

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
COMPENSACIÓN REACTIVA Y FILTRADO DE
ARMÓNICOS EN LAS S.E. N°1 y 2 DE LA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE “CLOROX” PARA MITIGAR
LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

BRYAN CLAUDIO CASTAÑEDA RAMÍREZ

**Callao, Abril, 2017
PERU**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

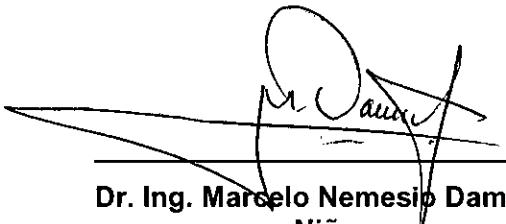


**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA Y
FILTRADO DE ARMÓNICOS EN LAS S.E. N°1 y 2 DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE “CLOROX” PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS DE
CALIDAD DE ENERGÍA”**

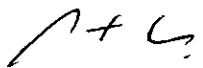
**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRICISTA
BRYAN CLAUDIO CASTAÑEDA RAMÍREZ**

**ASESOR:
DR. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA**

**CALIFICACIÓN:
DIECISEIS (16)**



**Dr. Ing. Marcelo Nemesio Damas
Niño
Presidente del Jurado**



**Mg. Ing. César Augusto Santos
Mejía
Secretario del Jurado**



**Ing. Pedro Sánchez Huapaya
Vocal del Jurado**

**Callao, Abril, 2017
PERU**

Dedico este trabajo a Dios, a mi madre, a mi padre y a mi hermano por haberme acompañado y apoyado en este largo camino. También dedico este trabajo muy en especial a mis colegas del trabajo del área de PTSYS en Schneider Electric Perú, quienes son como mi segunda familia, sin ellos no hubiese sido posible todo esto, por ello, les agradezco el inmenso apoyo que me brindaron cuando me iniciaba en esta hermosa carrera, que es la Ingeniería Eléctrica.

INDICE

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.4. JUSTIFICACIÓN	25
1.5. IMPORTANCIA.....	25

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO	26
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	26
2.2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	28
2.2.1. Calidad de Energía.	28
2.2.2. Representación de tensiones y corrientes senoidales.	29
2.2.3. Potencia instantánea.	32
2.2.4. Valor promedio.	33
2.2.5. Valor eficaz.	34
2.2.6. Potencia en un circuito RL.....	36
2.2.7. Potencia activa.	37
2.2.8. Potencia reactiva.	39
2.2.9. Potencia aparente.....	40
2.2.10. Factor de potencia.	41
2.2.11. Potencia en sistemas trifásicos.	44
2.2.12. Corrección del factor de potencia.	45
2.2.13. Armónicos.....	49
2.2.14. Análisis matemático (Fourier).	51

2.2.15. Distorsión armónica total	55
2.2.16. Componentes de secuencia	56
2.2.17. Origen de los armónicos	57
2.2.18. Efectos de los armónicos.....	60
2.3. DEFINICIÓN DE ABREVIATURAS	63

CAPITULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS	65
3.1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	65
3.3. HIPÓTESIS	66

CAPITULO IV

METODOLOGÍA	67
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	67
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	67
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	67
4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	68
4.5. PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS.	72
4.6. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	72
4.7. MEDICIONES DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	72
4.7.1. Documentos de referencia	72
4.7.2. Datos referenciales para el estudio.....	73
4.7.3. Consideraciones del estudio.....	76
4.7.4. Puntos de medición.....	76
4.7.5. Cálculo de la corriente de cortocircuito.	76
4.7.6. Resultado de las mediciones realizadas.....	79
4.7.7. Resumen de los resultados obtenidos de las mediciones.....	101
4.7.8. Conclusiones y observaciones del estudio.	105

4.7.9. Recomendaciones del estudio.	106
4.8. DIMENSIONAMIENTO DE LAS SOLUCIONES.	107
4.8.1. Cálculo de la potencia reactiva a compensar.....	107
4.8.2. Cálculo de la corriente armónica.....	112
4.8.3. Dimensionamiento del Filtro Activo.	118
4.8.4. Principio de funcionamiento de la solución.	123
4.9. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN EN LAS SUBESTACIONES.....	129
4.9.1. Especificaciones técnicas de los filtros activos	129
4.9.2. Dimensiones del filtro activo AccuSine.	132
4.9.3. Montaje e instalación de los filtros activos AccuSine.	134
CAPITULO V	
RESULTADOS.....	180
5.1. RESULTADOS DE MEDICIÓN DESPUÉS DE IMPLEMENTAR LA SOLUCIÓN.....	180
5.1.1. Subestación N°1.	180
5.1.2. Subestación N°2.	191
5.2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES CON LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA.	202
5.2.1. Límites según normativa emitida por OSINERGMIN.	202
5.2.2. Límites según estándar internacional IEEE 519-2014.	203
5.3. RESULTADOS DE ANALIZAR LA RENTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN.....	206
5.3.1. Objetivo.....	206
5.3.2. Datos del cliente.....	206
5.3.3. Importes facturados según horas de trabajo.....	207
5.3.4. Pagos por exceso en el consumo de energía reactiva.....	211
CAPITULO VI	
DISCUSION DE RESULTADOS.....	215
6.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS.	215

CAPITULO VII	
CONCLUSIONES	218
CAPITULO VIII	
RECOMENDACIONES	220
CAPITULO IX	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	221
ANEXOS.	
MATRIZ DE CONSISTENCIA	

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°2.1. TENSION Y CORRIENTE SENOIDALES	32
FIGURA N°2.2. a) CIRCUITO RESISTIVO DE CA. b) CIRCUITO RESISTIVO DE CD.	34
FIGURA N°2.3. CIRCUITO RESISTIVO-INDUCTIVO.	36
FIGURA N°2.4. DIAGRAMA FASORIAL DE UN CIRCUITO RESISTIVO-INDUCTIVO	38
FIGURA N°2.5. TRIANGULO DE POTENCIAS.	43
FIGURA N°2.6. SISTEMA TRIFASICO EN ESTRELLA.	44
FIGURA N°2.7. TRIANGULO UTILIZADO PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.	46
FIGURA N°2.8. IMAGEN DE UNA ONDA DEFORMADA	50
FIGURA N°2.9. ESPECTRO DEL QUINTO Y SETIMO ARMONICO.....	51
FIGURA N°2.10. FUNCION PERIÓDICA.....	53
FIGURA N°2.11. ESPECTRO DE ARMONICOS DE VARIADOR 6 PULSOS.....	59
FIGURA N°2.12. FORMA DE ONDA DE VARIADOR DE 6 PULSOS.....	59
FIGURA N°4.1. ANALIZADOR DE REDES DRANETZ POWERGUIDE 4400.	69
FIGURA N°4.2. DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE ANALIZADOR DE REDES POWERGUIDE 4400.	71
FIGURA N°4.3. DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE TENSIONES Y CORRIENTES.	71
FIGURA N°4.4. DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION ELECTRICA N°1.....	74
FIGURA N°4.5. DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION ELECTRICA N°2.....	75
FIGURA N°4.6. GRÁFICA DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°1	80
FIGURA N°4.7. GRÁFICA DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°1	81
FIGURA N°4.8. GRÁFICA DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	82
FIGURA N°4.9. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1	83

FIGURA N°4.10. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	84
FIGURA N°4.11. GRÁFICA DE FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	85
FIGURA N°4.12. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	86
FIGURA N°4.13. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1	87
FIGURA N°4.14. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	88
FIGURA N°4.15. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	89
FIGURA N°4.16. GRÁFICA DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	91
FIGURA N°4.17. GRÁFICA DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	92
FIGURA N°4.18. GRÁFICA DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	93
FIGURA N°4.19. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	94
FIGURA N°4.20. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	95
FIGURA N°4.21. GRÁFICA DE FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	96
FIGURA N°4.22. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	97
FIGURA N°4.23. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2	98
FIGURA N°4.24. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	99
FIGURA N°4.25. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	100
FIGURA N°4.26. ESQUEMA DE COMPENSACION REACTIVA.....	107
FIGURA N°4.27. GRAFICA DEL FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°1.....	108
FIGURA N°4.28. GRAFICA DE POTENCIA ACTIVA – S.E. N°1.....	109

FIGURA N°4.29. GRAFICA DEL FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°2	110
FIGURA N°4.30. GRAFICA DE POTENCIA ACTIVA – S.E. N°2.....	111
FIGURA N°4.31. GRAFICA DE CORRIENTES RMS– S.E. N°1.....	114
FIGURA N°4.32. GRAFICA DE THD DE CORRIENTE–S.E. N°1.....	115
FIGURA N°4.33. GRAFICA DE CORRIENTES RMS– S.E. N°2.....	116
FIGURA N°4.34. GRAFICA DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°2.....	117
FIGURA N°4.35. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE FILTRO ACTIVO ACCUSINE.....	124
FIGURA N°4.36. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE VARIOS FILTROS ACTIVO ACCUSINE.....	126
FIGURA N°4.37. VISTA FRONTAL Y LATERAL DEL FILTRO ACTIVO ACCUSINE PCS+ 300A	132
FIGURA N°4.38. VISTA SUPERIOR E INFERIOR DEL FILTRO ACTIVO ACCUSINE PCS+ 300A	133
FIGURA N°4.39. DISTRIBUCION EXISTENTE TABLEROS Y EQUIPOS ELECTRICOS EN LA SUBESTACION N°1.....	135
FIGURA N°4.40. DISTRIBUCION EXISTENTE TABLEROS Y EQUIPOS ELECTRICOS EN LA SUBESTACION N°2.....	137
FIGURA N°4.41. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA LOS FILTROS ACTIVOS (VISTA SUPERIOR) - S.E. N°1	139
FIGURA N°4.42. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA LOS FILTROS ACTIVOS (VISTA FRONTAL) - S.E. N°1	139
FIGURA N°4.43. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE INSTALACION DE LOS FILTROS ACTIVOS - S.E. N°1.....	140
FIGURA N°4.44. PUNTO DE INSTALACION DE CABLES DE FUERZA FILTRO ACTIVO – S.E. N°1.....	141

FIGURA N°4.45. PUNTO DE INSTALACION DE INTERRUPTORES DE PROTECCION FILTRO ACTIVO – S.E. N°1.....	142
FIGURA N°4.46. GRAFICA DE CONEXIÓN DE FILTRO ACTIVO EN TABLERO TB-003 – S.E. N°1.....	142
FIGURA N°4.47. INTERRUPTORES DE PROTECCION PARA FILTROS ACTIVOS INSTALADOS EN TB-003 – S.E. N°1	143
FIGURA N°4.48. UBICACIÓN DE LOS CT's Y LAS BORNERAS CORTOCIRCUITABLES – S.E. N°1.....	144
FIGURA N°4.49. GRAFICA DE CONEXIÓN DE CT's Y BORNERAS CORTOCIRCUITABLES – S.E. N°1.....	144
FIGURA N°4.50. GRÁFICO DE CONEXIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL – S.E. N°1.....	145
FIGURA N°4.51. PAÑO 1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1 .	146
FIGURA N°4.52. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1– S.E. N°1...	147
FIGURA N°4.53. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	147
FIGURA N°4.54. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	148
FIGURA N°4.55. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	148
FIGURA N°4.56. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	149
FIGURA N°4.57. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	149
FIGURA N°4.58. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	150
FIGURA N°4.59. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	150
FIGURA N°4.60. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	151
FIGURA N°4.61. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	152
FIGURA N°4.62. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	152
FIGURA N°4.63. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1..	153
FIGURA N°4.64. PASO 10 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	153

FIGURA N°4.65. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	154
FIGURA N°4.66. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1	154
FIGURA N°4.67. PASO 1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	155
FIGURA N°4.68. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2– S.E. N°1...	155
FIGURA N°4.69. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	156
FIGURA N°4.70. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	156
FIGURA N°4.71. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	157
FIGURA N°4.72. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	157
FIGURA N°4.73. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	158
FIGURA N°4.74. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	158
FIGURA N°4.75. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	159
FIGURA N°4.76. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	159
FIGURA N°4.77. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	160
FIGURA N°4.78. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	161
FIGURA N°4.79. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1..	161
FIGURA N°4.80. PASO 10 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	162
FIGURA N°4.81. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	162
FIGURA N°4.82. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1	163
FIGURA N°4.83. DOS FILTROS ACTIVO ACCUSINE INSTALADOS EN S.E. N°1	164
FIGURA N°4.84. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA FILTRO ACTIVO (VISTA SUPERIOR) - S.E. N°2.....	165
FIGURA N°4.85. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA FILTRO ACTIVO (VISTA FRONTAL) - S.E. N°2.....	166

FIGURA N°4.86. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE INSTALACION DE LOS FILTROS ACTIVOS - S.E. N°2.....	167
FIGURA N°4.87. UBICACIÓN DEL INTERRUPTOR DE PROTECCION PARA FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	169
FIGURA N°4.88. UBICACIÓN DE CT's Y BORNERAS CORTOCIRCUITABLES PARA FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	169
FIGURA N°4.89. GRAFICO DE CONEXIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL – S.E. N°2.....	170
FIGURA N°4.90. PASO 1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	171
FIGURA N°4.91. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	171
FIGURA N°4.92. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	172
FIGURA N°4.93. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	172
FIGURA N°4.94. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	173
FIGURA N°4.95. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	174
FIGURA N°4.96. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2..	174
FIGURA N°4.97. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2..	175
FIGURA N°4.98. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	176
FIGURA N°4.99. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	176
FIGURA N°4.100. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2..	177
FIGURA N°4.101. PASO 10 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2.	177
FIGURA N°4.102. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	178
FIGURA N°4.103. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO – S.E. N°2	178
FIGURA N°4.104. FILTRO ACTIVO ACCUSINE INSTALADO EN S.E. N°2.	179
FIGURA N°5.1. GRÁFICA DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°1.....	181
FIGURA N°5.2. GRÁFICA DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°1.....	182
FIGURA N°5.3. GRÁFICA DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1	183
FIGURA N°5.4. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1	184

FIGURA N°5.5. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°1.....	185
FIGURA N°5.6. GRÁFICA DE FLICKER – TR-01 S.E. N°1.....	186
FIGURA N°5.7. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°1.....	187
FIGURA N°5.8. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TR-01 S.E. N°1.....	188
FIGURA N°5.9. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1.....	189
FIGURA N°5.10. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1.....	190
FIGURA N°5.11. GRÁFICA DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°2.....	192
FIGURA N°5.12. GRÁFICA DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°2.....	193
FIGURA N°5.13. GRÁFICA DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2.....	194
FIGURA N°5.14. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2.....	195
FIGURA N°5.15. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°2.....	196
FIGURA N°5.16. GRÁFICA DE FLICKER – TR-01 S.E. N°2.....	197
FIGURA N°5.17. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°2.....	198
FIGURA N°5.18. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TR-01 S.E. N°1.....	199
FIGURA N°5.19. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2	200
FIGURA N°5.20. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2.....	201
FIGURA N°5.21. PORCENTAJES DE COSTOS DE ENERGÍA SUMINISTRO N°0709983 – S.E. N°1.....	208
FIGURA N°5.22. PORCENTAJES DE COSTOS DE ENERGÍA SUMINISTRO N°2262665 – S.E. N°2.....	210
FIGURA N°5.23. FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION – ESCALA ANUAL – S.E. N°1	212
FIGURA N°5.24. FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION – ESCALA ANUAL – S.E. N°2	214

INDICE DE TABLAS

TABLA N°2.1. SECUENCIA DE LOS ARMÓNICOS	56
TABLA N°2.2. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS	61
TABLA N°4.1. DATOS PARA EL CALCULO DE CORTOCIRCUITO.	77
TABLA N°4.2. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO – S.E. N°1.....	78
TABLA N°4.3. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO – S.E. N°2.....	78
TABLA N°4.4. REPORTE DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	80
TABLA N°4.5. REPORTE DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	81
TABLA N°4.6. REPORTE DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1	82
TABLA N°4.7. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1	83
TABLA N°4.8. REPORTE DEL FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	84
TABLA N°4.9. REPORTE DEL FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	85
TABLA N°4.10. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	86
TABLA N°4.11. REPORTE DE THD DE TENSION– TRANSFORMADOR S.E. N°1	87
TABLA N°4.12. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1.....	88
TABLA N°4.13. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TRANSFORMADOR S.E. N°1	89
TABLA N°4.14. REPORTE DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	91
TABLA N°4.15. REPORTE DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	92
TABLA N°4.16. REPORTE DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2	93
TABLA N°4.17. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2	94
TABLA N°4.18. REPORTE DEL FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2 ...	95
TABLA N°4.19. REPORTE DEL FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	96

TABLA N°4.20. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	97
TABLA N°4.21. REPORTE DE THD DE TENSION– TRANSFORMADOR S.E. N°2	98
TABLA N°4.22. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2.....	99
TABLA N°4.23. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TRANSFORMADOR S.E. N°2	100
TABLA N°4.24. RESUMEN DE VALORES MEDIDOS – S.E. N°1 Y S.E. N°2	101
TABLA N°4.25. VALORES DE MEDICION COMPARADOS CON LOS LIMITES PERMITIDOS.....	101
TABLA N°4.26. LIMITES DE DISTORSION DE TENSION.....	102
TABLA N°4.27. LIMITES DE DISTORSION DE CORRIENTE PARA SISTEMAS DE 0.12kV HASTA 69kV	103
TABLA N°4.28. VALORES DE MEDICION DE ARMONICOS COMPARADOS CON LA IEEE 519	104
TABLA N°4.29. REPORTE DE FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°1	109
TABLA N°4.30. DATOS PARA EL CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A COMPENSAR – S.E. N°1.....	110
TABLA N°4.31. REPORTE DE FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°2	111
TABLA N°4.32. DATOS PARA EL CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A COMPENSAR – S.E. N°1.....	112
TABLA N°4.33. REPORTE DE CORRIENTES RMS – S.E. N°1.....	114
TABLA N°4.34. REPORTE DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°1.....	115
TABLA N°4.35. REPORTE DE CORRIENTES RMS – S.E. N°2	116
TABLA N°4.36. REPORTE DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°1.....	117
TABLA N°4.37. ESPECIFICACION TECNICA FILTRO ACTIVO ACCUSINE.....	129

TABLA N°5.1. REPORTE DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	181
TABLA N°5.2. REPORTE DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	182
TABLA N°5.3. REPORTE DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	183
TABLA N°5.4. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	184
TABLA N°5.5. REPORTE DEL FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	185
TABLA N°5.6. REPORTE DE FLICKER – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	186
TABLA N°5.7. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	187
TABLA N°5.8. REPORTE DE THD DE TENSION– TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	188
TABLA N°5.9. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	189
TABLA N°5.10. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	190
TABLA N°5.11. REPORTE DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	192
TABLA N°5.12. REPORTE DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	193
TABLA N°5.13. REPORTE DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	194
TABLA N°5.14. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	195
TABLA N°5.15. REPORTE DEL FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	196

TABLA N°5.16. REPORTE DE FLICKER – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION	197
TABLA N°5.17. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	198
TABLA N°5.18. REPORTE DE THD DE TENSION– TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	199
TABLA N°5.19. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	200
TABLA N°5.20. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION.....	201
TABLA N°5.21. RESUMEN DE VALORES MEDIDOS CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA – S.E. N°1 Y S.E. N°2.....	202
TABLA N°5.22. VALORES DE MEDICION CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA COMPARADOS CON LOS LIMITES PERMITIDOS.....	202
TABLA N°5.23. VALORES DE MEDICION DE ARMONICOS CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA COMPARADOS CON LA IEEE 519.....	205
TABLA N°5.24. DATOS DE SUMINISTRO – S.E. N°1	206
TABLA N°5.25. DATOS DE SUMINISTRO – S.E. N°2	207
TABLA N°5.26. IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO N°0709983 – S.E. N°1	207
TABLA N°5.27. TOTAL DE IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO N°0709983 – S.E. N°1.....	208
TABLA N°5.28. IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO N°2262665 – S.E. N°2	209
TABLA N°5.29. TOTAL DE IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO N°2262665 – S.E. N°2.....	209
TABLA N°5.30. COSTOS POR EXCESO DE POTENCIA REACTIVA –S.E. N°1..	211
TABLA N°5.31. FLUJO CAJA DE LA INVERSION – S.E. N°1.....	212
TABLA N°5.32. COSTOS POR EXCESO DE POTENCIA REACTIVA –S.E. N°2..	213
TABLA N°5.33. FLUJO CAJA DE LA INVERSION – S.E. N°2.....	214

TABLA N°6.1. CUADRO COMPARATIVO DE PARAMETROS CON Y SIN LA SOLUCION – S.E. N°1.	216
TABLA N°6.2. CUADRO COMPARATIVO DE PARAMETROS CON Y SIN LA SOLUCION – S.E. N°2.	216

RESUMEN

Esta investigación tuvo como principal propósito dar a conocer los resultados óptimos de la solución implementada en las instalaciones de la planta de producción de la empresa "Clorox", frente a problemas de calidad de energía en la red. Normalmente, las plantas industriales del papel, minería, gas y otros, cuentan con dispositivos electrónicos que facilitan los procesos de producción. Estos dispositivos pueden ser en su mayoría arrancadores suaves, variadores de velocidad, rectificadores, que adicionalmente, contribuyen a la eficiencia energética de la planta. Por lo que, hoy en día vemos asimilado de buena manera el uso de estos dispositivos por la gran mayoría de nosotros.

Como dice el dicho "no todo lo que brilla es oro". Es cierto que el uso de estos dispositivos electrónicos nos provee de un eficiente uso de la energía, por otro lado, estos dispositivos generan corrientes y tensiones con una frecuencia múltiple de la fundamental, el cual se le denominan "armónicos", debido a la electrónica de potencia en su interior. Para medir este fenómeno es necesario utilizar un indicador de calidad de energía, llamado THD (Distorsión Armónica Total). Este indicador puede incrementarse, dependiendo de las características de estos dispositivos (capacidades, tamaños, unidades en la planta), puesto que, a mayor corriente armónica, mayor será el THD, el cual puede conllevar a problemas de sobrecalentamiento en conductores, transformadores de potencia, bancos de condensadores, errores de lectura en equipos de medición y otros más que se describen en el contenido de la tesis.

El estudio de esta tesis se enfocó en el diagnóstico de la calidad de energía del sistema eléctrico, la evaluación de los límites de calidad energía basados en las normas nacionales e internacionales, el dimensionamiento de las soluciones propuestas y los resultados obtenidos.

ABSTRACT

This investigation had as principal objective to give knowledge about the optimum results of the solution implemented at the facilities of the plant of production at "Clorox" company, against to the issues of power quality in the plant. Usually, the industrial plants such as paper plants, mining plants, gas plants, oil plants, and others, have many electronic devices that facilitate the operation in machines used to production process. These devices can be mostly soft starters, variable speed drives, rectifiers, which additionally contribute to the energy efficiency in the plant. Nowadays, we see in a good way the use of these devices by us.

However, as the saying goes, "not all that glitters is gold". Certainly, the use of these electronic devices provides us with an efficient use of electric energy. By the other hand the use of these electronic devices generate currents and voltages with a multiple frequency of fundamental, which are called "harmonics", due to the power electronics inside their components. To measure this phenomenon, is necessary to use a power quality indicator, which is called THD (Total Harmonic Distortion). This indicator can be increased, depending on the characteristics of the electronic devices (capacity, sizes, number of units in the plant and others). If we have a greater harmonic current, will have a greater THD. That can lead to problems of overheating in cables, power transformers, capacitor banks, reading errors in measuring equipment and other problems that will be mentioned in the study.

The thesis will focus on the diagnosis of the power quality of the electrical system, the evaluation of power quality limits based on national and international standards, the dimensioning of the proposed solutions and the results.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas que se pueden ocasionar por una mala calidad de la energía se pueden generar de dos direcciones principalmente: problemas de calidad de energía proveniente de la fuente o llámese red eléctrica externa o problemas de calidad de energía proveniente de la carga, llámese todos los dispositivos electrónicos que están operando en el interior de la planta.

Uno de los principales problemas que se pueden ocasionar frente a la mala calidad de energía son: el mal funcionamiento de los motores, sobrecalentamiento en los conductores, disparo intempestivo de los dispositivos de protección, mal funcionamiento de los bancos de condensadores, etc.

1.1. Determinación del problema

Para nuestra investigación se describe el sistema eléctrico de "Clorox", el cual tiene variadores de gran potencia operando en la planta que son alimentados por la subestación N°2 , el cual genera una distorsión armónica considerable, para lo cual se planteará soluciones para reducir ese nivel de distorsión; así mismo la subestación N°1 alimenta varias líneas de producción dentro de la planta, en las cuales se consume una potencia reactiva considerable por parte de los motores y maquinarias, para lo cual se planteará soluciones para reducir ese consumo de potencia reactiva y así mejorar el factor de potencia.

1.2. Formulación del problema

a. Problema general:

¿Cómo mitigar los problemas de calidad de energía presentes en el sistema eléctrico de Clorox?

b. Problema específico 1:

¿En qué grado se ve afectado el sistema eléctrico por la mala calidad de energía eléctrica?

c. Problema específico 2:

¿Cómo mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico?

1.3. Objetivos de la investigación

a. Objetivo general:

Implementar un sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos que mitigue los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de Clorox.

b. Objetivo específico 1:

Diagnosticar el estado del sistema eléctrico a través de un estudio de calidad de energía.

c. Objetivo específico 2:

Implementar un control para mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico.

1.4. Justificación

Con la elaboración de la presente tesis, se logrará establecer las acciones correspondientes a realizar frente a problemas de calidad de energía. Lo cual se reflejará en las demás empresas en Perú que tengan similares inconvenientes.

1.5. Importancia

El estudio es de consideración importante dado que aporta criterios de desarrollo e investigación, aportando conocimiento sobre tecnologías nuevas y/o temas actuales que están tomando importancia hoy en día, como es la calidad de la energía eléctrica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Tanto las empresas suministradoras de energía eléctrica como los usuarios finales del servicio han estado insistiendo cada vez más en el concepto de calidad de la energía. Si bien desde hace 50 años el sector de la industria condujo a la necesidad de que los productos se volvieran económicamente más competitivos, lo cual significa que las maquinas eléctricas son cada vez más pequeñas, más eficientes y se diseñaran con menores márgenes. Los problemas de la calidad de la energía se han agravado debido a la combinación de las siguientes tendencias en los últimos años:

Históricamente, la calidad de la energía no había sido un problema mayor hasta la década de los 80's, en forma genérica se consideraba que excepto por la continuidad, el suministro para la mayoría de los usuarios de la energía eléctrica era completamente satisfactorio. Sin embargo, existen tres cambios fundamentales en la naturaleza de la carga del usuario y del sistema de potencia que conciernen a la calidad de la energía.

La microelectrónica ha producido una creciente categoría de cargas a nivel residencial, comercial e industrial. Los microprocesadores modernos han resultados en dispositivos más rápidos, complejos y con mayor capacidad de memoria para una misma superficie. La lógica de estos circuitos requiere de niveles de tensión y de energía menores, reduciendo el

consumo de potencia y que son muy sensibles a las variaciones de la calidad de la energía

La electrónica de potencia ha producido una nueva generación de dispositivos de alta capacidad y bajo costo, lo que ha extendido su utilización. Sin embargo, cualquier dispositivo que incorpora electrónica de potencia es sensible a las variaciones rápidas del voltaje como son los abatimientos del voltaje. En segundo lugar, este tipo de equipo genera distorsión armónica y bajo ciertas condiciones puede deteriorar la magnitud y forma de onda del voltaje suministrado a tal grado que sea inadecuado para la mayoría de los usuarios que comparten la misma fuente. Estos mismos dispositivos basados en la electrónica de potencia producen perturbaciones en la calidad de la energía los cuales para la microelectrónica resultan muy sensibles.

Mientras que estos cambios dramáticos se están dando en las cargas, las empresas eléctricas y los clientes industriales continúan aplicando capacitores para corregir el factor de potencia, para controlar el voltaje y reducir el flujo de reactivos. Estos capacitores influyen en los muchos tipos de problemas de calidad de la energía, ya que son la puerta para corrientes de alta frecuencia y pueden mejorar o agravar la situación significativamente al incrementar los niveles de armónicas, dependiendo de los parámetros del sistema.

Es por ello que la empresa de fabricación de productos de máxima calidad para la higiene y cuidado del hogar CLOROX S.A. solicitó a Schneider Electric Perú S.A. realizar un Estudio de Calidad de Energía debido a los problemas concurrentes en sus instalaciones relacionadas con temas de

calidad de energía y alegó pagar a la empresa distribuidora por exceso de consumo de energía reactiva (>30% del consumo de la energía activa).

El sistema eléctrico de CLOROX en la planta de Lima se alimenta en el nivel de tensión de 10kV, la empresa distribuidora que les suministra la energía eléctrica es EDELNOR y consta de dos subestaciones.

La S.E. N°1 se alimenta en el mismo nivel de tensión desde el suministro 1, cuenta con un transformador de 630 kVA.

La S.E. N°2 se alimenta en el mismo nivel de tensión desde el suministro 2, cuenta con un transformador de 630 kVA.

Las recomendaciones que resultaron del presente estudio sirvieron para dimensionar las soluciones de compensación reactiva y filtrada de armónicas en la planta, la cual permitirá no pagar por concepto de exceso de energía reactiva a la empresa distribuidora y minimizarán el contenido de corrientes armónicas en sus instalaciones ayudando a preservar la vida útil de los equipos.

2.2. Fundamento teórico.

2.2.1. Calidad de Energía.

Según el IEEE1100, la calidad de energía es el concepto de alimentación y de puesta a tierra de equipo electrónico sensible en una manera que sea adecuado para su operación.^[1]

[1] IEEE 1100 Std 2005. Powering and Grounding Electronic Equipment

Según la IEC 61000, define a la calidad de energía en términos de compatibilidad electromagnética. Refiere que es la capacidad de un aparato, equipo o sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir el mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentre en este entorno. [2]

Entonces podemos entender la calidad de energía como un concepto que está relacionado con las perturbaciones electromagnéticas y eléctricas que pueden afectar las condiciones eléctricas de un suministro (tensión y/o corriente) y ocasionar el mal funcionamiento o daño a equipos y procesos industriales.

La calidad de tensión está referida a una tensión ideal. La tensión ideal es una onda senoidal a una sola frecuencia que tiene una magnitud y frecuencia constante. Un concepto complementario a esta definición sería la calidad de corriente, el cual es referido a una corriente ideal. Una corriente ideal es nuevamente una onda senoidal de una sola frecuencia que tiene una magnitud y frecuencia constante. Un adicional requerimiento es que esta onda senoidal esté en fase con la tensión suministrada.

2.2.2. Representación de tensiones y corrientes senoidales.

Las señales senoidales están presentes en muchos fenómenos de la naturaleza. Por ejemplo, la vibración de la cuerda de un

[2] IEC 61000-4-6:2013. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques.

instrumento musical, en la propagación de ondas a través del espacio, en la oscilación de estructuras, entre otros.

a. Forma trigonométrica.

La tensión y la corriente senoidales son funciones periódicas, que completan un ciclo cada T segundos. En ambos se cumple lo siguiente:

$$v(t) = v(t + T) \quad (2.1)$$

$$i(t) = i(t + T) \quad (2.2)$$

Donde T es el periodo y t es el tiempo. Esto significa que la tensión y la corriente se repiten cada T segundos, de forma que toman el mismo valor que tenían en el ciclo anterior.

Las ecuaciones 2.3 y 2.4 describen una tensión y una corriente senoidales.

$$v(t) = V_p \cos(\omega t) \quad (2.3)$$

$$i(t) = I_p \cos(\omega t - \varphi_i) \quad (2.4)$$

Donde V_p Magnitud máxima de la señal de voltaje.

I_p Magnitud máxima de la señal de corriente.

ω Frecuencia angular.

φ_i Desfasamiento o ángulo de fase de la corriente respecto a la tensión.

En el caso de las señales senoidales, el periodo T se relaciona con la frecuencia angular ω , medida en radianes por segundo, por la expresión:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2,5)$$

Si la tensión y la corriente realizan un ciclo completo cada T segundos, entonces el número de ciclos que realizan en un segundo recibe el nombre de frecuencia y se designa como f , se mide en ciclos por segundo o Hz y se calcula de la siguiente manera:

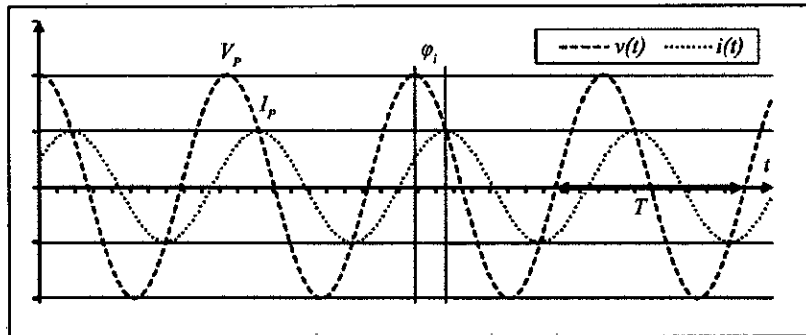
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.6)$$

En Perú, la frecuencia de la red eléctrica es 60 Hz; por lo tanto, el periodo de la tensión y corriente es de 16.66 ms y la frecuencia angular es de 377 rad/s.

Respecto a la φ_t se considera positivo si la corriente está atrasada respecto a la tensión; negativo si esta adelantada.

En la figura 2.1. se muestra la gráfica de una tensión y una corriente. Ahí se señalan los valores pico, el ángulo de desfaseamiento y el periodo T .

FIGURA N°2.1. TENSION Y CORRIENTE SENOIDALES



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

2.2.3. Potencia instantánea.

La potencia en circuitos de CD se define como el producto de la tensión en terminales y la corriente que circula por un elemento del circuito; este producto da como resultado una cantidad constante (suponiendo que la corriente a través del elemento no cambia).

En los circuitos de corriente alterna, la tensión y la corriente son cantidades que varían en forma senoidal a través del tiempo. Por lo tanto, el producto de ambas es también una cantidad variable. Esta potencia recibe el nombre de potencia instantánea y se expresa como:

$$p = vi \quad (2.7)$$

Debido a que la tensión y la corriente son funciones periódicas, la potencia instantánea también es una función periódica de forma tal que, al igual que la corriente y la tensión, se repite cada T segundos.

2.2.4. Valor promedio.

El valor promedio V_{prom} para una función periódica cualquiera se determina como:

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt \quad (2.8)$$

Si se aplica la definición anterior a la ecuación 2.1, entonces se tiene:

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T V_p \cos(\omega t) dt = \frac{V_p}{T} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \cos(\omega t) dt \quad (2.9)$$

Simplificando y evaluando en los límites, la ecuación 2.9 queda de la siguiente forma:

$$V_{prom} = \frac{V_p}{\omega T} (\text{sen}(2\pi) - \text{sen}(0)) = 0 \quad (2.10)$$

Por lo tanto, el valor promedio de una tensión o una corriente senoidal es cero. Aplicando el concepto del valor promedio a la potencia instantánea, entonces se obtiene una potencia promedio P que varía según el caso en que se aplique.

Potencia promedio para un resistor.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_p I_p}{2} dt + \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_p I_p}{2} \cos(2\omega t) dt \quad (2.11)$$

$$P = \frac{V_p I_p}{2} \quad (2.12)$$

Potencia promedio para un inductor.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_p I_p}{2} \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (2.13)$$

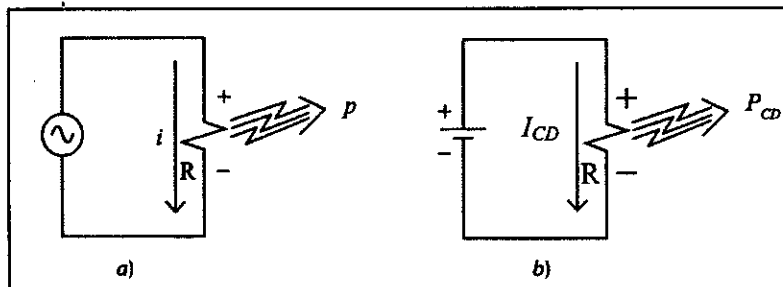
Potencia promedio para un capacitor.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T -\frac{V_p I_p}{2} \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (2.14)$$

2.2.5. Valor eficaz.

Se supone para este fin un circuito de corriente alterna como el mostrado en la figura 2.2, en donde la potencia disipada por el resistor es la potencia promedio P que le entrega la fuente de tensión. Por otra parte, si el mismo resistor es alimentado por una fuente de tensión de corriente directa, en este caso la potencia disipada es P_{CD} .

FIGURA N°2.2. a) CIRCUITO RESISTIVO DE CA. b) CIRCUITO RESISTIVO DE CD.



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

La potencia instantánea disipada en el resistor, cuando se energiza con la fuente de tensión de CA, es:

$$p = Ri^2(t) \quad (2.15)$$

Por lo tanto, la potencia promedio disipada en el resistor es:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt \quad (2.16)$$

Para la potencia de CD disipada por el resistor se tiene:

$$P_{CD} = RI_{CD}^2 \quad (2.17)$$

Considerando que ambas potencias son iguales, entonces:

$$RI_{CD}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t)dt \quad (2.18)$$

Si se simplifica la expresión anterior y se despeja el término I_{CD} , entonces se tiene una expresión que permite calcular el equivalente en CD de una CA con la misma capacidad para entregar energía. Este valor constante recibe el nombre de valor eficaz o raíz media cuadrática (RMS, por sus siglas en ingles) y para la corriente se calcula como:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t)dt} \quad (2.19)$$

La interpretación física de la ecuación 2.19 es la siguiente: una corriente $i(t)$ variable en el tiempo, tiene una corriente equivalente constante I_{RMS} , con la misma capacidad de entregar o absorber potencia que la corriente $i(t)$.

Para la tensión senoidal se aplica el mismo concepto, de forma que la expresión para obtener su valor eficaz es:

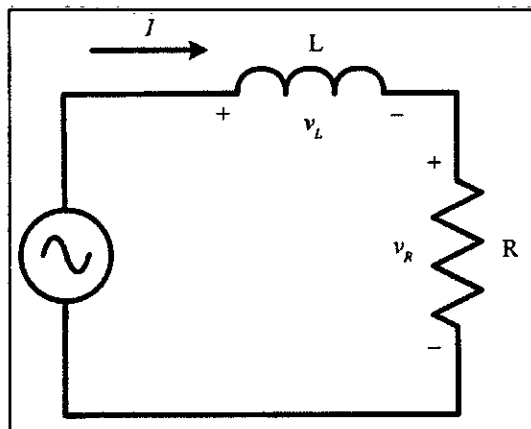
$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t)dt} \quad (2.20)$$

2.2.6. Potencia en un circuito RL.

Considérese un circuito resistivo-inductivo como el que se muestra en la figura 2.3, en donde los elementos han sido conectados en serie.

Se puede observar que el ángulo entre los fasores de tensión V y de corriente I , no es 0° , porque el circuito no es puramente resistivo, ni 90° porque el circuito tampoco es puramente inductivo.

FIGURA N°2.3. CIRCUITO RESISTIVO-INDUCTIVO.



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

La potencia instantánea consumida por el circuito serie RL es:

$$p = 2V_{RMS}I_{RMS}\cos(\omega t)\cos(\omega t - \varphi) \quad (2.22)$$

Si se toma en consideración la siguiente igualdad:

$$\cos(\omega t - \varphi) = \cos(\omega t)\cos(\varphi) + \sin(\omega t)\sin(\varphi) \quad (2.23)$$

Se puede obtener una expresión para la potencia instantánea:

$$p = 2V_{RMS}I_{RMS}\cos^2(\omega t)\cos(\varphi) + 2V_{RMS}I_{RMS}\sin(\omega t)\cos(\omega t)\sin(\varphi) \quad (2.24)$$

Por otra parte, se tiene las siguientes igualdades:

$$\cos^2(\omega t) = \frac{\cos(2\omega t)+1}{2} \quad (2.25)$$

$$\sin(2\omega t) = 2\sin(\omega t)\cos(\omega t) \quad (2.26)$$

De forma que la potencia instantánea es:

$$p = V_{RMS}I_{RMS}\cos(2\omega t)\cos(\varphi) + V_{RMS}I_{RMS}\cos(\varphi) + V_{RMS}I_{RMS}\sin(2\omega t)\sin(\varphi) \quad (2.27)$$

2.2.7. Potencia activa.

La ecuación 2.27 tiene tres sumandos, de los cuales el de la izquierda y el del centro corresponden a la potencia instantánea del resistor multiplicada por $\cos(\varphi)$.

La potencia promedio de la ecuación 2.27 está dada, únicamente, por el sumando central, el cual es un valor constante, mientras que los otros dos son senoidales:

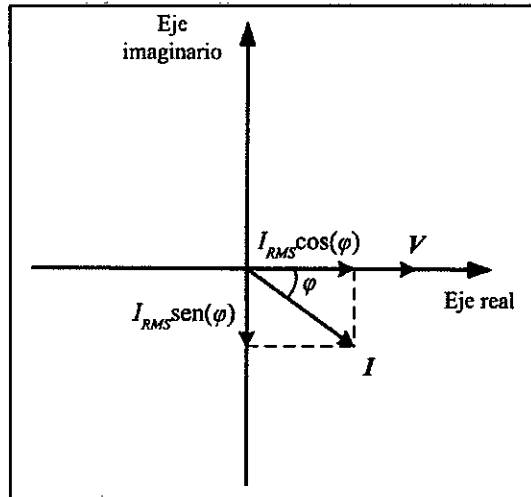
$$P = V_{RMS}I_{RMS}\cos(\varphi) \quad (2.28)$$

Esta potencia corresponde al valor promedio que la fuente le entrega al circuito en un tiempo T, siempre fluyendo del punto de suministro hacia la carga. Obsérvese que esta potencia disipa energía en el resistor en forma de calor, por lo cual, la potencia promedio es aquella que tiene la capacidad de generar trabajo.

Esta característica recibe el nombre de potencia activa y su unidad es el watt (W).^[3]

En la figura 2.4 se muestra un plano de Gauss con los fasores de tensión y corriente. Ésta se encuentra atrasada un ángulo φ con respecto a la tensión aplicada.

FIGURA N°2.4. DIAGRAMA FASORIAL DE UN CIRCUITO RESISTIVO-INDUCTIVO



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

En la figura 2.4. se observa que la proyección de la corriente sobre el eje real V , corresponde a $I_{RMS}\cos(\varphi)$ y tiene una magnitud menor que I_{RMS} . Esta proyección, que está en fase con la tensión, recibe el nombre de componente activa de la corriente.

De esto se concluye que la componente de la corriente que está en fase con la tensión, es la encargada de generar potencia activa,

[3] BARCON, Santiago y otros. **Calidad de la Energía, factor de potencia y filtrado de armónicas.**

lo cual se comprueba mediante la ecuación 2.27, en donde el producto del valor eficaz de la tensión por la proyección del fasor de corriente sobre el eje de la tensión da como resultado P.

2.2.8. Potencia reactiva.

El sumando de la derecha en la ecuación 2.27, corresponde a la potencia instantánea del inductor multiplicada por $\text{sen}(\varphi)$. Esta potencia fluctuante, que se caracteriza por estar originada por un elemento reactivo (en este caso el inductor), tiene como amplitud el producto de los valores eficaces de la tensión, de la corriente y del $\text{sen}(\varphi)$; a esta potencia se le denomina reactiva y se le identifica mediante la letra Q: [3]

$$Q = V_{RMS}I_{RMS}\text{sen}(\varphi) \quad (2.29)$$

Esta potencia fluye en ambas direcciones, a diferencia de P, que es unidireccional. Se mide en volt-amperes-reactivos (VAR).

En el plano de Gauss de la figura 2.4, se aprecia que la proyección de la corriente sobre el eje a 90° con respecto a la tensión (o en cuadratura), corresponde a $I_{RMS}\text{sen}(\varphi)$. De forma similar, esta componente que está a 90° en atraso, recibe el nombre de componente reactiva de la corriente.

Se concluye que la componente en cuadratura de la corriente es la encargada de la generación de la potencia reactiva, lo cual se comprueba observando la ecuación 2.29, en donde el producto del

valor eficaz de la tensión por la proyección del fasor de corriente sobre el eje en cuadratura, da como resultado Q.

2.2.9. Potencia aparente.

Hasta este momento se ha visto que en los circuitos de CA existen dos clases de potencia: la activa, que es motivada por los elementos resistivos del sistema eléctrico, la cual genera el trabajo; y la reactiva, que es producida por los elementos reactivos del sistema (inductores o capacitores), la cual es responsable de generar los campos magnético o eléctrico, requeridos por dichos elementos. [3]

Se observa que cuando en el circuito eléctrico existen elementos resistivos y reactivos, la tensión aplicada y la corriente que circula en el circuito, no están en fase. Las potencias, en este caso, se obtienen proyectando la magnitud total de la corriente sobre el eje de la tensión, en el caso de la potencia activa; o sobre el eje en cuadratura (a 90° con respecto a la tensión), cuando se trata de la potencia reactiva. Estas componentes de la corriente tienen un valor menor a la magnitud del fasor de corriente I.

Dado que I_{RMS} es la magnitud total de la corriente que circula por el circuito, entonces el producto de los valores eficaces de la tensión por la corriente expresa la cantidad total de potencia que la fuente entrega a la carga, la cual recibe el nombre de potencia aparente y es representada mediante S. Su unidad es el volt-ampere (VA). La ecuación queda entonces:

$$S = V_{RMS}I_{RMS} \quad (2.30)$$

En vista de que la potencia activa y reactiva se obtienen mediante proyecciones de la corriente, entonces sus valores siempre serán menores al valor de potencia aparente, salvo en los casos en que los circuitos sean puramente resistivos. Entonces $P=S$, o bien inductivo o capacitivo, entonces $Q=S$.

2.2.10. Factor de potencia.

Se ha visto que la potencia total que absorbe la carga o que entrega la fuente generadora, es la denominada potencia aparente, mientras que la potencia utilizada para producir trabajo es la potencia activa. Por lo tanto, es de interés conocer la relación entre la potencia que produce trabajo y la potencia total consumida o suministrada. [3] Esta relación recibe el nombre de factor de potencia (FP) y se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2.31)$$

Bajo condiciones de tensión y corriente senoidales se determina como:

$$FP = \frac{V_{RMS}I_{RMS}\cos(\varphi)}{V_{RMS}I_{RMS}} = \cos(\varphi) \quad (2.32)$$

De lo anterior se sacan las siguientes conclusiones de interés:

- Dado que P regularmente es menor que S , salvo en el caso de circuitos puramente resistivos donde $P=S$, entonces el FP estará dentro del intervalo $0 \leq FP \leq 1$.
- Si el desfaseamiento es motivado por la presencia de un inductor, entonces en este caso se dice que el FP es inductivo o atrasado (ya que la corriente se atrasa con respecto a la tensión).
- Si el desfaseamiento es motivado por la presencia de un capacitor, entonces se dice que el FP es capacitivo o en adelanto (debido a que la corriente se adelanta con respecto a la tensión).
- Entre más pequeño es el ángulo de desfaseamiento entre la tensión y la corriente, el FP se acerca más a la unidad.
- Un FP cercano a la unidad implica que casi toda la potencia entregada por la fuente de tensión se transforma en trabajo.
- Mientras más grande sea el ángulo de desfaseamiento entre la tensión y la corriente, el FP disminuye, alejándose más y más de la unidad.
- Un FP alejado de la unidad implica que solamente una parte de la potencia entregada por la fuente se transforma en trabajo, mientras que otra cantidad considerable es potencia reactiva.

