura
Metodo de instalación	Instalación del panel, instalación de perfil DIN
Caja	Resistente a los impactos PC/ABS, UL94V0
Rango de temperaturas de funcionamiento	0...60°C
Registro de alarmas	Lista de las últimas 5 alarmas
Contadores de escalones	Si
Control de ventilador con relé dedicado	Si
Precisión (de FS)	Is: 5% Iq: 5% Muestras U/I: 5% Fase: 5°C Distorsión: + -3 dB (hasta 11th) Temperatura: + -3°C
Rango de ajuste del TI	25/5 ... 6000/5
Detección de cortes de alimentación	Tiempo de reacción > 15 ms
Certificaciones	IEC 61010-1 IEC 61000-6-2 IEC 61000-6-4 IEC 61326

ANEXO D. CALIBRES DE LOS CONDUCTORES DE COBRE

CONDUCTORES DE COBRE TIPO TW - 600 V. 60 °C

DESCRIPCION

Los conductores tipo TW pueden ser sólidos o cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico Cloruro de Polivinilo (PVC) resistente a la humedad. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.



USOS Y APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TW son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 60 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

PRESENTACION

Colores disponibles:

Cables (calibres del 16 al 10 AWG): Negro, blanco, azul, rojo, amarillo, y verde

Cables (calibres 8 al 2 AWG): Negro, blanco, azul y rojo

Cables (calibres del 1 al 1000 MCM): Negro

Formas de embalaje:

A: Rollo de 100 m.

B: Carrete de 1500 m.

C: Carrete de 1000 m.

D: Carrete de 500 m.

E: Carrete múltiplo de 1000 m.

Z: Long. a requerimiento cliente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS CONDUCTORES

Todos los conductores fabricados por ELECTROCABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material Termoplástico, PVC 600 V - 60 °C

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION		ESP ESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.					Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.52	1 x 0.813		0.76	2.33	9.81	6	7	TF	A,E
18	0.82	1 x 1,02		0.76	2.54	13.16	6	7	TF	A,E
16	1.31	1 x 1,29		0.76	2.81	18.10	10	8	TF	A,B
14	2.08	1 x 1,63		0.76	3.15	26.10	20	15	TW	A,B
12	3.31	1 x 2,05		0.76	3.57	38.30	25	20	TW	A,C
10	5.26	1 x 2,59		0.76	4.11	57.40	40	30	TW	A,D
8	8.34	1 x 3,26		1.14	5.54	95.20	60	40	TW	A,B
14	2.08	7 x 0,62		0.76	3.38	27.80	20	15	TW	A,B
12	3.31	7 x 0,78		0.76	3.86	40.10	25	20	TW	A,C
10	5.26	7 x 0,98		0.76	4.46	59.90	40	30	TW	A,D
8	8.37	7 x 1,23		1.14	5.97	105.20	60	40	TW	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55		1.52	7.69	170.40	80	55	TW	A,E
4	21.15	7 x 1,96		1.52	8.92	255.50	105	70	TW	A,E
2	33.62	7 x 2,47		1.52	10.45	388.90	140	95	TW	A,E
1	42.36	7 x 2,78		2.03	12.40	482.90	165	110	TW	A,D,E
1/0	53.49	19 x 1,89		2.03	13.51	621.00	195	125	TW	D,E,Z
2/0	67.43	19 x 2,12		2.03	14.66	778.00	225	145	TW	D,E,Z
3/0	85.01	19 x 2,39		2.03	16.01	934.00	260	165	TW	D,E,Z
4/0	107.20	19 x 2,68		2.03	17.46	1159.00	300	195	TW	D,E,Z
250	127.00	37 x 2,09		2.41	19.45	1368.00	340	215	TW	Z
300	152.00	37 x 2,29		2.41	20.85	1623.00	375	240	TW	Z
350	177.00	37 x 2,47		2.41	22.11	1876.00	420	260	TW	Z
400	203.00	37 x 2,64		2.41	23.30	2128.00	455	280	TW	Z
500	253.00	37 x 2,95		2.41	25.47	2631.00	515	320	TW	Z
600	304.00	37 x 3,23		2.79	28.19	3174.00	575	355	TW	Z
650	329.00	37 x 3,37		2.79	29.17	3345.00	600	370	TW	Z
700	355.00	37 x 3,49		2.79	30.01	3609.00	630	385	TW	Z

ANEXO E. FILTRO ACCU SINE

El filtro activo AccuSine además de eliminar los armónicos y compensar reactivos hace balance de cargas mediante inyección controlada de corriente de secuencia negativa, con esto se consolida como la solución definitiva para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. AccuSine es fácil de configurar, tiene la opción de hacer filtrado discreto es decir, parametrizando cada frecuencia a corregir o filtrado analógico donde se hace filtrado de todas las frecuencias hasta el orden 50.

