

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD DEL  
SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
ALTIPLANO, UTILIZANDO UN ANALIZADOR DE REDES - 2016”**

**PRESENTADO POR:**

**JULIO CARLOS MACHACA VILCA**

**ABELL ALEXIS COILA DELGADO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

*Universidad Nacional del Altiplano*

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

“ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO  
ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, UTILIZANDO UN  
ANALIZADOR DE REDES - 2016”

**TESIS PRESENTADA POR:**

JULIO CARLOS MACHACA VILCA

ABELL ALEXIS COILA DELGADO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:   
\_\_\_\_\_

Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ

PRIMER MIEMBRO

:   
\_\_\_\_\_

M.Sc. Ing. JOSÉ MANUEL RAMOS CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO

:   
\_\_\_\_\_

Mg. Ing. LEONIDAS VILCA CALLATA

DIRECTOR DE TESIS

:   
\_\_\_\_\_

M.Sc. Ing. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

Puno – Perú

2017

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN.

**DEDICATORIA:**

*A mi madre, Vicentina Vilca Aguilar por su motivación y persistir en su apoyo incondicional, por las alegrías del día a día junto a ella, por su esfuerzo rotundo que puso al confiar en mí, por enseñarme a perseverar en todo momento, por inculcarme buenos valores como la humildad y respeto, por todo el cariño y amor que siempre me brindo en los momentos más difíciles de cada etapa de mi vida.*

*Gracias madre por apoyarme siempre hasta alcanzar mis metas, en mi Formación Profesional y haber llegado a este día, que Dios te bendiga.*

*A mi Familia, a la persona especial que me acompaña y a todas aquellos amigos y amigas que han colaborados y brindado su apoyo incondicional en mi formación académica profesional, por haber cumplido una de mis metas y poder ser grande profesional de éxito.*

*Julio Carlos, MACHACA VILCA.*

**AGRADECIMIENTO:**

*A “Dios”, por brindarme la oportunidad de vivir, darme la fuerza espiritual para poder continuar y por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.*

*Agradezco a la UNA- PUNO por cobijarnos en sus claustros universitarios y por darme la oportunidad de formarme tanto profesionalmente y como persona.*

*A nuestros docentes de la UNA, quienes nos brindaron parte de sus conocimientos, por los valores inculcados en el trajinar de los años y por sembrar actitud, aptitud y espíritu emprendedor, que ahora son parte de mis raíces.*

*A los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica por participar sembrando conocimiento en nosotros, por brindarnos lo necesario para crecer profesionalmente.*

*Julio Carlos, MACHACA VILCA.*

**AGRADECIMIENTO:**

*A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.*

*A mi madre, Lilia Delgado Monzón, y a mi padre, Santiago Coila Salas, a ellos agradecerles por su motivación y persistir en su apoyo incondicional.*

*A mi familia y a mi pareja Marleny, personas que han colaborado y brindado su apoyo incondicional en mi formación académica, profesional para lograr una de mis metas.*

*Gracias a los Ingenieros de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a la Universidad Nacional del Altiplano por brindarme los conocimientos necesarios y para el desarrollo de mi persona.*

*Abell Alexis, COILA DELGADO*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA:.....	3
AGRADECIMIENTO: .....	4
AGRADECIMIENTO: .....	5
ÍNDICE DE CUADROS .....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	12
ÍNDICE DE FIGURAS .....	15
ÍNDICE DE TABLAS .....	16
ÍNDICE DE ANEXOS.....	17
RESUMEN.....	18
ABSTRACT .....	19
INTRODUCCIÓN.....	20
CAPÍTULO I.....	22
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. ....	23
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	23
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	23
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA. ....	24
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	24
1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	24
1.2.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....	24
1.3. OBJETIVOS .....	25
1.3.1. OBJETIVOS GENERALES .....	25
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
CAPÍTULO II.....	26
MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. ....	27
2.2. SUSTENTO TEÓRICO .....	29
2.2.1 DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ....	29
2.2.2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ....	30
2.2.3. EL ORIGEN DE LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ....	31
2.2.4. EFECTOS CAUSADOS A LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	32
2.2.5. TIPOS DE CARGAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	33
2.2.6. CALIDAD DE SUMINISTRO.....	37
2.2.7. ENERGÍA Y POTENCIA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.....	54