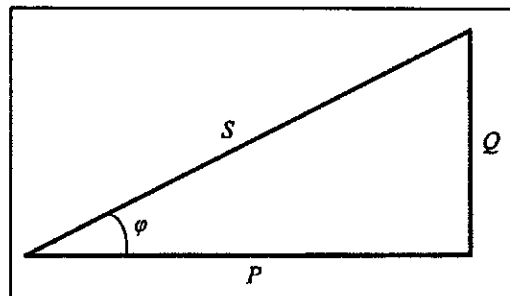
a. Triángulo de potencias.

Dado que la potencia activa y reactiva se obtienen de proyectar la corriente sobre el eje de la tensión en cuadratura, entonces dichas potencias se representan mediante el uso de un diagrama que recibe el nombre de triángulo de potencias. En el triángulo de potencias se representa la potencia activa como un cateto en forma horizontal, la potencia reactiva se representa mediante un cateto en forma vertical, el cual está a 90° con respecto al que representa a la potencia activa, y finalmente la hipotenusa, que corresponde a la potencia aparente S . [3]

En la figura 2.5 se muestra un triángulo de potencias, en donde se observan los catetos asignados a P y a Q . El ángulo formado entre P y S corresponde al ángulo φ de la impedancia. La hipotenusa es igual a la potencia aparente S , dada las ecuaciones 2.28 y 2.29 la hipotenusa se calcula como:

$$S = \sqrt{V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 \cos^2(\varphi) + V_{RMS}^2 I_{RMS}^2 \text{sen}^2(\varphi)} = V_{RMS} I_{RMS} \quad (2.34)$$

FIGURA N°2.5. TRIANGULO DE POTENCIAS.



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

De lo anterior se obtiene la relación entre la potencia aparente y la potencia activa.

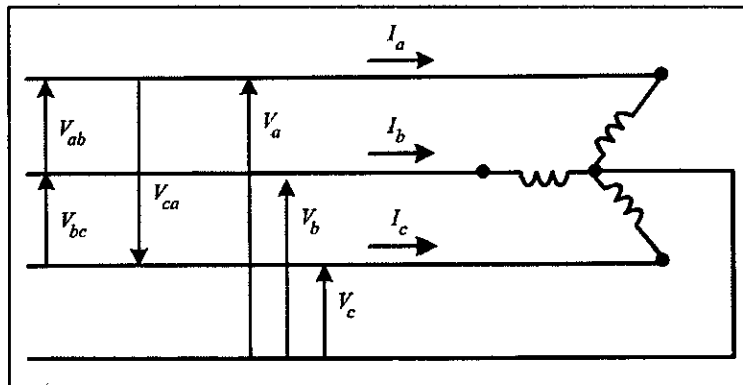
$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2.35)$$

2.2.11. Potencia en sistemas trifásicos.

La determinación de la potencia en sistemas trifásicos no es más que una extensión del cálculo de la potencia de los sistemas monofásicos.

En la figura 2.6 se muestra un sistema en estrella, en el cual se señalan las tensiones y el sentido de las corrientes. Se utilizan valores eficaces de las tensiones y las corrientes.

FIGURA N°2.6. SISTEMA TRIFASICO EN ESTRELLA.



ⁱ Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

La tensión de línea o entre fases se relaciona con la tensión de fase a tierra como $V_L = \sqrt{3}V_F$ de forma que la potencia aparente es:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \quad (2.36)$$

Entonces, las demás relaciones para el cálculo de la potencia trifásica para un circuito en estrella, son:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \cos(\varphi) \quad (2.37)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \sin(\varphi) \quad (2.38)$$

$$S_{3\phi}^2 = P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2 \quad (2.39)$$

2.2.12. Corrección del factor de potencia.

Las compañías suministradoras en muchas partes del mundo establecen cuotas de penalización para aquellas industrias o usuarios que no mantengan sus cargas en el rango del FP requerido. Cuando los usuarios incorporan equipo especial para alcanzar el FP requerido por las compañías suministradoras, se dice que realizan una corrección del FP. [3]

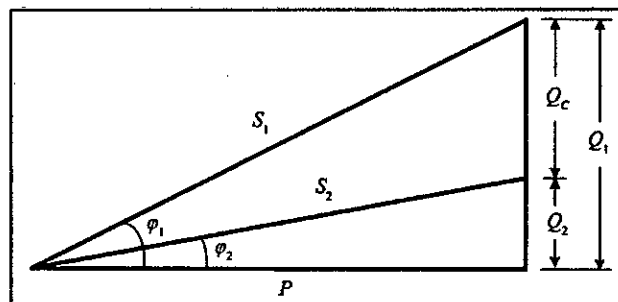
Para corregir el FP de una instalación, se requiere conocer la siguiente información sobre la operación actual:

- P: potencia activa de la instalación.
- FP: factor de potencia de la instalación.

Con los datos anteriores, se obtienen los demás componentes del triángulo de potencias de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

En la figura 2.7 se muestra el triángulo de potencias, cuyos catetos son la potencia activa P y la potencia reactiva Q_1 ; la hipotenusa es la potencia aparente S_1 y el ángulo de la impedancia es φ_1 .

FIGURA N°2.7. TRIANGULO UTILIZADO PARA LA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

Para hacer la corrección del factor de potencia, es necesario conocer el FP deseado para la instalación. En la figura 2.7 se observan dos triángulos superpuestos; el mayor representa las condiciones actuales de operación de la instalación eléctrica, formado por los lados P , Q_1 y S_1 , mientras que el triángulo menor representa las condiciones en las que operará el sistema una vez que se haya alcanzado el FP deseado. Este triángulo está formado por los lados P , Q_2 y S_2 , que se haya corregido el FP. Para que esto suceda, se requiere entonces que el propio usuario aporte una potencia reactiva de corrección Q_c .

De la figura se tiene que Q_c es:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (2.40)$$

Se sabe que en ambos triángulos la potencia reactiva se relaciona con el ángulo y con la potencia activa por las expresiones:

$$Q_1 = P \tan(\varphi_1) \quad (2.41)$$

$$Q_2 = P \tan(\varphi_2) \quad (2.42)$$

Sustituyendo estas relaciones para obtener la potencia reactiva de corrección, se tiene:

$$Q_c = P(\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) \quad (2.43)$$

En Perú, en el año 2013 se estableció bajo Resolución N°206-2013-OS/CD la publicación de la norma "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario", donde establece que el consumo de Energía Reactiva no debe exceder el 30% del consumo Energía Activa, de lo contrario se incurre en una penalización. Citamos el Artículo N°16 de dicha norma:

"Artículo 16°. - Facturación de Energía Reactiva"

La facturación por energía reactiva se incluirá en las opciones tarifarias MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4 de acuerdo a lo siguiente:

a) Consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de la energía activa total mensual.

Sin cargo alguno.

b) Consumo de energía reactiva inductiva que exceda el 30% de la energía activa total mensual.

La facturación del exceso de la energía reactiva inductiva es igual al producto de dicho exceso por el costo unitario (expresado en S/. /kVAR.h), según se muestra en las siguientes relaciones:

Factura = kVAR.h en exceso x CER

CER = Cargo por energía reactiva, expresado en S/. /kVAR.h^[4]

Según lo citado en la norma podemos definir el valor máximo para la energía reactiva mediante la ecuación 2.44:

$$E_R = 0.3E_A \quad (2.44)$$

Donde E_R Energía Reactiva consumida en un mes

E_A Energía Activa consumida en un mes

Expresando la energía consumida en términos de potencia, podemos aproximar de la siguiente forma:

$$P = \frac{E_A}{t} \quad (2.45)$$

$$Q = \frac{E_R}{t} \quad (2.46)$$

Donde t es el tiempo total de consumo de energía.

Del triángulo de potencia de la figura 2.5 se define el factor de potencia como:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (2.47)$$

En la ecuación 2.35 se define la relación entre las potencias, de la cual despejamos la potencia aparente:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.48)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.45 y 2.46 en la ecuación 2.48:

[4] Proyecto de Norma "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final". Resolución Osinergmin N°206-2013.

$$\cos(\varphi) = \frac{\frac{E_A}{t}}{\sqrt{\frac{E_A^2}{t} + \frac{E_R^2}{t}}} \quad (2.49)$$

Reemplazamos la ecuación 2.44 en la ecuación 2.49 resultando:

$$\cos(\varphi) = 0.957 \quad (2.50)$$

Por lo tanto, se estableció que el límite del factor de potencia en una instalación no debe ser menor que 0.957.

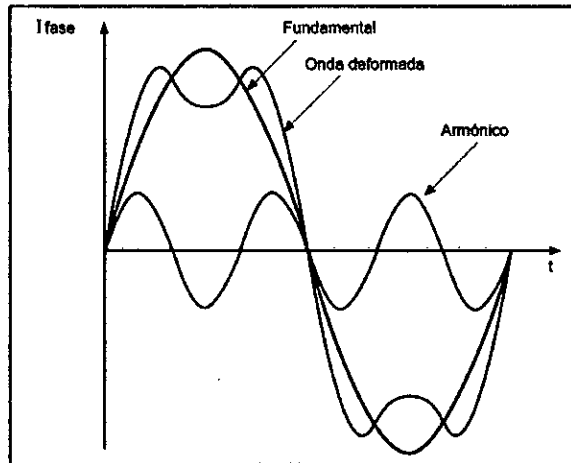
2.2.13. Armónicos.

La particularidad de las formas de onda periódicas, sean de tensión o de corriente o incluso de potencia, que representan la onda fundamental, puede analizarse y clasificarse, debida a que dicha onda no senoidal, es equivalente a la superposición de la onda senoidal fundamental más un número indeterminado de ondas senoidal de frecuencia de múltiplo fundamental. La frecuencia de estos armónicos será respectivamente, 2 veces, 3 veces, n veces la fundamental.^[5] La figura 2.8 muestra una onda deformada por la presencia de los armónicos.

Se entiende por armónicas, son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental.

[5] ABB T&D Systems. Unidad de formación. Armónicos en Sistemas de Potencia. 2009.

FIGURA N°2.8. IMAGEN DE UNA ONDA DEFORMADA



Fuente: Cuaderno técnico n°152 – Schneider Electric

a. Orden o rango del armónico.

Es la relación que hay entre su frecuencia f_n y la frecuencia fundamental (generalmente la frecuencia industrial, 60 Hz):

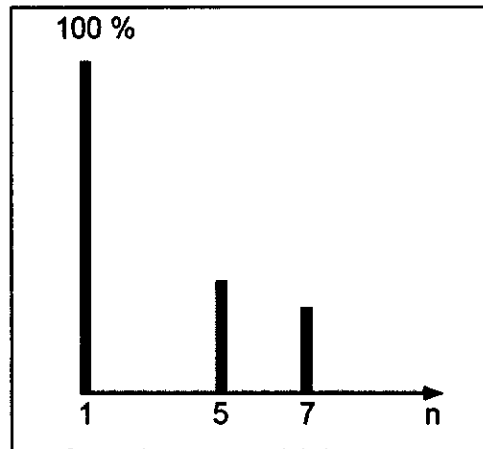
$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (2.51)$$

Por principio, la fundamental f_1 tiene rango 1.

b. Espectro.

Es el histograma que da la amplitud de cada armónico en función del rango. (véase la figura 2.9).

FIGURA N°2.9. ESPECTRO DEL QUINTO Y SETIMO ARMONICO



Fuente: Cuaderno técnico n°152 – Schneider Electric

Dependiendo de cada una de las armónicas en relación a la fundamental, así será la forma de dicha onda completa, en nuestro caso, amplitud en función del tiempo. [6]

2.2.14. Análisis matemático (Fourier).

El matemático francés Jean Baptiste Fourier determinó que toda forma de onda periódica no-senoidal puede ser representada como la suma infinita de ondas senoidales cuyas frecuencias son enteros múltiplos de la frecuencia fundamental. En la teoría de sistemas lineales es fundamental la representación de una señal en términos de sinusoides o exponenciales complejas. Ello es debido a que una exponencial compleja es una auto función de cualquier sistema lineal e invariante con el tiempo, mientras que la respuesta a una senoide es otra senoide de la misma

[6] COLLOMBET, Christian y otros. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento, en Cuaderno Técnico n°152 - Schneider Electric

frecuencia, con fase y amplitud determinadas por el sistema. De este modo, la representación en frecuencia de las señales, a través de la Transformada de Fourier, resulta imprescindible para analizar las señales y los sistemas eléctricos.^[7]

Al igual que ocurre en el caso continuo, el concepto del dominio de la frecuencia es fundamental para entender las señales discretas y el comportamiento de los sistemas eléctricos. El espectro de una señal nos enseña cómo es esa señal en el dominio frecuencial, la respuesta en frecuencia de un sistema nos aporta el conocimiento de cómo se comporta ese sistema para diferentes entradas, gracias a la perspectiva que aporta el dominio de la frecuencia.

a. Series de Fourier.

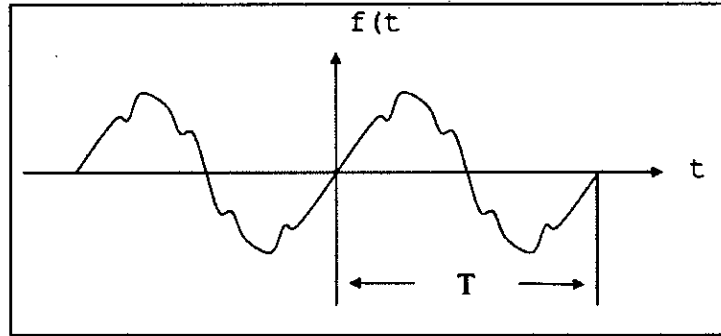
El estudio de las series de Fourier es aplicable a las señales eléctricas siempre y cuando estas sean funciones periódicas. Una función periódica se puede definir como:

$$f(t) = f(t + T) \quad (2.52)$$

Donde T se llama el periodo de la función la figura muestra un ejemplo de función periódica.

[7] ROSALES PADILLA, Oscar. **Estudio de frecuencias**. Tesis para maestría. Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. 1995.

FIGURA N°2.10. FUNCION PERIÓDICA



Fuente: Elaboración propia

La siguiente función periódica $f(t)$ corresponde a una señal eléctrica sinusoidal con sus correspondientes armónicos.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1\cos\omega_0t + a_2\cos 2\omega_0t + \dots + b_1\text{sen}\omega_0t + b_2\text{sen} 2\omega_0t \quad (2.53)$$

Que se resume de la siguiente manera:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos n\omega_0t + b_n\text{sen} n\omega_0t) \quad (2.54)$$

La componente D.C de la señal (a_0) más la sumatoria de las componentes trigonométricas de la señal y sus armónicos, desde $N=1$ el armónico fundamental. Hasta infinito.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (2.55)$$

dónde: ω_0 frecuencia angular expresada en rad/seg

La serie trigonométrica de Fourier también puede ser representada así:

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n * \cos (n\omega_0t - \theta_n) \quad (2.56)$$

donde C_0 es la componente D.C de la señal, C_n es la magnitud armónica dada por:

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.57)$$

y el ángulo θ_n es igual a:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right) \quad (2.58)$$

Según la representación en series de Fourier de una función periódica, las sumas de componentes sinusoidales tienen diferentes frecuencias. La componente sinusoidal de frecuencia $\omega_n = n\omega_0$ se denomina la n -ésima armónica de la señal, la primera armónica comúnmente se conoce como la componente fundamental porque tiene el mismo periodo de la función y $\omega_0 = 2\pi f = 2\pi/T$ se conoce como la frecuencia angular fundamental, los coeficientes C_n y los ángulos θ_n se conocen como amplitudes armónicas y ángulos de fase respectivamente.

Los coeficientes a_0 , a_n y b_n se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt \quad (2.59)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (2.60)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (2.61)$$

Podemos concluir que la serie trigonométrica de Fourier es la superposición de señales, sobre la señal sinusoidal pura y estas señales tienen la particularidad de poseer una frecuencia, la cual es un múltiplo entero de la fundamental, para la mayoría de los casos calculables de la transformada de Fourier el coeficiente a_0 es igual a 0.

2.2.15. Distorsión armónica total

La distorsión armónica total (THD, Total Harmonic Distortion) es el indicador de cuantifica la cantidad de contenido armónico que tiene una función distorsionada. [3]

Para la tensión se relacionan de la siguiente manera:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (2.62)$$

Donde THD_V Distorsión armónica total en tensión.

V_h Valor eficaz de la h -ésima armónica de tensión.

V_1 Valor de tensión a la frecuencia fundamental.

Para la corriente se relacionan de la siguiente manera:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2.63)$$

Donde THD_I Distorsión armónica total en corriente.

I_h Valor eficaz de la h -ésima armónica de corriente.

I_1 Valor de corriente a la frecuencia fundamental.

2.2.16. Componentes de secuencia.

En los sistemas de potencia, se estudian casos de simetría para simular alteraciones del sistema, fallas a tierra, cortocircuito o cargas asimétricas, la descomposición se realiza mediante el método de las componentes de Fortescue.

Las tres redes secuencia positiva, secuencia negativa, secuencia cero. Cuando hay presencia de armónicas, se pueden formar para cada una de ellas, tres redes de secuencia, y habrá armónicas de tensión y/o corriente, en cada red de secuencia.

TABLA N°2.1. SECUENCIA DE LOS ARMÓNICOS

No.armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Fuente: Dariel J. Armónicos en Sistemas Eléctricos.

La secuencia seguida por los armónicos es importante para analizar sus efectos, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- En sistemas trifásicos, los armónicos de orden $3n$ de corriente solo se pueden propagar cuando es posible un retorno por neutro.
- Los armónicos de orden $(3n+1)$ en tensión generan en los motores un campo giratorio en el mismo sentido de la componente fundamental.

- Los armónicos de orden $(3n-1)$ en tensión generan en los motores un campo giratorio en sentido contrario al generado por la componente fundamental.

Debe tenerse en cuenta que las conclusiones sobre secuencia de los armónicos solo son válidas cuando el sistema trifásico esta balanceado y las formas de onda de las tres fases son idénticas.

2.2.17. Origen de los armónicos.

Las armónicas son generadas por las cargas no lineales existentes en el Sistema Eléctrico. Tales cargas toman una corriente cuya forma de onda es no-senoidal cuando son alimentados por una tensión senoidal.

La mayoría de este tipo de cargas está dentro de la siguiente clasificación:

- Ferromagnéticas
- Cargas de Arco
- Cargas que utilizan electrónica de potencia.

a. Cargas no lineales

Las cargas no lineales son aquellas a las que cuando se le aplica una tensión, la forma de onda de la corriente es diferente de la formada de onda de la tensión.

En general las cargas no lineales se modelan como fuentes de corriente constantes para cada frecuencia armónica y son calculadas respecto a la corriente de la frecuencia fundamental. Teóricamente las amplitudes de las armónicas se calculan en base a las series de Fourier.

Algunas cargas no lineales que presentan armónicos característicos están basadas en dispositivos electrónicos de estado sólido. Ejemplos de estos son los equipos rectificadores, los convertidores de frecuencia, los inversores, los ciclo-convertidores, los hornos de arco y los compensadores estáticos de potencia reactiva. Todos estos equipos tienen la característica común de requerir o absorber corriente del sistema que es no sinusoidal. Por lo tanto, todos ellos son gobernados por las mismas leyes básicas que permiten el análisis de su comportamiento.

Durante el funcionamiento normal de estos equipos, aparecen armónicas de tensión y/o corrientes en las redes.

Para el caso de los rectificadores y de modo aproximado para aquellos que tienen equipo rectificador en la entrada, la ecuación que gobierna el funcionamiento es:

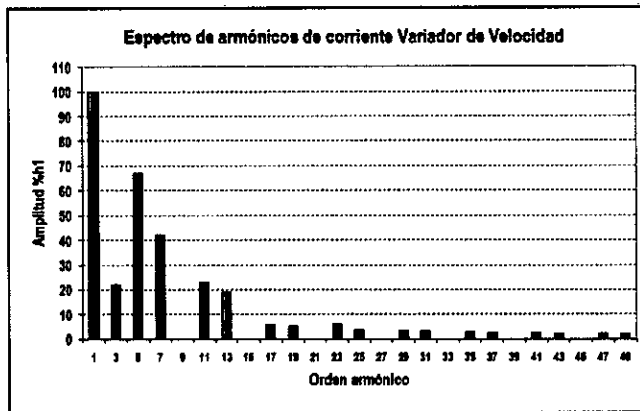
$$h = kp \pm 1$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

P : Cantidad de pulsos de rectificador.

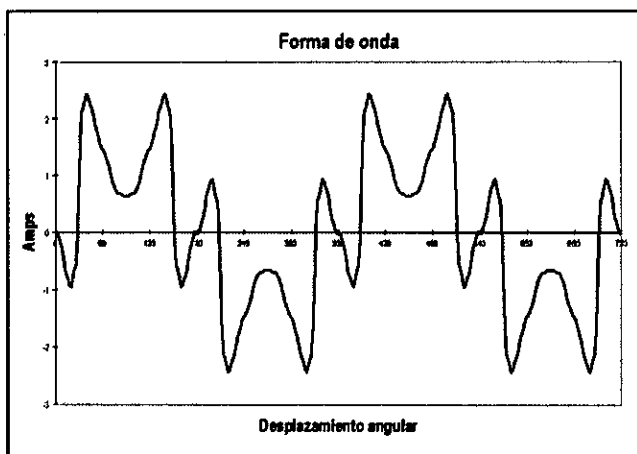
Entonces para un rectificador de 6 pulsos teóricamente tenemos los armónicos de orden 5th, 7th, 11th, 13th, 17th, 19th....

FIGURA N°2.11. ESPECTRO DE ARMONICOS DE VARIADOR 6 PULSOS



Fuente: Elaboración propia. Catálogo de variadores Schneider Electric

FIGURA N°2.12. FORMA DE ONDA DE VARIADOR DE 6 PULSOS



Fuente: Elaboración propia – Catalogo de variadores Schneider Electric

La mayor parte de las cargas no conectadas a la red eléctrica son simétricas. Una carga no lineal es simétrica cuando las dos semiondas de corriente son iguales y opuestas. Esto se puede expresar matemáticamente:

$$F(\omega t + \pi) = -f(\omega t) \quad (2.64)$$

En este caso las armónicas de orden par son nulos.

2.2.18. Efectos de los armónicos.

Cuando en una planta se producen daños y son debidos a los armónicos, éstos dejan su sello particular en la difícil interpretación convencional del daño, en su aparatosidad y en su camino, pese a que los daños pueden ser simultáneos y parecer sin embargo no consecuenciales, lo que aporta contradicción. En primer lugar, los efectos catastróficos de los armónicos, se deben generalmente a que sus corrientes circulan procedentes de fuentes de corriente dependientes, no de fuentes de tensión. Esto da lugar al fenómeno de amplificación, que después estudiamos. En otras ocasiones, las elevadas corrientes de deben a la irrupción de los armónicos desde un sistema de tensiones (elevado) en otro (más bajo).^[8]

Es más fácil que se den problemas en instalaciones con baja potencia de cortocircuito que en los de elevada, o cuando, transitoriamente, se reduce la potencia de cortocircuito del sistema, bien desde el suministro, bien por desconexión de alguno de los transformadores.

[8] FORNIELES, Francesc. *Armónicos: Efecto, diagnóstico y soluciones*.

La siguiente tabla muestra los efectos en el equipamiento eléctrico producidos por los armónicos.

TABLA N°2.2. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

Elemento	Problema	Efecto
Conductor	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la corriente. - Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule) 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de cables (deterioro). - Disparo de protecciones.
Conductor de Neutro	<ul style="list-style-type: none"> - Circulación de armónicos múltiplos de 3. - Retorno por el conductor de neutro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobreintensidad por el neutro. - Calentamiento del neutro. - Degradación prematura. - Disparo de protecciones.
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> - Resonancia paralela con el sistema. - Amplificación de los armónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de condensadores. - Envejecimiento prematuro de condensadores. - Destrucción de condensadores.
Maquinas Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> - Circulación de corrientes armónicas por los 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento y perdida de aislamiento térmico (efecto Joule).

	devanados y tensiones armónicas en bornes.	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento pérdidas magnéticas (por Histéresis y Foucault) - Desclasificación (Transformador). - Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidades (motores).
Equipos de medida y control	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas no válidas. - Errores en procesos de control. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valores de magnitudes incorrectas. - Interferencias con sistemas de comunicación y control. - Error en los instantes de disparo de tiristores.

Fuente: Fornieles F. Armónicos: Efectos, diagnóstico y soluciones

- Circutor

2.3. Definición de abreviaturas.

- **A:** Amperios
- **FP:** factor de potencia
- **P:** Potencia activa
- **Q:** Potencia reactiva
- **S:** Potencia aparente
- **H.P.:** Horse Power (caballos de fuerza)
- **Hz:** Hertz
- **IEEE:** Institute of Electrical & Electronics Engineers
- **V_h:** Magnitud de armónico individual de tensión de orden h
- **I_h:** Magnitud de armónico individual de corriente de orden h
- **kA:** Kilo Amperios
- **kV:** Kilo Voltios
- **kVA:** Kilo Voltio Amperio
- **kVAR:** Kilo Voltio Amperio Reactivo
- **kW:** kilo Vatios
- **MVA:** Mega Voltio Amperio.
- **MVAR:** Mega Voltio Amperio Reactivo.
- **MW:** Mega Vatios.
- **NTCSE:** Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.
- **Std:** Estándar
- **THD_v:** Distorsión Armónica total en tensión.
- **THD_i:** Distorsión Armónica total en corriente.
- **V_p :** Magnitud máxima de la señal de voltaje.
- **I_p :** Magnitud máxima de la señal de corriente.
- **ω :** Frecuencia angular.

- φ_i : Ángulo de fase de la corriente respecto a la tensión
- V_{RMS} : Valor eficaz de la tensión.
- I_{RMS} : Valor eficaz de la corriente.
- **OSINERGMIN**: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- **S.E.**: Subestación Eléctrica.
- **Sc**: Potencia de cortocircuito.
- **I_{cc}**: Corriente de cortocircuito.
- **I_L**: Corriente de carga.
- **ΔV**: Porcentaje de variación en tensión.
- **U_N**: Tensión nominal en volts.
- **p.u.**: por unidad.

CAPITULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación,

Relacionando las variables relevantes que intervienen en el presente problema objeto de estudio, que conllevarán a la explicación, demostración y comprobación de la formulada hipótesis, se han identificado las siguientes variables:

Variable X = Grado de contaminación armónica del sistema eléctrico.

Variable Y = Dimensionamiento e implementación de las soluciones contra los armónicos.

Variable Z = Correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

La variable "X" es el dominio, y las otras "Y" y "Z" son dependientes de la variable "X".

3.2. Operacionalización de las variables

El grado más elevado de los referentes empíricos la determinamos operacionalizando, las variables que se simbolizan con sus propiedades concretas con las letras X, Y y Z, de igual manera, se obtiene las siguientes afirmaciones:

La Variable X es directamente proporcional a **La Variable Y**

La Variable X es inversamente proporcional a **La Variable Z**

Por lo que decimos que $X=Y/Z$

3.3. Hipótesis

a. Hipótesis general:

Implementando el sistema de compensación reactiva y filtrada de armónicos se mitigarán los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de Clorox.

b. Hipótesis específica 1:

Realizando un estudio de calidad de energía eléctrica se evaluará el estado en que se encuentra el sistema eléctrico.

c. Hipótesis específica 2:

Implementando un sistema de control se mejorará el factor de potencia en el sistema eléctrico.

CAPITULO IV METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

Por la naturaleza de esta investigación corresponde a la del tipo: Investigación Descriptiva, además de ser precisa y sistemática.

4.2. Diseño de la investigación

- a. La primera etapa para dar solución al problema objeto de investigación es identificar las posibles fuentes de armónicas a través de un estudio de armónicos.
- b. La segunda etapa es la evaluación la información recolectada del estudio, comparándola con lo establecido en las normas nacionales e internacionales en calidad de energía.
- c. La tercera etapa es el dimensionamiento de las soluciones y su posterior implementación en el sistema eléctrico.
- d. La cuarta y última etapa es la extracción y análisis de los resultados finales teniendo ya implementados las soluciones.

4.3. Población y muestra

Para aplicar a los usuarios industriales de la planta de Clorox, los instrumentos de encuesta previamente determinado y poder alcanzar

los objetivos, probar, explicar y demostrar la hipótesis formulada; es necesario aplicar las técnicas estadísticas para determinar el tamaño de la muestra de la población bajo muestreo de dichos usuarios, en las unidades de medida con los límites de confianza en función de la Distribución Normal Estándar.

La población objetivo está conformada por las subestaciones y los tableros principales de la planta de producción de Clorox. Se determina la muestra de conveniencia del total de la población para las dos subestaciones principales, las cuales son las más adecuadas, estratégicamente hablando. Estas son:

- Subestación Eléctrica N°1
- Subestación Eléctrica N°2

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

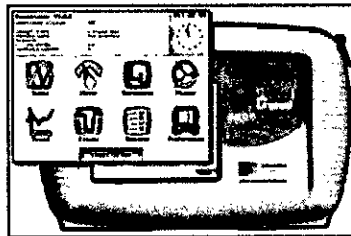
Para alcanzar los objetivos, explicar, demostrar, probar y plantear la solución al problema objeto de estudio formulado en la hipótesis, es prioritario desarrollar las actividades principales siguientes:

- Medición de los parámetros de calidad de energía con analizadores de redes de alta precisión en puntos estratégicos del sistema durante un periodo de 7 días recomendado en la norma.
- Dentro de la información recolectada tendremos parámetros de consumo y parámetros de calidad de energía, los cuales nos ayudarán a identificar el nivel más exacto de la distorsión presente en el sistema.

- La medición se realiza antes para analizar la calidad de energía en ese momento y después, para ver el estado de la calidad de energía con las soluciones implementadas.

a. Instrumento de recolección de datos

FIGURA N°4.1. ANALIZADOR DE REDES DRANETZ
POWERGUIDE 4400.



Fuente: Manual de Usuario PowerGuide® 4400

DRANETZ POWERGUIDE 4400

Equipado con 8 canales independientes, con análisis de hasta 3 fases PowerGuide 4400 es el único instrumento de supervisión avanzado de consumo eléctrico, incorpora una pantalla táctil en color. Configuración automatizada de dispositivos de detección de circuitos y configuraciones, asegurando que el instrumento esté listo para recoger datos con éxito. Los usuarios pueden seleccionar la longitud y el modo de muestreo de datos, incluida la solución de problemas, registro de datos, encuestas de calidad de potencia, energía y el balanceo de cargas.^[9]

[9] DRANETZ TECHNOLOGIES INC. *The Dranetz Field Book for Power Quality Analysis*, Dranetz-BMI. 1991.

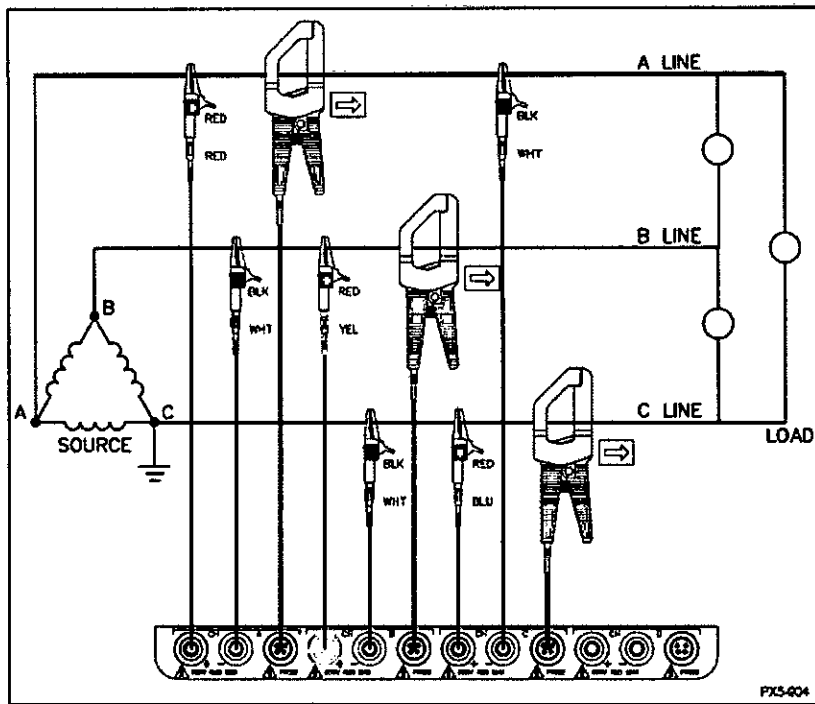
Características:

- Ocho canales, 4 de tensión y 4 de corriente.
- Intuitiva pantalla táctil en color.
- Aplicación en CA / CD.
- "tarjeta de informe" que caracteriza a los eventos al instante.
- Muestreo de 256 muestras / ciclo.
- Disparo Independiente de voltaje y corriente.
- Captura de frecuencias bajas, medias y transitorios.
- THD / espectro armónico y TID / interarmónicos espectro a la 63^a.
- Batería o modo CA.
- Construido en batería UPS con cargador externo.
- Ampliación de memoria hasta 256 MB.
- Idiomas - inglés, español, francés, alemán, italiano, sueco, finlandés, chino, japonés, coreano.
- Software DRAN-VIEW 6 (Windows NT, 98, ME, 2000, XP)
- Medidas IEC 61000-4-15
- Cumple con la norma IEEE 1159, IEC 61000-4-30 clase A y EN50160.

b. Diagrama de conexionado.

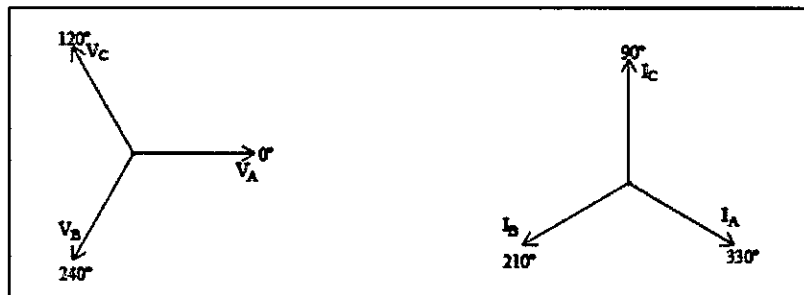
En esta conexión, el equipo analizador utiliza los canales de A, B y C para medir la tensión línea-línea A-B, B-C y C-A respectivamente. Las pinzas de corriente son conectadas a las fases A, B y C.

FIGURA N°4.2. DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE ANALIZADOR DE REDES POWERGUIDE 4400.



Fuente: Manual de Usuario PowerGuide® 4400

FIGURA N°4.3. DIAGRAMA DE CONEXIONADO DE TENSIONES Y CORRIENTES.



Fuente: Manual de Usuario PowerGuide® 4400.

4.5. Plan de análisis estadísticos de datos.

El procedimiento estadístico a ser aplicado en esta investigación para explicar, demostrar y verificar lo planteado en la hipótesis, consistirá primeramente en el procesamiento de la información recolectada de los analizadores de redes.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.

Se lleva un registro de análisis en los puntos acordados, los cuales se definen a continuación y se comparará con los niveles establecidos en las normas internacionales debidamente referenciadas.

- Distorsión armónica total en corriente (THDi)
- Distorsión armónica total en tensión (THDv)
- Tensión (V)
- Corriente (Amp)
- Potencia (kW, kVAR, kVA)
- Frecuencia (Hz)
- Factor de potencia (p.u.)

4.7. Mediciones del estado actual del sistema eléctrico.

4.7.1. Documentos de referencia.

Para el estudio se tomó en cuenta las siguientes normas y recomendaciones:

- Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE)
- Código Nacional de Electricidad
- Normas IEC 61000-4-30 (para equipos Clase A)
- EN 61000-4-7 (IEC 1000-4-7) Armónicos e ínter armónicos
- IEC 100-4-7 e IEC 1000-4-15
- Standard IEEE 519-1992 "Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems".
- IEEE_399_1997 Brown "Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis"
- IEEE 18- 2002 "Standard for Shunt Power Capacitors".
- IEC 871 -1-2 "High Voltage Capacitor"
- IEC 831-1-2 "Low Voltage Capacitor".

4.7.2. Datos referenciales para el estudio.

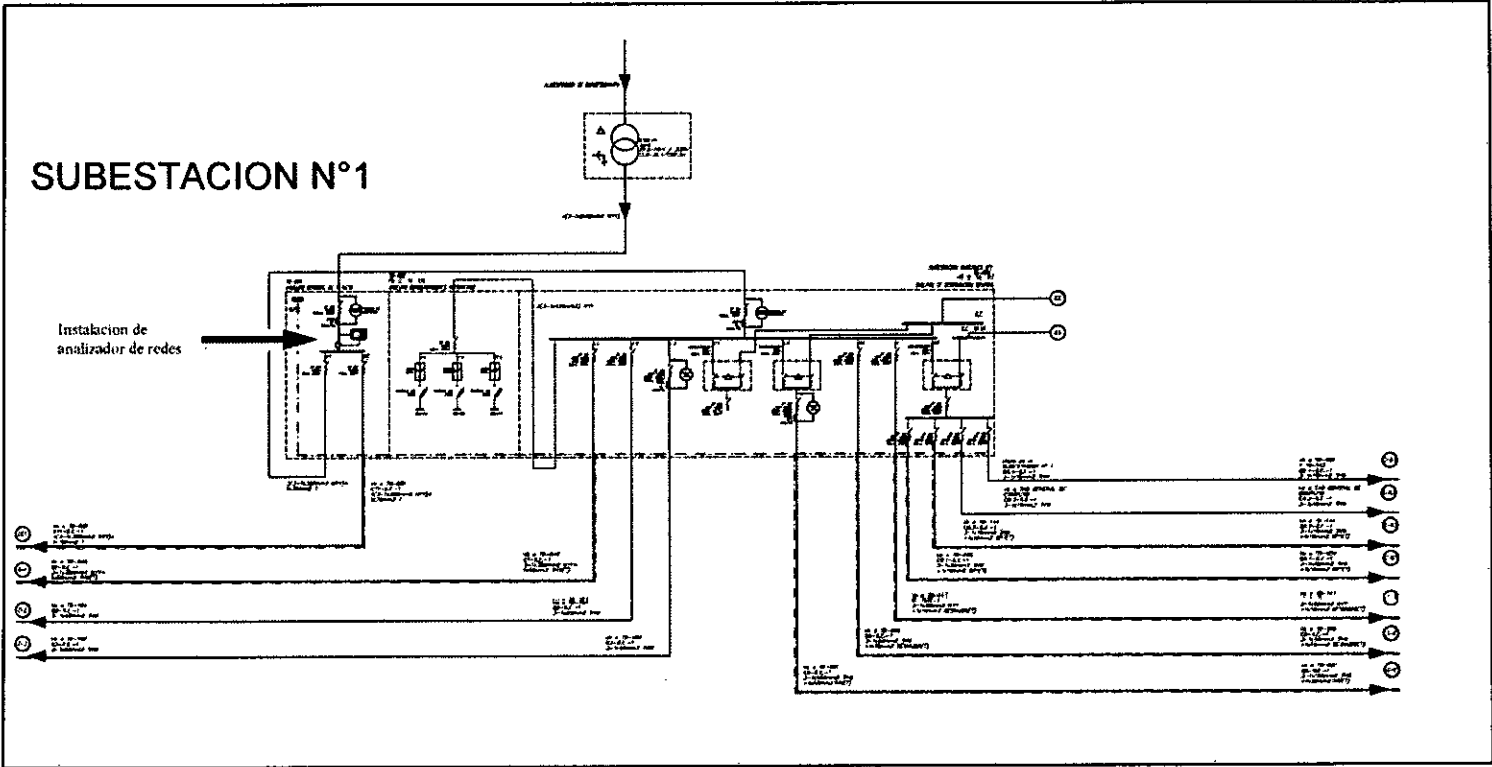
Los siguientes datos sirvieron de referencia para el presente estudio.

Planos Eléctricos

Los planos que nos fueron remitidos son los siguientes:

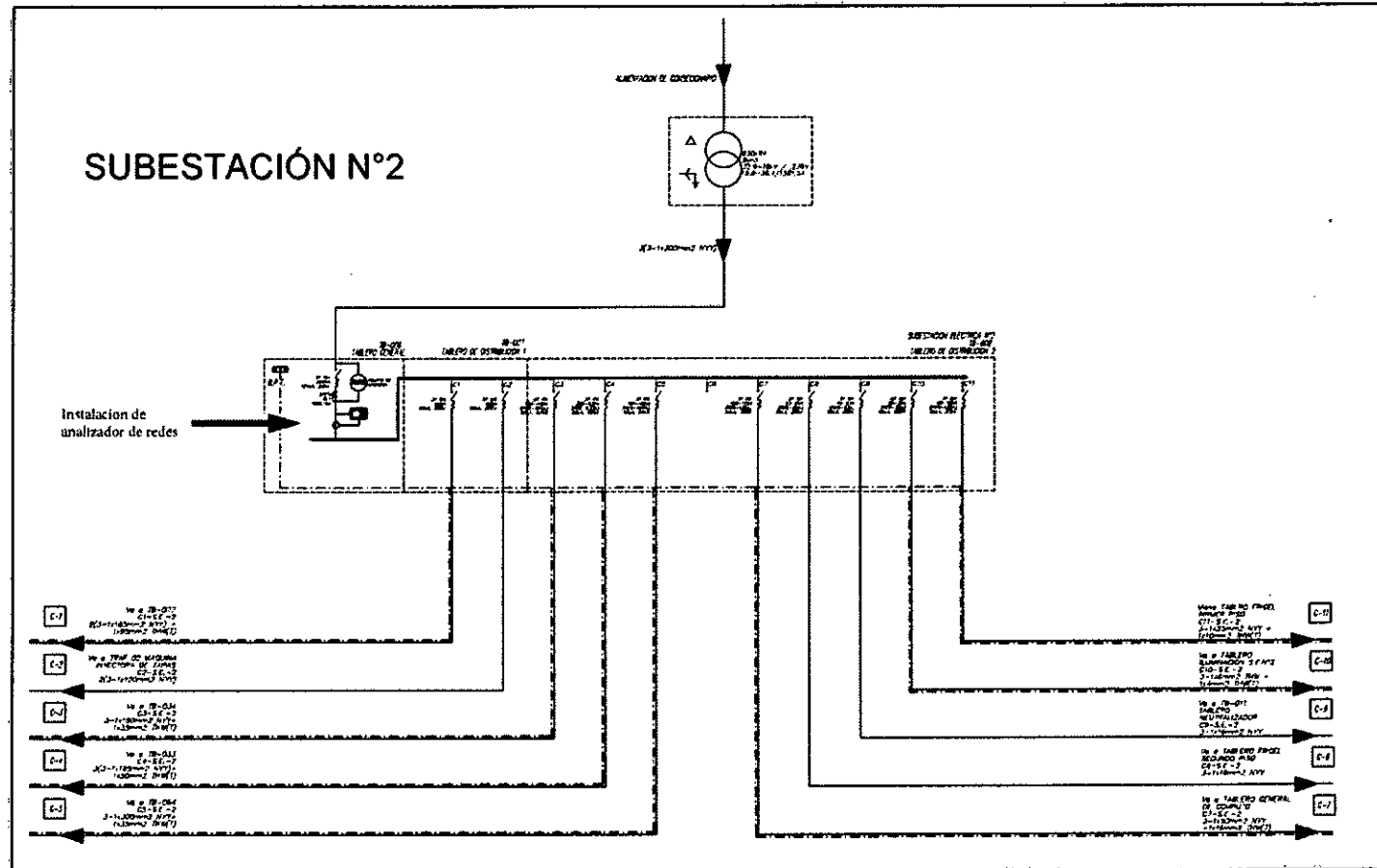
- a. Diagrama Unifilar de la Subestación Eléctrica N°1
- b. Diagrama Unifilar de la Subestación Eléctrica N°2

FIGURA N°4.4. DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION ELECTRICA N°1



Fuente: Planos de Instalaciones Eléctricas – Clorox Perú S.A.

FIGURA N°4.5. DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION ELECTRICA N°2



Fuente: Planos de Instalaciones Eléctricas – Clorox Perú S.A.

4.7.3. Consideraciones del estudio.

La NTCSE es la norma vigente en el Perú, sin embargo, en el presente estudio se considerarán los valores establecidos (para armónicos de tensión) en el estándar IEEE 519-2014 debido a que sus límites son más acordes con la realidad.

La NTCSE no establece límites para la distorsión armónica de corriente, por tanto, se ha considerado realizar el cálculo de acuerdo al estándar IEEE 519-2014 según el cual, la distorsión armónica es calculada teniendo como referencia la corriente fundamental y la corriente de corto circuito en la barra del punto de medición.

4.7.4. Puntos de medición.

Los puntos de medición analizados son los siguientes:

Subestación N°1

- Transformador TR1 - (630 KVA – 0.23kV).

Subestación N°2

- Transformador TR1 - (630 KVA – 0.23kV).

4.7.5. Cálculo de la corriente de cortocircuito.

La empresa distribuidora de energía eléctrica debe indicar la potencia de cortocircuito en el punto de entrega del cliente si se

solicita, para así poder calcular la potencia de cortocircuito en el lado de baja tensión, pero como una variación grande en la potencia de cortocircuito en la barra de entrada del sistema no representa variaciones representativas en el lado de baja tensión, entonces puede ser asumido, para nuestro análisis se consideró una potencia de cortocircuito de 400MVA.

- Método MVA.

En este método no se considera la resistencia de los elementos que conforman el sistema, por lo que es uno de los métodos más prácticos para calcular la potencia de cortocircuito simétrico en baja tensión y a partir de este valor calcular la corriente de cortocircuito.

Según la información de placa de los transformadores los datos para el cálculo son los siguientes:

TABLA N°4.1. DATOS PARA EL CALCULO DE CORTOCIRCUITO.

Datos	SCCA	V _A	S _T	%Z _{cc}	V _B
S.E. N°1	400 MVA	10 kV	630 kVA	4.2%	0.23 kV
S.E. N°2	400 MVA	10 kV	630 kVA	4.2%	0.23 kV

Fuente: Elaboración propia

Donde:

SCCA: Potencia de cortocircuito en alta tensión.

V_A: Tensión nominal en alta tensión.

S_T: Potencia nominal del transformador.

$\%Z_{cc}$: Impedancia de cortocircuito del transformador.

V_B : Tensión nominal en baja tensión.

I_{CCA} : Corriente de cortocircuito en alta tensión.