TABLA DE SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

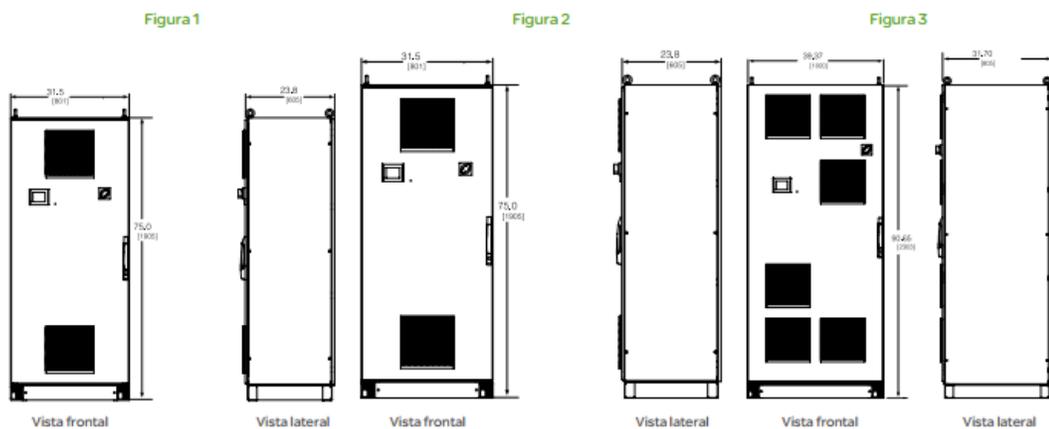
Capacidad en Amp	Catálogo No.	Dimensiones		Peso (lb)	Precisión	Capacidad de carga	Corriente secundaria
		A (ID)	D (OD)				
500	CT500SC	4.0	6.5	3.5	2%	3 VA	5 A
1000	CT1000SC	4.0	6.5	3.5	1%	10 VA	5 A
3000	CT3000SC	6.0	8.5	4.25	1%	45 VA	5 A
5000	CTFCL5000	8.0	10.5	5.5	1%	45 VA	5 A

Nota: Se necesitan tres TC para redes con cargas monofásicas. Se necesitan dos TC para cargas trifásicas.
Para las instalaciones que requieren conexión de múltiples unidades AccuSine®, son necesarias consideraciones especiales.

TABLA DE SELECCIÓN DEL FILTRO ACCU SINE

Corriente nominal (rms)	Máxima potencia reactiva (kVAR)			Referencia	Encerramiento	Dimensiones	Peso
	208 V	400 V	480 V				
50	18	34,8	41,8	PCS050D5N126S	NEMA 12	1	661 (300)
				PCS050D5IP306S	IP 30		
100	38	88,2	83,1	PCS100D5N126S	NEMA 12	2	771 (350)
				PCS100D5IP306S	IP 30		
300	108	207,8	249,4	PCS300D5N126S	NEMA 12	3	1212 (550)
				PCS300D5N126S	IP 30		

Dimensiones de la unidad



CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO ACCU SINE

Capacidad de salida estándar RMS actuales	50A, 100A, 300A
Voltaje nominal	208-480V + / - 10% detección automática
Otros voltajes	Con transformador
Frecuencia nominal	50/60 Hz + / - 3 Hz detección automática
Número de fases	3F3H / 3F4H
Electrónica de potencia	IGBT
Topología	Interfase analógica/digital
Operación con carga monofásica	Si
Transformadores de corriente	500 / 5, 1000 / 5, 3000 / 5, 5000 / 5 (400Hz)
Número de CTs requeridos	2 ó 3
Compensación de espectro	2º a 50º armónico
Relación de atenuación	> 10:1
Paralelo de varias unidades	Si, hasta 10 por serie de CTs (cualquier combinación de tamaño)
Ubicación TC	Fuente o carga
Corrección de reactivos	Si
Tiempo de respuesta	100 microsegundos para los cambios de paso de carga, 1 ciclo de respuesta completa
Sobrecarga	Limitada a la de potencia nominal, funcionamiento continuo
Inyección dinámica de corriente instantánea	Hasta 2.25 veces la corriente nominal
Pantalla	Alta calidad de 3.8" pantalla QVGA
Idiomas	Inglés, con capacidad de otro idioma
Control	Magelis XBT terminal gráfico de pantalla táctil
Parámetros de visualización	<ul style="list-style-type: none"> Tensión AC de la línea, tensión de bus DC, factor de potencia de carga de salida Carga de corriente armónica, carga reactiva de corriente, corriente armónica de salida, corriente de carga corregida Varios códigos de error, puntos de inicio de los parámetros establecidos, pantalla de control de parada
Capacidad de comunicación	Modbus, Modbus TCP / IP
Pérdidas de calor	2150W para 50A, 3700W para 100A, 10,000 W para 300A
Nivel de ruido (ISO 3746)	<80 dB a un metro de la superficie de la unidad
Color	RAL7032
Temperatura de funcionamiento	0º a 40ºC continuo
Humedad relativa	0 -95% sin condensación
Calificación sísmica	ASCE7 y CIB
Altitud de funcionamiento	<1000m, (otros factores aplican para mayores altitudes @ 10% por cada 1000m)
Protección	NEMA 12, IP30,
Opcional: Certificación CE EMC	IEC/EN60439-1, EN61000-6-4 clase A, EN61000-6-2

ANEXO F. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES AL MES DE SEPTIEMBRE DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