2.2.8. IMPACTO ECONÓMICO DE UN SUMINISTRO DEFICIENTE. ....	58
2.2.9. OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA. ....	60
2.2.10. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE COMPENSACIÓN REACTIVA. ....	61
2.2.11. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE COMPENSACIÓN DE FILTROS. ....	76
2.2.12. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA. ....	91
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	99
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	100
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL. ....	100
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	100
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	101
CAPÍTULO III .....	102
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN. ....	103
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. ....	103
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN. ....	103
3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN. ....	104
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN. ....	104
3.4.1. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA. ....	104
3.4.2. PROCESO DE APLICACIÓN DE LA MEDICIÓN. ....	105
3.4.3. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN. ....	106
3.4.4. LISTADO DE SUBESTACIONES Y SU MÁXIMA DEMANDA. ....	106
3.4.5. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN. ....	110
3.4.6. PROCESO DE INSTALACIÓN Y DESCONEXIÓN DEL EQUIPO. ....	117
3.4.7. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA DATA. ....	121
3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS. ....	123
3.5.1. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN (PCC). ....	124
3.5.2. ANÁLISIS POR SUBESTACIONES. ....	124
3.6. PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS. ....	231
3.6.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ACORDE A NORMA. ....	232
3.6.2. EVALUACIÓN POR SUBESTACIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA UNA – PUNO. ....	233
3.7. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO. ....	240
3.7.1. TENDENCIA DE CONSUMO DE ENERGÍA. ....	240
3.7.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA FACTURADO EN EL RECIBO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (noviembre 2015 – octubre 2016). ....	244

CAPÍTULO IV .....	247
ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	248
4.1. DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA UNA – PUNO. ....	248
4.1.1. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DISEÑO DE COMPENSACIÓN REACTIVA. ....	249
4.2. DISEÑO DE FILTRO DE ARMÓNICOS. ....	249
4.2.1. DISEÑO DE FILTROS PASIVOS. ....	249
4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL FILTRO DE ARMÓNICOS. ....	268
4.3.1. HORIZONTE DE PROYECCIÓN. ....	268
4.3.2. COSTO DE LA INVERSIÓN. ....	268
4.3.3. BENEFICIO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO. ....	269
4.3.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA. ....	269
4.3.4.1. PERIODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN (PR) ....	270
4.3.5. CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA. ....	272
CONCLUSIONES .....	273
SUGERENCIAS. ....	275
BIBLIOGRAFÍA .....	276
ANEXOS: .....	279