I_{CCB} : Corriente de cortocircuito en baja tensión.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo son las siguiente:

$$I_{CC_A} = \frac{S_{CC_A}}{\sqrt{3}.V_A} \quad (4.1)$$

$$\frac{1}{S_{CC_B}} = \frac{1}{S_{CC_A}} + \frac{1}{\frac{S_T}{Z_{cc}}} \quad (4.2)$$

$$I_{CC_B} = \frac{S_{CC_B}}{\sqrt{3}.V_B} \quad (4.3)$$

Se calcularon las corrientes de cortocircuito para el lado de alta y de baja tensión en las subestaciones. Los resultados se muestran en las tablas siguientes:

TABLA N°4.2. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO – S.E. N°1.

Tensión (kV)	Corriente de corto circuito (kA)
10	11.55
0.23	36.3

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°4.3. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO – S.E. N°2.

Tensión (kV)	Corriente de corto circuito (kA)
10	11.55
0.23	36.3

Fuente: Elaboración propia

4.7.6. Resultado de las mediciones realizadas.

a. Subestación N°1.

Transformador TR1 (Barra 0.23kV).

El reporte de los datos obtenidos en el registro de medición se ha elaborado a partir del 19/05/2014 a las 12:10 horas, al 26/05/2014 a las 12:00 horas.

Se muestran las gráficas de las mediciones de los siguientes parámetros:

- Tensiones L-L por fase.
- Corriente por fase.
- Potencia Activa, Reactiva y Aparente.
- Factor de potencia real.
- Frecuencia.
- Flicker.
- Armónicos Individuales de Tensión.
- THD de Tensión.
- Armónicos Individuales de Corriente.
- THD de Corriente.

FIGURA N°4.6. GRÁFICA DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°1

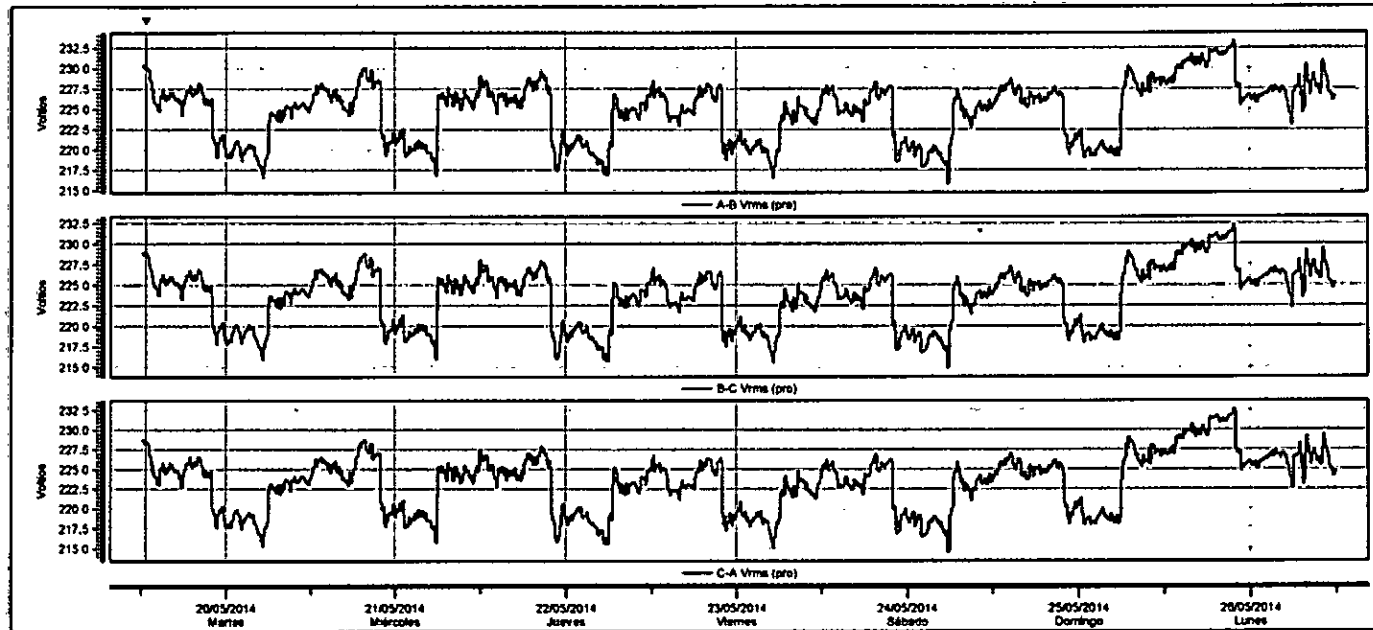


TABLA N°4.4. REPORTE DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVrms	215.7	233.3	224.8
B-CVrms	214.8	232.3	223.6
C-AVrms	214.4	232.6	223.3

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Según la NTCSE: Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta +/-5% de las tensiones nominales de tales puntos. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5% del periodo de medición. En tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos.

FIGURA N°4.7. GRÁFICA DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°1

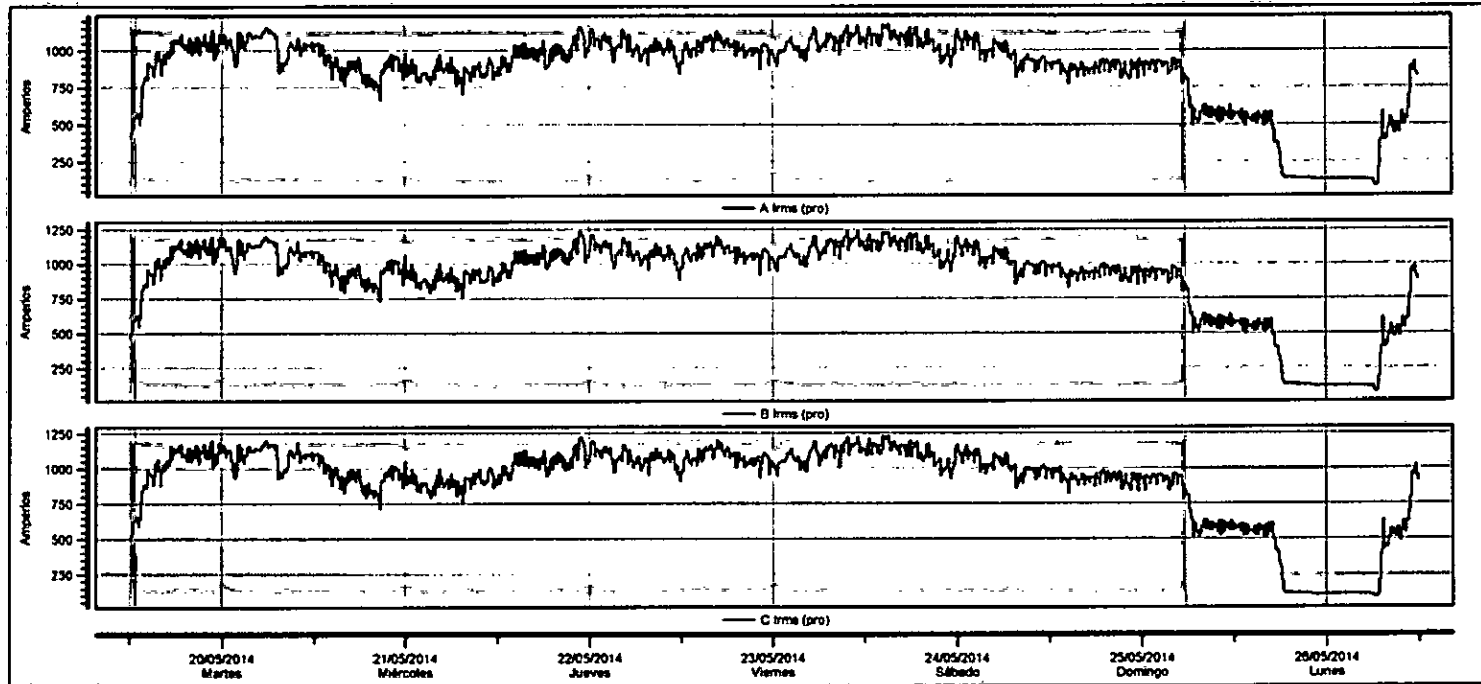


TABLA N°4.5. REPORTE DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>Airms</i>	409.6	1173	970.6
<i>Birms</i>	462.1	1240	1025
<i>Cirms</i>	490.4	1231	1024

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.8. GRÁFICA DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

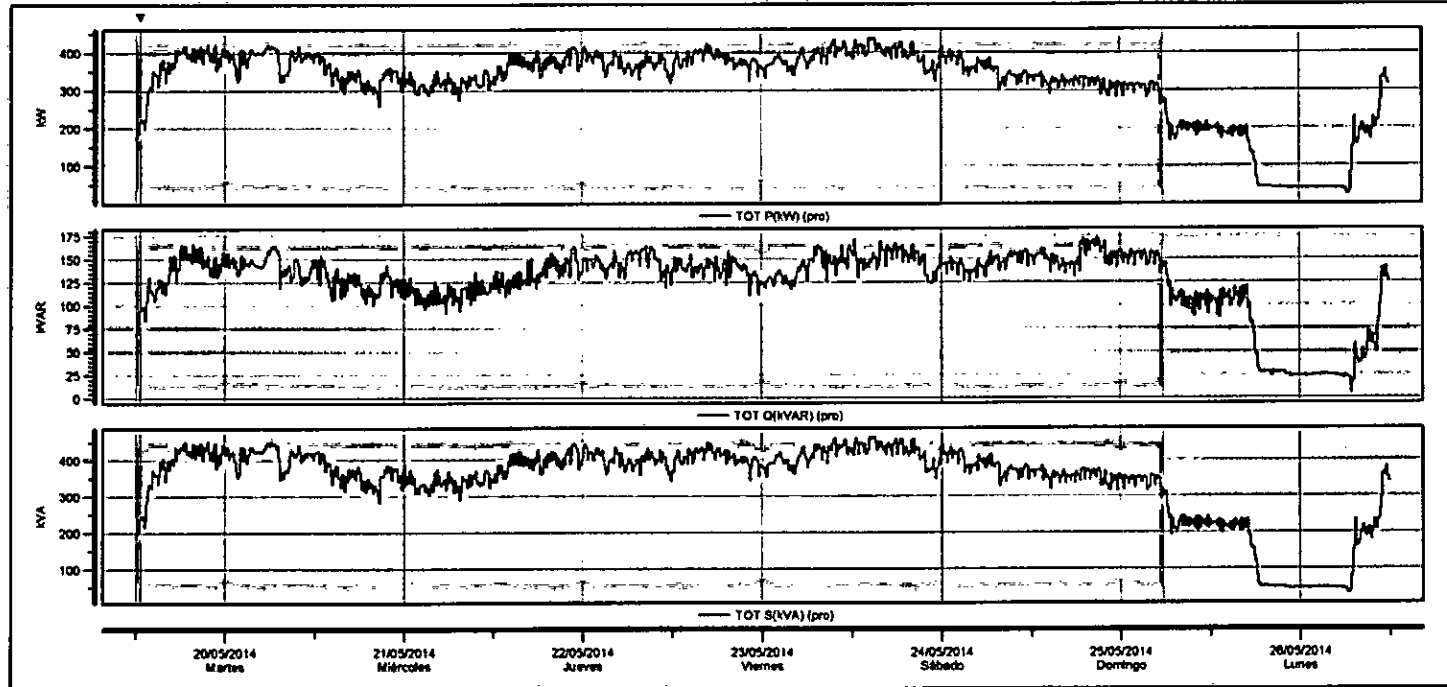


TABLA N°4.6. REPORTE DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	Min	Máx	Pro
TOTP(kW)	170.6	437.7	359.2
TOTQ(kVAR)	66.86	172.9	138.5
TOTS(kVA)	183.2	462.9	385.3

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.9. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

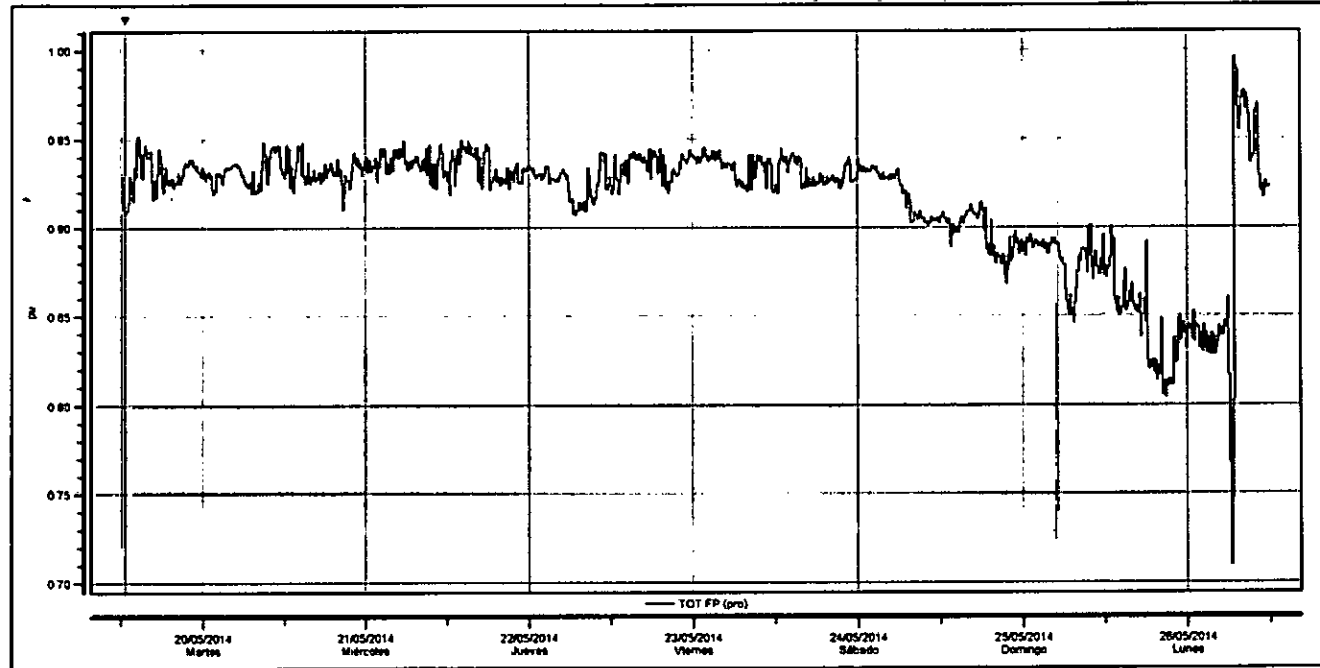


TABLA N°4.7. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFP	0.8676	0.9516	0.9260

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.
- * El factor de potencia se encuentra por debajo de lo recomendado en la NTCSE

FIGURA N°4.10. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

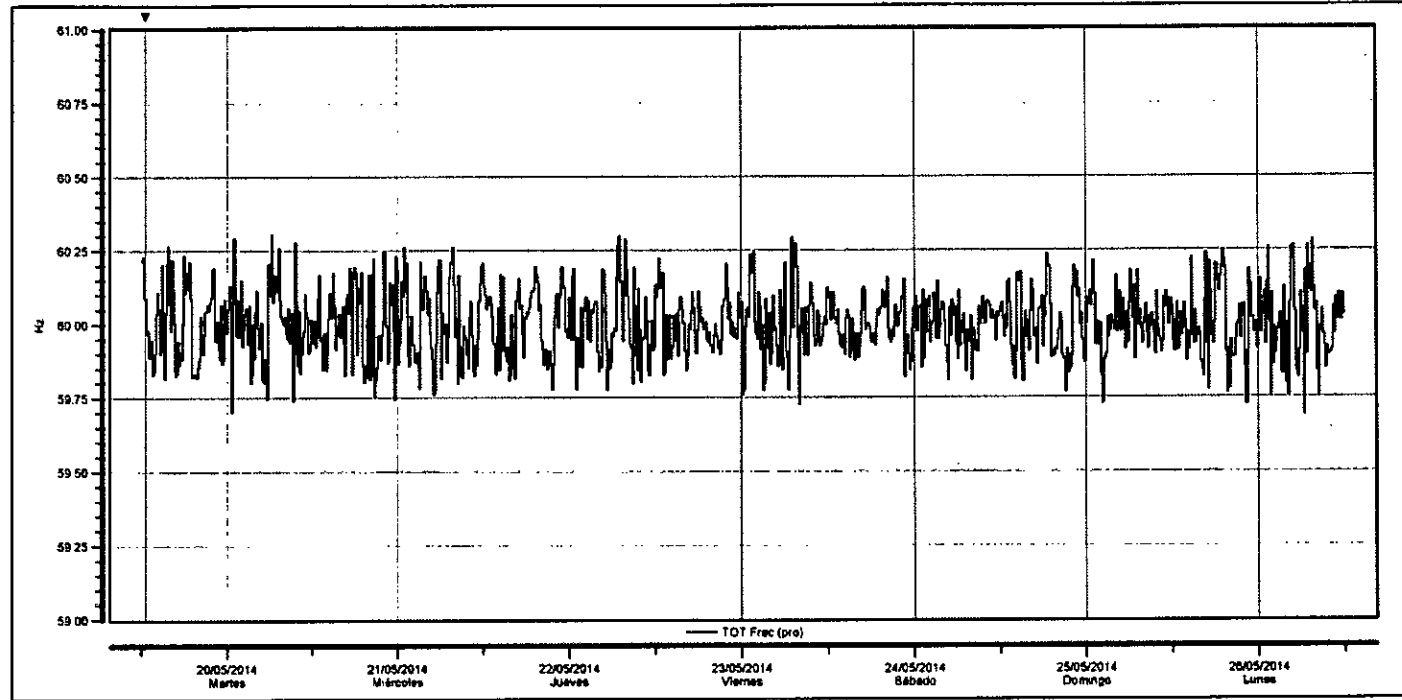


TABLA N°4.8. REPORTE DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFrec	59.69	60.30	60.00

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.11. GRÁFICA DE FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°1

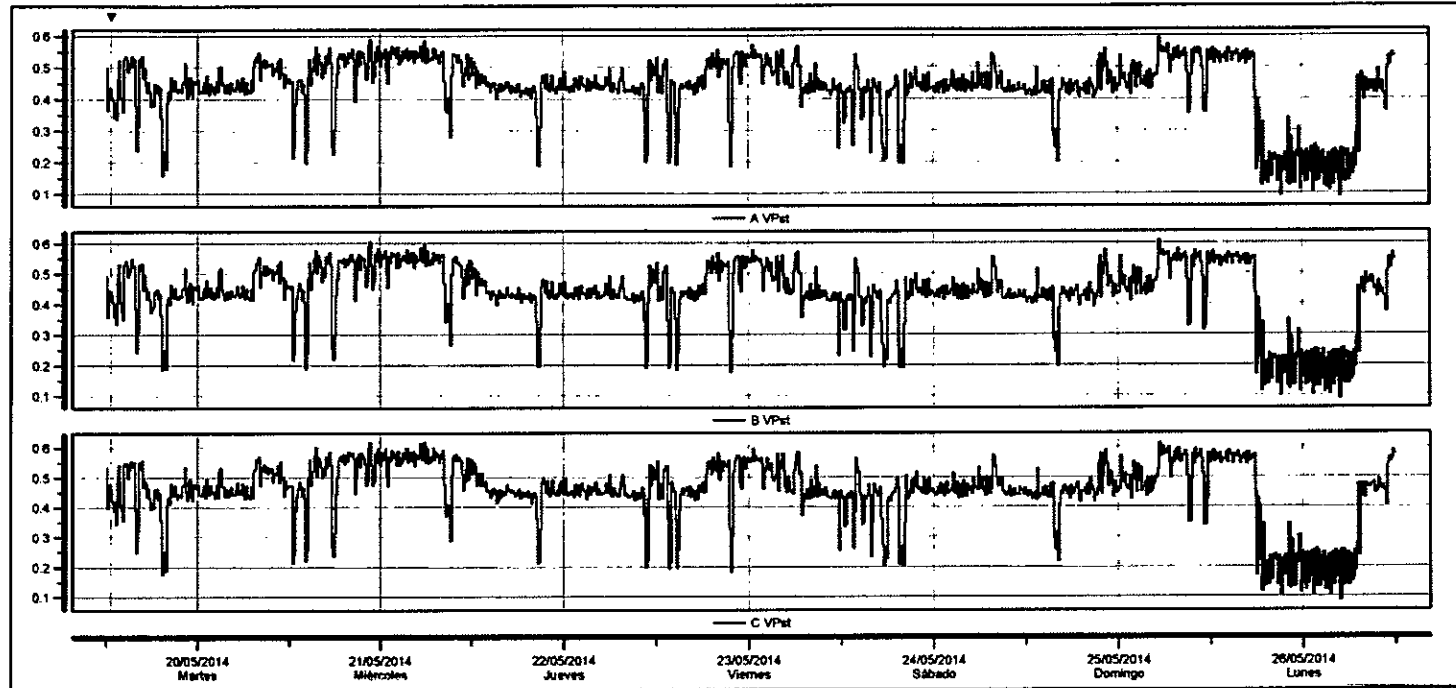


TABLA N°4.9. REPORTE DEL FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
AVPst	0.08983	0.5916	0.4360
BVPst	0.08995	0.6087	0.4381
CVPst	0.08559	0.6172	0.4545

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.12. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1

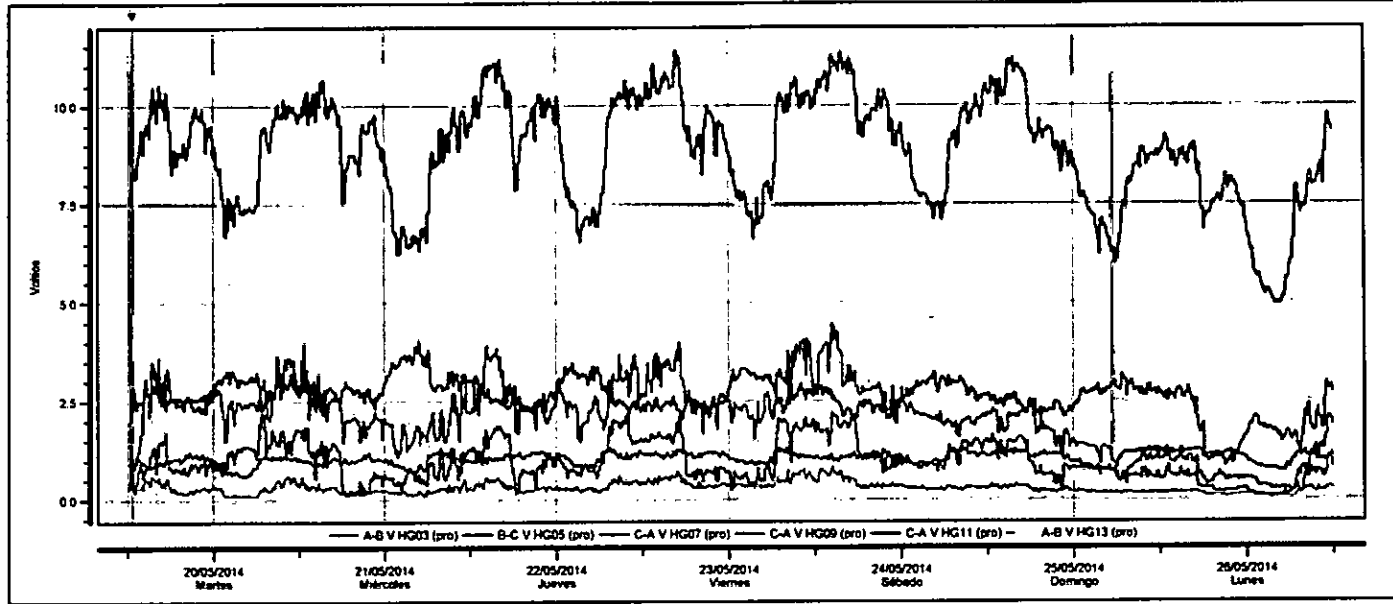


TABLA N°4.10. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVHG03	0.5969	1.371	1.022
B-CVHG05	6.206	11.39	9.131
C-AVHG07	1.926	4.031	2.690
C-AVHG09	0.07209	0.8224	0.3118
C-AVHG11	0.7841	4.460	2.409
A-BVHG13	0.1169	2.195	1.059

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.
- * Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°4.13. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°1

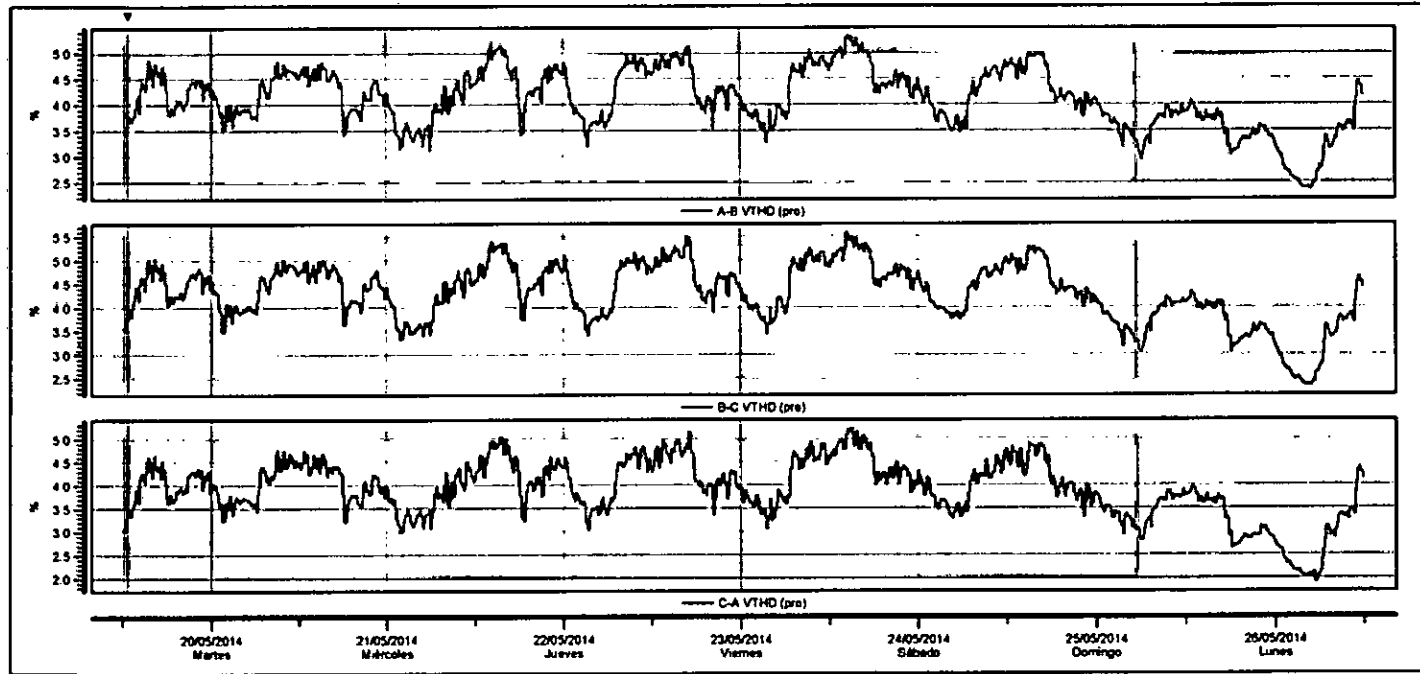


TABLA N°4.11. REPORTE DE THD DE TENSION– TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVTHD	3.107	5.313	4.260
B-CVTHD	3.167	5.584	4.470
C-AVTHD	2.920	5.222	4.081

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

* Los resultados se encuentran dentro del límite establecido por la NTCSE (8%)

FIGURA N°4.14. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1

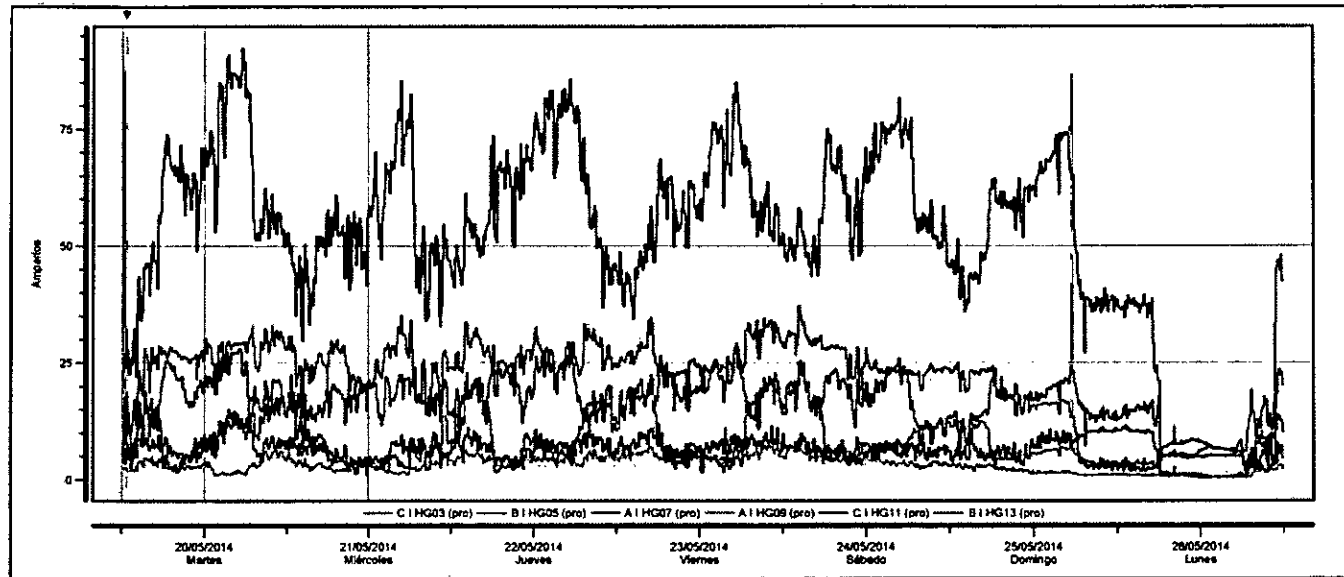


TABLA N°4.12. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
CI HG03	2.306	15.03	6.791
BI HG05	22.10	92.17	58.82
AI HG07	3.718	35.07	18.98
AI HG09	0.8677	8.301	3.583
CI HG11	3.401	37.24	24.08
BI HG13	1.004	25.21	9.045

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.
- * Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°4.15. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°1

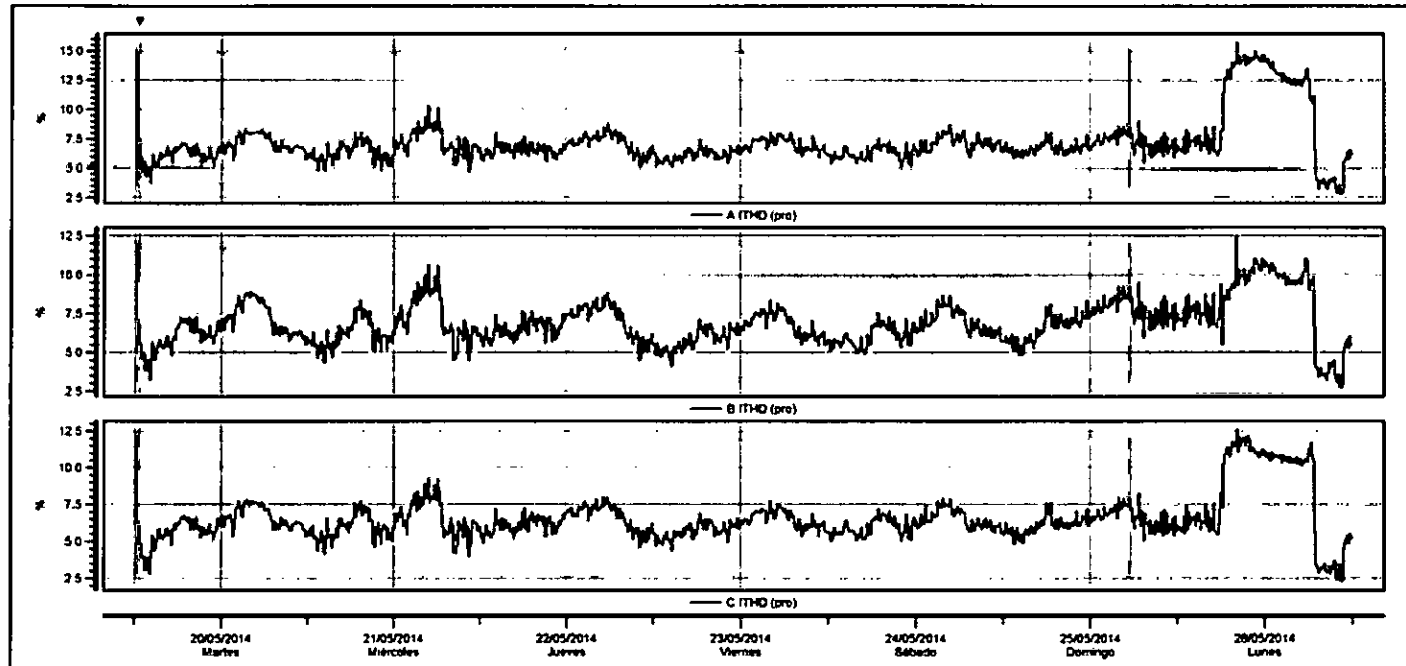


TABLA N°4.13. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TRANSFORMADOR S.E. N°1

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>AITHD</i>	3.689	10.24	6.698
<i>BITHD</i>	3.235	10.62	6.618
<i>CITHD</i>	2.809	9.251	6.219

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

b. Subestación N°2.

Transformador TR1 (Barra 0.23kV).

El reporte de los datos obtenidos en el registro de medición se ha elaborado a partir 13/05/2014 a las 11:20 horas hasta el 19/05/2014 a las 10:40 horas.

Se muestran las gráficas de las mediciones de los siguientes parámetros:

- Tensiones L-L por fase
- Corriente por fase
- Potencia Activa, Reactiva y Aparente
- Factor de potencia real
- Frecuencia
- Flicker.
- Armónicos Individuales de Tensión
- THD de Tensión
- Armónicos Individuales de Corriente
- THD de Corriente.

FIGURA N°4.16. GRÁFICA DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°2

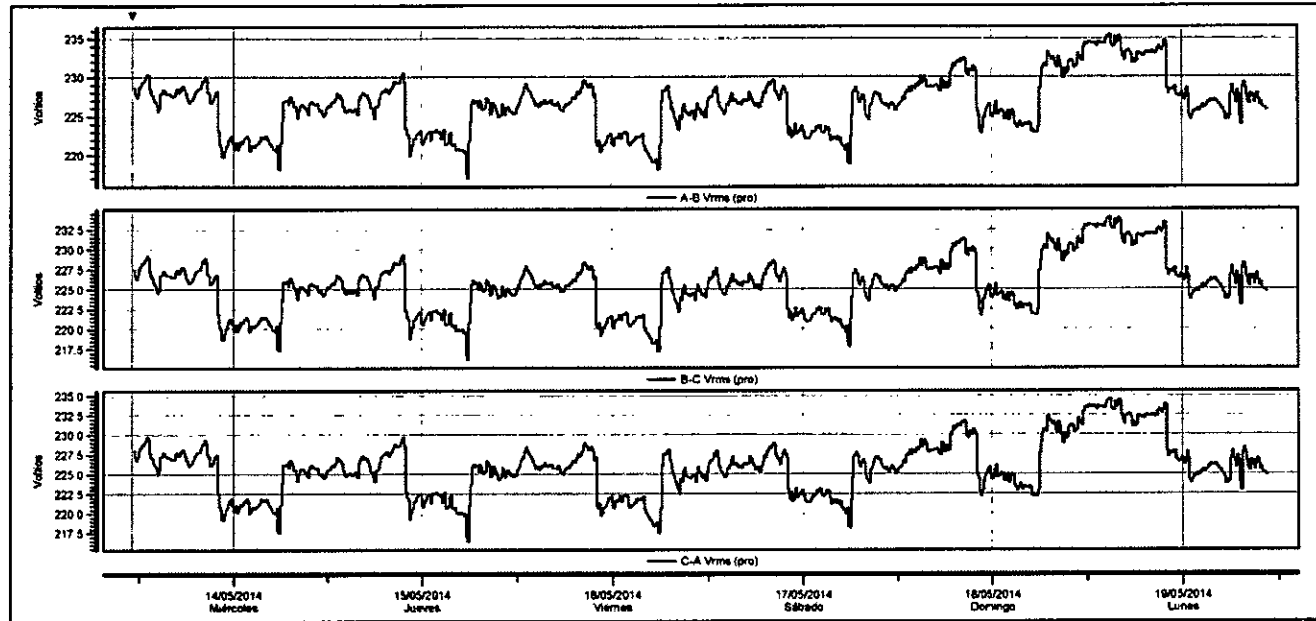


TABLA N°4.14. REPORTE DE TENSIONES – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVrms	217.0	235.4	226.5
B-CVrms	216.1	234.0	225.4
C-AVrms	216.4	234.6	225.9

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Según la NTCSE: Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta +/-5% de las tensiones nominales de tales puntos. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5% del periodo de medición. En tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos.

FIGURA N°4.17. GRÁFICA DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°2

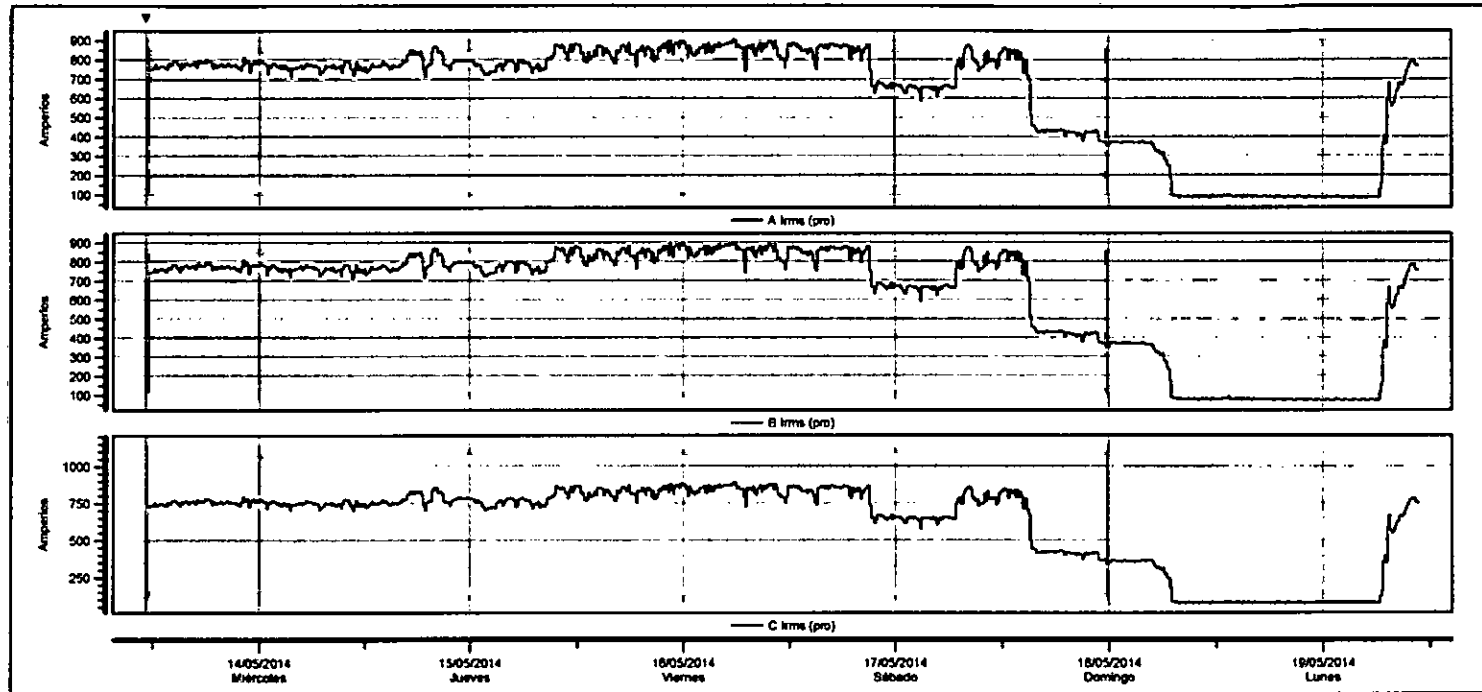


TABLA N°4.15. REPORTE DE CORRIENTES – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	Min	Máx	Pro
Alrms	353.5	903.3	763.9
Blrms	350.6	903.0	764.9
Clrms	337.7	889.6	748.9

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.18. GRÁFICA DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

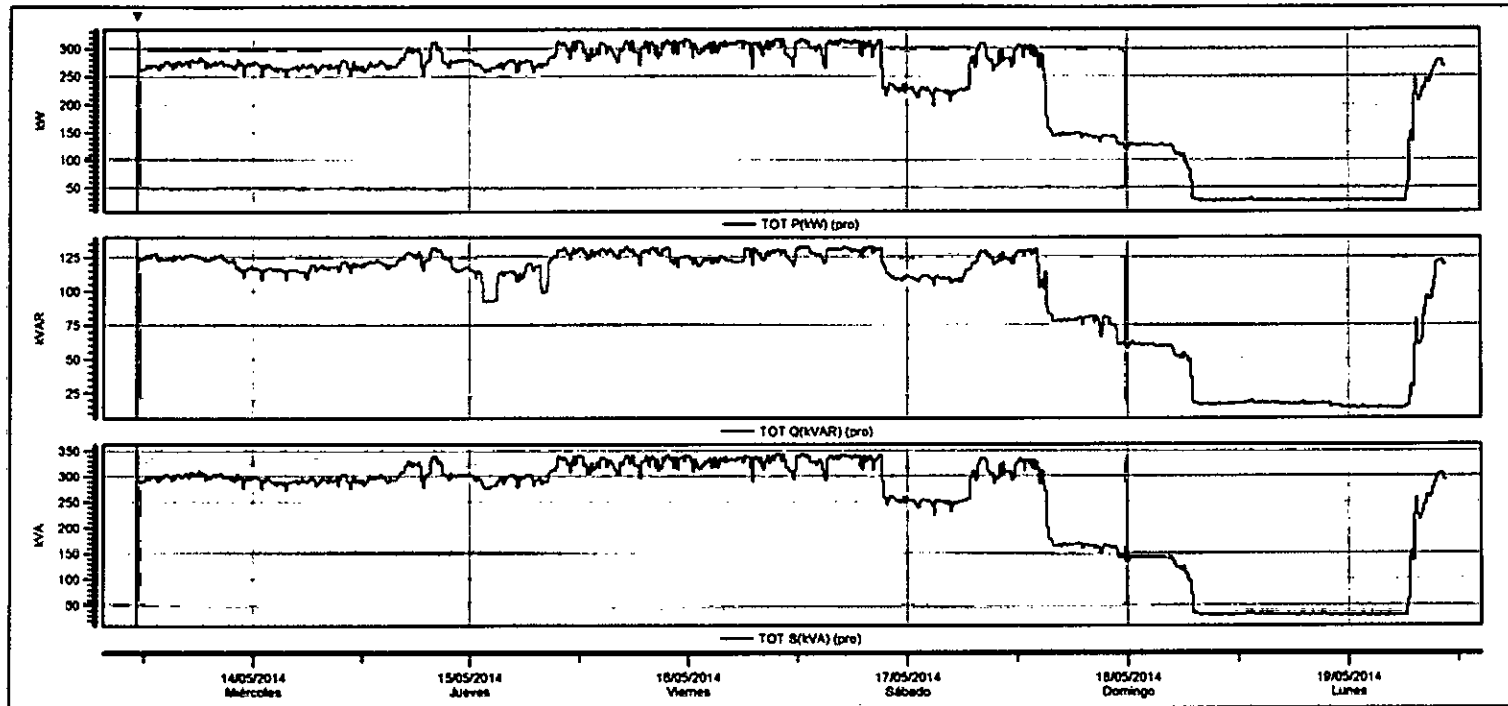


TABLA N°4.16. REPORTE DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTP(kW)	119.7	318.2	268.9
TOTQ(kVAR)	59.31	132.6	117.5
TOTS(kVA)	133.7	343.8	293.7

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.19. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

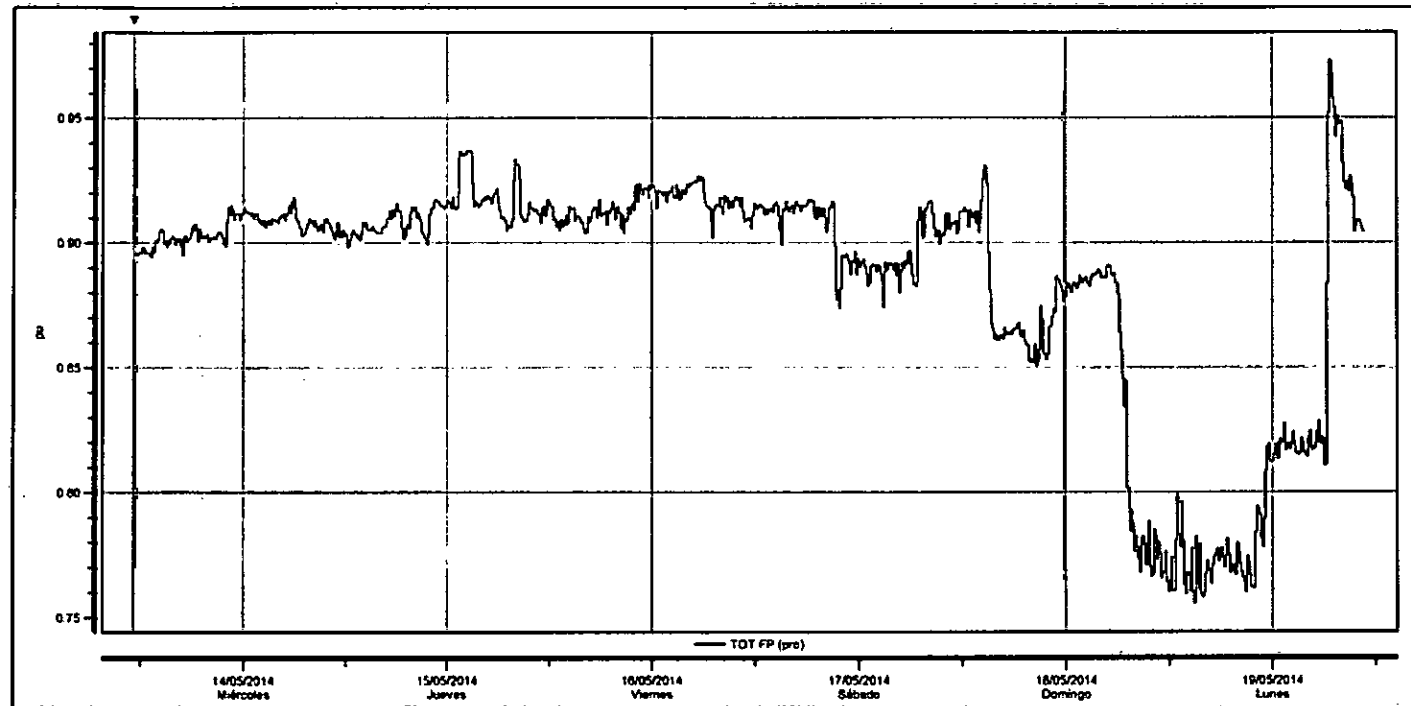


TABLA N°4.17. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFP	0.8502	0.9368	0.9055

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.
- * El factor de potencia se encuentra por debajo de lo recomendado en la norma.