Tasas de Interés			
Septiembre 2014			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	7.86	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	9.64	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.32	Productivo PYMES	11.83
Consumo	15.96	Consumo	16.30
Vivienda	10.74	Vivienda	11.33
Microcrédito Acumulación Ampliada	22.40	Microcrédito Acumulación Ampliada	25.50
Microcrédito Acumulación Simple	25.03	Microcrédito Acumulación Simple	27.50
Microcrédito Minorista	28.51	Microcrédito Minorista	30.50
2. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS PROMEDIO POR INSTRUMENTO			
Tasas Referenciales		Tasas Referenciales	
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Depósitos a plazo	4.98	Depósitos de Ahorro	1.17
Depósitos monetarios	0.45	Depósitos de Tarjetahabientes	0.53
Operaciones de Reporto	0.15		
3. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS REFERENCIALES POR PLAZO			
Tasas Referenciales		Tasas Referenciales	
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Plazo 30-60	3.94	Plazo 121-180	5.52
Plazo 61-90	4.50	Plazo 181-360	6.13
Plazo 91-120	5.02	Plazo 361 y más	7.06

ANEXO G. PLANILLAS DE CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA INDUSTRIAL INDUCUERDAS



REPORTE DEL HISTORICO DE CONSUMOS CNSIMP 2014/12/02 11h26m03 PAG. 1

DATOS FIJOS

Número de Cuenta.....	171547-3	INDUCUERDAS CIA LTDA
Sector de emisión.....	RIO016 RIO 16	Fecha Emisión... 2014/11
Dirección.....	LANGOS SAN ALFONSO	
Ruta de lectura.....	014-0003500	Contrato.....
Medidor.....	ZBT 236951	Esferas..... 5
Tarifa.....	INH	Dmd.Facturable.. 61
Lectura Anterior.....	4426	Lectura Actual..
Número de Poste . . .	1.00	Consumo.....

HISTORICO DE CONSUMO

Año	Mes	Lectura	Consumo	Tipo Registro	Fecha Pago	
2014	Noviembre		27700	LECTURA	0/00/00	2.645,71
2014	Octubre		23900	LECTURA	0/00/00	2.327,20
2014	Septiembre		18600	LECTURA	0/00/00	1.905,76
2014	Agosto		22700	LECTURA	0/00/00	2.304,88
2014	Julio		22400	LECTURA	0/00/00	2.232,45
2014	Junio		19400	LECTURA	2014/08/29	1.979,84
2014	Mayo		18300	LECTURA	2014/08/29	1.464,49
2014	Abril		15100	PROMEDIO	2014/08/29	1.218,82
2014	Marzo		21600	LECTURA	2014/08/29	1.737,82
2014	Febrero		17200	LECTURA	2014/08/29	1.375,57
2014	Enero		19200	LECTURA	2014/08/29	1.445,50
2013	Diciembre		20500	LECTURA	2014/08/29	1.703,18
2013	Noviembre		15600	LECTURA	2014/08/29	1.371,89
2013	Octubre		23300	LECTURA	2014/08/29	1.873,88
2013	Septiembre		26100	LECTURA	2014/08/29	2.019,36
2013	Agosto		20800	LECTURA	2014/08/29	1.687,85
2013	Julio		19100	LECTURA	2014/08/29	1.567,03

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2013 8

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
32	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	9,72	47,67
32	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,16	1,19
32	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,04	0,19
32	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	3,87	16,90
32	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,84	3,65
32	31002	DEMANDA EN USD	329,47	1757,18
32	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	1,48	25,26
32	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	7,05

Consumo KWH: 19100	Total del mes:	1.673,22
Tarifa: M R INH	Pend. 4 meses:	3.552,21
Demanda: 60	Mora del mes:	14,63
Penalización: 1,0070		
Correco Hora: 100	Total Factura:	5.240,06

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PgUp/PgDn=Paqinar

@ SdC FcdEns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2013 9

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
33	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	11,96	59,63
33	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,17	1,36
33	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,05	0,24
33	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	4,80	21,70
33	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	1,04	4,69
33	31002	DEMANDA EN USD	329,47	2086,65
33	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	21,09	46,35
33	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	8,46

Consumo KWH: 19100	Total del mes:	2.001,34
Tarifa: M R INH	Pend. 5 meses:	5.240,06
Demanda: 60	Mora del mes:	18,02
Penalización: 1,0070		
Correco Hora: 9934900	Total Factura:	7.259,42

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PgUp/PgDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2013 10

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
34	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	9,16	50,99
34	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,22	1,04
34	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,04	0,21
34	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	4,00	20,00
34	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,87	4,33
34	31002	DEMANDA EN USD	329,47	1674,81
34	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	33,43	66,26
34	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	7,05

Consumo KWH: 19100	Total del mes:	1.859,59
Tarifa: M R INH	Pend. 6 meses:	7.259,42
Demanda: 60	Mora del mes:	14,29
Penalización: 1,0070		
Correco Hora: 9000	Total Factura:	9.133,30

Base Pico 1 Pico 2
F3=Salir F4=Consulta PgUp/PgDn=Paginar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2013 11

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
35	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	11,40	62,39
35	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,45	1,49
35	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,05	0,26
35	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	5,04	25,04
35	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	1,09	5,42
35	31002	DEMANDA EN USD	318,49	1993,30
35	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	14,47	80,73
35	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	8,46