FIGURA N°4.20. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

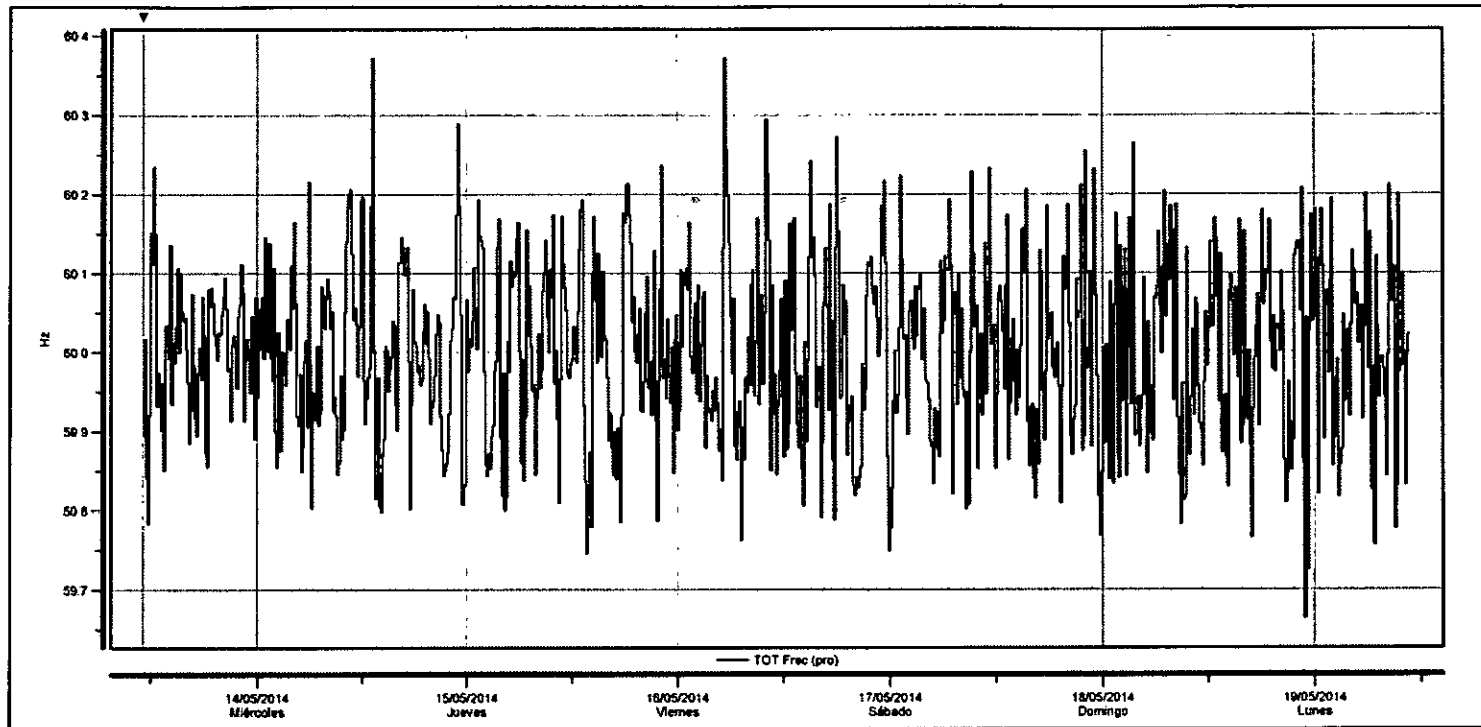


TABLA N°4.18. REPORTE DE FRECUENCIA – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFrec	59.66	60.37	60.00

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.21. GRÁFICA DE FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°2

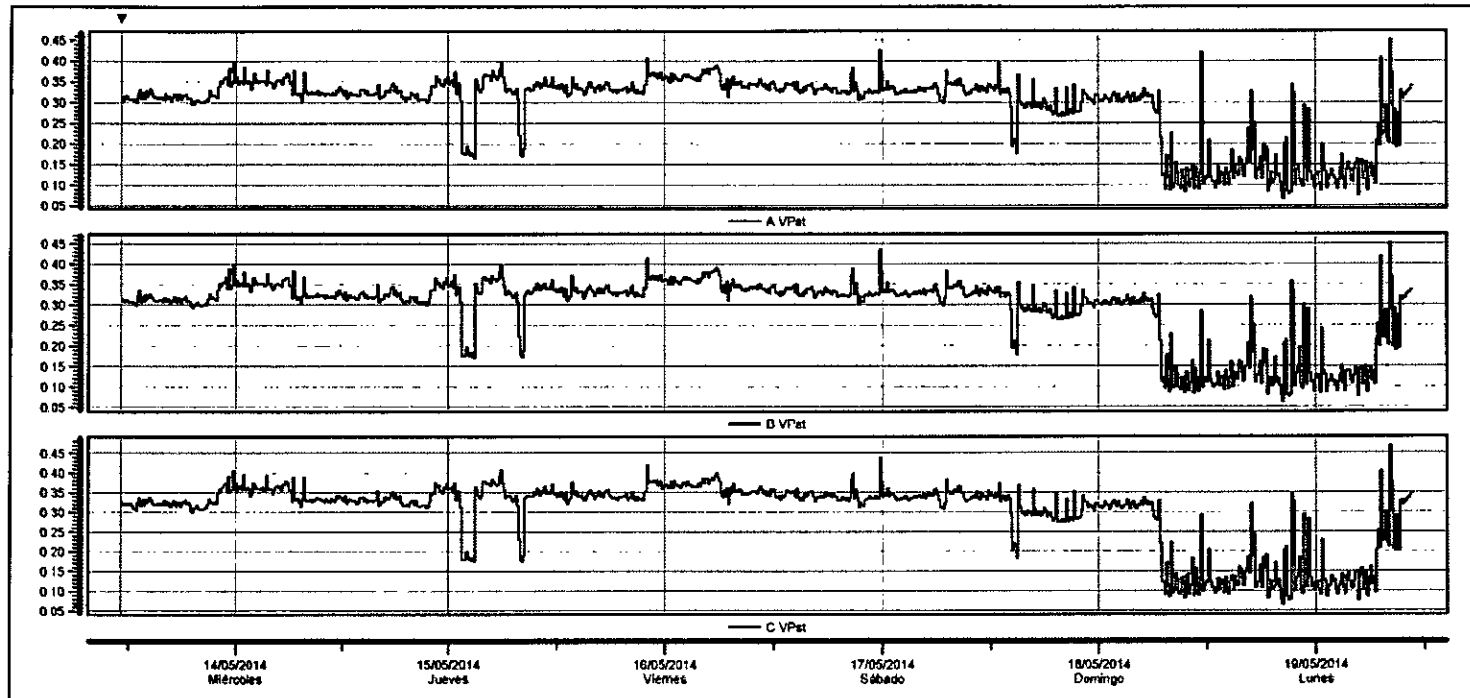


TABLA N°4.19. REPORTE DEL FLICKER – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
AVPst	0.06489	0.4495	0.2933
BVPst	0.06234	0.4510	0.2931
CVPst	0.06431	0.4686	0.3006

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

FIGURA N°4.22. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2

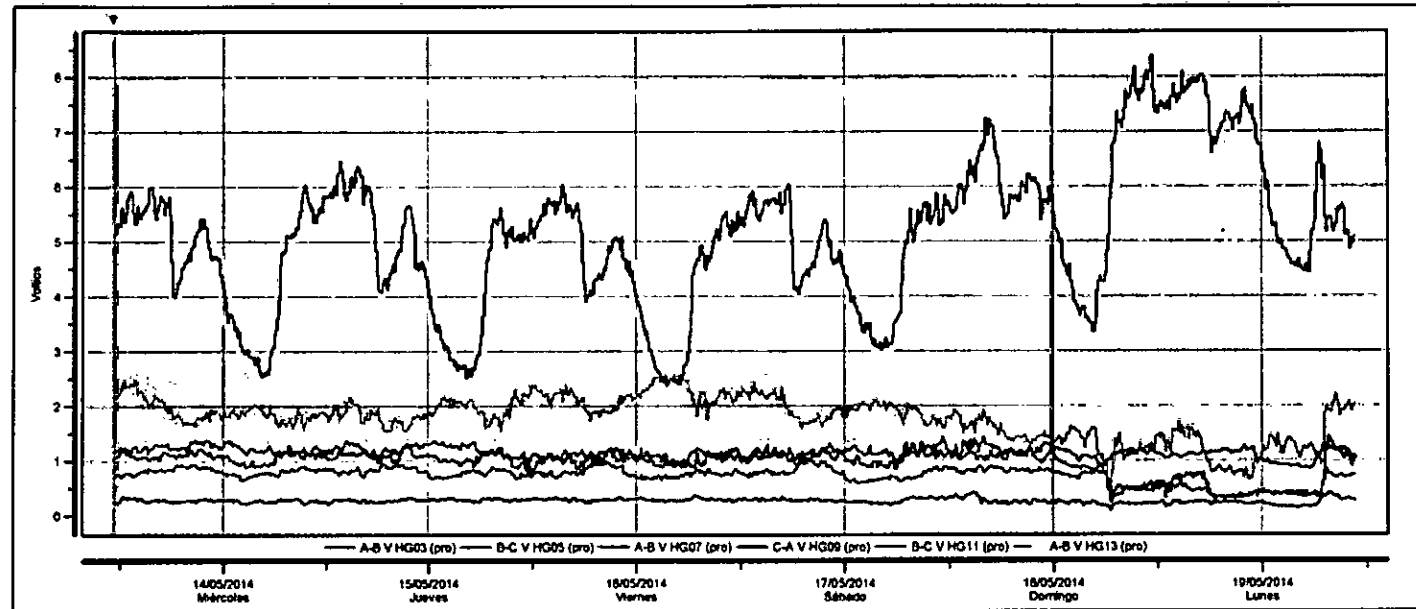


TABLA N°4.20. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BV HG03	0.8433	1.334	1.073
B-CV HG05	2.368	7.244	4.789
A-BV HG07	1.232	2.563	1.927
C-AV HG09	0.1908	0.4157	0.2792
B-CV HG11	0.7850	1.427	1.150
A-BV HG13	0.5890	1.006	0.7926

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

* Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°4.23. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TRANSFORMADOR S.E. N°2

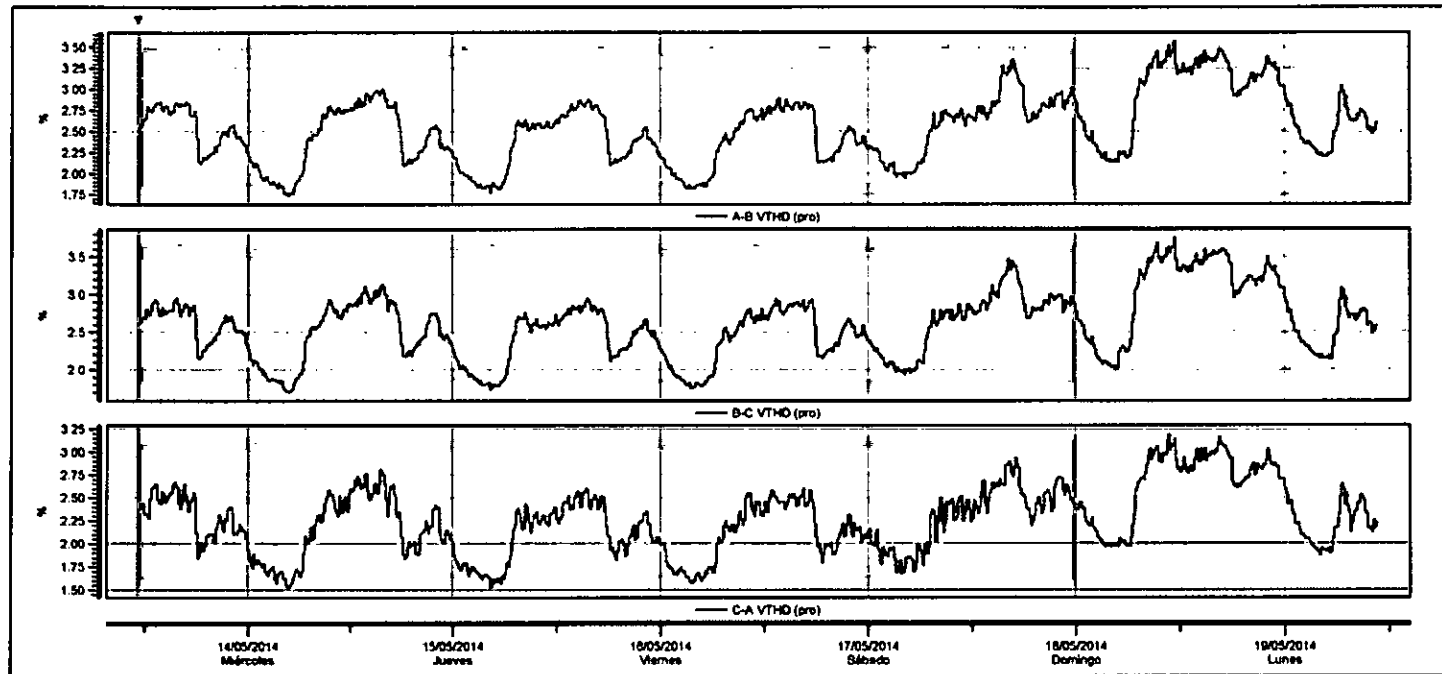


TABLA N°4.21. REPORTE DE THD DE TENSION– TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVTHD	1.738	3.349	2.450
B-CVTHD	1.703	3.467	2.501
C-AVTHD	1.512	2.937	2.186

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.
- * Los resultados se encuentran dentro del límite establecido por la NTCSE (8%)

FIGURA N°4.24. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2

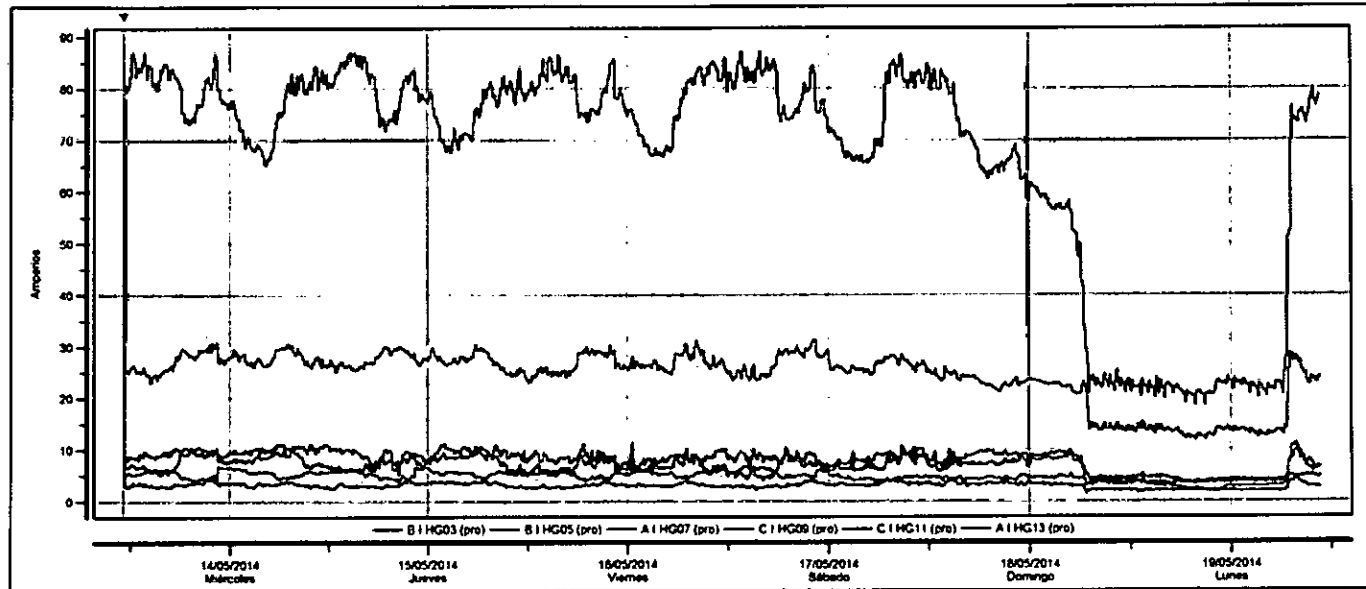


TABLA N°4.22. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
BI HG03	5.211	11.37	8.458
BI HG05	58.58	87.18	77.06
AI HG07	21.00	31.32	26.57
CI HG09	2.175	30.52	3.244
CI HG11	3.968	19.26	7.598
AI HG13	3.695	6.850	5.155

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

* Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°4.25. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TRANSFORMADOR S.E. N°2

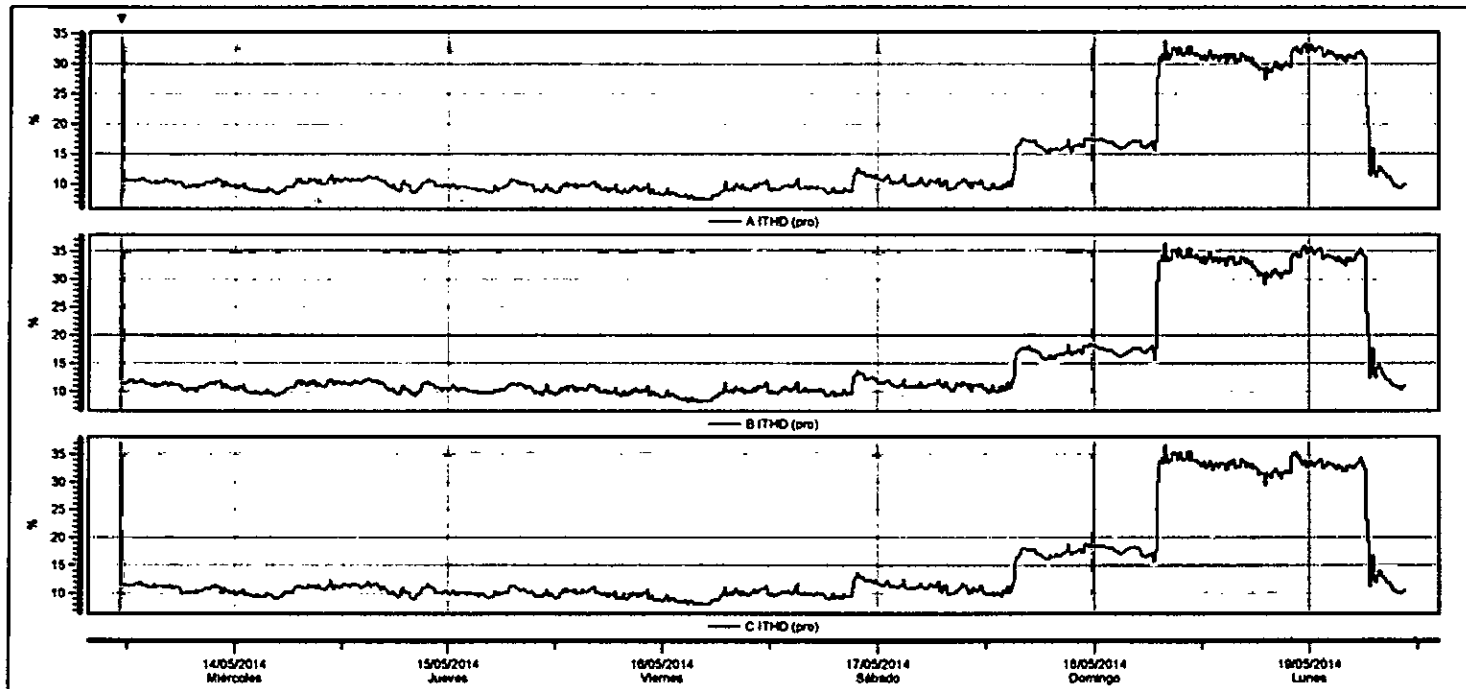


TABLA N°4.23. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TRANSFORMADOR S.E. N°2

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
AITHD	7.381	17.63	10.17
BITHD	8.102	18.41	11.04
CITHD	7.958	18.86	10.88

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* No se consideró los días de baja demanda para los cálculos.

4.7.7. Resumen de los resultados obtenidos de las mediciones.

Los resultados obtenidos de las mediciones se presentan en la siguiente tabla 4.24.

TABLA N°4.24. RESUMEN DE VALORES MEDIDOS – S.E.
N°1 Y S.E. N°2

S.E.	U	IL	P	Q	S	FP	F	Flick
	kV	A	kW	kVAR	kVA	p.u.	Hz	Pst
S.E. N°1	0.223	1006.5	359.2	138.5	385.3	0.926	60	0.44
S.E. N°2	0.225	759.23	268.9	117.5	293.7	0.905	60	0.30

Fuente: Elaboración propia

a. Límites según normativa emitida por OSINERGMIN.

Se definieron los límites basados en la “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos” (NTCSE)^[10] y “Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final”, los cuales son aplicados para los valores medidos de tensión y factor de potencia.

TABLA N°4.25. VALORES DE MEDICION COMPARADOS
CON LOS LIMITES PERMITIDOS.

Subestación	U _N	ΔV	Límite ΔV^*	FP	Límite FP**
	kV	%	%	p.u.	p.u.
S.E. N°1	0.23	3.04	5	0.9260	>0.957
S.E. N°2	0.23	2.17	5	0.9055	>0.957

Fuente: Elaboración propia

[10] NTCSE. Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos. Decreto Supremo N°020-97-EM. Primera Edición. 2010

* Se definió el límite para el porcentaje de variación de tensión según el numeral 5.1.2. de la “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”.

** Se definió el límite para el factor de potencia en la ecuación 2.50 basado en el Artículo 16° de la norma “Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final”.

No se consideró el límite de Δf y de Flicker (<1 Pst) debido a que la frecuencia no tiene variación alguna.

b. Límites según estándar internacional IEEE 519-2014.

Se definieron los límites basados en el estándar internacional IEEE 519-2014, los cuales definen los valores máximos permisibles para la distorsión armónica total e individuales en tensión y corriente.^[11]

b.1. Límites de armónicos en tensión.

Se definieron los límites armónicos de tensión según la tabla 4.26.

TABLA N°4.26. LIMITES DE DISTORSION DE TENSION

Voltaje de barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual (%)	Distorsión de Voltaje total THD (%)
$V \leq 1kV$	5.0	8.0
$1kV < V < 69kV$	3.0	5.0
$69kV < V < 161kV$	1.5	2.5

[11] IEEE 519. “Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems”. Segunda Edición. 2014.

Fuente: IEEE Std 519™ 2014

b.2. Límites de armónicos en corriente.

El procedimiento para definir los límites armónicos en corriente está basado en la relación de la corriente de cortocircuito (I_{cc}) y la corriente de carga (I_L) del punto donde se realizó la medición.

TABLA N°4.27. LIMITES DE DISTORSION DE
CORRIENTE PARA SISTEMAS DE 0.12kV HASTA 69kV

I_{cc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	<i>THD</i>
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5
20<>50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<>100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<>1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0

Fuente: IEEE Std 519™ 2014

- Subestación N°1.

La corriente de cortocircuito es 36.3kA según la tabla 4.2 y la corriente de carga promedio es 1006.5A según la tabla 4.5 El cociente de esta relación es 36.09, por lo que los límites quedan definidos en la segunda fila de la tabla 4.27

- Subestación N°2.

La corriente de cortocircuito es 36.3kA según la tabla 4.3 y la corriente de carga promedio es 759.23A según la tabla 4.15. El

cociente de esta relación es 47.8, por lo que los límites quedan definidos también en la segunda fila de la tabla 4.27.

TABLA N°4.28. VALORES DE MEDICION DE ARMONICOS COMPARADOS CON LA IEEE 519

Subestación	U _N	THD	Vh / lh	Medido	Límite IEEE519	
	kV			%	%	
S.E. N°1	0.23	THDv		4.27	8	
			Vh3	0.45	5	
			Vh5	4.00	5	
			Vh7	1.18	5	
			Vh9	0.14	5	
			Vh11	1.06	5	
			Vh13	0.46	5	
			THDi		6.69	8
			lh3	0.64	7	
			lh5	4.93	7	
			lh7	1.60	7	
			lh9	0.31	7	
			lh11	2.06	3.5	
			lh13	0.8	3.5	
S.E. N°2	0.23	THDv		2.40	8	
			Vh3	0.47	5	
			Vh5	2.84	5	
			Vh7	0.98	5	
			Vh9	0.12	5	
			Vh11	0.50	5	
			Vh13	0.35	5	
			THDi		11.04	8
			lh3	0.96	7	
			lh5	8.60	7	
			lh7	2.97	7	
			lh9	0.36	7	
			lh11	0.85	3.5	
			lh13	0.59	3.5	

Fuente: Elaboración propia

4.7.8. Conclusiones y observaciones del estudio.

a. Subestación N°1.

- El factor de potencia total en promedio fue 0.9260 y se encontró por debajo del valor referencial óptimo para las redes (> 0957)
- La tensión se encontró dentro de los límites establecidos en la NTCSE.
- El THD de tensión no excedió los límites establecidos en la IEEE 519-2014 y NTCSE en la barra de 0.23kV (TR1).
- El THD de corriente en TR1 (6.69%) no excedió el límite establecido en la IEEE 519-2014 (8%).
- No se presentaron inconvenientes de flicker ni variaciones en frecuencia.

b. Subestación N°2.

- El factor de potencia total en promedio fue 0.9055 y se encontró por debajo del valor referencial óptimo para las redes (> 0957)
- La tensión se encontró dentro de los límites establecidos en la NTCSE.
- El THD de tensión no excedió los límites establecidos en la IEEE 519-2014 y NTCSE.
- El THD de corriente en TR1 (11.04%) excedió el límite establecido en la IEEE 519-2014 (8%).
- La distorsión armónica individual en TR1 excedió los límites para los armónicos 5th (8.60%).

- No se presentaron inconvenientes de flicker ni variaciones en frecuencia.

4.7.9. Recomendaciones del estudio.

a. Subestación N°1.

- En la subestación el factor de potencia equivalente fue de: 0.9260. por lo tanto, se recomendó un sistema de compensación reactiva para evitar el cobro por exceso de consumo de energía reactiva (<30%Pot. activa)
- En esta subestación el nivel distorsión armónica de corriente no superó el límite establecido por la norma, pero cabe resaltar que se encontraba muy cercano a este límite, por lo que se recomendó la implementación de una solución para mitigar la polución armónica además de mejorar el factor de potencia y alcanzar un valor de 0.98.

b. Subestación N°2.

- En la subestación el factor de potencia equivalente fue de: 0.90. por lo tanto, se recomendó un sistema de compensación reactiva para evitar el cobro por exceso de consumo de energía reactiva (<30%Pot. activa).
- En esta subestación la distorsión armónica de corriente se encontró fuera de los límites permitidos por lo que se recomendó colocar un filtro activo en la barra de 0.23kV

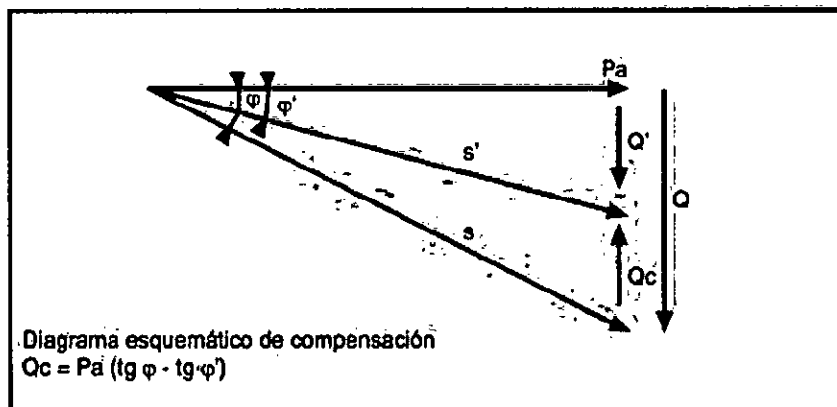
(salida del transformador TR2) para mitigar la polución armónica además de mejorar el factor de potencia y alcanzar un valor de 0.98.

4.8. Dimensionamiento de las soluciones.

4.8.1. Cálculo de la potencia reactiva a compensar.

Aplicación de la formula general

FIGURA N°4.26. ESQUEMA DE COMPENSACION REACTIVA



Fuente: Barcón S. (2011). Calidad de Energía

La manera en que se determinó la potencia reactiva a compensar tiene dos partes fundamentales que se desarrollan a continuación:

- Cálculo del factor de potencia en la instalación.
- Cálculo de la potencia capacitiva necesaria para elevar el factor de potencia hasta el objetivo.
- **Cálculo del factor de potencia.**

Calcular la potencia reactiva de una instalación es calcular su factor de potencia (FP), para ello es necesario hacer mediciones en la instalación.

- **Cálculo de la potencia capacitiva.**

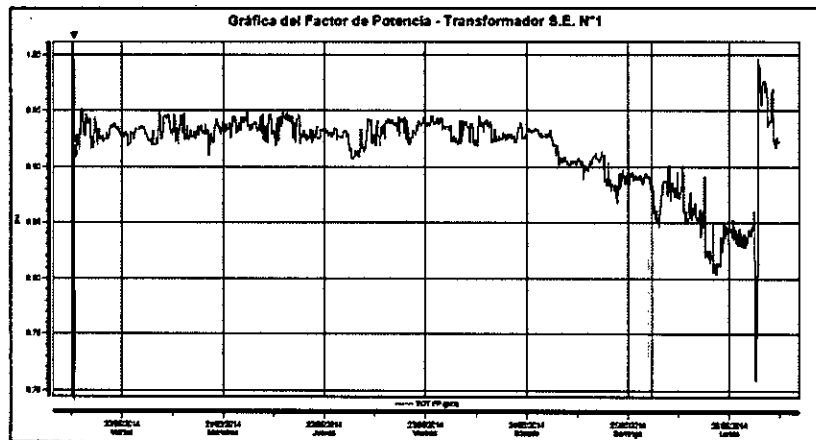
Una vez determinado el FP de la instalación, es necesario decidir el factor de potencia deseado para minimizar la Energía Reactiva (FP deseado) que será un valor lo más próximo a la unidad.

Se considera un factor de potencia objetivo de 0.98.

a. **Subestación N°1.**

Transformador TR1 (BARRA 0.23kV)

FIGURA N°4.27. GRAFICA DEL FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°1



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

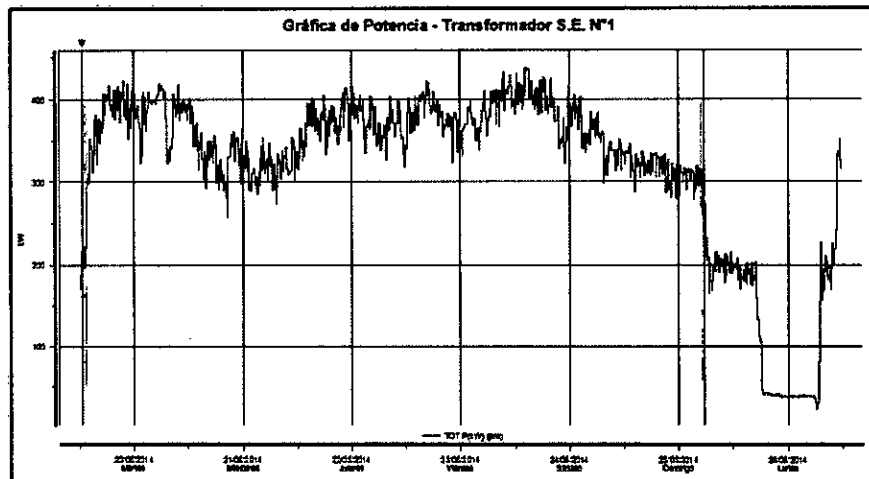
TABLA N°4.29. REPORTE DE FACTOR DE POTENCIA A
COMPENSAR – S.E. N°1

Factor de potencia	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
FP	0.9516	0.8676	0.9260

Fuente: Elaboración propia

Para dimensionar la solución se tomó en cuenta el escenario de mayor contingencia, el cual, es cuando el sistema está operando con el factor de potencia más bajo (FP de 0.8676).

FIGURA N°4.28. GRAFICA DE POTENCIA ACTIVA – S.E. N°1



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

Definido el factor de potencia en el intervalo de mayor demanda de potencia reactiva se consideró como potencia activa la que se encuentra dentro de ese mismo intervalo, obteniendo así los valores promedios definidos para el cálculo.

TABLA N°4.30. DATOS PARA EL CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A COMPENSAR – S.E. N°1

Cos (pi) inicial	Cos (pi) objetivo	Potencia Activa (P)
0.8676	0.98	359.8 kW

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la potencia reactiva a compensar:

$$Q_r = P.(\tan(\ar \cos(\phi_{mi})) - \tan(\ar \cos(\phi_{obj}))) \quad (4.4)$$

$$Q_r = 359.8(\tan(\ar \cos(0.8676)) - \tan(\ar \cos(0.98))) \quad (4.5)$$

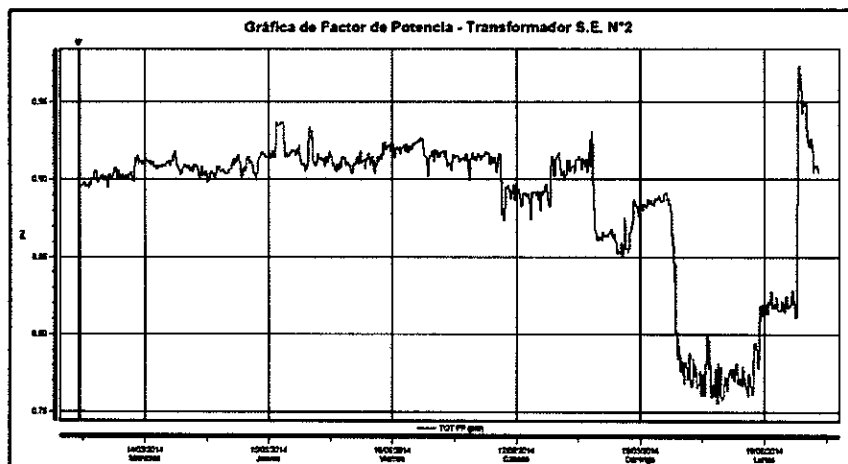
$$Q_r = 133.57 \text{ kVAR} \quad (4.6)$$

Nota: La potencia reactiva necesaria a compensar en este punto es de 133.57 kVAR.

b. Subestación N°2.

Transformador TR1 (BARRA 0.23kV)

FIGURA N°4.29. GRAFICA DEL FACTOR DE POTENCIA A COMPENSAR – S.E. N°2



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

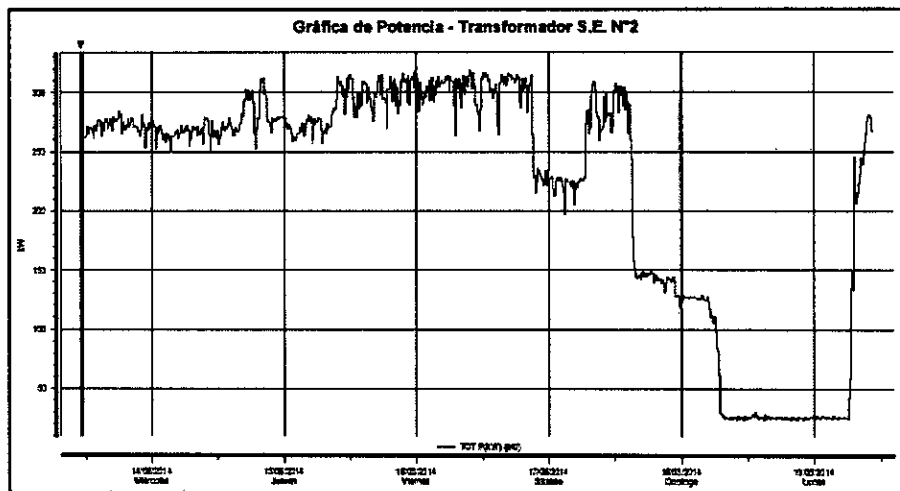
TABLA N°4.31. REPORTE DE FACTOR DE POTENCIA A
COMPENSAR – S.E. N°2

Factor de potencia	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
FP	0.9368	0.8502	0.9055

Fuente: Elaboración propia

Para dimensionar la solución se tomó en cuenta el escenario de mayor contingencia, el cual, es cuando el sistema está operando con el factor de potencia más bajo (FP de 0.8502).

FIGURA N°4.30. GRAFICA DE POTENCIA ACTIVA – S.E. N°2



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

Definido el factor de potencia en el intervalo de mayor demanda de potencia reactiva se consideró como potencia activa la que se

encuentra dentro de ese mismo intervalo, teniendo así los valores promedios definidos para el cálculo.

TABLA N°4.32. DATOS PARA EL CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A COMPENSAR – S.E. N°1

Cos (pi) inicial	Cos (pi) objetivo	Potencia Activa (P)
0.8502	0.98	149.5 kW

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la potencia reactiva a compensar

$$Q_r = P.(\tan(\ar \cos(\phi_{ini})) - \tan(\ar \cos(\phi_{obj}))) \quad (4.7)$$

$$Q_r = 149.5.(\tan(\ar \cos(0.8502)) - \tan(\ar \cos(0.98))) \quad (4.8)$$

$$Q_r = 62.22kVAR \quad (4.9)$$

Nota: La potencia reactiva necesaria a compensar en este punto es de 85.37 kVAR.

4.8.2. Cálculo de la corriente armónica.

Método de cálculo de la corriente armónica.

La corriente armónica es la diferencia entre la corriente total y la fundamental. El objetivo del filtro activo es eliminar o reducir al máximo esa corriente armónica, para que sólo quede la corriente sinusoidal pura.

Formulas generales:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 \dots I_n^2}}{I_1} \quad (4.10)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 \dots I_n^2} \quad (4.11)$$

$$I_H = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 \dots I_n^2} \quad (4.12)$$

Donde:

I_H = corriente armónica

I_{RMS} = corriente eficaz RMS

THD_I = Total current harmonic distortion

I_1 = Corriente fundamental

I_n = Corriente armónico individual del orden n

Despejando la corriente armónica I_H

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 \dots I_n^2}}{I_1} \quad (4.13)$$

$$THD_I = \frac{I_H}{I_1} \quad (4.14)$$

$$THD_I = \frac{I_H}{\sqrt{I_{RMS}^2 - I_H^2}} \quad (4.15)$$

$$\frac{1}{THD_I^2} = \frac{I_{RMS}^2 - I_H^2}{I_H^2} \quad (4.16)$$

$$\frac{1}{THD_I^2} + 1 = \frac{I_{RMS}^2}{I_H^2} \quad (4.17)$$

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_I^2} + 1}} \quad (4.18)$$

Donde:

$I_H =$ Corriente armonica

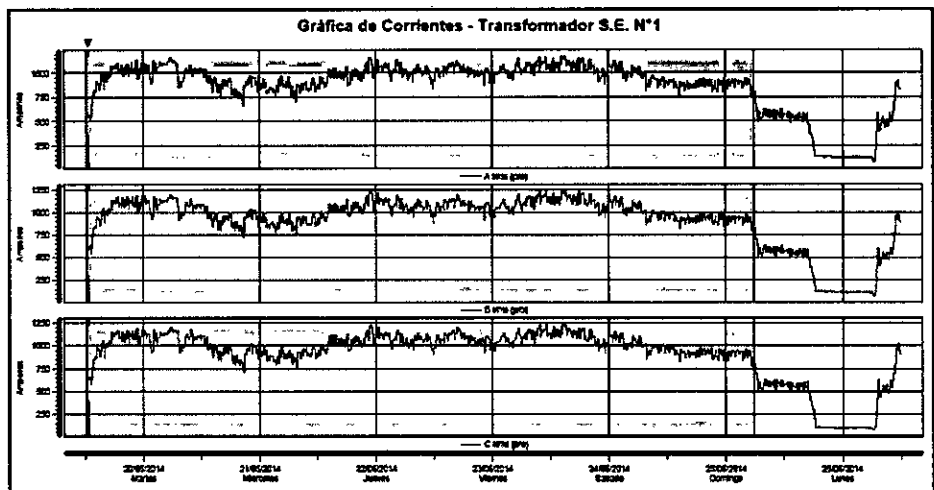
$I_{RMS} =$ corriente eficaz RMS

$THD_I =$ Total current harmonic distortion

a. Subestación N°1.

De las mediciones realizadas se obtuvo la corriente eficaz RMS que se consume en promedio.

FIGURA N°4.31. GRAFICA DE CORRIENTES RMS– S.E. N°1



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

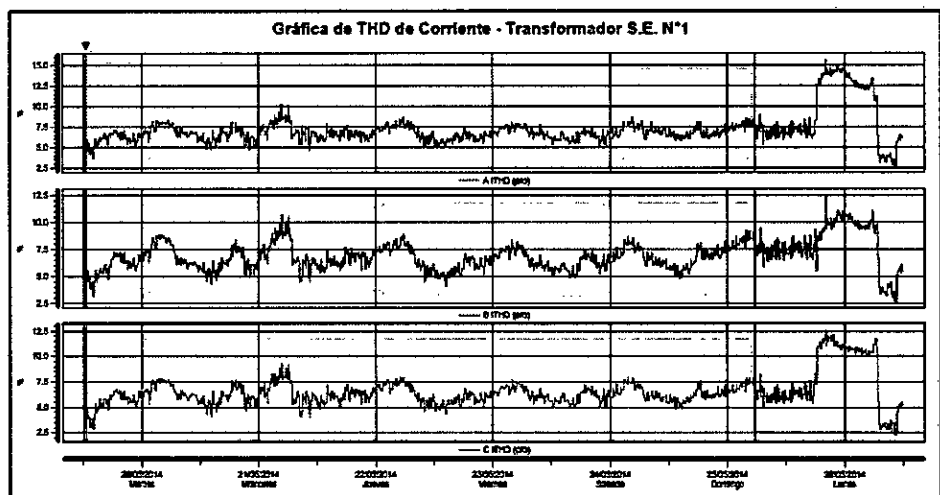
TABLA N°4.33. REPORTE DE CORRIENTES RMS – S.E. N°1

CORRIENTE (A)	PROMEDIO
Alrms	970.6
Blrms	1025
Clrms	1024

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se obtuvo el THD de corriente de las mediciones realizadas, el cual tiene un valor en porcentaje muy cercano al límite permitido (8%) según IEEE 519.

FIGURA N°4.32. GRAFICA DE THD DE CORRIENTE–S.E. N°1



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

TABLA N°4.34. REPORTE DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°1

THDi	PROMEDIO
AI-THD	6.69%
BI-THD	6.62%
CI-THD	6.22%

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la corriente armónica. Se reemplazó los valores en la ecuación 4.18:

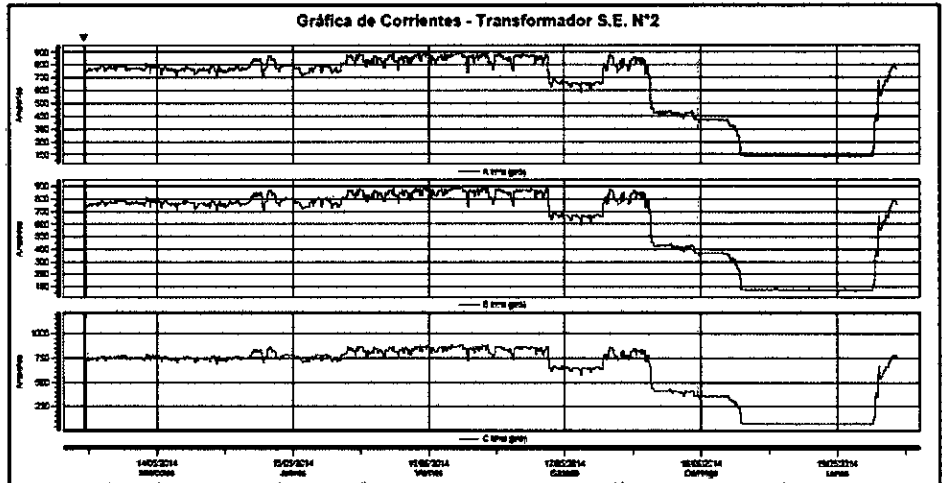
$$I_H = \frac{1025}{\sqrt{\frac{1}{6.69\%^2} + 1}} \quad (4.19)$$

$$I_H = 68.38 A \quad (4.20)$$

b. Subestación N°2.

De las mediciones realizadas se obtuvo la corriente eficaz RMS que se consume en promedio.

FIGURA N°4.33. GRAFICA DE CORRIENTES RMS– S.E. N°2



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

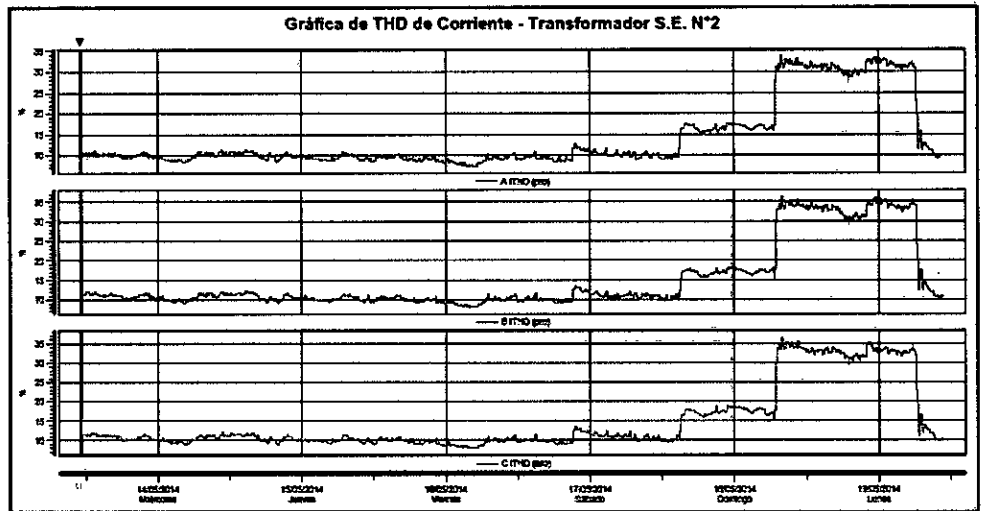
TABLA N°4.35. REPORTE DE CORRIENTES RMS – S.E. N°2

CORRIENTE (A)	PROMEDIO
Airms	763.9
Blrms	764.9
Clrms	748.9

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se obtuvo el THD de corriente de las mediciones realizadas, el cual tiene un valor en porcentaje que sobrepasa el límite permitido (8%) según IEEE 519.

FIGURA N°4.34. GRAFICA DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°2



Fuente: Reporte de Software DranView 6.0

TABLA N°4.36. REPORTE DE THD DE CORRIENTE – S.E. N°1

THDi	PROMEDIO
AI-THD	10.17%
BI-THD	11.04%
CI-THD	10.88%

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la corriente armónica. Se reemplazó los valores en la ecuación 4.18:

$$I_H = \frac{764.9}{\sqrt{\frac{1}{11.04\%^2} + 1}} \quad (4.21)$$

$$I_H = 83.96 A \quad (4.22)$$

4.8.3. Dimensionamiento del Filtro Activo.

Los filtros activos son equipos cada vez más frecuentes y necesarios en las instalaciones de hoy en día, debido a la creciente polución en las redes eléctricas y necesidad de compensación reactiva dinámica por efecto de carga variable. Para saber qué filtro activo elegir es necesario calcular la corriente nominal del mismo. Para ello es necesario calcular primordialmente la corriente armónica y la corriente reactiva del filtro.^[12]

Procedimiento:

- Calculo de corriente armónica

El filtro activo compensa los reactivos necesarios por la red mediante inyección dinámica de corriente. La fórmula que se utilizó para el cálculo es la ecuación 4.18.

- Calculo de corriente reactiva

El filtro activo compensa los reactivos necesarios por la red mediante inyección dinámica de corriente.

$$I_R = \frac{Q_R}{\sqrt{3} \cdot V_1} \quad (4.23)$$

Donde:

I_R = Corriente Reactiva del Filtro

[12] SCHNEIDER ELECTRIC. Caso de Estudio, en AccuSine® Filtro activo de armónicos.

$Q_R =$ *Potencia reactiva necesaria*

$V_1 =$ *Tension de Diseño*

- Calculo de la corriente de filtro

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2} \quad (4.24)$$

Donde:

$I_H =$ *Corriente armónica del Filtro*

$I_R =$ *Corriente reactiva del Filtro*

- Derrateo por altura

El filtro activo debe tener un derrateo por altitud pasado los 1000 m.s.n.m, los cuales son configurados en campo.

$$I_{FILTRO-DERRATEADO} = I_F / [1 - [(Altura - 1000m) * \frac{1\%}{100m}]] \quad (4.25)$$

Donde:

$I_{FILTRO-DERRATEADO} =$ *Corriente del filtro a esa altitud*

$I_F =$ *Corriente de diseño del Filtro*

- Factor de seguridad

El coeficiente de seguridad es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por ello se aplicó un factor de seguridad de 1.2 a la corriente armónica.

$$I_F = I_{FILTRO} * 1.2 \quad (4.26)$$

a. Subestación N°1.

Cálculo de corriente reactiva

Dada la potencia reactiva a compensar calculada previamente de 133.57 kVAR, se determinó la corriente reactiva necesaria a partir de la ecuación 4.24.

$$I_R = \frac{133.57 \text{ Kvar}}{\sqrt{3} * 0.23 \text{ Kv}} \quad (4.27)$$

$$I_R = 335.29 \text{ A} \quad (4.28)$$

Cálculo de corriente armónica

Se tiene la corriente armónica de $I_H = 68.38\text{A}$ calculada previamente en la ecuación 4.20.

Cálculo de la corriente de filtro

Reemplazamos los valores de I_H y I_R en la ecuación 4.24:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{68.38^2 + 335.29^2} \quad (4.29)$$

$$I_{FILTRO} = 342.19 \text{ A} \quad (4.30)$$

Derrateo por altura

No se consideró, debido a que la operación es a menos de 1000 m.s.n.m.

Factor de seguridad

Dada la corriente del filtro se reemplazó en la ecuación 4.26:

$$I_F = 342.19 * 1.2 \quad (4.31)$$

$$I_F = 410.63 \text{ A} \quad (4.32)$$

Selección del filtro

Corriente armónica total a filtrar es 410.63 A

⇒ Se seleccionó 2 filtros activos de 300 A

Nota:

- La polución armónica en este punto se encontraba cercana a los límites establecidos en la IEEE519 es por ello que se requirió un sistema de filtrado de armónicos.

b. Subestación N°2.

Cálculo de corriente reactiva.

Dada la potencia reactiva a compensar calculada previamente de 85.37 kVAR, se determinó la corriente reactiva necesaria a partir de la ecuación 4.24.

$$I_R = \frac{62.22 \text{ Kvar}}{\sqrt{3} * 0.23 \text{ Kv}} \quad (4.33)$$

$$I_R = 156.18 \text{ A} \quad (4.34)$$

Cálculo de corriente armónica

Se tiene la corriente armónica de $I_H = 83.96A$ calculada previamente en la ecuación 4.22.

Cálculo de la corriente de filtro

Se reemplazó los valores de I_H y I_R en la ecuación 4.24:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{83.96^2 + 156.18^2} \quad (4.35)$$

$$I_{FILTRO} = 177.31 A \quad (4.36)$$

Derrateo por altura

No se consideró, debido a que la operación es a menos de 1000 m.s.n.m.

Factor de seguridad

Dada la corriente del filtro se reemplazó en la ecuación 4.26:

$$I_F = 177.31 * 1.2 \quad (4.37)$$

$$I_F = 212.77 A \quad (4.38)$$

Selección del filtro

Corriente armónica total a filtrar es 212.77 A



Se seleccionó 1 filtro activo de 300 A

Nota:

- La polución armónica en este punto se encontraba fuera de los límites establecidos en la IEEE519 es por ello que se recomendó un sistema de filtrado de armónicos.

4.8.4. Principio de funcionamiento de la solución.

a. Principio de funcionamiento del filtro activo.

El filtro activo AccuSine+ corrige la tasa de distorsión armónica en demanda TDD a los niveles admisibles por la norma IEEE 519 del año 2014.

El sistema de corrección de potencia AccuSine+ ® inyecta corriente armónica y reactiva para limitar la distorsión y mejorar el factor de potencia total para el sistema de distribución de energía eléctrica en cualquier instalación. El filtro AccuSine+ 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.

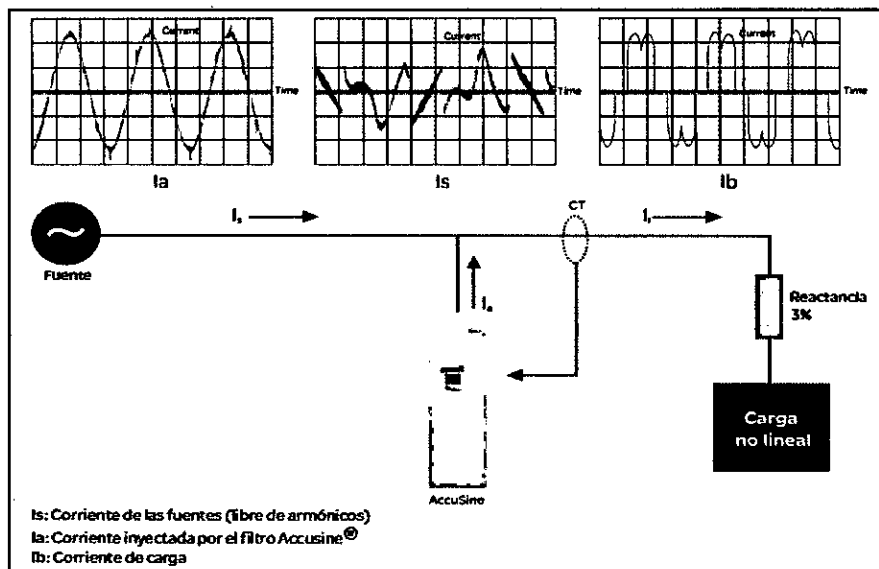
La lógica de amplio espectro del filtro AccuSine+ no se enfoca en frecuencias específicas, sino que más bien crea una forma de onda en tiempo real sobre la base de los aportes de sus circuitos de detección, independientemente de las frecuencias que la corriente de carga no lineal contiene. El filtro AccuSine+ 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 la lógica para determinar la magnitud de la corrección a inyectar por el equipo en las líneas de AC.

Principio de funcionamiento:

El esquema de control de AccuSine no realiza FFT. Los algoritmos de control son analógicos-digitales. La lógica adquiere la muestra de corriente desde el transformador, remueve la componente de la frecuencia fundamental e inyecta la corrección en algunos cientos de microsegundos. De esta manera, todos los "ruidos" no fundamentales se retiran de la red eléctrica. Este "ruido" puede contener frecuencias no enteras, también conocidas como interarmónicos.

FIGURA N°4.35. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE FILTRO ACTIVO ACCUSINE



Fuente: Schneider Electric (2011) – Filtro activo de armónicos

Estándares:

El AccuSine está diseñado de acuerdo con las secciones aplicables de los siguientes documentos:

- ANSI IEEE std C62.41-1991 [Surge Withstand Capacity]
- CSA 22.2, no. 14 y 66 [requisitos de CSA para la electrónica de potencia]
- ANSI IEEE std 519-1992 [límites armónicos]
- UL 508C [requisitos de UL para los equipos de conversión de energía]
- Los productos incluyen aprobaciones de UL y CSA.

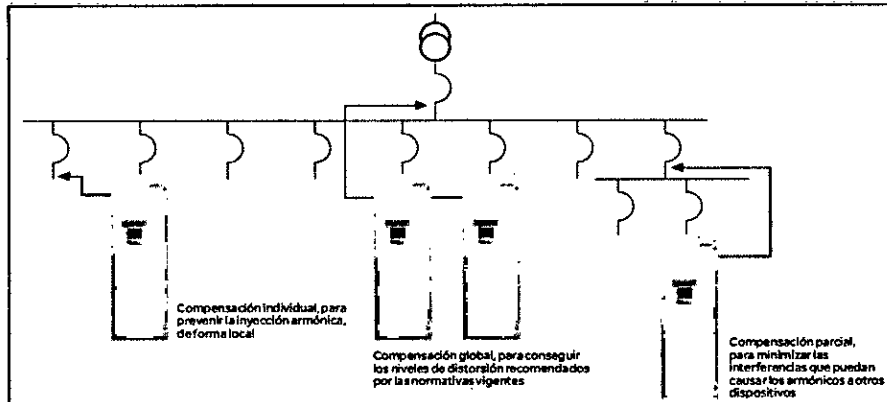
Modos de operación:

El filtro activo AccuSine+ está diseñado para operar en dos modos básicos:

- Modo de corrección de armónicos.
- Modo de compensación de reactivos (factor de potencia)

Cada uno de los modos se puede parametrizar de forma independiente, es decir el filtro puede operar en uno de los dos modos ó en ambos simultáneamente. Cuando opera en estas condiciones da prioridad al modo armónico.

FIGURA N°4.36. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE VARIOS
FILTROS ACTIVO ACCUSINE



Fuente: Schneider Electric (2011) – Filtro activo de armónicos

Requisitos de funcionamiento:

1. Voltaje: adaptado automáticamente 220V - 480V, trifásico más tierra
2. Tolerancia del voltaje: +/- 10% del V nominal
3. Frecuencia: adaptado automáticamente a 50 o 60 Hertz, +/- 3 Hertz.
4. Tensión de onda soportada a los impulsos: ANSI/IEEE std C62.41-1991 sin daño.
5. Fusibles de entrada: 200.000 AIC (capacidad de interrupción en amperios), clase T

Funcionamiento:

El funcionamiento del AccuSine+ es independiente de la impedancia de la fuente de energía. Todos los niveles de

funcionamiento son logrados independientemente si el sistema está en operación con la acometida del operador de red, el generador de reserva, o salida de la UPS.

Corrección armónica:

Limita los armónicos de corriente de orden 2do hasta 50avo para alcanzar un TDD <15% en cada punto de instalación. Los niveles armónicos para las órdenes armónicas individuales son de conformidad con los niveles respectivos establecidos en ANSI/IEEE std 519-2014. Limita el THD (V) en la barra donde se instala el AccuSine a un valor inferior o igual a 5%. El AccuSine+ no corrige los niveles de distorsión de voltaje suministrados por el operador de red o por otras fuentes de energía o por cargas no lineales aguas arriba del punto de instalación.

Compensación de corriente reactiva:

La compensación se hace hasta un factor de potencia de desplazamiento de +/- 0.98.

Transformadores de corriente

- Los transformadores de corriente son clasificados para la corriente total nominal rms de la carga en cada sitio de instalación.
- Dos (3) transformadores de corriente, montados en las fases A, B y C, deben ser instalados para redes con neutro.

- La capacidad de los transformadores de corriente debe ser 5000, 3000, 1000 o 500 amperios en el primario a 5 amperios secundarios.

Condiciones ambientales:

El AccuSine+ soporta las siguientes condiciones ambientales sin daño o degradación de las características o de la vida útil:

1. Temperatura ambiente de funcionamiento: 0°C (32° F) a 40°C (104°F).
2. Temperatura del almacenaje: -40°C (- 40°F) a 65° C (149°F).
3. Humedad relativa: 0 a 95%, no condensativa.
4. Altitud: Funcionamiento a 1000 metros (3300 pies) sin derrateo.
5. Ruido audible: Generado por el AccuSine sin exceder 65 dB medido a 1 metro de la superficie de la unidad.

Encerramiento:

El AccuSine se presenta en encerramiento NEMA12/IP54 ó NEMA1.

Controles e Interfaz del Operador:

Todas las unidades cuentan con una interfaz digital gráfica táctil. La exhibición e vista fácilmente bajo todas las condiciones de iluminación, incluyendo tanto luz del sol, como interiores de edificios.

4.9. Implementación de la solución en las subestaciones.

4.9.1. Especificaciones técnicas de los filtros activos

TABLA N°4.37. ESPECIFICACION TECNICA FILTRO ACTIVO
ACCUSINE.

DATA SHEET	
Company	Schneider
Product Name	AccuSine PCS
Standard RMS	300A
Voltage nominal	220V-480V +/- 10% auto sensing
Otros voltaje	With Transformer
Frecuencia nominal	50/60 Hz +/- 3 Hz auto sensing
Compatibilidad del Sistema Eléctrico	3P/3W, 3P/4W
Power Electronics	IGBT
Operación con cargas monofásicas	Yes (does not cancel neutral harmonics)
Transformadores de corriente	500/5, 1000/5, 2000/5, 3000/5
Numero de CT's	2 or 3 (if single phase-to-neutral loads present)
Espectro de compensación	2nd to 50th Harmonic Global (including interharmonics)
Selectividad de armónicos	Si

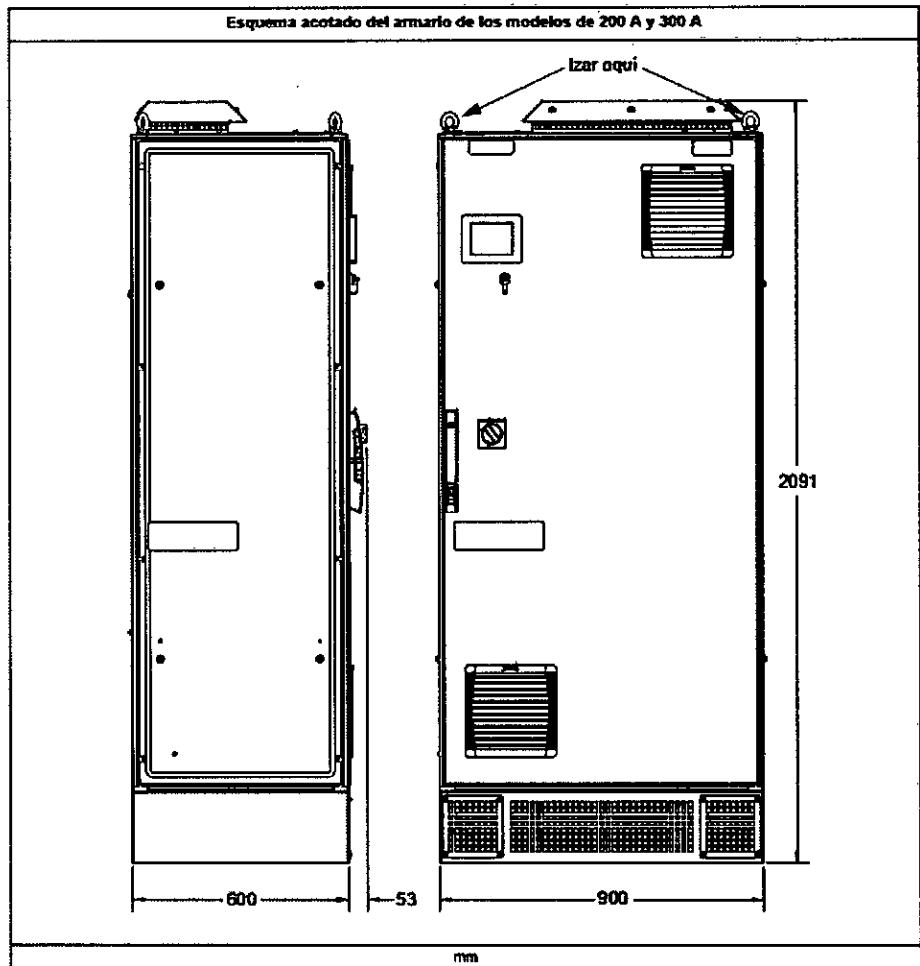
Unidades en paralelo	Yes, Qty limited by CT rating
Censado en fuente – carga	Load or source
Corrección del factor de potencia	Yes, dual or dedicated mode to .99 PF lagging
Tiempo de respuesta	25 microSeconds for step load changes.
sobrecarga	Limited to nominal output, continuous operation
Inyección dinámica	up to 2.25x rated current for one cycle
Display	Magelis HMI (graphic display with communications ports)
Languages	English
Operador	Touch pad HMI
Parámetros de visualización	AC Line Voltage, RMS Load Current, Load Harmonic Current
	Load Reactive Current, Output Harmonic Current, Output
	Reactive Current, various fault codes
Communication Capability	RS485 - TCP/IP + 4 discrete relays (Power-on, run, fault, at-max output)
Perdidas	2800W for 120A, 4600W for 200A, 7100W for 300A
Nivel de ruido (ISO 3746)	65 dBA at 1 meter from unit surface

Vibration	Seismic Zone 4
Color	RAL7035 Enclosure; RAL7022 Plinth (floor standing units)
Temperatura de operación	0 to 40C continuous
Humedad relativa	0-95% non condensing
Altitud de operación	<1000m, derating factors apply at higher altitudes
Protection (enclosure)	NEMA1, NEMA12, NEMA3R, chassis, IP 20
Emisión conducida y radiada	En 55011 Class A
Immunity to Electrostatic Discharges	IEC 1000-4-2 level 3
Immunity to Electromagnetic Fields	IEC 1000-4-3 level 3
Immunity to impulse waves	IEC 1000-4-4 & IEC 1000-4-5 levels 4
Dimensiones WxHxD (mm)	2091 x 900 x 650 for 300A NEMA12
Dimensiones WxHxD (inches)	82 x 35 x 25 for 300A NEMA12
Peso (kg / lbs)	442 kg / 928 lbs for 300A NEMA12
Montaje	300A auto soportado
Third Party Approvals	UL & CSA, IEC/CE pending

Fuente: Schneider Electric (2014). Manual de instalación de AccuSine PCS+/PFV+.

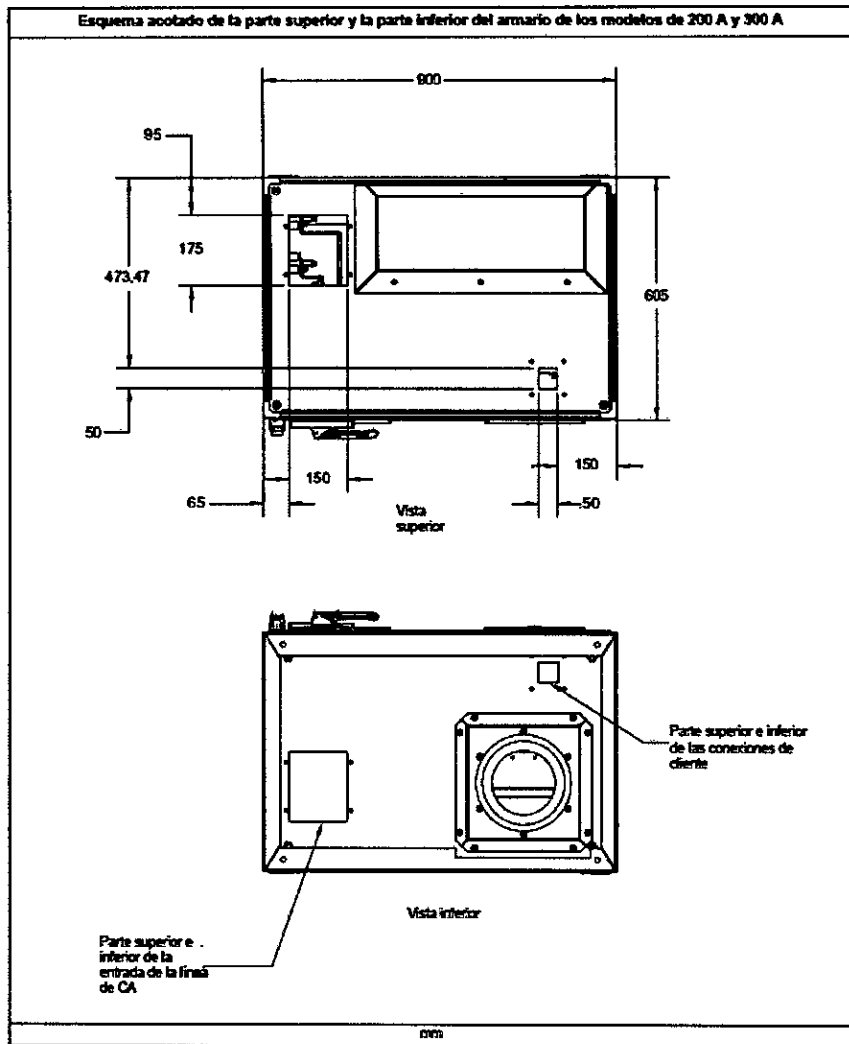
4.9.2. Dimensiones del filtro activo AccuSine.

FIGURA N°4.37. VISTA FRONTAL Y LATERAL DEL FILTRO ACTIVO ACCUSINE PCS+ 300A



Fuente: Schneider Electric (2014). Manual de instalación de AccuSine PCS+/PFV+.

FIGURA N°4.38. VISTA SUPERIOR E INFERIOR DEL
 FILTRO ACTIVO ACCUSINE PCS+ 300A



Fuente: Schneider Electric (2014). Manual de instalación de
 AccuSine PCS+/PFV+.

4.9.3. Montaje e instalación de los filtros activos AccuSine.

En esta parte se detalla la instalación de 03 Filtros Activos propuestos en el estudio de calidad de energía realizado para la compañía Clorox Perú:

Subestación N°1.

2 unidades de filtro activo - 300A - TC 2000/5A-Accusine

Subestación N°2.

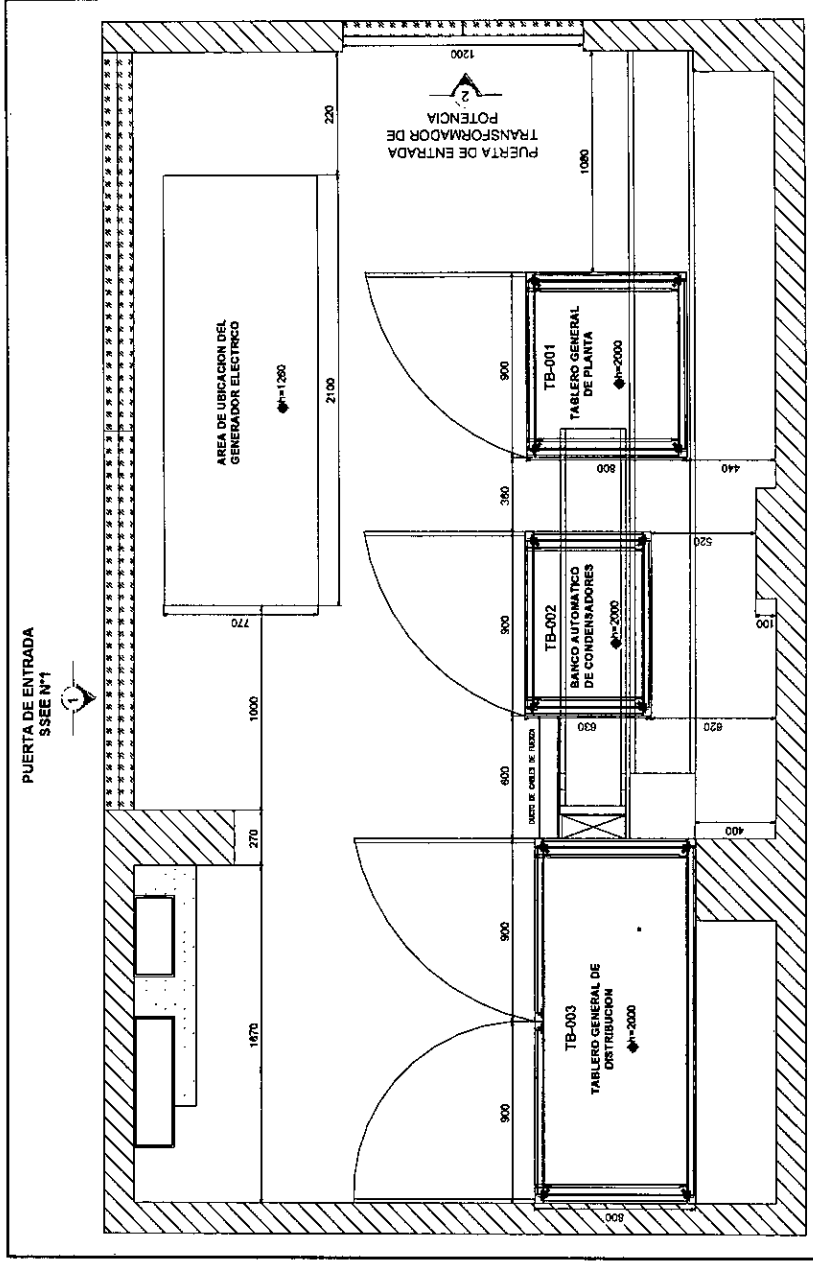
1 unidad de filtro activo - 300A - TC 2000/5A-Accusine

a. Descripción de las subestaciones.

Subestación N°1: Se describe los tableros existentes (véase la figura 4.39).

1. **TB-001: Tablero general de planta** – Llegada principal del transformador de 630KVA, 22.9-10kV / 230V Compuesto de un interruptor principal de 2500A con dos interruptores de salida de 1600A (Va a TB-031 y a TB-003), con equipo de medición PM710.
2. **TB-002: Banco automático de condensadores** – (Viene del tablero TB-003) compuesto 136kVAr, 230V, 3 pasos, 60Hz, 3F.
3. **TB-003: Tablero general de distribución-** (Viene del tablero TB-001) Interruptor principal 2000A.

FIGURA N° 4.39. DISTRIBUCION EXISTENTE TABLEROS Y EQUIPOS ELECTRICOS EN LA SUBESTACION N°1

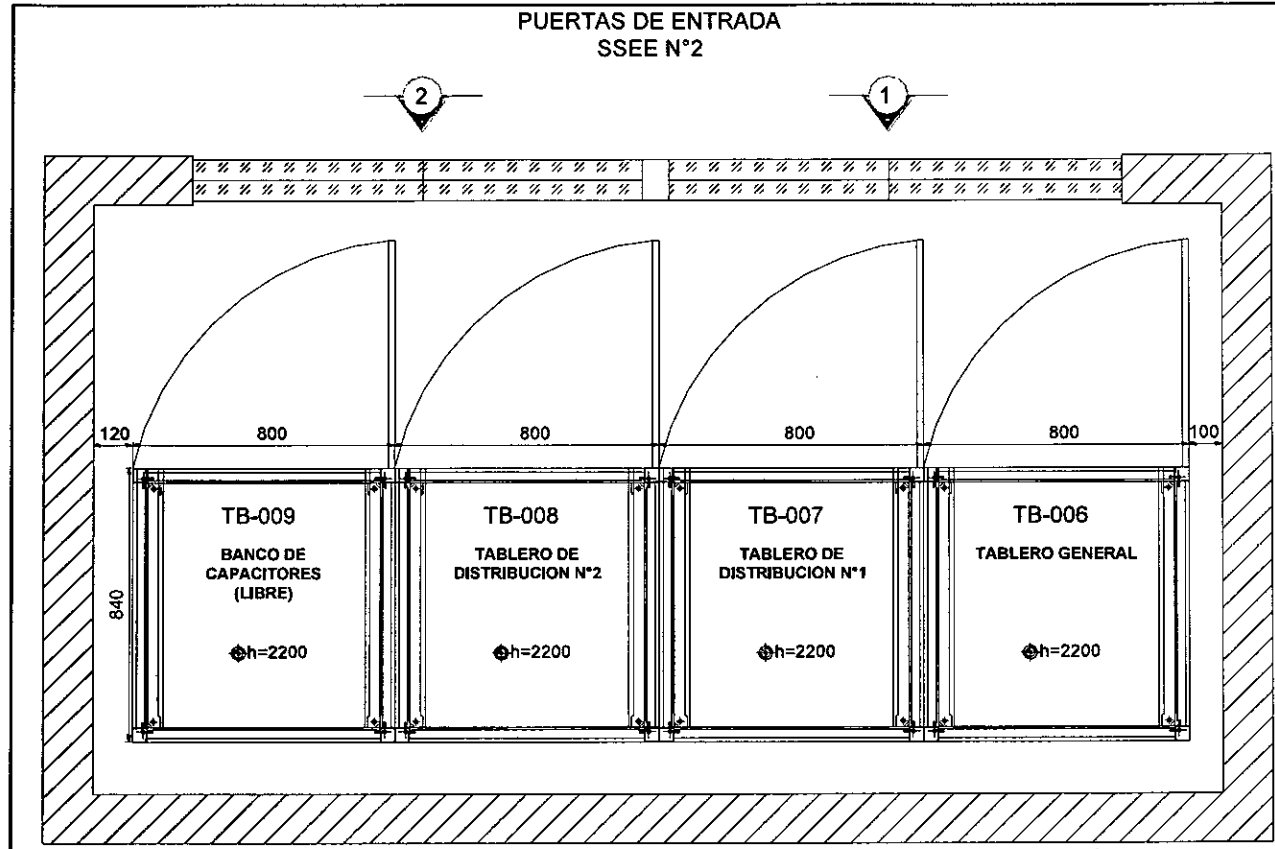


Fuente: Elaboración propia

Subestación N°2: Se describe los tableros existentes (véase la figura 4.40).

1. **TB-006: Tablero general** – Llegada principal del transformador de 630KVA, 22.9-10kV / 230V Compuesto de un interruptor principal de 2000A.
2. **TB-007: Tablero de distribución 1** – Alimentación a Interruptores C1 y C2
3. **TB-008: Tablero de distribución 2** – Alimentación a Interruptores C3, C4, C5, C7, C8, C9, C10 y C11.
4. **TB-009: Banco de capacitores (Espacio libre)**

FIGURA N°4.40. DISTRIBUCION EXISTENTE TABLEROS Y EQUIPOS ELECTRICOS EN LA SUBESTACION N°2



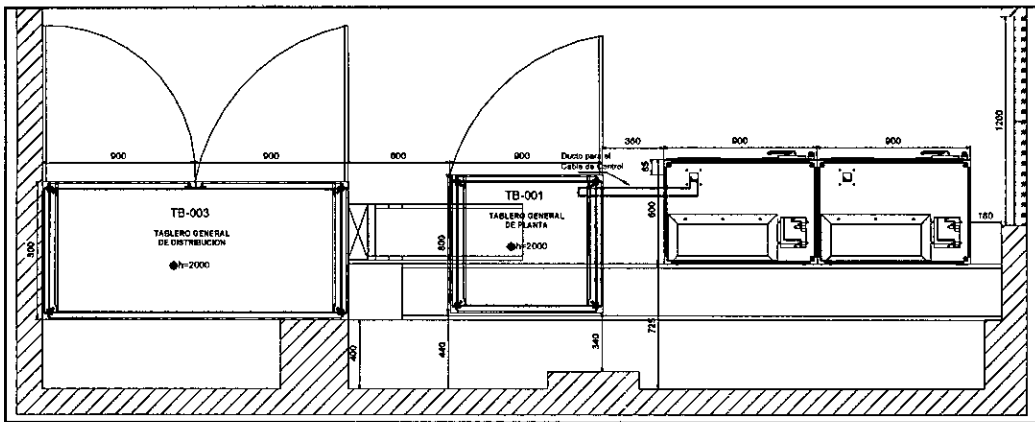
Fuente: Elaboración propia

b. Procedimiento de instalación.

Subestación N°1

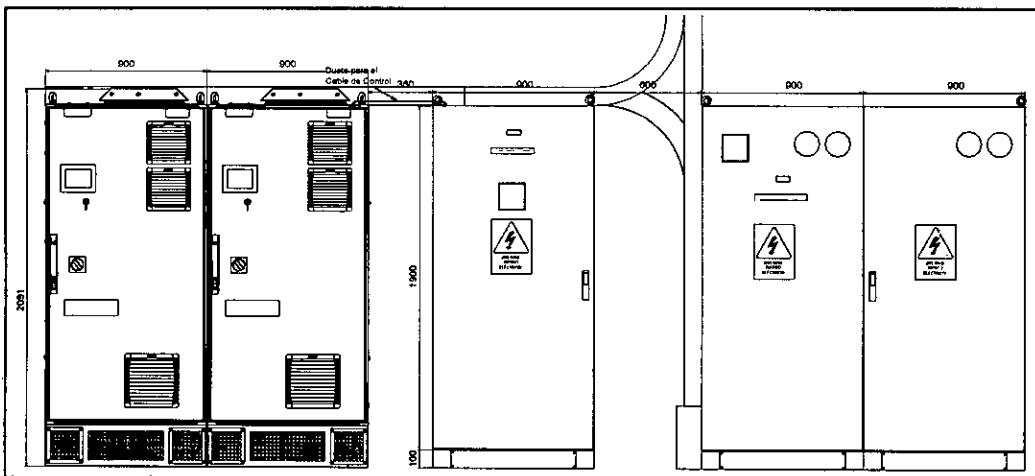
- Retiro del tablero TB-002 (banco de capacitores de 136kVAr), área disponible 630x900 mm.
- Reubicación del tablero TB-001 (Tablero General de planta) en el área libre donde se ubicaba el tablero TB-002.
- Se adecua la llegada de bandejas al tablero TB-001 (corte de bandeja) con el objetivo de obtener una altura de 2100mm para la instalación de los filtros activos.
- Se cambia los cables de alimentación del transformador de 630KVA al tablero TB-001, debido a que el tablero será alejado 1.26m aprox. de su ubicación actual, los cables existentes quedaran cortos para la adecuada instalación.
- Se ubican los 02 filtros activos a 360mm del tablero TB-001.
- Se instala un ducto de 3/4" del filtro activo hacia tablero TB-001 como canal de paso de cables de señales de control de los transformadores de corriente.

FIGURA N°4.41. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA LOS FILTROS ACTIVOS (VISTA SUPERIOR) - S.E. N°1



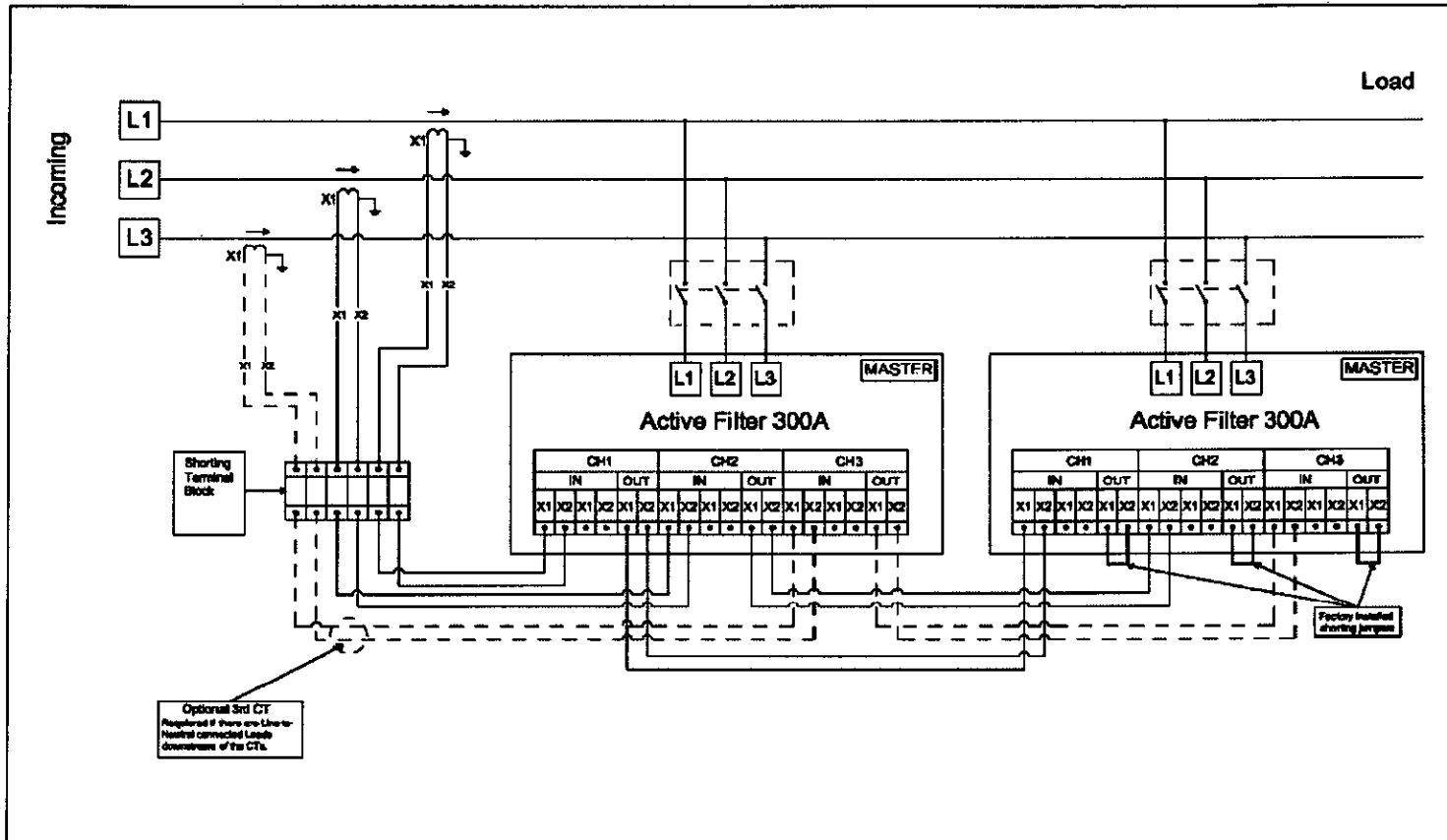
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.42. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA LOS FILTROS ACTIVOS (VISTA FRONTAL) - S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.43. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE INSTALACION DE LOS FILTROS ACTIVOS - S.E. N°1



Fuente: Schneider Electric (2014). Manual de instalación de AccuSine PCS+/PFV+.

- Instalación de cables de alimentación – Tensión:
Se instaló 01 conductor de 120mm² por cada fase de preferencia N2XOH INDECO.
El punto de alimentación es la salida del interruptor del tablero TB-003. (Véase la figura N°4.44).
Los cables de fuerza pasan por la bandeja existente.

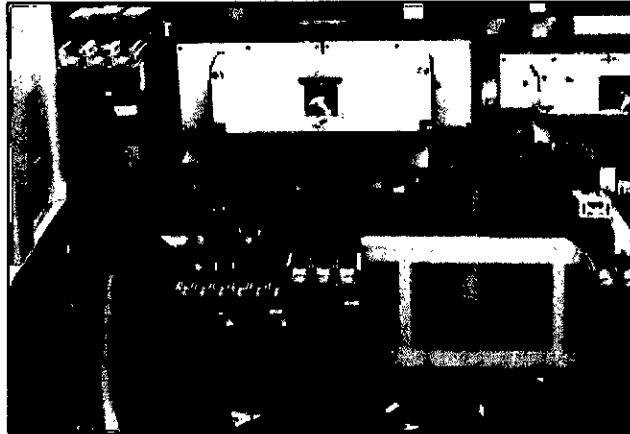
FIGURA N°4.44. PUNTO DE INSTALACION DE CABLES DE FUERZA FILTRO ACTIVO – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

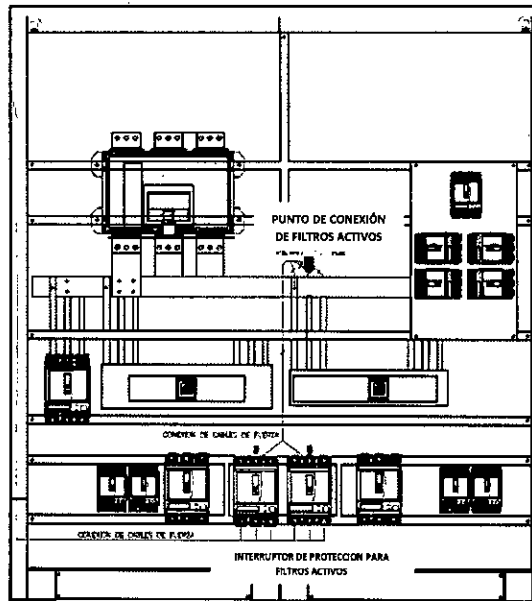
- Instalación de interruptores de protección:
Cada unidad de filtro activo de potencia requiere de un interruptor de protección de 400A, el cual se ubicó en el tablero TB-003, como se indica en la figura N°4.46.

FIGURA N°4.45. PUNTO DE INSTALACION DE INTERRUPTORES DE PROTECCION FILTRO ACTIVO – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.46. GRAFICA DE CONEXIÓN DE FILTRO ACTIVO EN TABLERO TB-003 – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

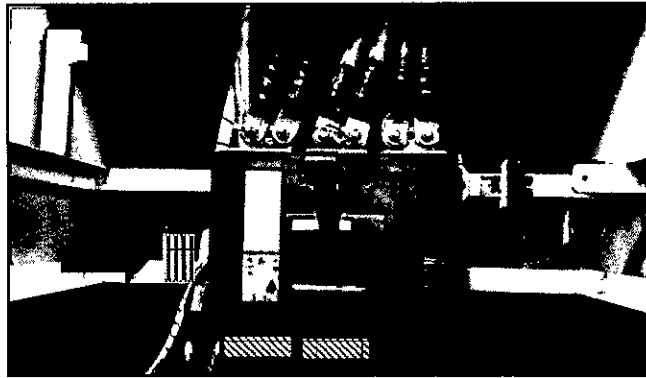
FIGURA N°4.47. INTERRUPTORES DE PROTECCION PARA
FILTROS ACTIVOS INSTALADOS EN TB-003 – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

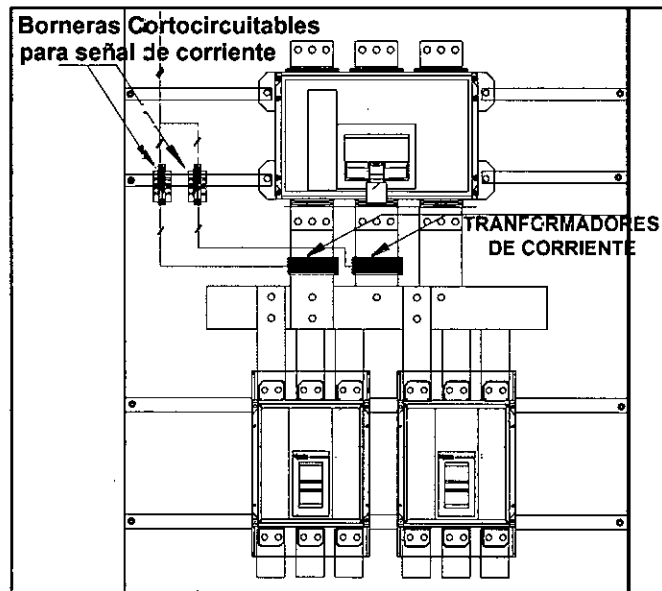
- Instalación de transformadores de corriente:
Se instaló 02 unidades de transformadores de corrientes en la salida del interruptor principal de 2500A ubicado en el tablero TB-001.
Se instaló 04 unidades de borneras cortocircuitables ubicadas en el tablero TB-001.
Los conductores son de 2.5mm² de preferencia THW INDECO.
El cableado pasa por el ducto de 3/4" del tablero TB-001 al tablero del filtro activo instalado.

FIGURA N°4.48. UBICACIÓN DE LOS CT's Y LAS BORNERAS CORTOCIRCUITABLES – S.E. N°1



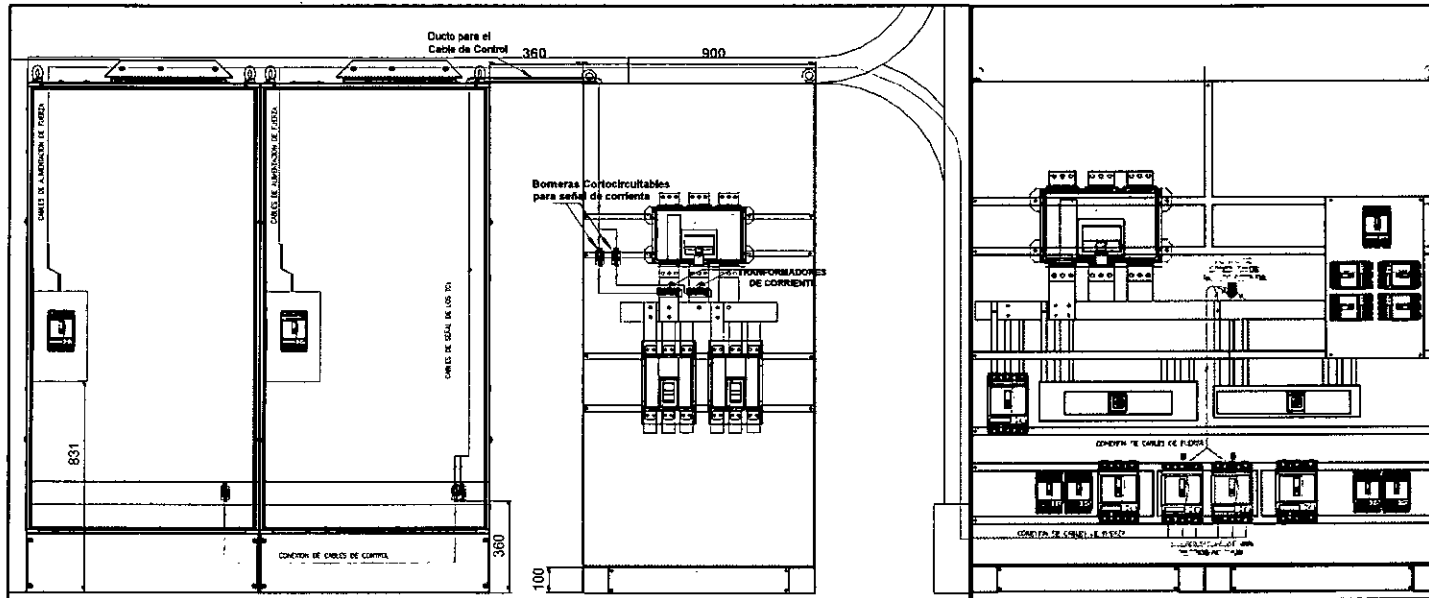
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.49. GRAFICA DE CONEXIÓN DE CT's Y BORNERAS CORTOCIRCUITABLES – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.50. GRAFICO DE CONEXIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

- Programación de los filtros activos:
Dado que se instaló dos filtros activos en esta subestación, el procedimiento realizado consistió en configurar el primer filtro como primer maestro dándole una dirección ID de 1. Luego el segundo filtro como segundo maestro con dirección ID de 2. De esta manera se aseguró que el conjunto trabaje siempre en paralelo, en otras palabras, que trabajen en la misma proporción.