Consumo KWH: 19100	Total del mes:	1.353,86
Tarifa: M R INH	Pend. 5 meses:	9.133,30
Demanda: 60	Mora del mes:	18,03
Penalización: 1,0070		
Correco Hora: 6300	Total Factura:	10.505,19

Base Pico 1 Pico 2
F3=Salir F4=Consulta PgUp/PgDn=Paginar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2013 12

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
36	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	13.57	75,96
36	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0.55	2,04
36	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0.06	0,32
36	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	5.79	30,83
36	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	1.25	6,67
36	31002	DEMANDA EN USD	329.47	2322,77
36	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	12.87	93,60
36	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1.41	9,87

Consumo KWH: 20500

Tarifa: M R INH

Demanda: 60

Penalización: 1,0357

Correco Hora: 8300

Total del mes: 1.681,96

Pend. 6 meses: 10.505,19

Mora del mes: 21,22

Total Factura: 12.208,37

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PaUp/PaDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 1

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
37	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	6.65	40,78
37	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0.41	1,63
37	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0.03	0,18
37	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	2.72	17,55
37	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0.58	3,79
37	31002	DEMANDA EN USD	209.24	1186,67
37	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	8.28	69,05
37	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1.41	5,64

Consumo KWH: 19200

Tarifa: M R INH

Demanda: 79

Penalización: 1,0351

Correco Hora: 7700

Total del mes: 1.435,11

Pend. 3 meses: 4.948,95

Mora del mes: 10,39

Total Factura: 6.394,45

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PaUp/PaDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 2

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
38	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	8,08	48,86
38	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,47	2,10
38	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,04	0,22
38	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	3,52	21,07
38	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,76	4,55
38	31002	DEMANDA EN USD	235,54	1422,21
38	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA	6,84	75,89
38	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	7,05

Consumo KWH: 17200	Total del mes:	1.362,70
Tarifa: M R INH	Pend. 4 meses:	6.394,45
Demanda: 65	Mora del mes:	12,87
Penalización: 1,0262		
Correco Hora: 6600	Total Factura:	7.770,02
Base Pico 1 Pico 2		
F3=Salir F4=Consulta PaUp/PaDn=Paqinar		

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 3

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
39	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	9,68	58,54
39	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,52	2,62
39	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,05	0,27
39	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	4,27	25,34
39	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,92	5,47
39	31002	DEMANDA EN USD	340,45	1762,66
39	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA		75,89
39	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	8,46

Consumo KWH: 21600	Total del mes:	1.722,38
Tarifa: M R INH	Pend. 5 meses:	7.770,02
Demanda: 62	Mora del mes:	15,44
Penalización: 0,9725		
Correco Hora: 8100	Total Factura:	9.507,84
Base Pico 1 Pico 2		
F3=Salir F4=Consulta PaUp/PaDn=Paqinar		

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 4

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
40	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	12,00	70,54
40	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,52	3,14
40	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,06	0,33
40	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	5,23	30,57
40	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	1,13	6,60
40	31002	DEMANDA EN USD	227,69	1990,35
40	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA		75,89
40	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	9,87

Consumo KWH: 15100	Total del mes:	1.199,88
Tarifa: M R INH	Pend. 6 meses:	9.507,84
Demanda: 58	Mora del mes:	18,94

Penalización: 0,9691

Correco Hora: 6100

Total Factura: 10.726,66

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PqUp/PqDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 5

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
41	21003	INTERES POR MORA DEMANDA	54,20	124,74
41	21004	INTERES MORA PENALIZACION	2,08	5,22
41	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,28	0,61
41	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	23,56	54,13
41	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	5,08	11,68
41	31002	DEMANDA EN USD	201,36	2191,71
41	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA		75,89
41	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	11,28

Consumo KWH: 18300	Total del mes:	1.379,29
Tarifa: M R INH	Pend. 7 meses:	10.726,66
Demanda: 76	Mora del mes:	85,20

Penalización: 0,9714

Correco Hora: 7400

Total Facturas: 12.191,15

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PqUp/PqDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 6

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
42	21003	INTERES FOR MORA DEMANDA	6,86	90,62
42	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,05	3,64
42	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,04	0,47
42	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	3,15	39,73
42	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,68	8,57
42	31002	DEMANDA EN USD	318,49	1323,53
42	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA		6,84
42	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	7,05

Consumo KWH: 19400	Total del mes:	1.969,06
Tarifa: M R INH	Pend. 4 meses:	5.796,70
Demanda: 58	Mora del mes:	10,78
Penalización: 0,9764		
Correco Hora: 8300	Total Factura:	7.776,54

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PoUp/PoDn=Paqinar

@ SdC FcdCns Consulta de planillas de Consumo (Detalle)

Abonado: 171547-3 INDUCUERDAS CIA LTDA

Fecha de emisión: 2014 7

Clase transacción: F FACTURACION

RIOBAMBA S.A.

Num.Doc	Rubro	Descripción	Valor del mes	Acumulado
43	21003	INTERES FOR MORA DEMANDA	9,03	99,85
43	21004	INTERES MORA PENALIZACION	0,05	3,69
43	21005	INTERES MORA COMERCIALIZACION	0,05	0,52
43	21006	INTERES MORA ALUMBRADO PUBLICO	4,00	43,73
43	21011	INT.MORA PERDIDAS TRANSFORM.	0,93	9,50
43	31002	DEMANDA EN USD	334,96	1658,49
43	31003	PENALIZ.BAJO FACTOR POTENCIA		6,84
43	31004	VALOR DE COMERCIALIZACION	1,41	8,46

Consumo KWH: 22400	Total del mes:	2.218,39
Tarifa: M R INH	Pend. 5 meses:	7.776,54
Demanda: 61	Mora del mes:	14,06

Penalización: 0,9841

Correco Hora: 8100	Total Factura:	10.008,99
--------------------	----------------	-----------

Base Pico 1 Pico 2

F3=Salir F4=Consulta PoUp/PoDn=Paqinar

DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO 1

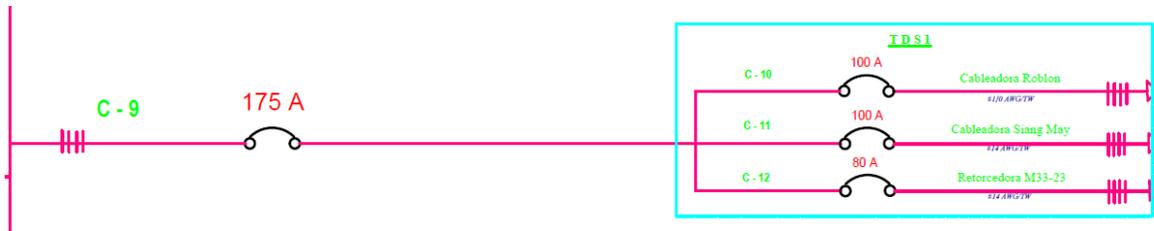


DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO 2

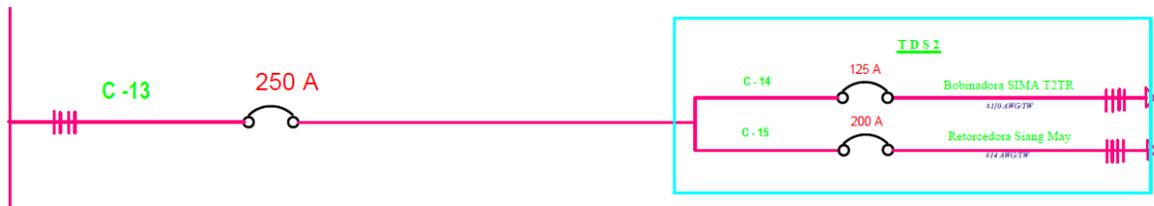


DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO 3

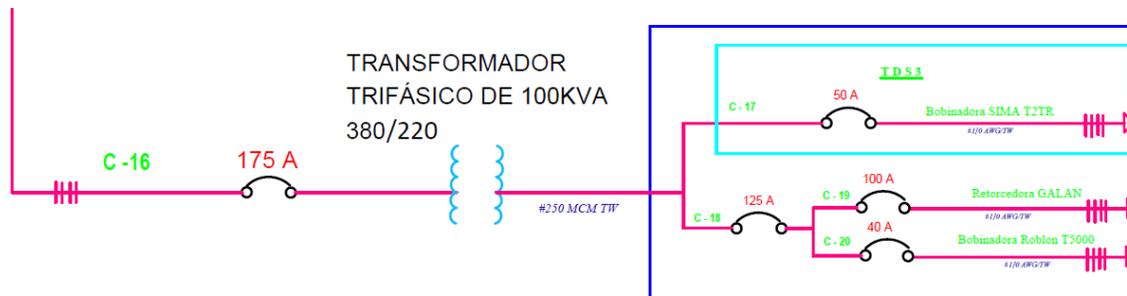
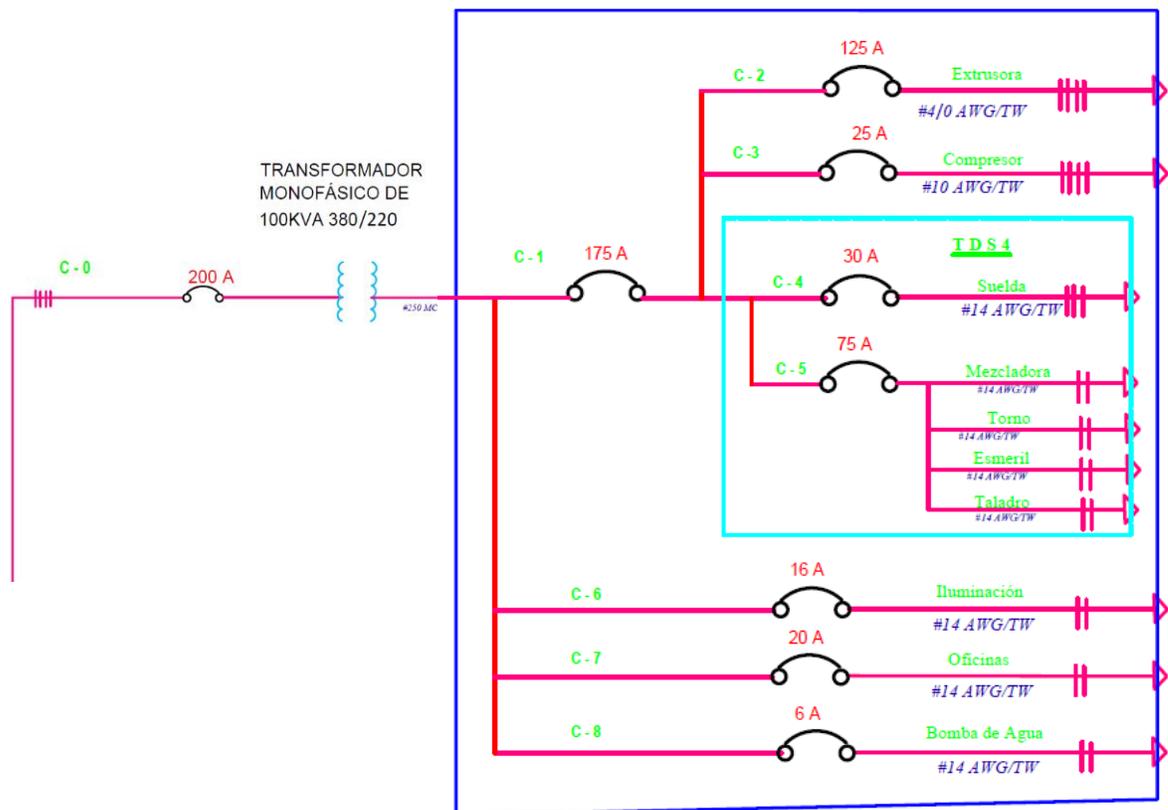
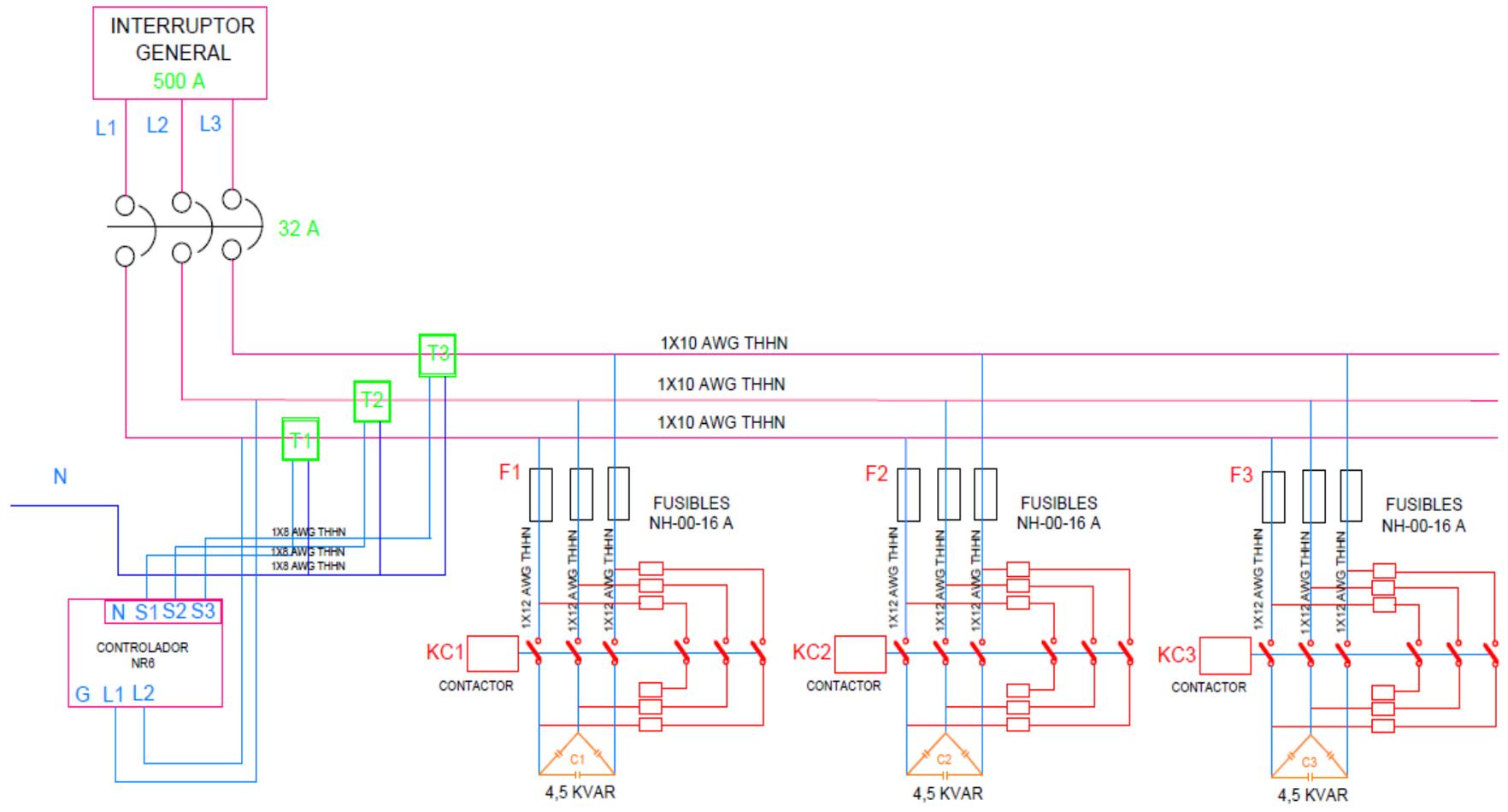