Filtro N°1:

Como primer paso se configuró el día y hora en el equipo.

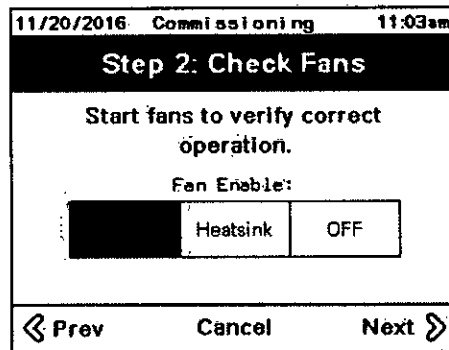
FIGURA N°4.51. PASO 1 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1

Commissioning		
Step 1: Adjust Date & Time		
Date:	11/20/2016	
Time:	11:03am	
⏪ Prev	Cancel	Next ⏩

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se realizó la prueba a los ventiladores, resultando en buen estado y funcionamiento.

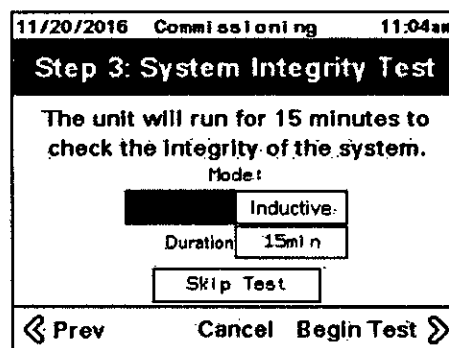
FIGURA N°4.52. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1- S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se realizó la prueba de 15 minutos para verificar el correcto funcionamiento de la parte electrónica del equipo. El resultado fue de correcto funcionamiento.

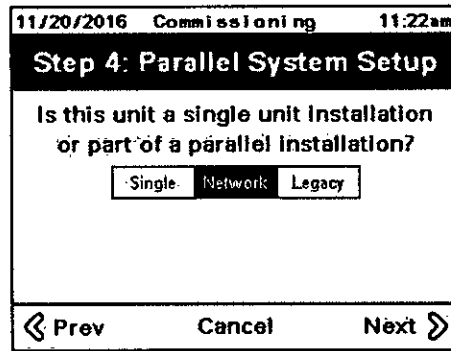
FIGURA N°4.53. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuro el equipo para trabajar dentro de un sistema (en paralelo), dado que se cuenta con dos filtros en esta subestación.

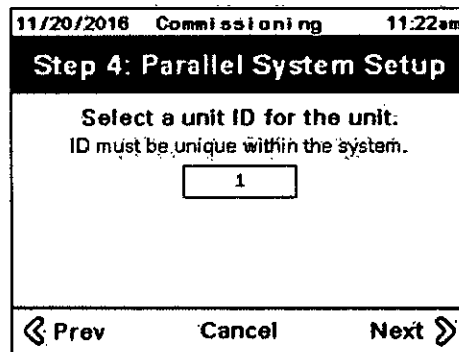
FIGURA N°4.54. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

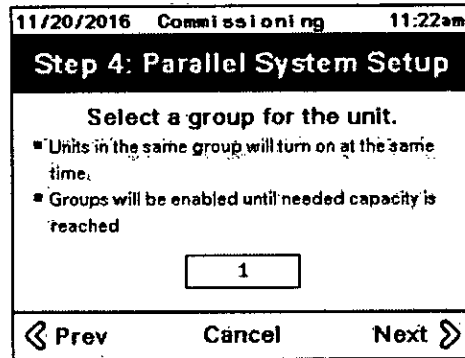
Lo siguiente consistió en asignarle la dirección ID de 1 al filtro activo y seleccionarlo como parte del grupo 1.

FIGURA N°4.55. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

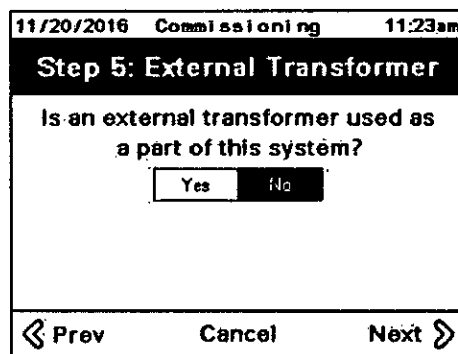
FIGURA N°4.56. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró el equipo para que trabajará sin un transformador de potencia externo. En caso se quiera instalar el filtro en un nivel de tensión superior a 1kV es necesario contar con un transformador de potencia externo.

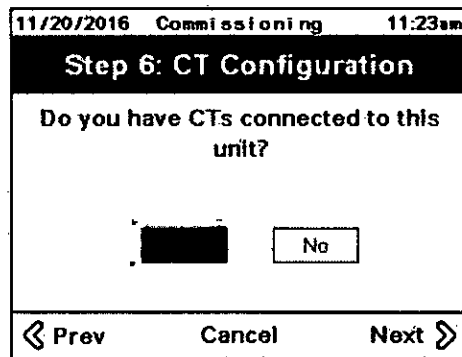
FIGURA N°4.57. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se indicó al equipo la presencia de transformadores de corriente conectados al mismo.

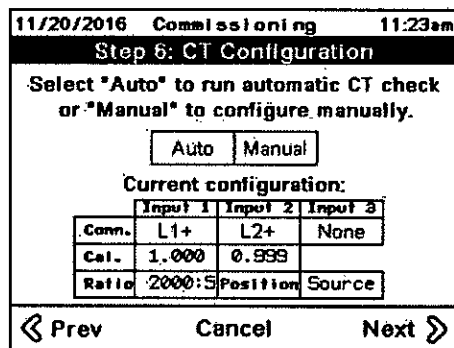
FIGURA N°4.58. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En este paso el equipo nos dio la opción de elegir el modo de configurar los parámetros de los transformadores de corriente.

FIGURA N°4.59. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se indicó al equipo que lo seleccionará automáticamente y se logró identificar correctamente los transformadores de corriente.

FIGURA N°4.60. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1

Automatic CT Configuration

Enter CT Ratio below:
CT Ratio: 2000:5

CT Secondary Rating 1A

Select channels CTs are connected to:

CH1-CH2 CH2-CH3 CH1-CH3

CH1-CH2-CH3

Continue

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró los parámetros objetivos que se quiere obtener con el filtro. Se activó en el filtro los dos modos de operación: Modo de corrección de armónicos (Harmonic Mode) y Modo de corrección de factor de potencia (PF Mode).

FIGURA N°4.61. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1

11/20/2016 Commissioning 11:24am	
Step 7: System Mode Setup	
Choose operating modes for the system.	
Harmonic Mode	<input type="checkbox"/> OFF
Target THD:	<input type="text" value="3.50%"/> THDi
PF Mode	<input type="checkbox"/> OFF
Load Balancing	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF
<input type="button" value="Prev"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Next"/>	

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso el equipo nos indicó si deseábamos cambiar la contraseña del equipo, pero no era necesario, pues el usuario solo requeriría utilizar la contraseña para entrar a la configuración más avanzada del equipo.

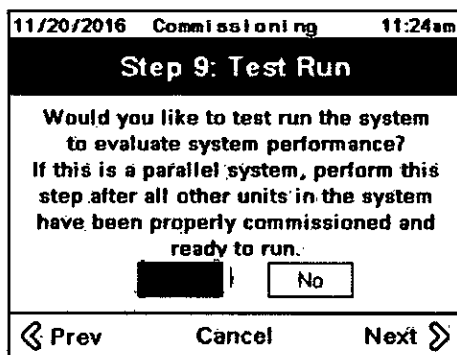
FIGURA N°4.62. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 1 – S.E. N°1

Commissioning	
Step 8: Password Setup	
Please choose a new password for the Admin User.	
Additional users can be configured from the login panel.	
Password:	<input type="text"/>
Confirm:	<input type="text"/>
Current User: ADMIN	
<input type="button" value="Change Password"/>	
<input type="button" value="Prev"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Next"/>	

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el último paso de la configuración se realizó una pequeña prueba de funcionamiento total del equipo.

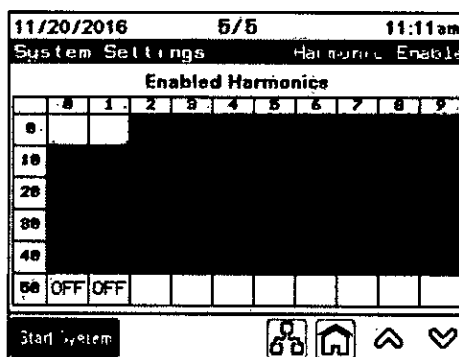
FIGURA N°4.63. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Por último, teniendo el equipo ya configurado se habilitó los órdenes armónicos a mitigar. Se habilito del orden 2 al 49.

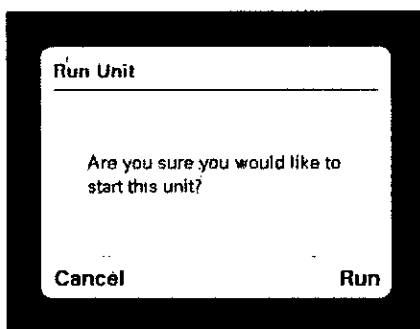
FIGURA N°4.64. PASO 10 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Para finalizar pusimos el equipo en funcionamiento con el botón que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla "Start System". Confirmamos con "Run".

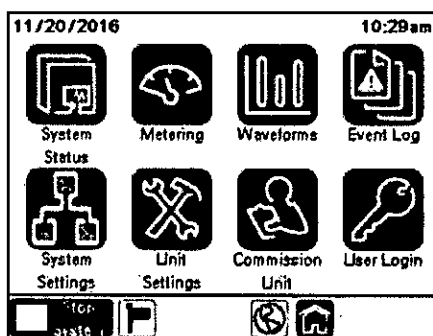
FIGURA N°4.65. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se puede apreciar en la parte inferior del equipo, el indicador de que el sistema está funcionando correctamente sin alarma alguna.

FIGURA N°4.66. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 1 – S.E. N°1

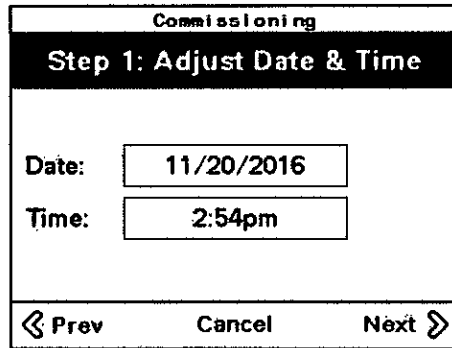


Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Filtro N°2:

Como primer paso se configuró el día y hora en el equipo.

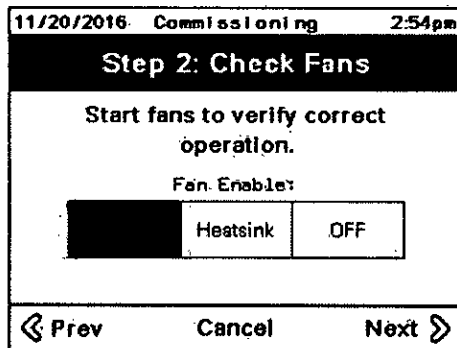
FIGURA N°4.67. PASO 1 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se realizó la prueba a los ventiladores, resultando en buen estado y funcionamiento.

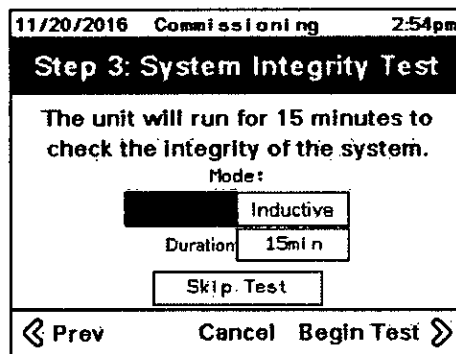
FIGURA N°4.68. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2– S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se realizó la prueba de 15 minutos para verificar el correcto funcionamiento de la parte electrónica del equipo. El resultado fue de correcto funcionamiento.

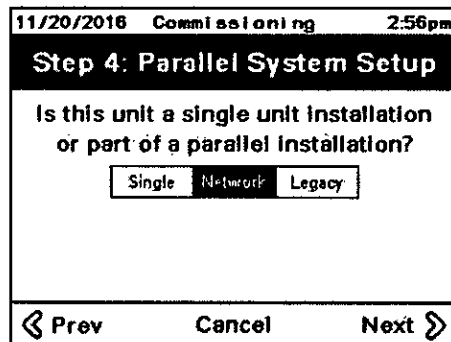
FIGURA N°4.69. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuro el equipó para trabajará dentro de un sistema (en paralelo), dado que se cuenta con dos filtros en esta subestación.

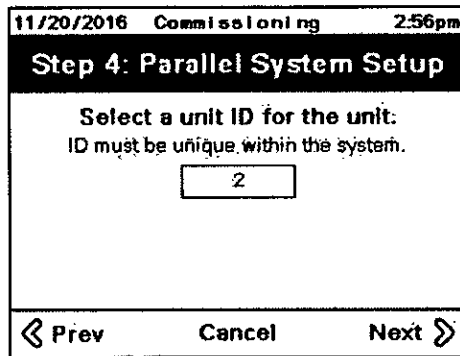
FIGURA N°4.70. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

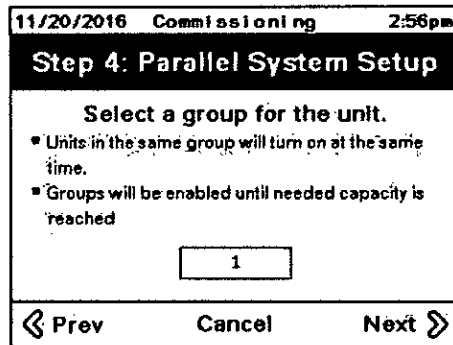
Lo siguiente consistió en asignarle la dirección ID de 2 al filtro activo y seleccionarlo como parte del grupo 1.

FIGURA N°4.71. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

FIGURA N°4.72. PASO 4.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1

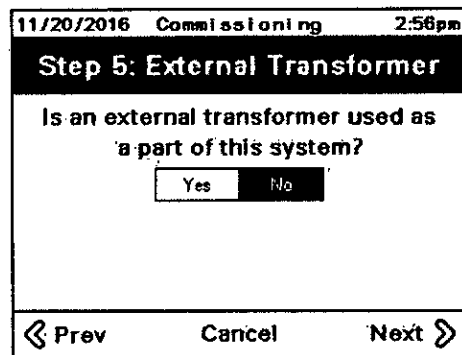


Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró el equipo para que trabajará sin un transformador de potencia externo. En caso se quiera instalar el filtro en un nivel de tensión superior a

1kV es necesario contar con un transformador de potencia externo.

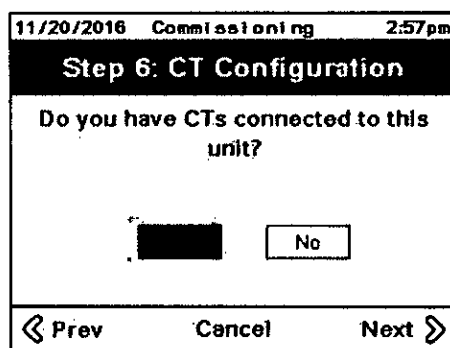
FIGURA N°4.73. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se indicó al equipo la presencia de transformadores de corriente conectados al mismo.

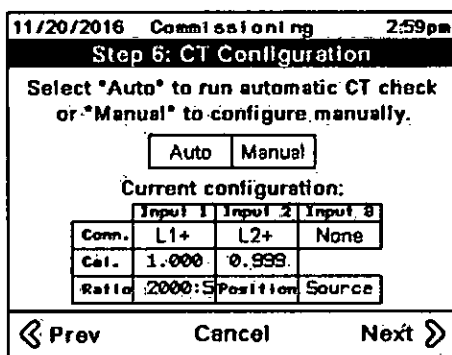
FIGURA N°4.74. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En este paso el equipo nos dio la opción de elegir el modo de configurar los parámetros de los transformadores de corriente.

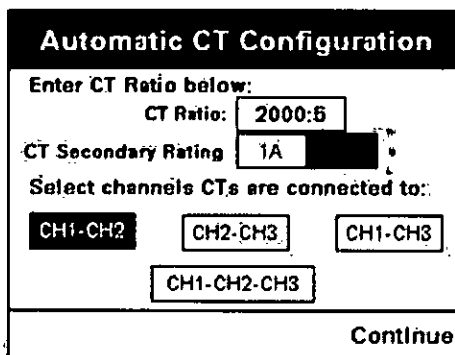
FIGURA N°4.75. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se indicó al equipo que lo seleccionará automáticamente y se logró identificar correctamente los transformadores de corriente.

FIGURA N°4.76. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró los parámetros objetivos que se quiere obtener con el filtro. Se activó en el filtro los dos modos de operación: Modo de corrección de armónicos (Harmonic Mode) y Modo de corrección de factor de potencia (PF Mode).

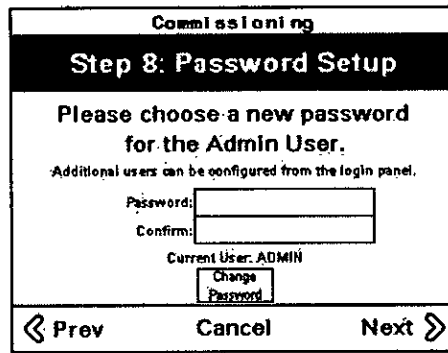
FIGURA N°4.77. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1

11/20/2016 Commissioning 2:59pm		
Step 7: System Mode Setup		
Choose operating modes for the system.		
Harmonic Mode	<input type="checkbox"/>	OFF
Target THD:	3.50%	THD:
PF Mode	<input type="checkbox"/>	OFF
Load Balancing	<input type="checkbox"/>	ON
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OFF
<input type="checkbox"/>	Prev	Cancel Next <input type="checkbox"/>

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso el equipo nos indicó si deseábamos cambiar la contraseña del equipo, pero no era necesario, pues el usuario solo requeriría utilizar la contraseña para entrar a la configuración más avanzada del equipo.

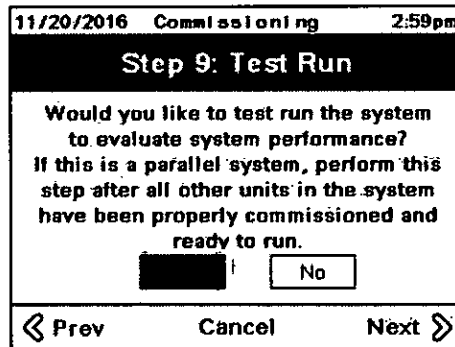
FIGURA N°4.78. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el último paso de la configuración se realizó una pequeña prueba de funcionamiento total del equipo.

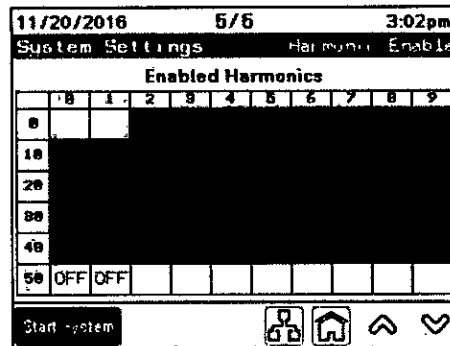
FIGURA N°4.79. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO
ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Por último, teniendo el equipo ya configurado se habilitó los órdenes armónicos a mitigar. Se habilitó del orden 2 al 49.

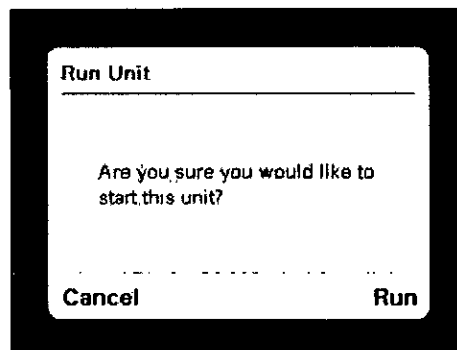
FIGURA N°4.80. PASO 10 DE CONFIGURACION
 FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Para finalizar pusimos el equipo en funcionamiento con el botón que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla "Start System". Nos apareció un mensaje de confirmación y continuamos con "Run".

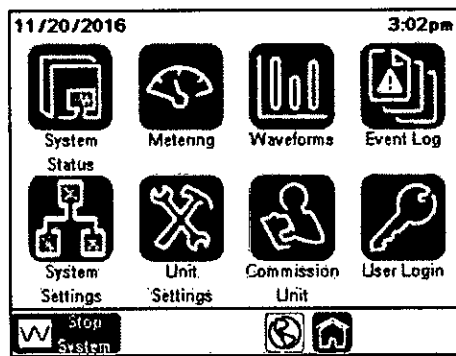
FIGURA N°4.81. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE
 FILTRO ACTIVO 2 – S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se puede apreciar en la parte inferior del equipo, el indicador de que el sistema está funcionando correctamente sin alarma alguna.

FIGURA N°4.82. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO 2 –
S.E. N°1



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

FIGURA N°4.83. DOS FILTROS ACTIVO ACCUSINE INSTALADOS EN S.E. N°1

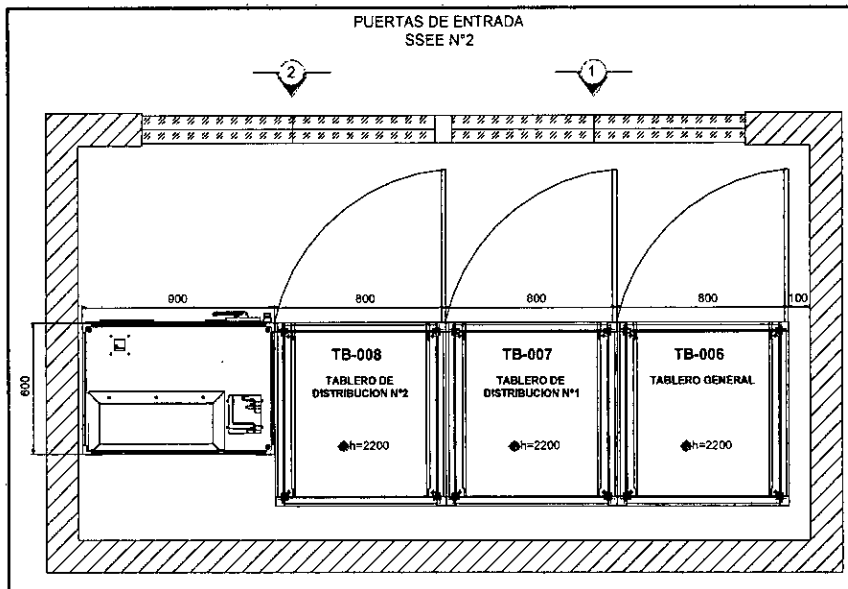


Fuente: Elaboración propia

Subestación N°2

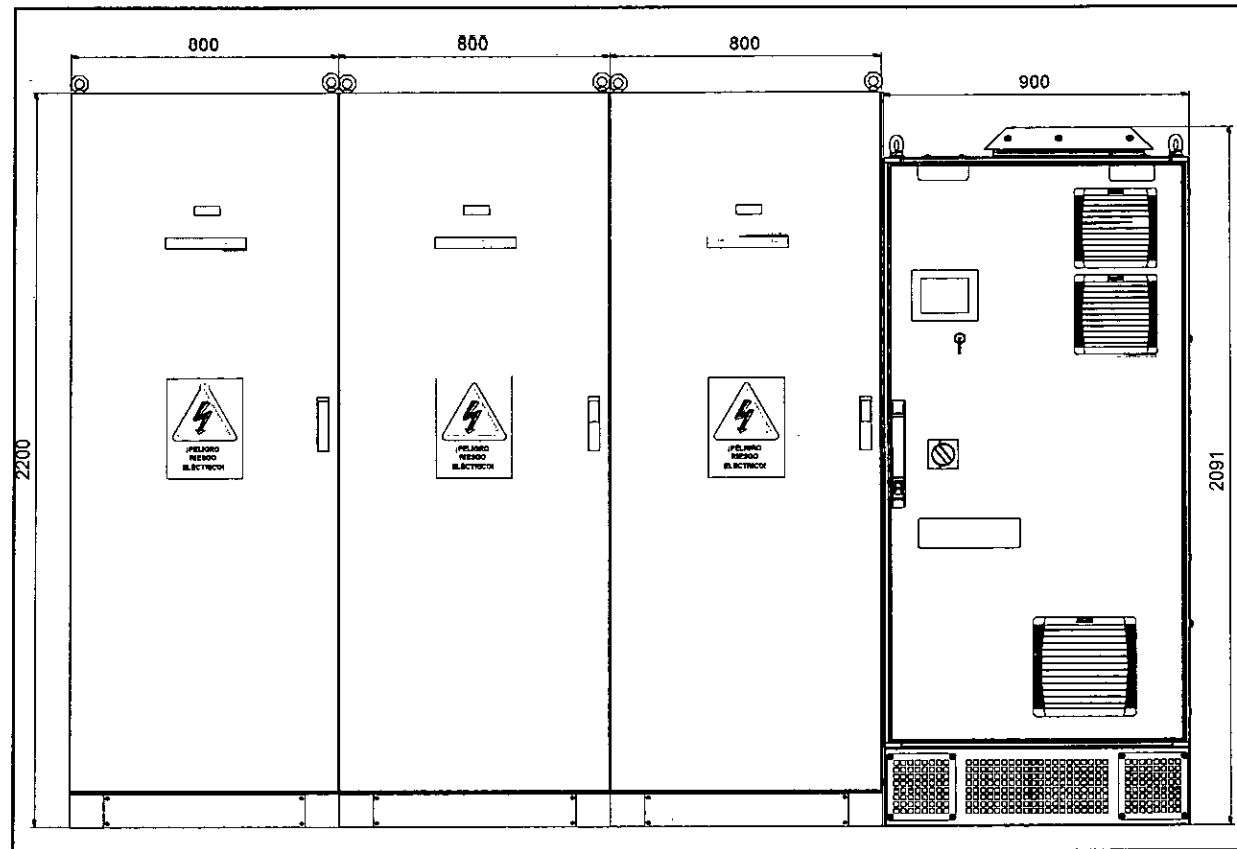
- Retiro del tablero TB-009 (Totalmente Vacío)
- Se ubicó el filtro activo de potencia en el espacio libre del tablero TB-009. Como se indica en la figura N°4.84.

FIGURA N°4.84. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA FILTRO ACTIVO (VISTA SUPERIOR) - S.E. N°2



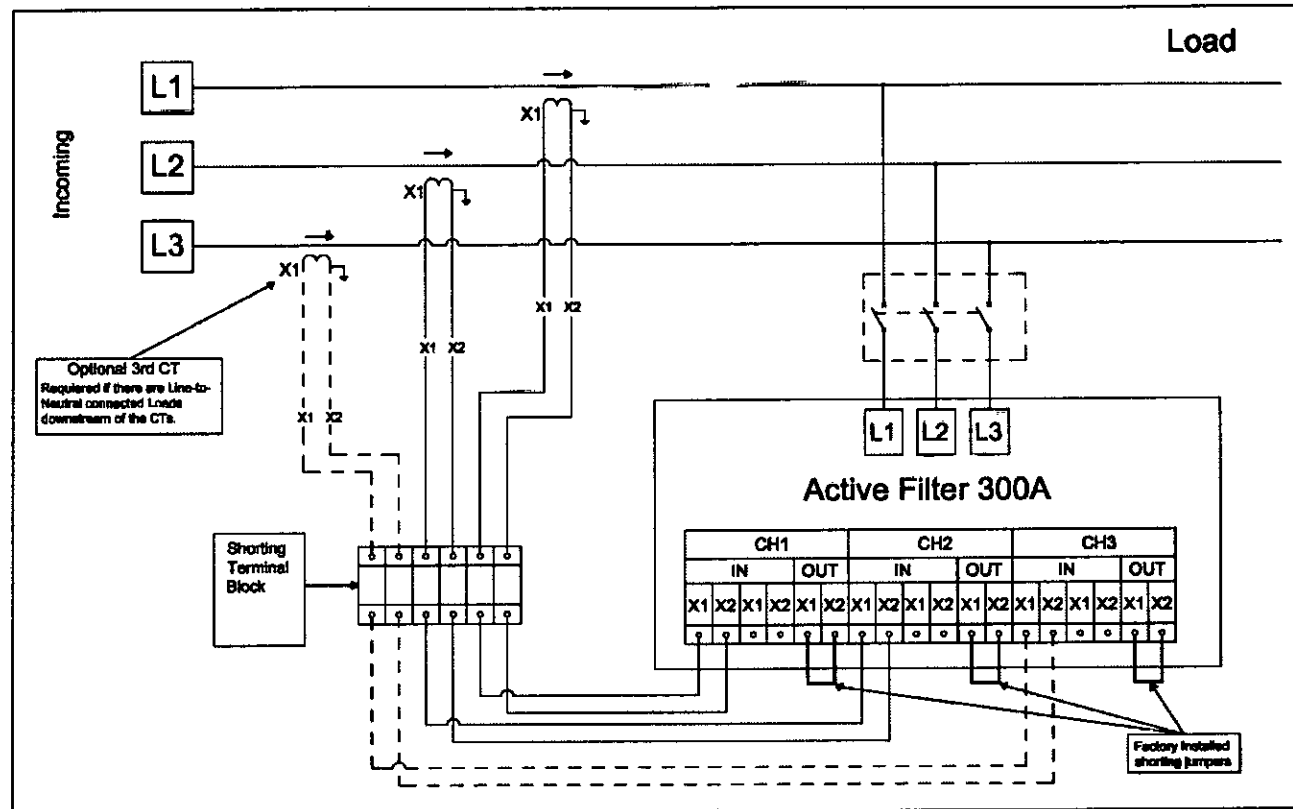
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.85. DISTANCIA DE INSTALACIÓN Y ADECUACIONES DE UBICACIÓN PARA
FILTRO ACTIVO (VISTA FRONTAL) - S.E. N°2



Fuente: Elaboración propia

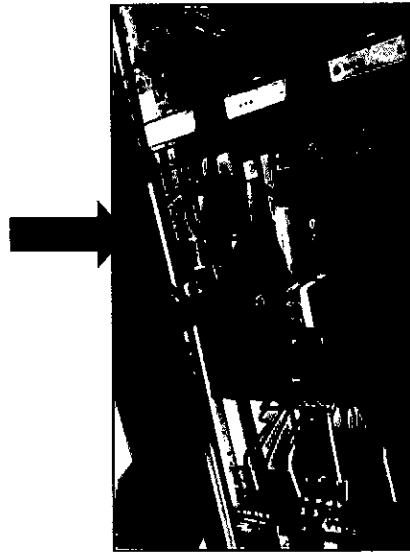
FIGURA N°4.86. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE INSTALACION DE LOS FILTROS ACTIVOS - S.E. N°2



Fuente: Schneider Electric (2014). Manual de instalación de AccuSine PCS+/PFV+.

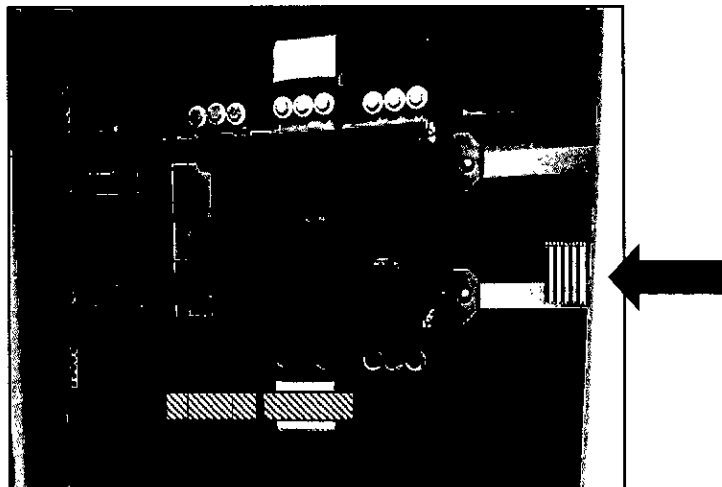
- Instalación de interruptor de protección:
El filtro activo de potencia requiere de un ITM de protección de 400A, el cual se ubicó en el tablero TB-008, como se indica en la figura 4.87.
- Instalación de cables de fuerza Instalación de cables de alimentación – Tensión:
Se instaló 01 conductor de 120mm² por cada fase de preferencia N2XOH INDECO.
El punto de alimentación es la salida del ITM de 400A instalado en el tablero TB-008.
Los cables de fuerza pasan por la zanja debajo de los tableros existentes.
- Instalación de los transformadores de corriente:
Se instaló 02 unidades de transformadores de corrientes en la salida del interruptor principal de 2000A ubicado en el tablero TB-006.
Se instaló 04 unidades de borneras cortocircuitables ubicadas en el tablero TB-006.
Los conductores son de 2.5mm² de preferencia THW INDECO.

FIGURA N°4.87. UBICACIÓN DEL INTERRUPTOR DE PROTECCION PARA FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



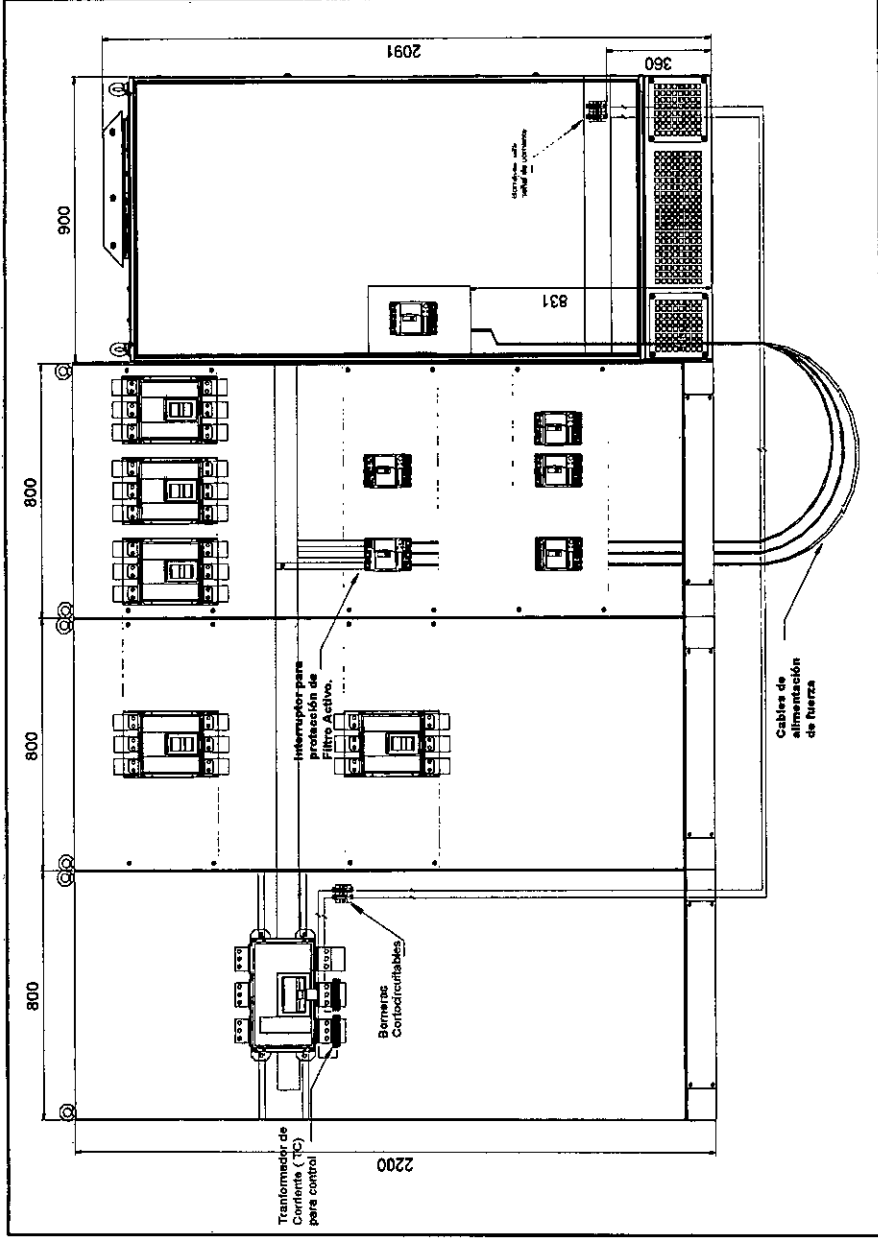
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.88. UBICACIÓN DE CT's Y BORNERAS CORTOCIRCUITABLES PARA FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Elaboración propia

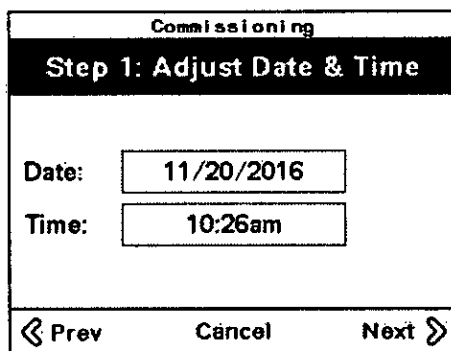
FIGURA N°4.89. GRAFICO DE CONEXIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL – S.E. N°2



Fuente: Elaboración propia

- Programación del filtro activo:
Como primer paso se configuró el día y hora en el equipo.

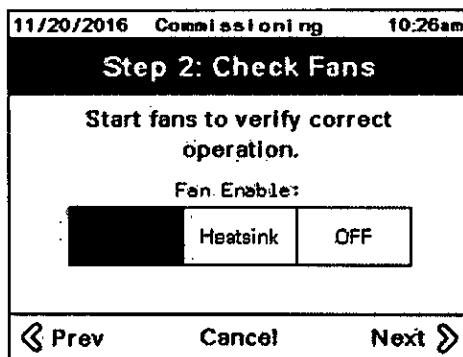
FIGURA N°4.90. PASO 1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se realizó la prueba a los ventiladores, resultando en buen estado y funcionamiento.

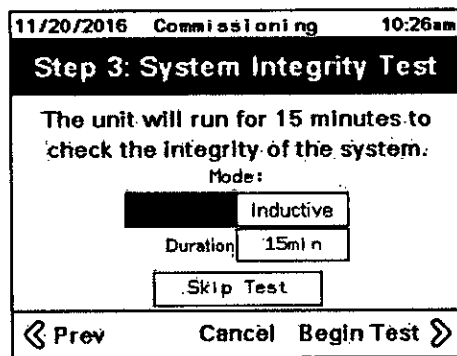
FIGURA N°4.91. PASO 2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se realizó la prueba de 15 minutos para verificar el correcto funcionamiento de la parte electrónica del equipo. El resultado fue de correcto funcionamiento.

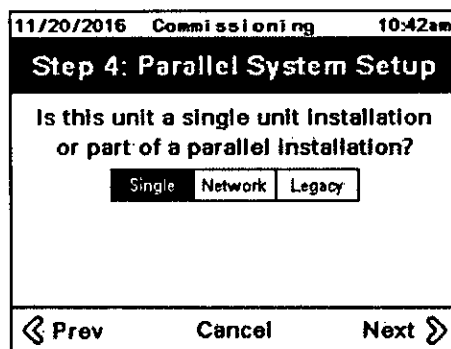
FIGURA N°4.92. PASO 3 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuro el equipo para trabajar independientemente, dado que solo se cuenta con un filtro en esta subestación.

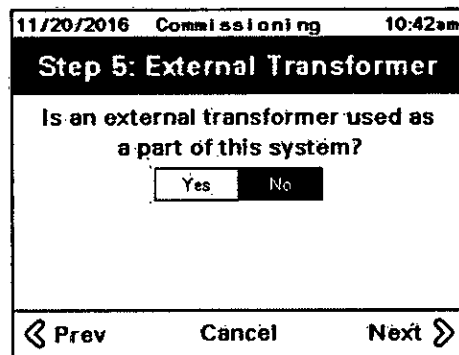
FIGURA N°4.93. PASO 4 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró el equipo para que trabajará sin un transformador de potencia externo. En caso se quiera instalar el filtro en un nivel de tensión superior a 1kV es necesario contar con un transformador de potencia externo.

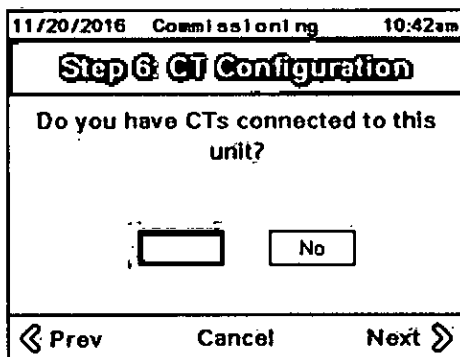
FIGURA N°4.94. PASO 5 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se indicó al equipo la presencia de transformadores de corriente conectados al mismo.

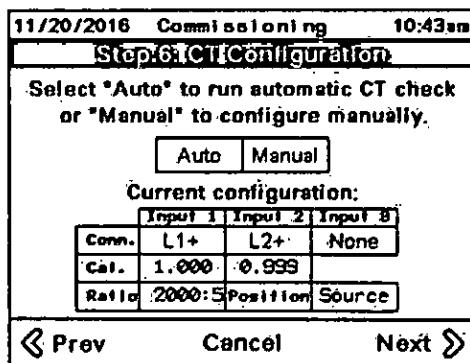
FIGURA N°4.95. PASO 6 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En este paso el equipo nos dio la opción de elegir el modo de configurar los parámetros de los transformadores de corriente. S

FIGURA N°4.96. PASO 6.1 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se indicó al equipo que lo seleccionará automáticamente y se logró identificar correctamente los transformadores de corriente.

FIGURA N°4.97. PASO 6.2 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2

Automatic CT Configuration

Enter CT Ratio below:
CT Ratio: 2000:5

CT Secondary Rating 1A

Select channels CTs are connected to:

CH1-CH2 CH2-CH3 CH1-CH3

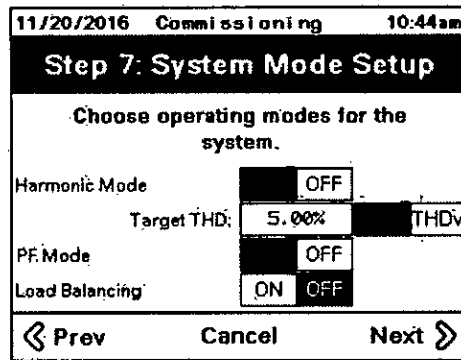
CH1-CH2-CH3

Continue

Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso se configuró los parámetros objetivos que se quiere obtener con el filtro. Se activó en el filtro los dos modos de operación: Modo de corrección de armónicos (Harmonic Mode) y Modo de corrección de factor de potencia (PF Mode).

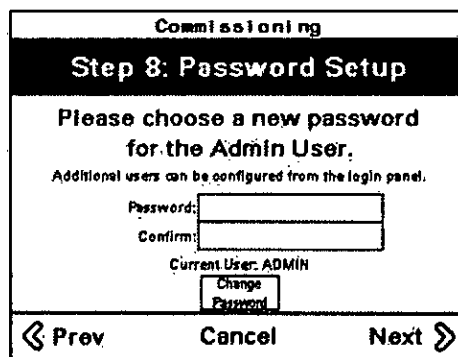
FIGURA N°4.98. PASO 7 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el siguiente paso el equipo nos indicó si deseábamos cambiar la contraseña del equipo, pero no era necesario, pues el usuario solo requeriría utilizar el Password para entrar a la configuración más avanzada del equipo.

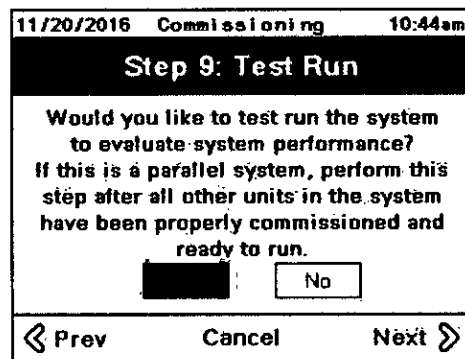
FIGURA N°4.99. PASO 8 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

En el último paso de la configuración se realizó una pequeña prueba de funcionamiento total del equipo.

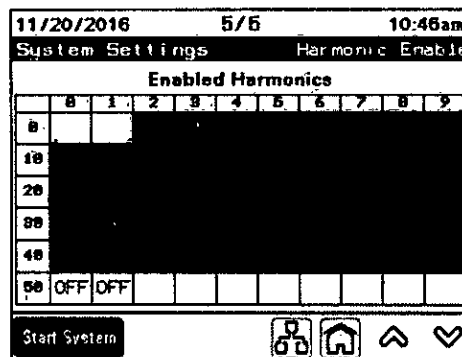
FIGURA N°4.100. PASO 9 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Por último, teniendo el equipo ya configurado se habilitó los órdenes armónicos a mitigar. Se habilito del orden 2 al 49.

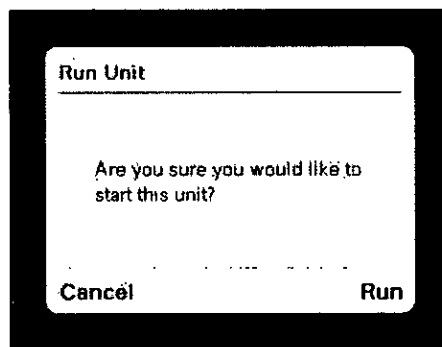
FIGURA N°4.101. PASO 10 DE CONFIGURACION FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Para finalizar pusimos el equipo en funcionamiento con el botón que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla "Start System". Confirmamos con "Run".

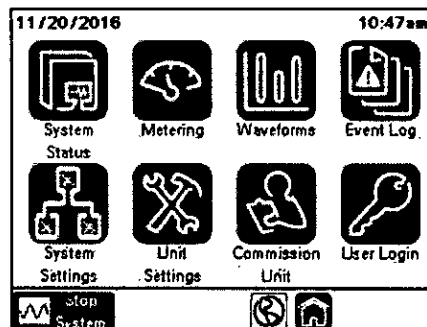
FIGURA N°4.102. CONFIRMACION DE ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

Se puede apreciar en la parte inferior del equipo, el indicador de que el sistema está funcionando correctamente sin alarma alguna.