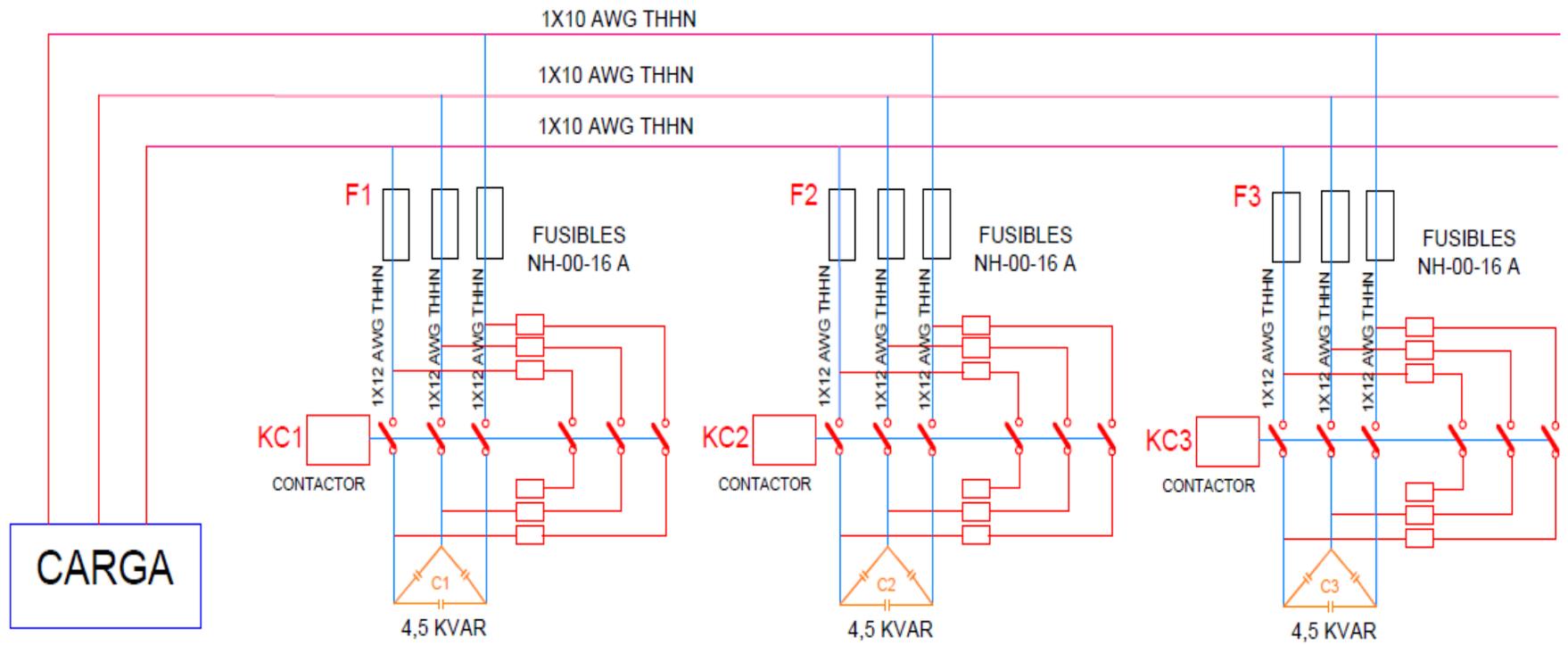
DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO 4



ANEXO I. DISEÑO DEL BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO



ANEXO J. CIRCUITO DE FUERZA DEL BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO



BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. ENRIQUEZ, H.G. El ABC de la calidad de la energía eléctrica. México: Limusa, s.f. 250 p.
2. RAMIREZ, C.S. y CANO, P. E. Calidad del servicio de energía eléctrica. Primera ed. Manizales, Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2006. 396 p.

REGULACIONES Y NORMAS

3. ECUADOR, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Codificación del reglamento de tarifas eléctricas. Decreto Ejecutivo No. 2713, Registro Oficial 598. 17 de junio de 2002.
4. CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD. Pliego tarifario para empresas eléctricas de distribución, 2014, disponible en URL: www.conolec.gob.ec
5. CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD. Ley de régimen del sector eléctrico. Suplemento del Registro Oficial N° 43, oct-1996 y varias reformas hasta ago-2000 disponible en URL: www.conolec.gob.ec
6. IEEE-519-1992, Recomendaciones prácticas y requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en sistemas electricos de potencia. 1992.

7. ESPAÑA. MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Compensación del factor de potencia, Instrucciones técnicas complementarias del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. (REBT. ITC-BT 43). 2002.
8. MARKIEWICZ, H. y KLAJN, A. Norma EN50160, Perturbaciones de tensión, características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. Wroclaw University of Technology. 2004.
9. CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD. Regulación CONELEC-004/01, Calidad del servicio eléctrico de distribución, 2001, disponible en URL: www.conolec.gob.ec.

MANUALES

10. DISENSA. Características generales de los conductores eléctricos, ELECTROCABLES S.A., s.f., disponible en URL: <http://www.disen.com> [consulta 28 de julio de 2014].
11. FLUKE. Manual de uso FLUKE 435, s.f., disponible en URL: <http://www.fluke.com>. [consulta 15 de julio de 2013].
12. FLUKE. Manual de funcionamiento, s.f., disponible en URL: <http://www.fluke.com> [consulta 15 de julio de 2013].
13. ROJAS, G. Manual de sistemas de puesta a tierra, s.f., disponible en URL: http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20manual%20gediweld%202007%20completo%20b.pdf [consulta 2 de agosto de 2014]
14. SCHNEIDER ELECTRIC. Manual de usuario VARLOGIC NR6. NR12, Regulador de energía eléctrica, s.f., disponible en URL: <http://www.schneiderelectric.com> [consulta 10 de julio de 2014].
15. SCHNEIDER ELECTRIC. Manual ACCUSINE, ACCUSINE filtro activo de armónicos, s.f., disponible en URL: <http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].

TESIS

16. GUACHAMIN, C.V. y NARANJO, A. E. Análisis y estudio de la calidad de energía eléctrica en la planta industrial de Quito Imprenta Mariscal. Tesis Ing. Electrónica y Control. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2011. 144 p.
17. JASSO, D. R. Análisis de distorsión armónica debido al uso de cargas no lineales. Tesis Ing. Sist. Comp. Electrónica y Electromec. Universidad Grupo CEDIP S.C. Centro educacional y desarrollo en informática personal. México. s.f. 92p.
18. LLUMIQUINGA, F. Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa BANCHISFOOD S.A. Tesis de Ing. Eléctrico. Quito. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito. Facultad de Ingenierías. 2012. pp. 42-84
19. QUISNIA, T.C., Y RIVERA, L.J., Proyecto de ampliación de la fábrica RIOPLAS a través de una línea de crédito de la CFN. Tesis de Ing. Empr. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Administración de Empresas. 2010. pp. 38-44.

ARTÍCULOS Y CUADERNOS TÉCNICOS

20. ABB. Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 8 . Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas, s.f., disponible en URL: www.abb.com [consulta 16 de julio de 2014].
21. AP Y C CALIDAD DE ENERGIA. Calidad de energía eléctrica, s.f., disponible en URL: <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Calidad%20de%20la%20Energia.pdf> [consulta 2 de agosto de 2014].
22. ELECTROPAR. Capacitores y corrección del factor de potencia, elementos de los bancos automáticos, s.f., disponible en URL:

- <http://www.electropar.com.py/pdf/electricidad/capacitores%20y%20correccion%20del%20factor%20potencia.pdf>. [consulta 10 de julio de 2014].
23. EVA. Cargas eléctricas y estimación de la demanda, s.f., disponible en URL: https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63190/mod_resource/content/1/contenido/0200-estimacion_demanda.pdf [consulta 07 de julio de 2014].
 24. ENERGEX. Ventajas de la corrección del factor de potencia, s.f., disponible en URL: <http://energex0.tripod.com/pdf/factorpotencia.pdf> [consulta 09 de julio de 2014].
 25. ESTIGARRIBIA, B.R. Armónicos en líneas de baja tensión, s.f., disponible en URL: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/armonicos-baja-tension/armonicos-baja-tension.pdf>. [consulta 09 de julio de 2014].
 26. MÉXICO, INELAP. Guía rápida para corregir el factor de potencia. s.f. 18 p.
 27. PINCOLINI, E. Factor de potencia. CIET Consultora de Instalaciones Eléctricas y Termodinámicas. Argentina, s.f. 19 p.
 28. PROCOBRE. Calidad de energía disponible en URL: <http://www.procobrecolombia.org>. [consulta 20 de febrero de 2014].
 29. MARCOMBO. Unidad didáctica N° 10, Puesta a tierra de las instalaciones, s.f., disponible en URL: <http://www.marcombo.com/descargas/8496334147-instalaciones%20el%3%89ctricas%20de%20interior/unidad%2010.pdf>, [consulta 2 de agosto de 2014].
 30. MOLINA, F. y MUÑOZ, C. Medida, registro y análisis de magnitudes eléctricas en el primario de una subestacion de distribución, con vistas al estudio de calidad del producto. EPN. Ecuador, s.f. 11 p.
 31. SCHNEIDER ELECTRIC. Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos, Capítulo I., s.f., disponible en URL: <http://www.schneiderelectric.com>. [consulta 09 de julio de 2014].

32. SCHNEIDER ELECTRIC. Compensación de energía reactiva, Capitulo 2, s.f., disponible en URL:
<http://www.schneider-electric.com.ar>. [consulta 10 de julio de 2014].
33. SCHENEIDER ELECTRIC. Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos, s.f., disponible en URL:
<http://www.scheneiderelectric.es> [consulta 09 de julio de 2014].
34. STILAR INDUSTRIAL. Calidad de energía eléctrica, s.f., disponible en URL:
http://www.stilar.net/archivos%20web/calidad_de_energia_electrica.pdf. [consulta 18 de febrero de 2014].