FIGURA N°4.103. ENCENDIDO DE FILTRO ACTIVO – S.E. N°2



Fuente: Reporte de pantalla HMI de Filtro Activo

FIGURA N°4.104. FILTRO ACTIVO ACCUSINE INSTALADO EN S.E. N°2.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de las mediciones realizadas luego de implementada la solución, comparando dichos resultados con los valores permisibles en las normas. Así también, se muestra un análisis de rentabilidad de la solución comprobando así, si es viable o no el proyecto.

5.1. Resultados de medición después de implementar la solución.

5.1.1. Subestación N°1.

Transformador TR1 (Barra 0.23kV).

El reporte de los datos obtenidos en el registro de medición se ha elaborado a partir del 22/11/2016 a las 13:00 horas, al 25/11/2016 a las 11:30 horas.

Se muestran las gráficas de los siguientes parámetros:

- Tensiones L-L por fase
- Corriente por fase
- Potencia Activa, Reactiva y Aparente
- Factor de potencia real
- Frecuencia
- Flicker.
- Armónicos de tensión.
- THD de tensión.
- Armónicos de corriente.
- THD de corriente.

FIGURA N°5.1. GRÁFICA DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°1

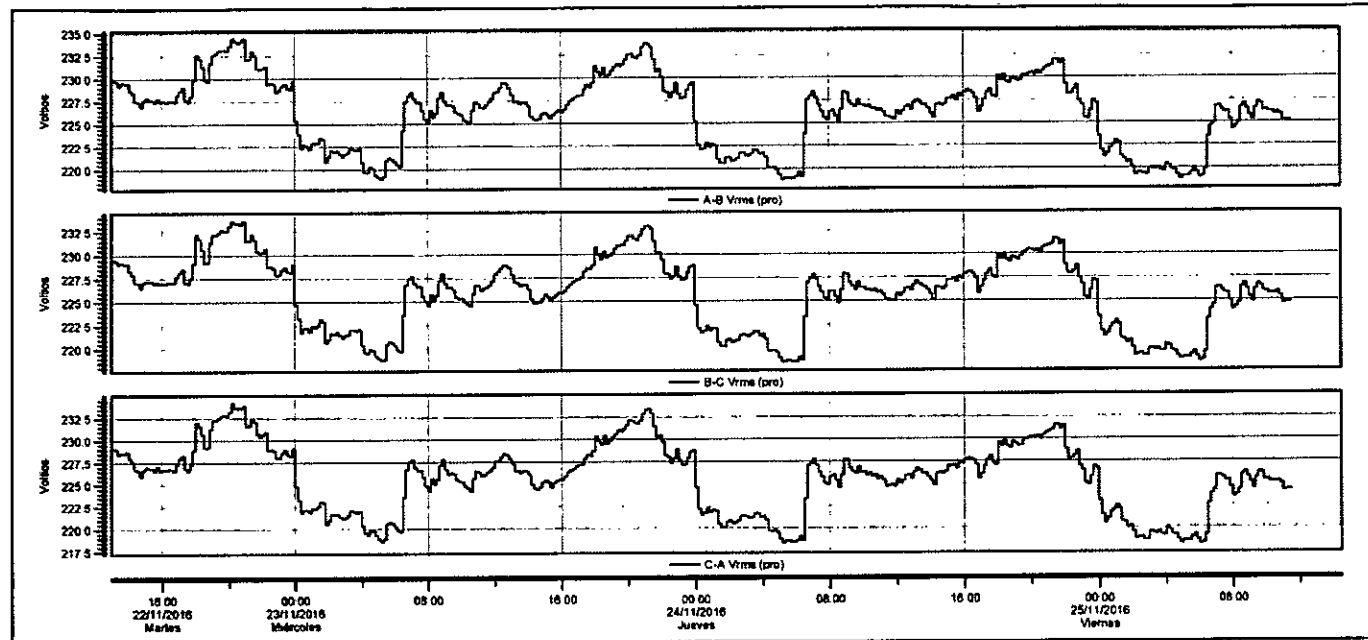


TABLA N°5.1. REPORTE DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVrms	218.7	234.4	226.2
B-CVrms	218.5	233.7	225.8
C-AVrms	218.2	234.2	225.6

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Según la NTCSE: Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta +/-5% de las tensiones nominales de tales puntos. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5% del periodo de medición. En tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos.

FIGURA N°5.2. GRÁFICA DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°1

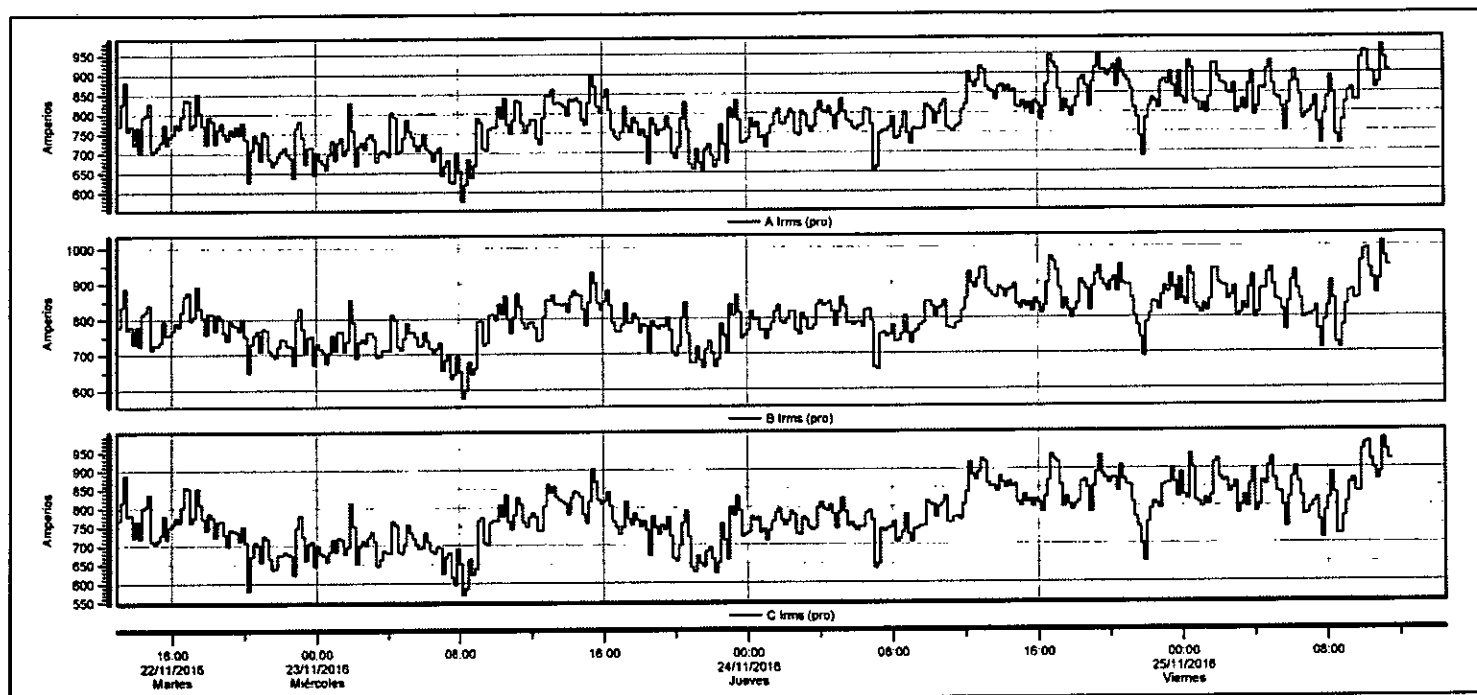


TABLA N°5.2. REPORTE DE CORRIENTES – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	Min	Máx	Pro
Airms	576.4	969.3	785.1
Birms	577.4	1010	802.1
Cirms	568.6	978.8	775.5

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.3. GRÁFICA DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1

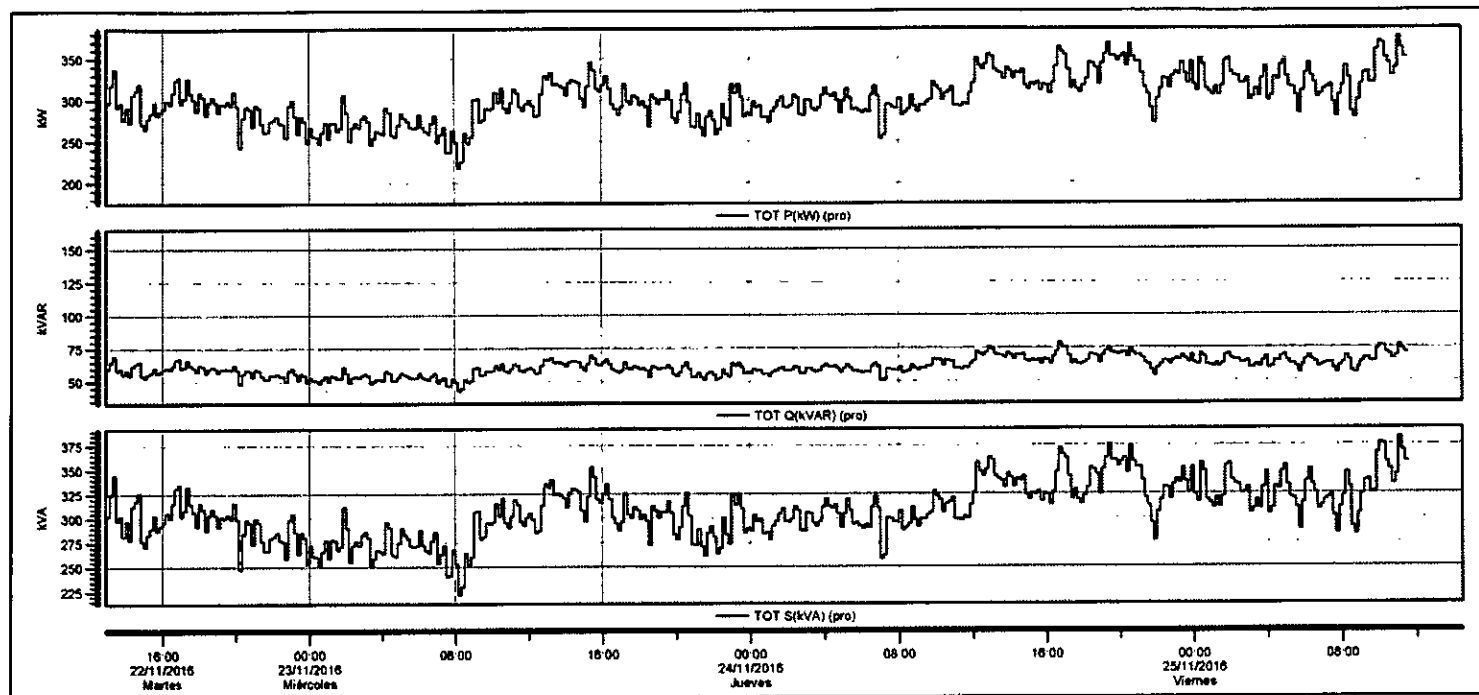


TABLA N°5.3. REPORTE DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	Min	Máx	Pro
TOTP(kW)	217.6	375.0	301.2
TOTQ(kVAR)	42.62	78.74	60.42
TOTS(kVA)	221.7	382.7	307.2

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.4. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1

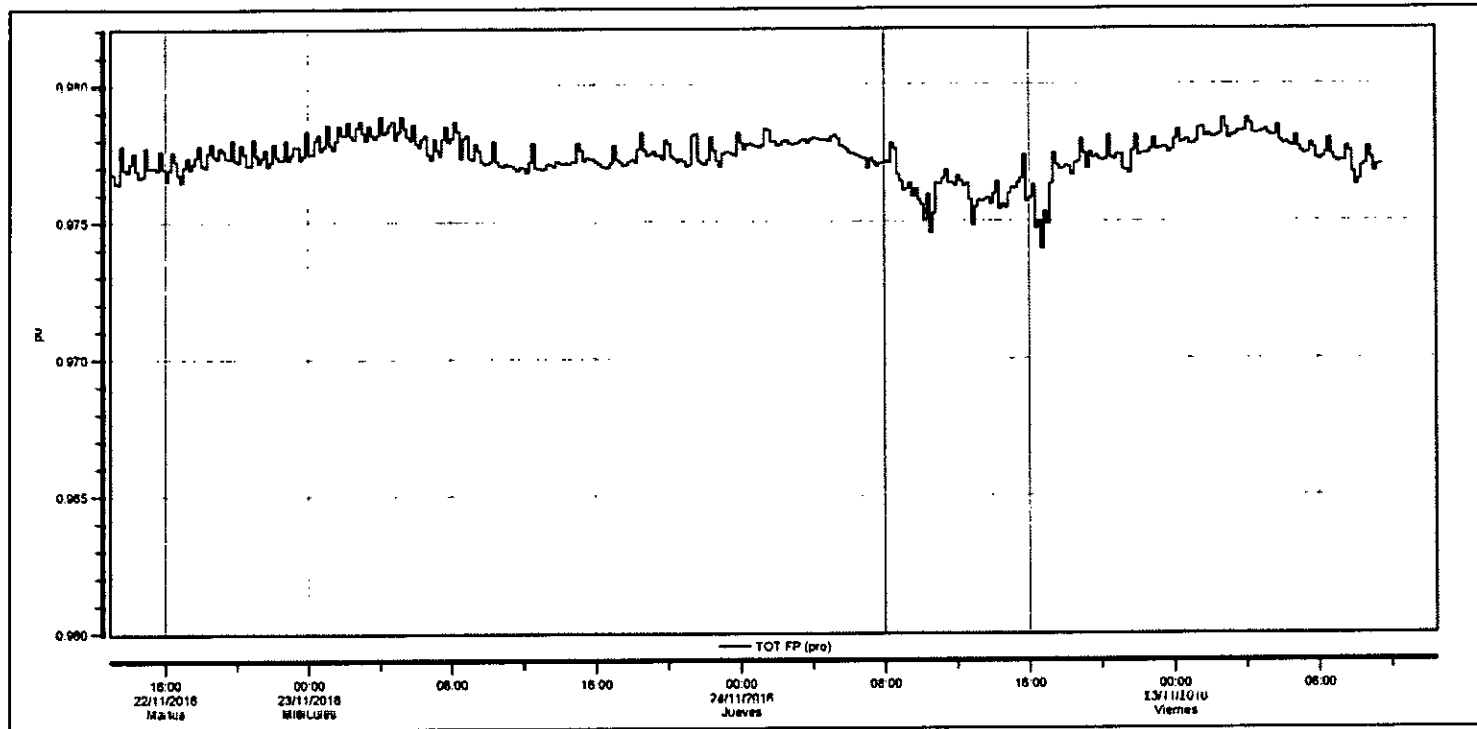


TABLA N°5.4. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFP	0.9740	0.9788	0.9774

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.
- * El factor de potencia se encuentra por encima de lo recomendado en la norma.

FIGURA N°5.5. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°1

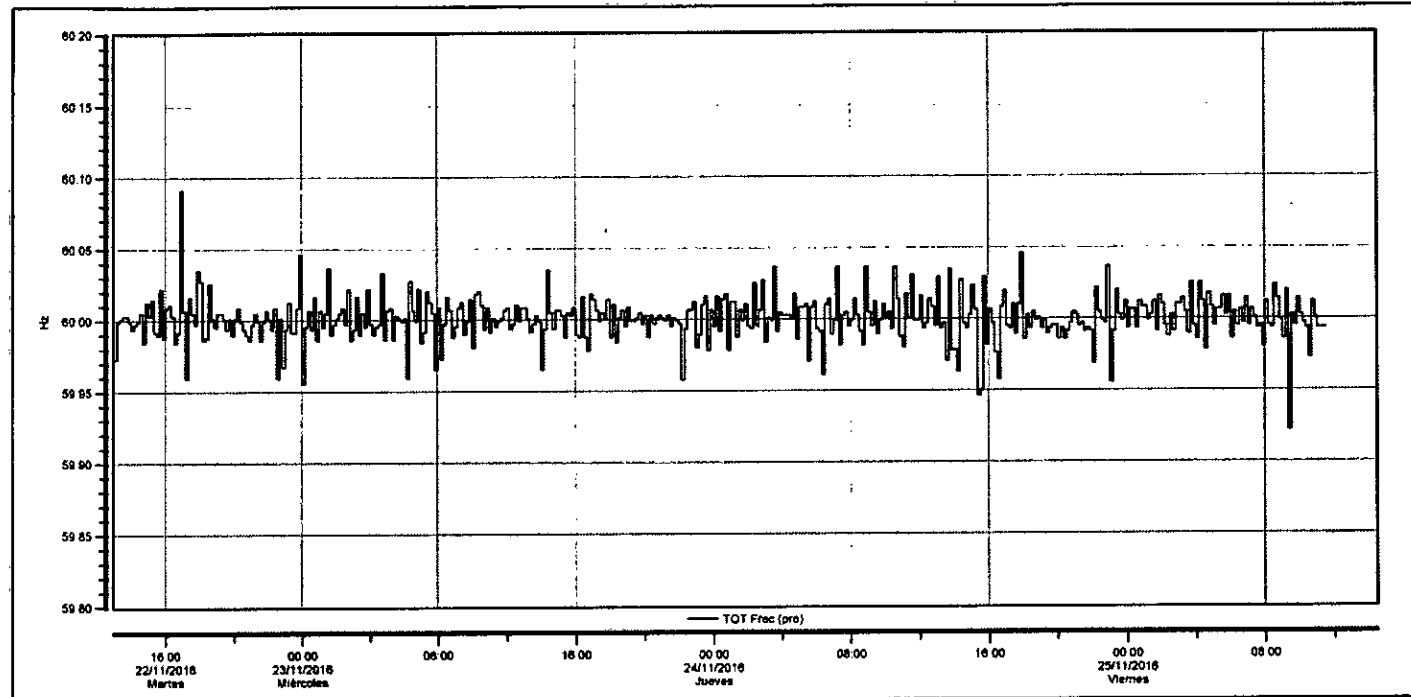


TABLA N°5.5. REPORTE DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFrec	59.92	60.09	60.00

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.6. GRÁFICA DE FLICKER – TR-01 S.E. N°1

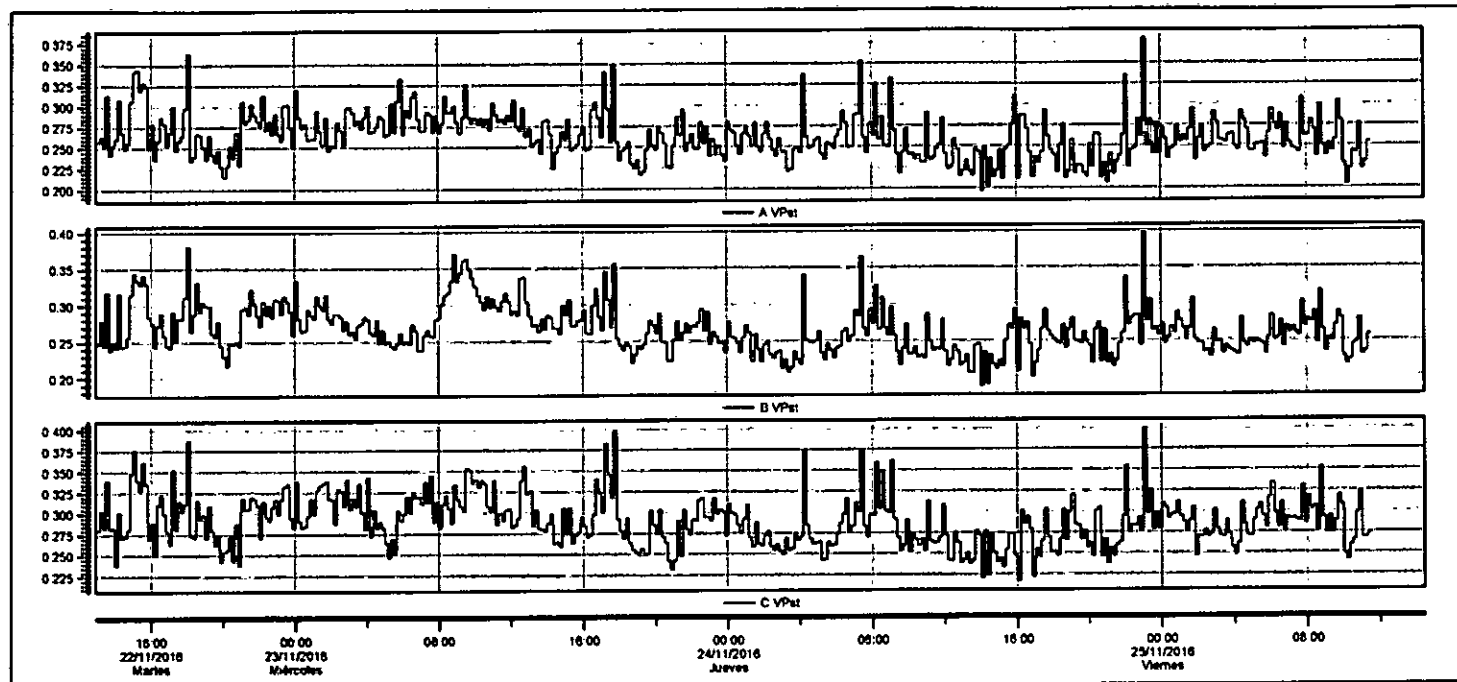


TABLA N°5.6. REPORTE DE FLICKER – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>AVPst</i>	0.1962	0.3795	0.2627
<i>BVPst</i>	0.1870	0.3961	0.2656
<i>CVPst</i>	0.2174	0.3999	0.2892

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.7. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°1

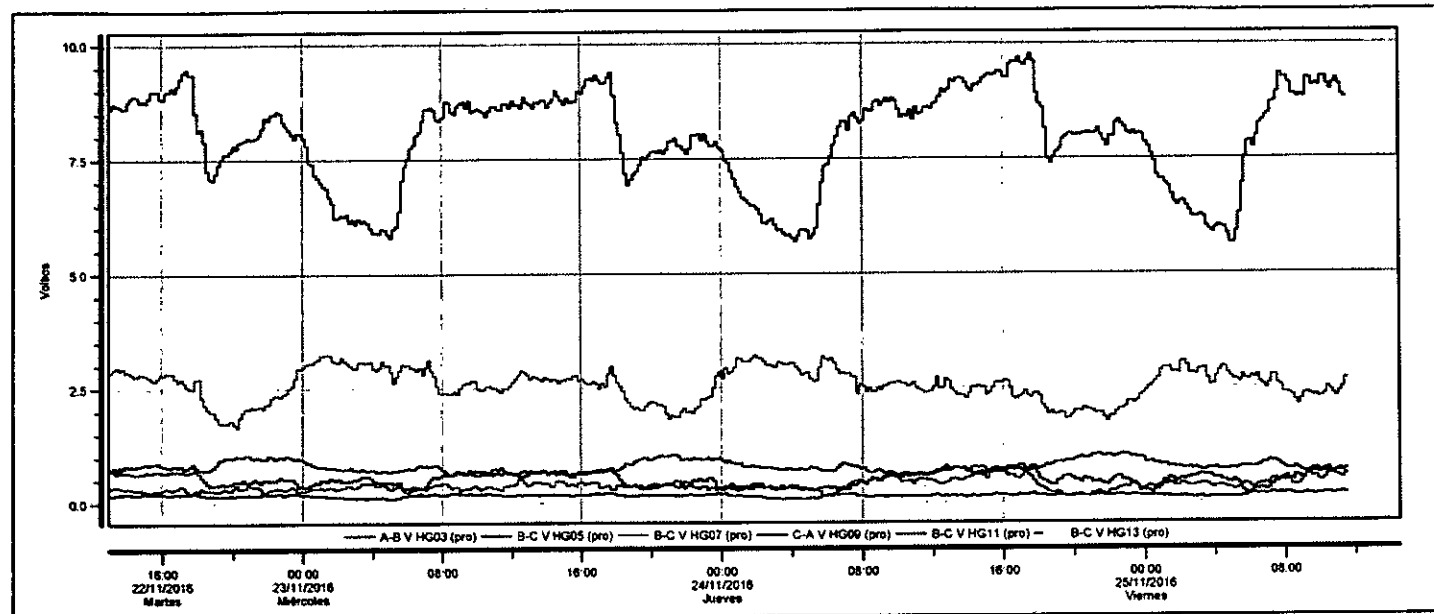


TABLA N°5.7. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BV HG03	0.5623	1.042	0.7632
B-CV HG05	5.652	9.767	7.972
B-CV HG07	1.662	3.237	2.553
C-AV HG09	0.06611	0.2269	0.1529
B-CV HG11	0.1182	0.8738	0.5141
B-CV HG13	0.1149	0.6919	0.3675

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

* Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°5.8. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TR-01 S.E. N°1

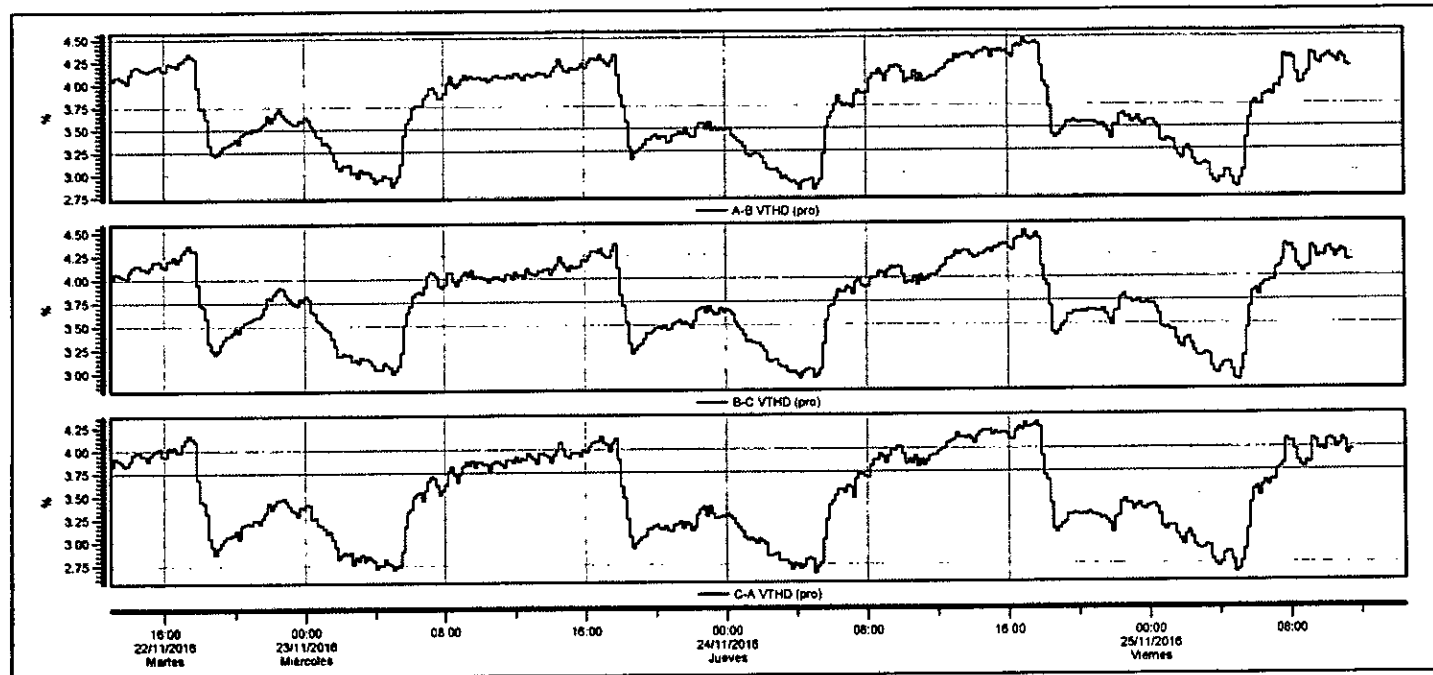


TABLA N°5.8. REPORTE DE THD DE TENSION– TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVTND	2.818	4.477	3.710
B-CVTND	2.898	4.493	3.760
C-AVTND	2.647	4.281	3.498

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

* Los resultados se encuentran dentro del límite establecido por la NTCSE (8%)

FIGURA N°5.9. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1

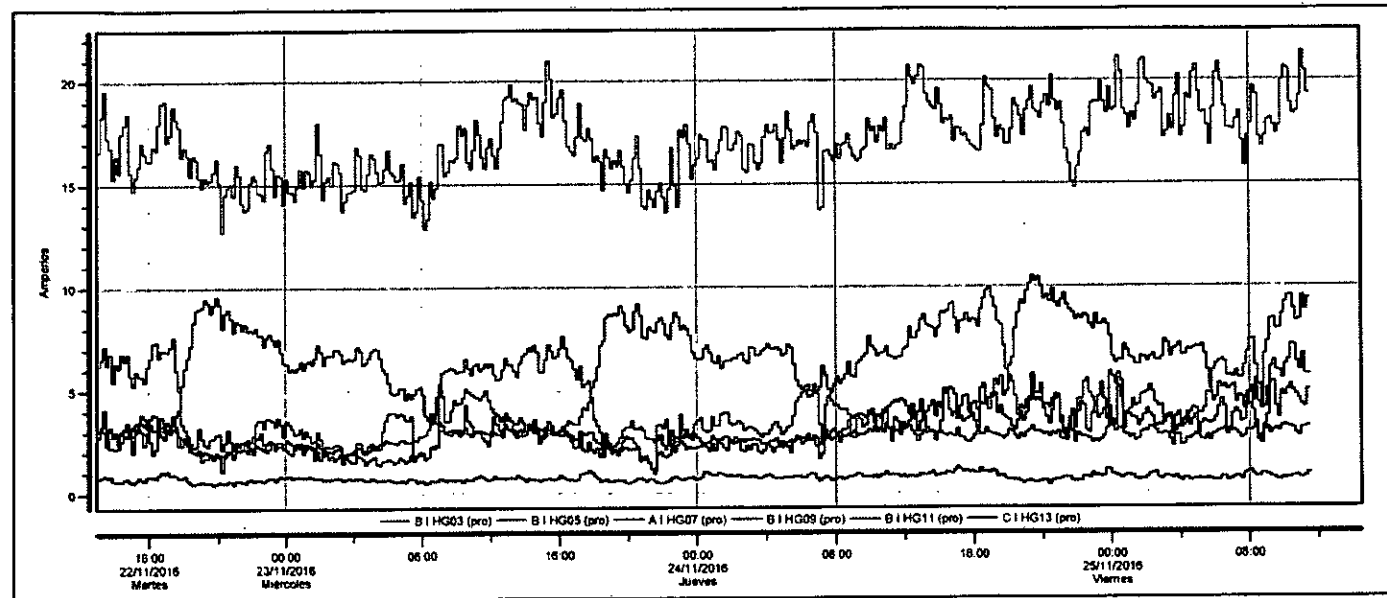


TABLA N°5.9. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>BI HG03</i>	1.410	5.755	2.998
<i>BI HG05</i>	12.69	21.37	17.05
<i>AI HG07</i>	1.953	10.49	5.839
<i>BI HG09</i>	0.3948	1.215	0.7180
<i>BI HG11</i>	0.9346	9.912	4.808
<i>CI HG13</i>	1.103	3.593	2.642

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.
- * Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°5.10. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°1

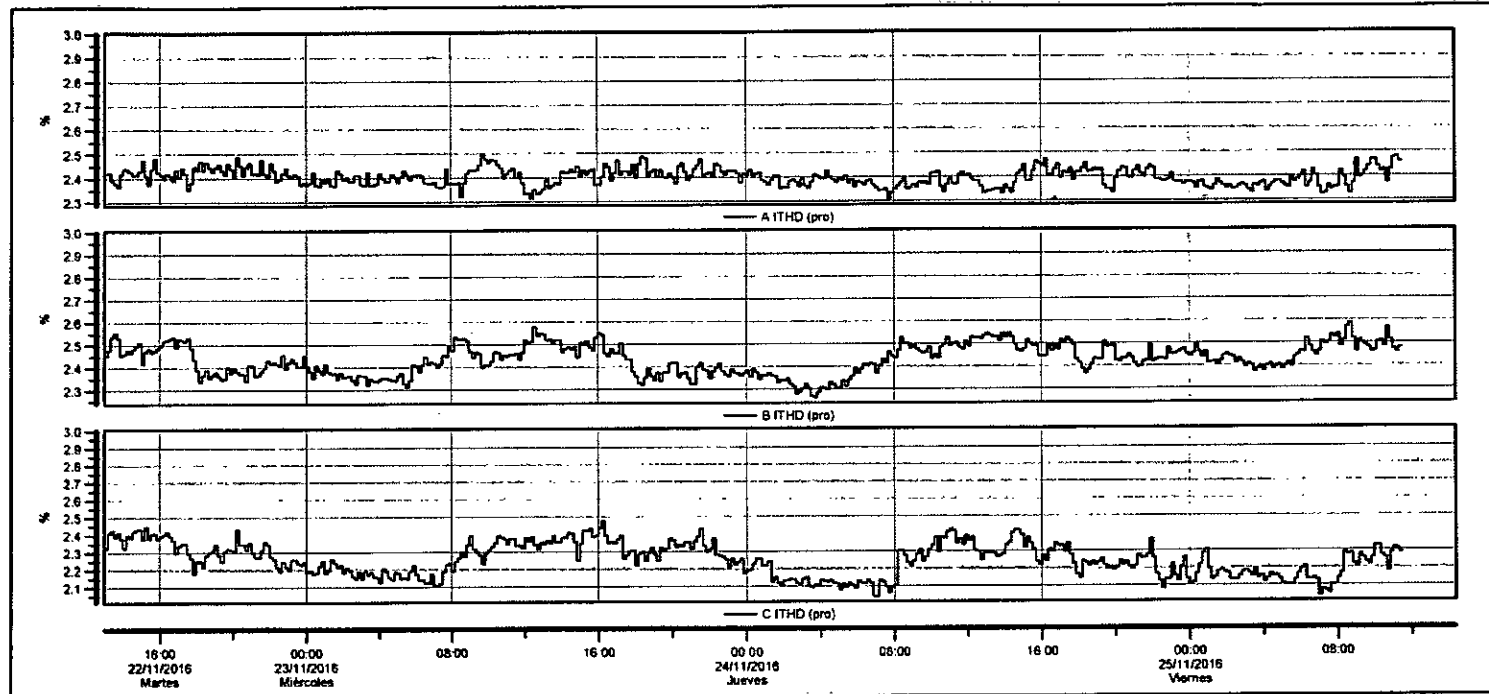


TABLA N°5.10. REPORTE DE THD DE CORRIENTE- TR-01 S.E. N°1 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
AITHD	2.301	2.497	2.398
BITHD	2.262	2.586	2.432
CITHD	2.042	2.475	2.252

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

5.1.2. Subestación N°2.

Transformador TR1(Barra 0.23kV)

El reporte de los datos obtenidos en el registro de medición se ha elaborado a partir 29/11/2016 a las 12:40 horas hasta el 02/12/2016 a las 11:50 horas.

Se muestran las gráficas de las mediciones de los siguientes parámetros:

- Tensiones L-L por fase
- Corriente por fase
- Potencia Activa, Reactiva y Aparente
- Factor de potencia real
- Frecuencia
- Flicker.
- Armónicos de tensión.
- THD de tensión.
- Armónicos de corriente.
- THD de corriente.

FIGURA N°5.11. GRÁFICA DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°2

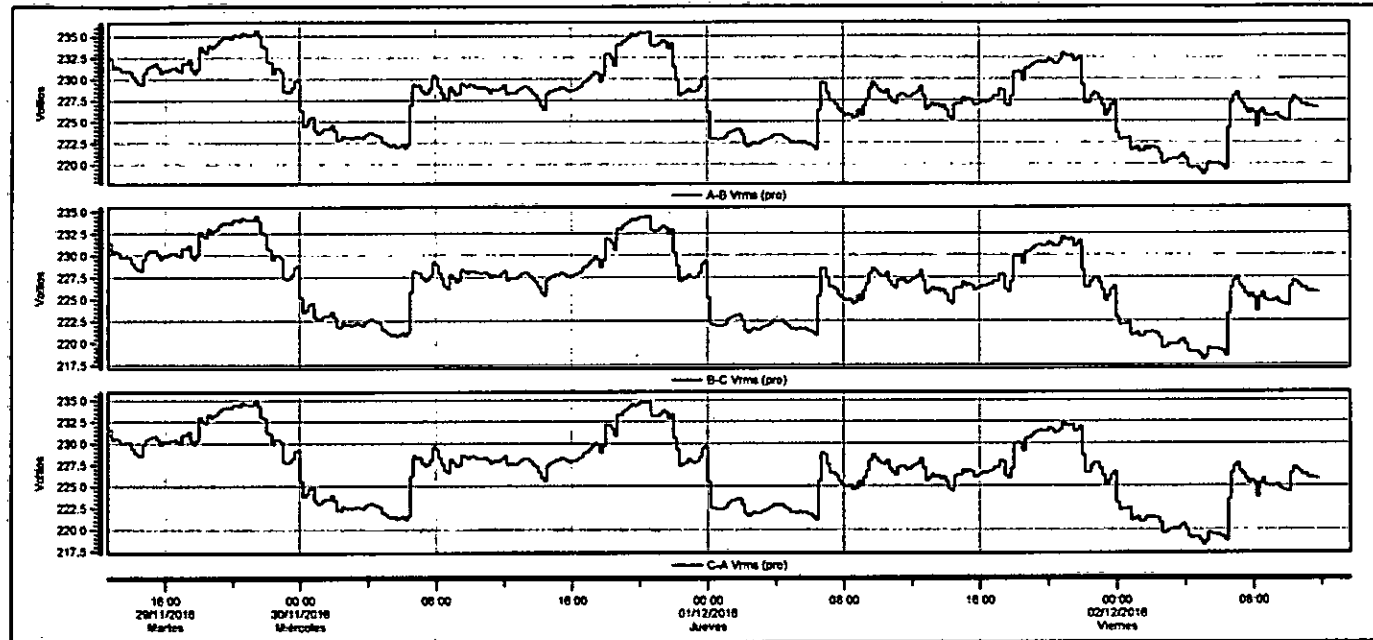


TABLA N°5.11. REPORTE DE TENSIONES – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVrms	218.7	235.7	227.6
B-CVrms	218.1	234.5	226.7
C-AVrms	218.2	235.0	226.9

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Según la NTCSE: Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta +/-5% de las tensiones nominales de tales puntos. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5% del periodo de medición. En tal sentido la tensión se encuentra dentro de los rangos establecidos.

FIGURA N°5.13. GRÁFICA DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2

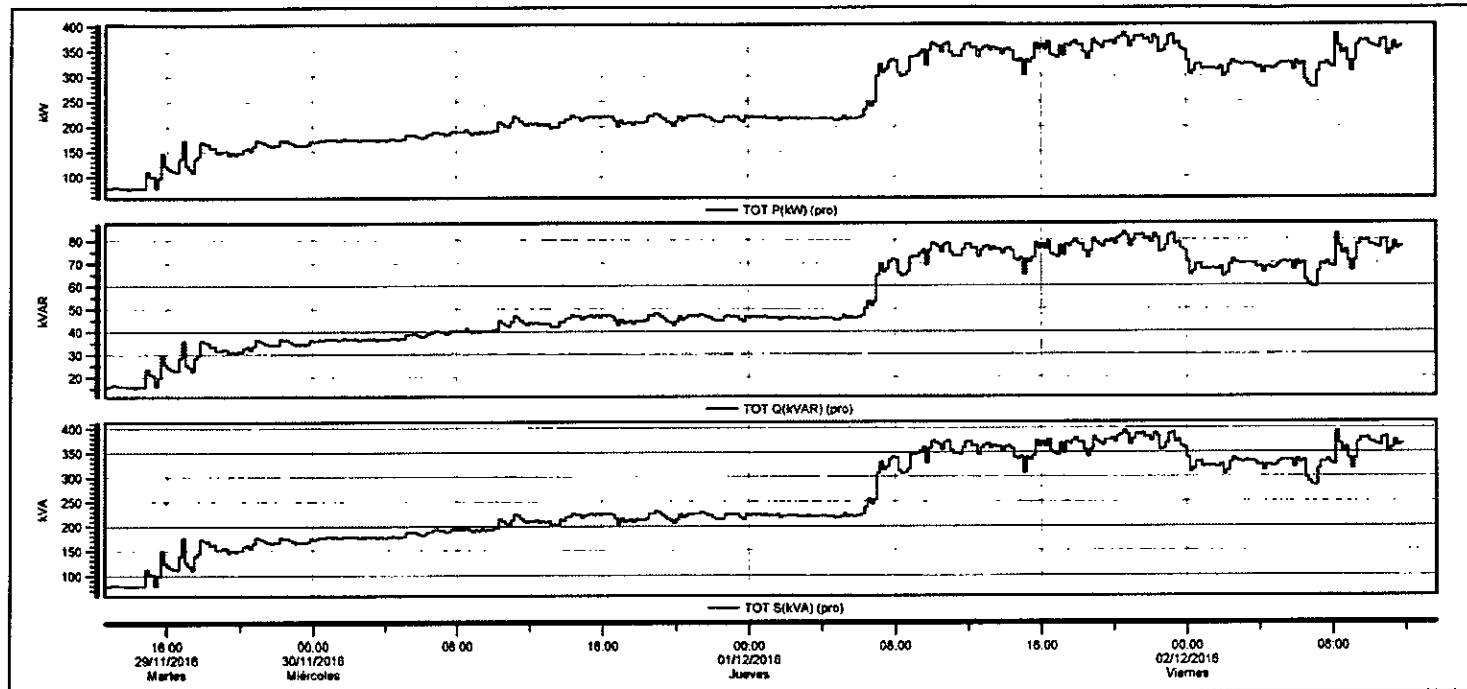


TABLA N°5.13. REPORTE DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	Min	Máx	Pro
TOTP(kW)	75.24	385.3	246.9
TOTQ(kVAR)	15.33	83.55	52.84
TOTS(kVA)	76.80	394.2	252.5

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.14. GRÁFICA DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2

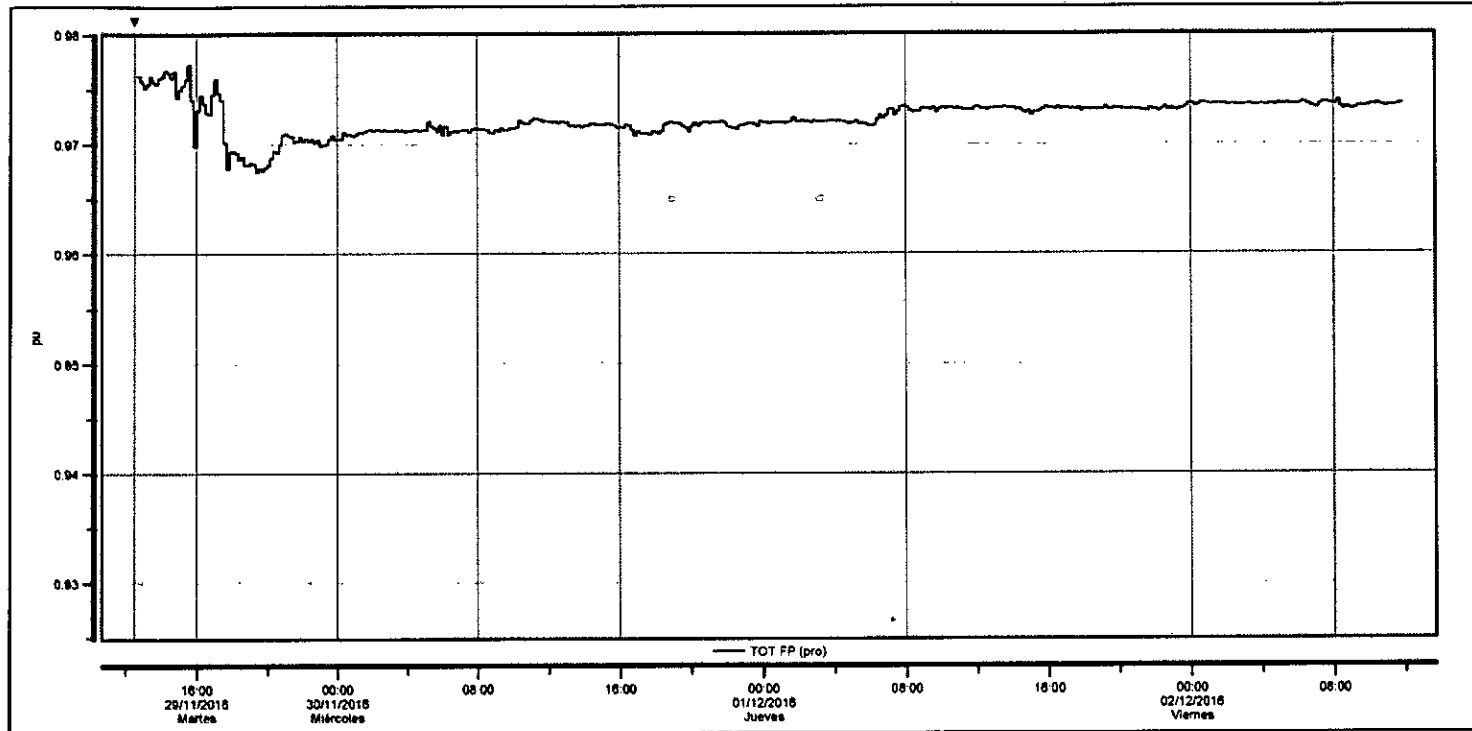


TABLA N°5.14. REPORTE DEL FACTOR DE POTENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFP	0.9674	0.9772	0.9723

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.
- * El factor de potencia se encuentra por encima de lo recomendado en la norma.

FIGURA N°5.15. GRÁFICA DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°2

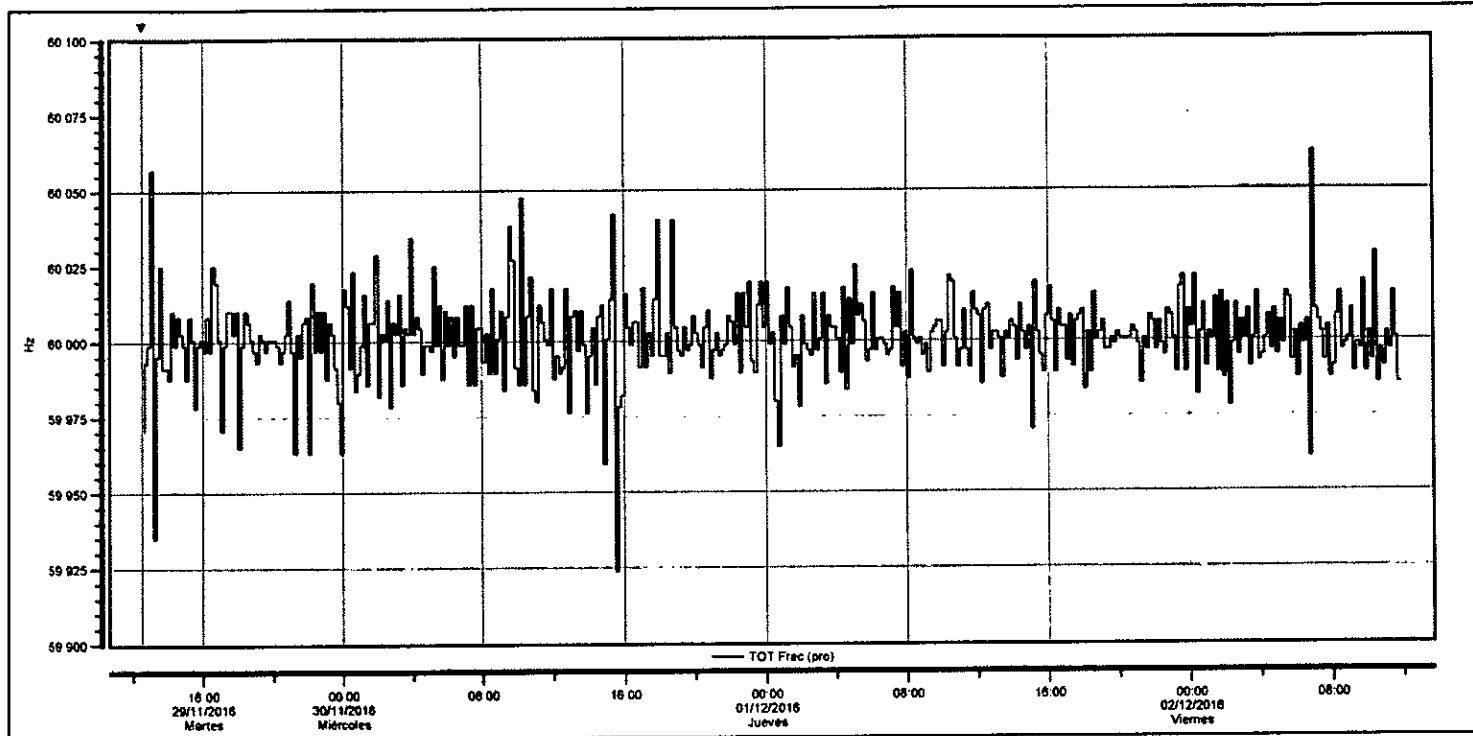


TABLA N°5.15. REPORTE DE FRECUENCIA – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
TOTFrec	59.92	60.06	60.00

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.16. GRÁFICA DE FLICKER – TR-01 S.E. N°2

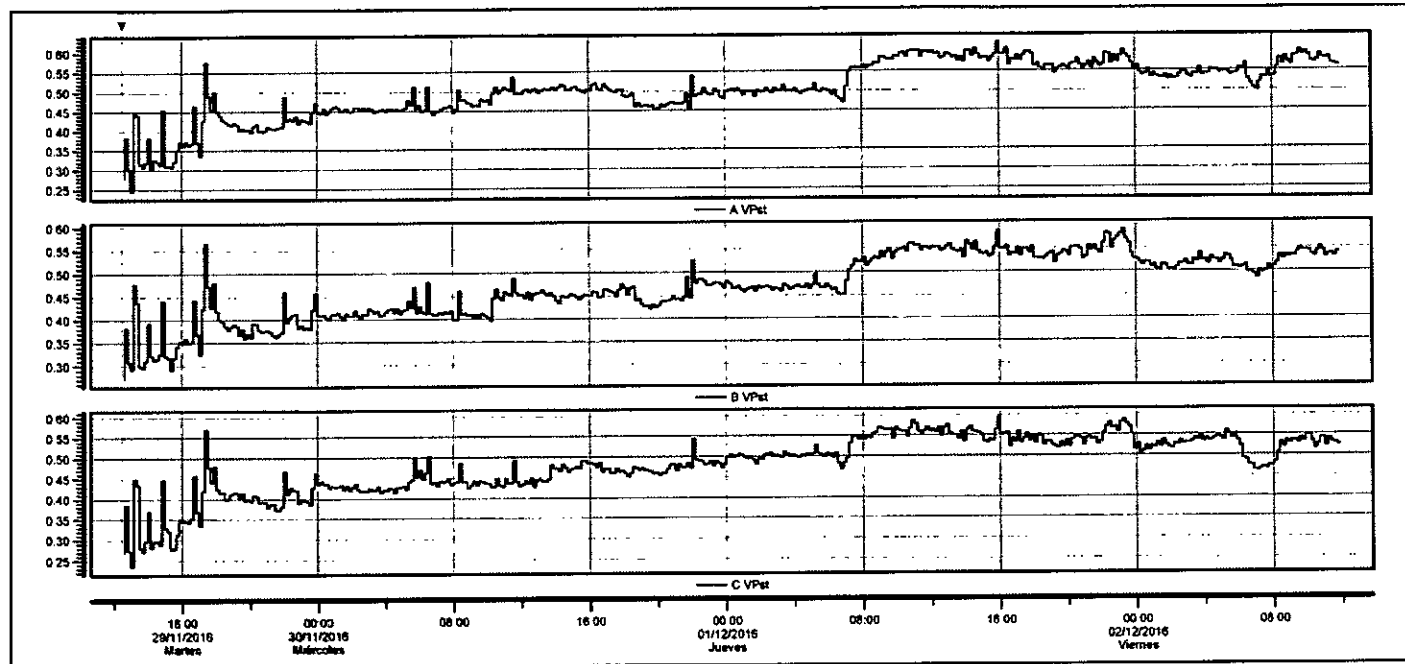


TABLA N°5.16. REPORTE DE FLICKER – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
<i>AVPst</i>	0.2451	0.6219	0.5020
<i>BVPst</i>	0.2722	0.5901	0.4693
<i>CVPst</i>	0.2353	0.5948	0.4806

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

FIGURA N°5.17. GRÁFICA DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°2

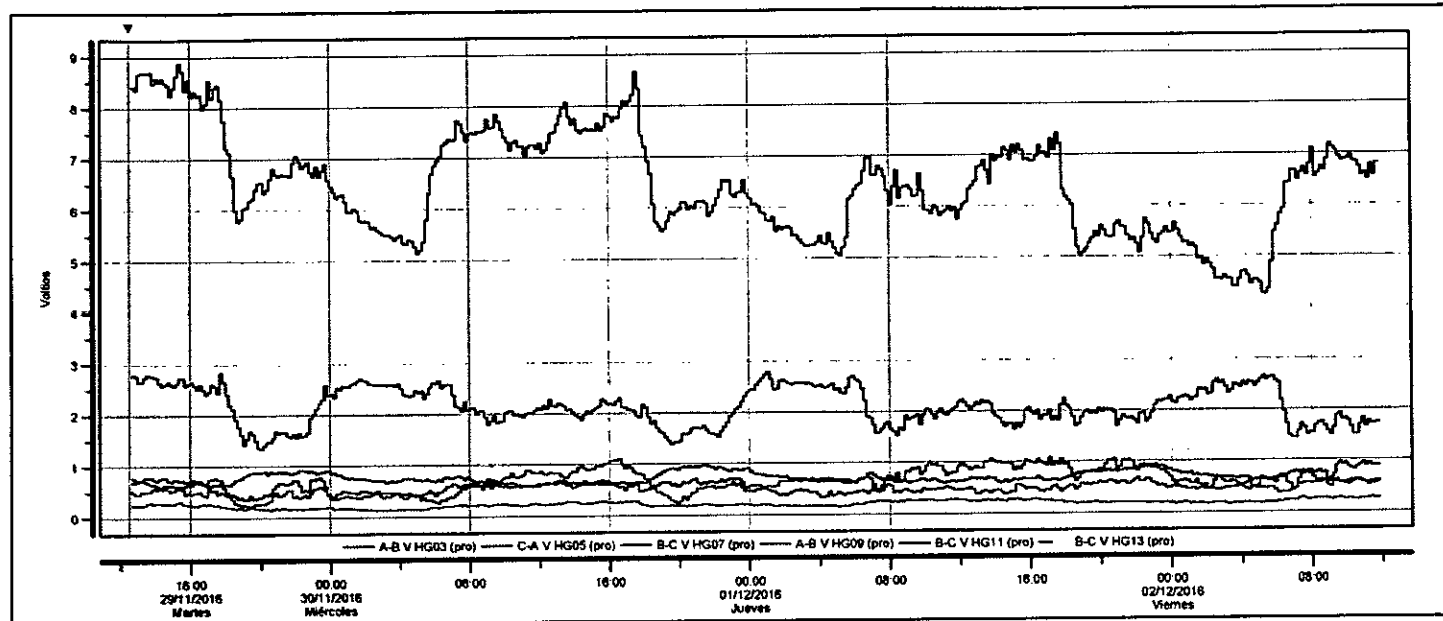


TABLA N°5.17. REPORTE DE ARMONICOS DE TENSION – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BV HG03	0.5227	0.9737	0.7136
C-AV HG05	4.257	8.880	6.457
B-CV HG07	1.333	2.819	2.115
A-BV HG09	0.1296	0.3084	0.2068
B-CV HG11	0.2687	1.107	0.6805
B-CV HG13	0.1924	0.7192	0.5191

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.
- * Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°5.18. GRÁFICA DE THD DE TENSION – TR-01 S.E. N°1

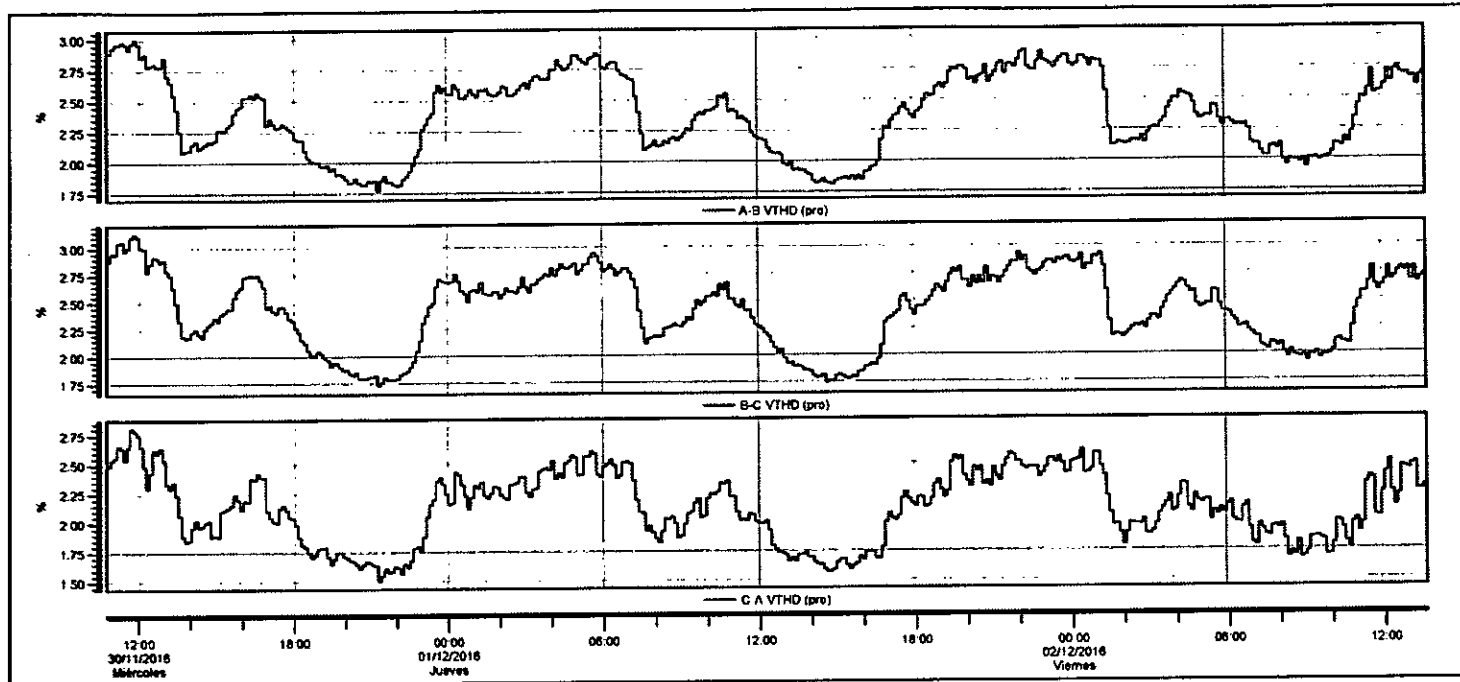


TABLA N°5.18. REPORTE DE THD DE TENSION– TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
A-BVTHD	1.770	3.002	2.375
B-CVTHD	1.732	3.132	2.419
C-AVTHD	1.512	2.806	2.113

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

- * Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.
- * Los resultados se encuentran dentro del límite establecido por la NTCSE (8%)

FIGURA N°5.19. GRÁFICA DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2

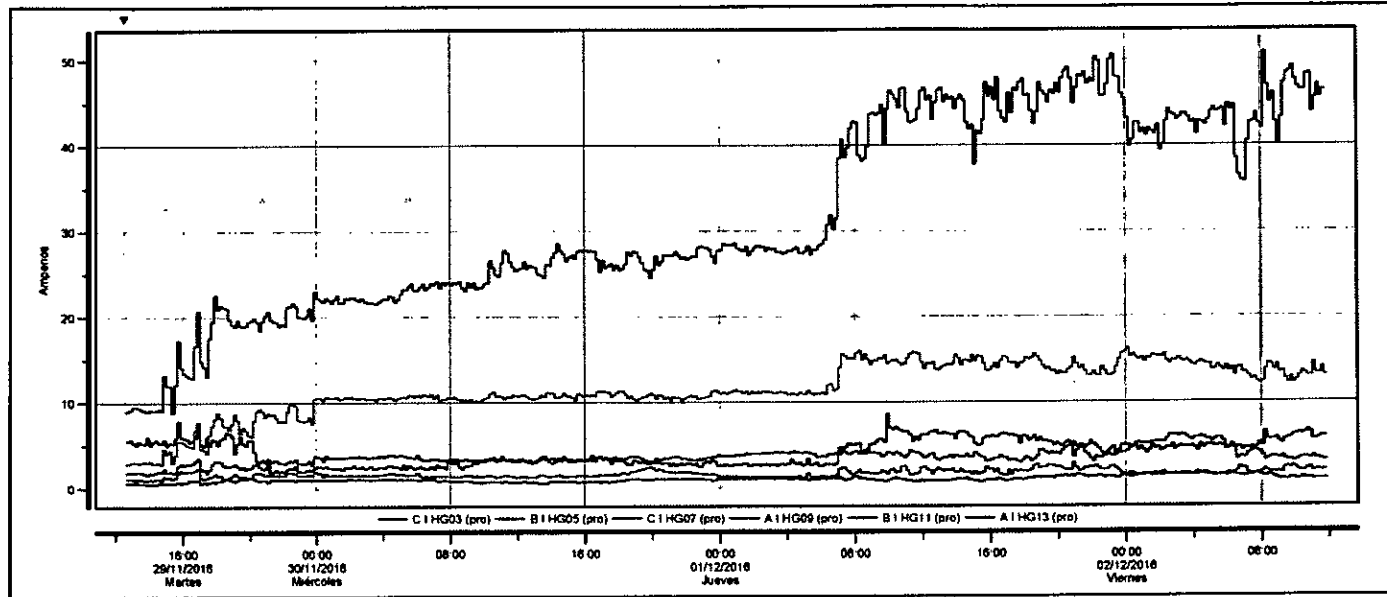


TABLA N°5.19. REPORTE DE ARMONICOS DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
CI HG03	1.779	8.553	4.069
BI HG05	8.813	50.88	31.72
CI HG07	2.764	16.21	11.43
AI HG09	0.4594	1.570	0.9474
BI HG11	1.587	6.111	3.605
AI HG13	0.9093	2.879	1.631

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

* Se grafican los armónicos de las fases más predominantes.

FIGURA N°5.20. GRÁFICA DE THD DE CORRIENTE – TR-01 S.E. N°2

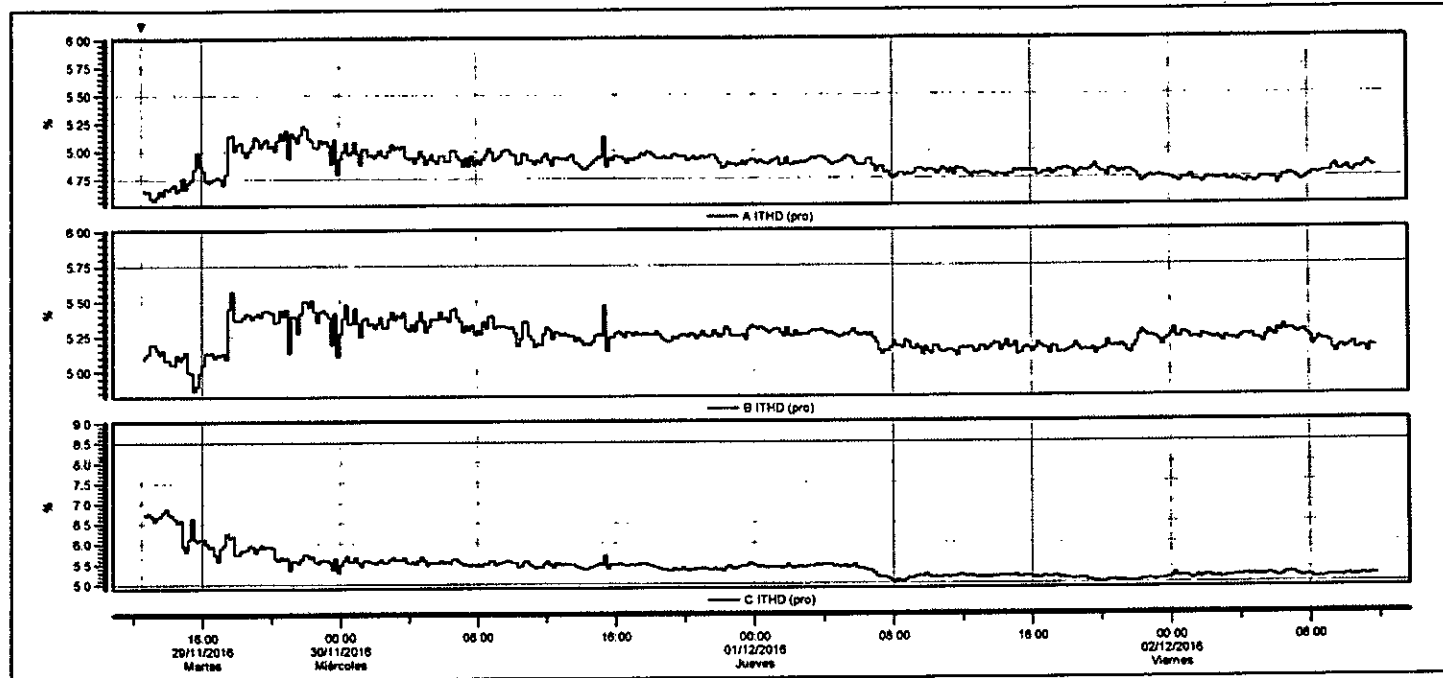


TABLA N°5.20. REPORTE DE THD DE CORRIENTE– TR-01 S.E. N°2 – IMPLEMENTADA LA SOLUCION

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Pro</i>
AITHD	4.556	5.222	4.863
BITHD	4.863	5.569	5.242
CITHD	5.011	6.870	5.412

Fuente: Elaboración propia realizada con el software de análisis de calidad de energía Dran-View 6.0.

* Las mediciones corresponden a los días de operación normal de la planta con la solución implementada.

5.2. Resumen de los resultados obtenidos de las mediciones con la solución implementada.

Los resultados obtenidos de las mediciones se presentan en la siguiente tabla N° 5.21.

TABLA N°5.21. RESUMEN DE VALORES MEDIDOS CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA – S.E. N°1 Y S.E. N°2

S.E.	U	I _L	P	Q	S	FP	F	Flick
	kV	A	kW	kVAR	kVA	p.u.	Hz	Pst
S.E. N°1	0.226	787.6	301.2	60.4	307.2	0.9774	60	0.27
S.E. N°2	0.227	644.93	246.9	52.8	252.5	0.9723	60	0.48

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Límites según normativa emitida por OSINERGMIN.

Se definieron los límites basados en la "Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos" (NTCSE) y la norma "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final", los cuales son aplicados para los valores medidos de tensión y factor de potencia.

TABLA N°5.22. VALORES DE MEDICION CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA COMPARADOS CON LOS LIMITES PERMITIDOS

Subestación	U _N	ΔV	Límite ΔV^*	FP	Límite FP**
	kV	%	%	p.u.	p.u.
S.E. N°1	0.23	1.73	5	0.9774	>0.957
S.E. N°2	0.23	1.30	5	0.9723	>0.957

Fuente: Elaboración propia

* Se definió el límite para el porcentaje de variación de tensión según el numeral 5.1.2. de la "Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos".

** Se definió el límite para el factor de potencia en la ecuación 2.50 basado en el Artículo 16° de la norma "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final".

No se consideró el límite de Δf y de Flicker (<1 Pst) debido a que la frecuencia no tiene variación alguna.

5.2.2. Límites según estándar internacional IEEE 519-2014.

Se definieron los límites basados en el estándar internacional IEEE 519-2014, los cuales definen los valores máximos permisibles para la distorsión armónica total y los armónicos individuales en tensión y corriente.

a. Límites de armónicos en tensión.

Se definieron los límites armónicos de tensión según la tabla 4.26 citada anteriormente en la página 84.

b. Límites de armónicos en corriente.

El procedimiento para definir los límites armónicos en corriente está basado en la relación de la corriente de cortocircuito (I_{cc}) y la corriente de carga (I_L) del punto donde se realizó la medición.

- Subestación N°1.

La corriente de cortocircuito es 36.3kA según la tabla 4.2 y la corriente de carga promedio es 787.6A según tabla N° 5.2. El cociente de esta relación es 46, por lo que los límites quedan definidos en la segunda fila de la tabla N° 4.27.

- Subestación N°2.

La corriente de cortocircuito es 36.3kA según la tabla 4.3 y la corriente de carga promedio es 644.9A según la tabla 5.12. El cociente de esta relación es 56.28, por lo que los límites quedan definidos también en la tercera fila de la tabla N° 4.27.

TABLA N°5.23. VALORES DE MEDICION DE ARMONICOS CON LA SOLUCION IMPLEMENTADA COMPARADOS CON LA IEEE 519

Subestación	U _N	THD	Vh / Ih	Medido	Límite IEEE519	
	kV			%	%	
S.E. N°1	0.23	THDv		3.65	8	
			Vh3	0.33	5	
			Vh5	3.50	5	
			Vh7	1.12	5	
			Vh9	0.07	5	
			Vh11	0.23	5	
			Vh13	0.16	5	
			THDi		2.43	8
			Ih3	0.38	7	
			Ih5	2.16	7	
			Ih7	0.77	7	
			Ih9	0.09	7	
			Ih11	0.60	3.5	
	Ih13	0.33	3.5			
S.E. N°2	0.23	THDv		2.30	8	
			Vh3	0.31	5	
			Vh5	2.83	5	
			Vh7	0.93	5	
			Vh9	0.09	5	
			Vh11	0.30	5	
			Vh13	0.23	5	
			THDi		4.81	12
			Ih3	0.62	10	
			Ih5	4.89	10	
			Ih7	1.77	10	
			Ih9	0.15	10	
			Ih11	0.56	4.5	
	Ih13	0.27	4.5			

Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultados de analizar la rentabilidad de la solución.

5.3.1. Objetivo.

Identificar posibilidades de ahorro energético por el pago de consumo excesivo de energía reactiva con la implementación de filtros activos.

5.3.2. Datos del cliente.

a. Identificación y ubicación

Clorox S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos de limpieza. La planta visitada se encuentra en la Jr. Las Maquinarias 282 en el cercado de Lima.

b. Suministro eléctrico

La empresa Clorox Perú S.A. cuenta con dos suministros eléctricos los cuales se describen a continuación.

TABLA N°5.24. DATOS DE SUMINISTRO – S.E. N°1

Empresa Concesionaria	Edelnor S.A.A.	Tipo de Cliente	Regulado
Opción Tarifaria	MT3	N° Suministro	0737703
Nivel de Tensión	10 kV	Potencia Contratada	500 kW

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°5.25. DATOS DE SUMINISTRO – S.E. N°2

Empresa Concesionaria	Edelnor S.A.A.	Tipo de Cliente	Regulado
Opción Tarifaria	MT3	N° Suministro	2262665
Nivel de Tensión	10 kV	Potencia Contratada	500 kW

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Importes facturados según horas de trabajo.

- HP: Horas punta
- HFP: Horas fuera de punta

a. Importes facturados suministro N°0709983

TABLA N°5.26. IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO
N°0709983 – S.E. N°1

MES / CARGOS		COSTO DE ENERGÍA EN HP	COSTO DE ENERGÍA EN HFP	COSTO DE EXCESO DE REACTIVOS	COSTO POR POTENCIA	COSTOS DE CARGOS ADICIONALES Y OTROS	COSTO TOTAL
nov-15	S/.	S/ 10 268.95	S/ 33 321.83	S/ 4 640.32	S/ 27 148.31	S/ 3 668.27	S/ 79 047.68
	% total	12.99%	42.15%	5.87%	34.34%	4.64%	100.00%
dic-15	S/.	S/ 8 167.37	S/ 29 356.57	S/ 4 722.51	S/ 27 145.12	S/ 2 753.52	S/ 72 145.09
	% total	10.33%	37.14%	5.97%	34.34%	3.48%	100.00%
ene-16	S/.	S/ 8 782.89	S/ 31 132.13	S/ 4 793.71	S/ 28 544.92	S/ 2 885.61	S/ 76 139.26
	% total	11.11%	39.38%	6.06%	36.11%	3.65%	100.00%

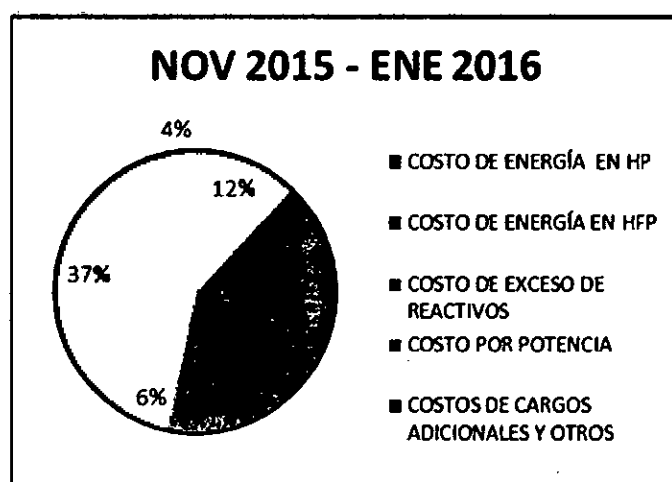
Fuente: Elaboración propia

**TABLA N°5.27. TOTAL DE IMPORTES FACTURADOS DE
SUMINISTRO N°0709983 – S.E. N°1**

TOTAL NOV 2015 - ENE 2016	COSTOS TOTALES	PORCENTAJES
COSTO DE ENERGÍA EN HP	S/. 27 219.21	11.97%
COSTO DE ENERGÍA EN HFP	S/. 93 810.53	41.26%
COSTO DE EXCESO DE REACTIVOS	S/. 14 156.54	6.22%
COSTO POR POTENCIA	S/. 82 838.35	36.43%
COSTOS DE CARGOS ADICIONALES Y OTROS	S/. 9 307.40	4.09%
COSTO TOTAL	S/. 227 332.03	100.00%

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N°5.21. PORCENTAJES DE COSTOS DE ENERGÍA
SUMINISTRO N°0709983 – S.E. N°1**



Fuente: Elaboración propia

b. Importes facturados suministro N°2262665

**TABLA N°5.28. IMPORTES FACTURADOS DE SUMINISTRO
N°2262665 – S.E. N°2**

MES / CARGOS		COSTO DE ENERGÍA EN HP	COSTO DE ENERGÍA EN HFP	COSTO DE EXCESO DE REACTIVOS	COSTO POR POTENCIA	COSTOS DE CARGOS ADICIONALES Y OTROS	COSTO TOTAL
nov-15	S/.	S/. 7 089.89	S/. 23 248.32	S/. 1 072.38	S/. 21 131.43	S/. 2 669.13	S/. 55 211.16
	% total	12.84%	42.11%	1.94%	38.27%	4.83%	100.00%
dic-15	S/.	S/. 6 076.20	S/. 20 527.53	S/. 1 014.30	S/. 20 850.29	S/. 2 348.63	S/. 50 816.96
	% total	11.96%	40.40%	2.00%	41.03%	4.62%	100.00%
ene-16	S/.	S/. 5 800.07	S/. 20 449.49	S/. 994.28	S/. 21 628.66	S/. 2 366.88	S/. 51 239.38
	% total	11.32%	39.91%	1.94%	42.21%	4.62%	100.00%

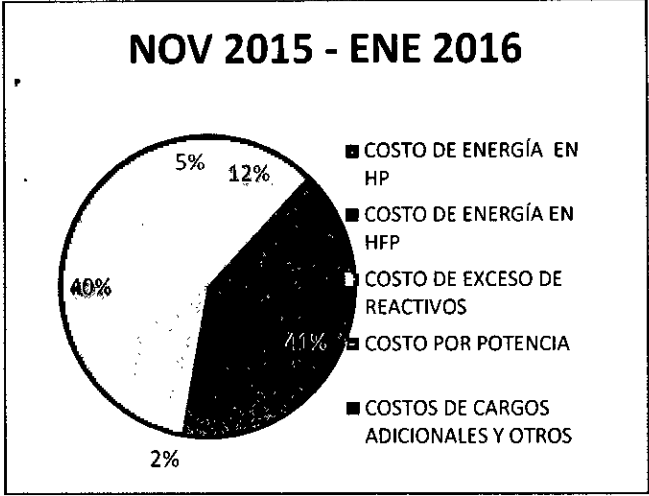
Fuente: Elaboración propia

**TABLA N°5.29. TOTAL DE IMPORTES FACTURADOS DE
SUMINISTRO N°2262665 – S.E. N°2**

TOTAL NOV 2015 - ENE 2016	COSTOS TOTALES	PORCENTAJES
COSTO DE ENERGÍA EN HP	S/. 18 966.15	12.06%
COSTO DE ENERGÍA EN HFP	S/. 64 225.35	40.84%
COSTO DE EXCESO DE REACTIVOS	S/. 3 080.97	1.96%
COSTO POR POTENCIA	S/. 63 610.38	40.45%
COSTOS DE CARGOS ADICIONALES Y OTROS	S/. 7 384.65	4.70%
COSTO TOTAL	S/. 157 267.49	100.00%

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.22. PORCENTAJES DE COSTOS DE ENERGÍA
SUMINISTRO N°2262665 – S.E. N°2



Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Pagos por exceso en el consumo de energía reactiva.

a. Suministro N°0709983

El costo promedio mensual de los pagos por exceso de energía reactiva es S/. 4 466.45.

En la tabla 5.30 se muestra los costos por exceso de energía reactiva. Esto se da debido a que en el consumo mes a mes la energía reactiva que consume la planta supera el 30% de la energía activa total. Dicho esto, lo que se busca es eliminar este pago mensual, que en suma hace más 40 mil soles anuales, con la implementación de una solución de compensación reactiva.

TABLA N°5.30. COSTOS POR EXCESO DE POTENCIA REACTIVA –S.E. N°1.

	nov-15	dic-15	ene-16
kWh ENERGIA	203,880.00	177,110.00	183,230.00
kVARh	155,694.58	147,079.66	148,144.87
COSTO REACTIVOS	S/.4,640.32	S/.4,722.51	S/. 4,793.71

Fuente: Elaboración propia

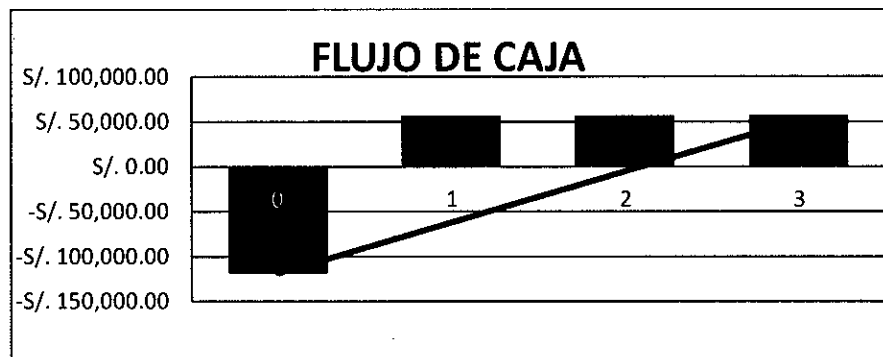
Según el estudio realizado se recomendó 2 filtros activos de 300 A que aproximadamente tienen un valor S/. 118,800 mil soles. Ahora, veamos en cuanto tiempo se recuperaría esta inversión, considerando que en promedio se ahorraría de pagar S/. 53 597 anuales.

TABLA N°5.31. FLUJO CAJA DE LA INVERSION – S.E. N°1.

Año	Impuestos	Flujo de caja
0	-S/. 118,800.00	\$ -118,800.00
1	56626.16	-62173.84
2	56626.16	-5547.68
3	56626.16	51078.48

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.23. FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION –
ESCALA ANUAL – S.E. N°1



Fuente: Elaboración propia

(Tiempo de recuperación = 118,800 mil soles / 53,597 mil soles x año)

(Tiempo de recuperación = 2.1 años)

b. Suministro N°2262665.

El costo promedio mensual de los pagos por exceso de energía reactiva es S/. 1 026.99.

En la tabla 5.32 se muestra los costos por exceso de energía reactiva. Esto se da debido a que en el consumo mes a mes la energía reactiva que consume la planta supera el 30% de la energía activa total. Dicho esto, lo que se busca es eliminar este pago mensual, que en suma hace más 12 mil soles anuales, con la implementación de una solución de compensación reactiva.

TABLA N°5.32. COSTOS POR EXCESO DE POTENCIA REACTIVA –S.E. N°2.

	nov-15	dic-15	ene-16
kWh ENERGIA	141,940.00	125,340.00	120,480.00
kVARh	64,380.00	57,780.00	55,470.00
COSTO REACTIVOS	S/.1,072.38	S/.1,014.30	S/.994.28

Fuente: Elaboración propia

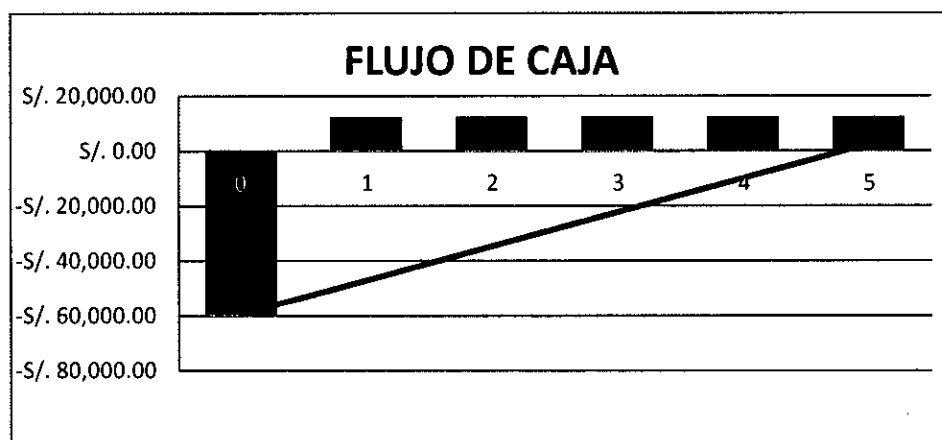
Según el estudio realizado se recomendó 1 filtro activo de 300 A que aproximadamente tienen un valor S/. 59,400 mil soles. Ahora, veamos en cuanto tiempo se recuperaría esta inversión, considerando que en promedio se ahorraría de pagar S/. 12 323.87 anuales.

TABLA N°5.33. FLUJO CAJA DE LA INVERSION – S.E. N°2.

Año	Impuestos	Flujo de caja
0	-S/. 59,400.00	\$ -59,400.00
1	12323.88	-47076.12
2	12323.88	-34752.24
3	12323.88	-22428.36
4	12323.88	-10104.48
5	12323.88	2219.40

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.24. FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION – ESCALA ANUAL – S.E. N°2



Fuente: Elaboración propia

(Tiempo de recuperación = 59,400 mil soles / 12,323 mil soles x año)

(Tiempo de recuperación = 4.8 años)

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza la contrastación de la hipótesis general y específicas formuladas en el capítulo 3 del presente documento, presentando cuadros comparativos que validan la solución implementada.

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.

Hipótesis general:

Implementando el sistema de compensación reactiva y filtrada de armónicos se mitigarán los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de Clorox.

En la tabla N° 6.1 y la tabla N° 6.2 se muestran los parámetros relacionados a los problemas de calidad de energía. Se puede apreciar que dichos parámetros se ven reducidos gracias a la implementación de la solución de compensación reactiva y filtrada de armónicos.

Cabe mencionar que los niveles alcanzados con la solución implementada son valores que se encuentran muy por debajo de los límites permisibles en las normas citadas previamente (NTCSE y IEEE519).

TABLA N°6.1. CUADRO COMPARATIVO DE PARAMETROS CON Y SIN LA SOLUCION – S.E. N°1.

SUBESTACIÓN N°1		SIN SOLUCION	CON SOLUCION
Variación en tensión	ΔV (%)	3.04	1.73
Corriente promedio	I_{RMS} (A)	1006.5	787.6
Factor de potencia total	FP (p.u.)	0.92	0.977
THD en tensión	%	4.27	3.65
THD en corriente	%	6.69	2.43

Fuente: Elaboración propia

TABLA N°6.2. CUADRO COMPARATIVO DE PARAMETROS CON Y SIN LA SOLUCION – S.E. N°2.

SUBESTACIÓN N°2		SIN SOLUCION	CON SOLUCION
Variación en tensión	ΔV %	2.17	1.30
Corriente promedio	I_{RMS} (A)	759.23	644.9
Factor de potencia total	FP (p.u.)	0.90	0.972
THD en tensión	%	2.40	2.30
THD en corriente	%	11.04	4.81

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis específica 1:

Realizando un estudio de calidad de energía eléctrica se evaluará el estado en que se encuentra el sistema eléctrico.

En la presente tesis se logró demostrar que a través de un estudio de calidad de energía se puede evaluar el estado del sistema eléctrico, es decir se pudo identificar los parámetros de calidad de energía gracias a las mediciones realizadas; luego las normas nacionales e internacionales nos ayudaron a evaluar el grado de calidad de energía

comparando estos valores medidos con los valores permisibles descritos en dichas normas. Véase las tablas 4.25, 4.28 (sin la solución) y 5.22, 5.23 (con la solución implementada).

Hipótesis específica 2:

Implementando un sistema de control se mejorará el factor de potencia en el sistema eléctrico.

Ciertamente se mejoró el factor de potencia total de todo el sistema gracias a la implementación de la solución. Véase las figuras 4.9, 4.19(sin la solución) y 5.4, 5.14(con la solución implementada). Adicionalmente a esto, el incremento en el factor de potencia conllevó a la compañía a reducir el costo por exceso de potencia reactiva, reduciendo significativamente la factura eléctrica.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

- La implementación del sistema de compensación reactiva y filtrada de armónicos incidió positivamente en el sistema eléctrico, dado que se logró mitigar los problemas de calidad de energía que estaban presentes en el sistema eléctrico de Clorox. La figura 4.15 y la figura 4.25 muestra el nivel de distorsión que se tenía antes de implementar la solución, estos valores estaban, en el caso de la subestación N°1, cercano al límite permisible, y en la subestación N°2, se encontraba fuera del límite permisible según las normas internacionales. Véase la tabla 4.28. Una vez implementada la solución, este indicador de calidad de energía se redujo en 64% en la subestación N°1 (véase la figura 5.10), y en 56% en la subestación N°2 (véase la figura 5.20).

- Con la realización del estudio de calidad de energía se logró diagnosticar el estado del sistema eléctrico de Clorox antes y después de implementar la solución, a través de la instalación de analizadores de redes se identificó parámetros reales de calidad de energía, los cuales fueron comparados con los estándares internacionales para definir si estos se encuentran dentro de los límites permisibles. Los resultados del estudio antes y después de implementar la solución se muestran en las tablas 4.25, 4.28, 5.22 y 5.23 respectivamente.

- Se mejoró el factor de potencia en el sistema eléctrico al implementar la solución de compensación reactiva y filtrada de armónicos. En la tabla 6.1 y la tabla 6.2 se muestra el nivel obtenido al implementar la solución, un factor de potencia de 0.977 en las dos subestaciones. En dichas tablas se

puede observar también un ahorro en la corriente eficaz, teniendo así, una reducción de 21% y 15% en la subestación N°1 y N°2 respectivamente. Cabe mencionar que la implementación de la solución tiene un impacto positivo en el perfil de tensión, debido que se redujo la variación porcentual de tensión y ahora se encuentra en un nivel muy por debajo del límite permisible en la NTCSE.

- La solución implementada es viable en el tiempo. En el numeral 5.3 se muestra al análisis de rentabilidad realizado al proyecto, en el cual se indican los costos y/o impuestos que se percibe en una tarifa eléctrica, uno de estos costos es una penalidad que se paga cuando se excede en el consumo de potencia reactiva (véase la tabla 5.30 y 5.32); la solución implementada busca minimizar este exceso de consumo, y por consiguiente eliminar esta penalidad. Realizado el análisis se obtiene que el tiempo de recuperación de la inversión es 2.1 años y 4.8 años para la solución implementada en la subestación N°1 y N°2 respectivamente. (véase la figura 5.23 y 5.24).

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

- En los años 80 no había conocimiento profundo a cerca de los conceptos de calidad de energía, fue con la aparición de la electrónica de potencia que se dio a notar los problemas que causaban estas nuevas tecnologías. Por ello, en la realización de esta tesis se recomienda al lector que continúe promoviendo los temas de calidad de energía, así como las nuevas tecnologías que existen hoy en día frente a estos problemas.

- Hoy en día las plantas industriales, fabricas entre otras empresas se encuentran en un constante crecimiento, esto es debido a incremento día a día de la demanda de sus productos en el mercado. Dado esto las empresas tienen la necesidad de conseguir más maquinaria, nuevos equipos, nuevos locales, lo que conlleva a ampliaciones de planta, compra de equipos con tecnología más avanzada, y esto puede conllevar a cambios drásticos en el estado del sistema eléctrico, viéndose afectado por problemas de calidad de energía. Dicho esto, es recomendable realizar mediciones periódicas con equipos analizadores de redes y tener un registro semestral o anual que ayuden a prevenir fallos en el sistema.

- Otro aspecto importante va dirigido a los futuros investigadores, en caso de realizar un estudio de calidad más adelante, es recomendable que se tenga en cuenta un modelamiento en software del sistema eléctrico, para ello se debe contar con datos específicos de las demás cargas aguas abajo del transformador que componen el sistema eléctrico. Esto ayudaría a simular el comportamiento del sistema frente a la instalación de una nueva carga o implementación de una nueva solución.

CAPITULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE 1100 Std 2005. **Powering and Grounding Electronic Equipment.**
- [2] IEC 61000-4-7. **Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques.** General guide on harmonics and interarmónicos measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto. Segunda Edición. 2002.
- [3] BARCON, Santiago y otros. **Calidad de la Energía, factor de potencia y filtrado de armónicas.** México. Editorial Mc Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V. 2011.
- [4] Proyecto de Norma **“Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final”.** Resolución de Consejo Directivo Osinergmin N°206-2013-OS/CD. Primera Edición. 2013.
- [5] ABB T&D Systems. Unidad de formación. **Armónicos en Sistemas de Potencia.** 2009.
- [6] COLLOMBET, Christian y otros. **Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento,** en Cuaderno Técnico n°152 - Schneider Electric. Vol1: 6 a 14. Abril 2003.
- [7] ROSALES PADILLA, Oscar. **Estudio de frecuencias.** Tesis para maestría. Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. 1995.

[8] FORNIELES, Francesc. **Armónicos: Efecto, diagnóstico y soluciones.**

Disponible en:

http://www.jcee.upc.edu/JCEE2009/pdf_ponencias/PDFs/Fornieles_17_11_09_M.pdf.

Artículo web. Consultada el 30 de enero del 2017.

[9] DRANETZ TECHNOLOGIES INC. **The Dranetz Field Book for Power Quality Analysis**, Dranetz-BMI. 1991.

[10] NTCSE. **Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos**. Decreto Supremo N°020-97-EM. Primera Edición. 2010.

[11] IEEE 519. **“Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems”**. Segunda Edición. 2014.

[12] SCHNEIDER ELECTRIC. **Caso de Estudio**, en AccuSine® Filtro activo de armónicos. Vol.1: 9:11. Abril 2009.

[13] SCHNEIDER ELECTRIC. **Filtro activo de armónicos AccuSine™ PCS+ Control de VAR electrónico AccuSine™ PFV+**. Manual de instalación. 2015.

[14] GRADOS GAMARRA, Juan H. **Curso Tesis II**. Cuaderno de apuntes. Callao. Universidad Nacional del Callao. 2013.

[15] HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto y otros. **Metodología de la Investigación**. México. Editorial Mc Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V. 2011. Cuarta Edición. 2006.

Matriz de Consistencia

TÍTULO DEL PROYECTO: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS EN LAS S.E. N°1 y 2 DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE "CLOROX" PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA"				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo mitigar los problemas de calidad de energía presentes en el sistema eléctrico de Clorox?</p> <p>Problema específico 1:</p> <p>¿En qué grado se ve afectado el sistema eléctrico por la mala calidad de energía eléctrica?</p> <p>Problema específico 2:</p> <p>¿Cómo mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Implementar un sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos que mitigue los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de Clorox.</p> <p>Objetivo específico 1:</p> <p>Diagnosticar el estado del sistema eléctrico a través de un estudio de calidad de energía.</p> <p>Objetivo específico 2:</p> <p>Implementar un control para mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>Implementando el sistema de compensación reactiva y filtrada de armónicos se mitigarán los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de Clorox.</p> <p>Hipótesis específica 1:</p> <p>Realizando un estudio de calidad de energía eléctrica se evaluará el estado en que se encuentra el sistema eléctrico.</p> <p>Hipótesis específica 2:</p> <p>Implementando un sistema de control se mejorará el factor de potencia en el sistema eléctrico.</p>	<p>Variable: X</p> <p>-Grado de contaminación armónica del sistema eléctrico.</p> <p>Variable: Y</p> <p>Dimensionamiento o implementación de las soluciones contra los armónicos.</p> <p>Correcto funcionamiento del sistema eléctrico.</p>	<p>Método General:</p> <p>A través de este método conoceremos los posibles fenómenos causados por las armónicas y cómo actuar frente a ellas</p> <p>Método Específico:</p> <p>Se aplicarán los métodos de investigación:</p> <p>Investigación Descriptiva</p>