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1: Fuentes Armónicas.</i>	50
<i>Cuadro 2: Efectos que producen los armónicos.</i>	51
<i>Cuadro 3: Diferentes Funciones de los Filtros Paralelos y Series.</i>	88
<i>Cuadro 4: Opciones Tarifarias.</i>	92
<i>Cuadro 5: Criterios de Selección de Opciones Tarifarias.</i>	99
<i>Cuadro 6: Operacionalización de Variables.</i>	101
<i>Cuadro 7: Ubicación y descripción de la población.</i>	104
<i>Cuadro 8: Listado de Subestaciones y Coordenas UTM.</i>	106
<i>Cuadro 9: Resumen de Cargas.</i>	106
<i>Cuadro 10: Corriente Nominal de Termomagnéticos.</i>	109
<i>Cuadro 11: Normativas Empleadas en el Instrumento.</i>	115
<i>Cuadro 12: Accesorios Estándar del PowerQ4Plus.</i>	116
<i>Cuadro 13: Subestación Eléctrica N° 01.</i>	125
<i>Cuadro 14: Datos de la Subestación 01.</i>	126
<i>Cuadro 15: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 01.</i>	127
<i>Cuadro 16: valores representativos de la tensión S.E. 01.</i>	128
<i>Cuadro 17: Valores representativos de la Corriente S.E. 01.</i>	130
<i>Cuadro 18: Valores representativos de la Potencia S.E. 01.</i>	131
<i>Cuadro 19: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 01.</i>	133
<i>Cuadro 20: Valores representativos de la Energía S.E. 01.</i>	134
<i>Cuadro 21: Valores representativos Flicker S.E. 01.</i>	135
<i>Cuadro 22: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 01.</i>	136
<i>Cuadro 23: Análisis de Armónicos de Tensión (%).</i>	136
<i>Cuadro 24: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 01.</i>	141
<i>Cuadro 25: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 01.</i>	144
<i>Cuadro 26: Subestación Eléctrica N° 02.</i>	144
<i>Cuadro 27: Datos Generales de la Subestación 02.</i>	146
<i>Cuadro 28: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 02.</i>	147
<i>Cuadro 29: valores representativos de la tensión S.E. 02.</i>	148
<i>Cuadro 30: Valores representativos de la Corriente S.E. 02.</i>	149
<i>Cuadro 31: Valores representativos de la Potencia S.E. 02.</i>	150
<i>Cuadro 32: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 02.</i>	151
<i>Cuadro 33: Valores representativos de la Energía S.E. 02.</i>	152
<i>Cuadro 34: Valores representativos Flicker S.E. 02.</i>	153
<i>Cuadro 35: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 02.</i>	154
<i>Cuadro 36: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 02.</i>	155
<i>Cuadro 37: Análisis de Armónicos de Corriente (%).</i>	157
<i>Cuadro 38: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 02.</i>	160
<i>Cuadro 39: Subestación Eléctrica N° 03.</i>	161
<i>Cuadro 40: Datos Generales de la Subestación 03.</i>	162
<i>Cuadro 41: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 03.</i>	163
<i>Cuadro 42: valores representativos de la tensión S.E. 03.</i>	164

<i>Cuadro 43: Valores representativos de la Corriente S.E. 03.</i>	166
<i>Cuadro 44: Valores representativos de la Potencia S.E. 03.</i>	166
<i>Cuadro 45: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 03.</i>	168
<i>Cuadro 46: Valores representativos de la Energía S.E. 03.</i>	169
<i>Cuadro 47: Valores representativos Flicker S.E. 03.</i>	170
<i>Cuadro 48: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 03.</i>	171
<i>Cuadro 49: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 03.</i>	172
<i>Cuadro 50: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 03.</i>	174
<i>Cuadro 51: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 03.</i>	177
<i>Cuadro 52: Subestación Eléctrica N° 04.</i>	178
<i>Cuadro 53: Subestación Eléctrica N° 05.</i>	180
<i>Cuadro 54: Datos Generales de la Subestación 05.</i>	181
<i>Cuadro 55: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 05.</i>	182
<i>Cuadro 56: valores representativos de la tensión S.E. 05.</i>	183
<i>Cuadro 57: Valores representativos de la Corriente S.E. 05.</i>	185
<i>Cuadro 58: Valores representativos de la Potencia S.E. 05.</i>	185
<i>Cuadro 59: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 05.</i>	187
<i>Cuadro 60: Valores representativos de la Energía S.E. 05.</i>	188
<i>Cuadro 61: Valores representativos Flicker S.E. 05.</i>	189
<i>Cuadro 62: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 05.</i>	190
<i>Cuadro 63: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 05.</i>	191
<i>Cuadro 64: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 05.</i>	193
<i>Cuadro 65: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 05.</i>	196
<i>Cuadro 66: Subestación Eléctrica N° 06.</i>	197
<i>Cuadro 67: Datos Generales de la Subestación 06.</i>	198
<i>Cuadro 68: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 06.</i>	199
<i>Cuadro 69: valores representativos de la tensión S.E. 06.</i>	200
<i>Cuadro 70: Valores representativos de la Corriente S.E. 06.</i>	201
<i>Cuadro 71: Valores representativos de la Potencia S.E. 06.</i>	203
<i>Cuadro 72: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 06.</i>	204
<i>Cuadro 73: Valores representativos de la Energía S.E. 06.</i>	205
<i>Cuadro 74: Valores representativos Flicker S.E. 06.</i>	206
<i>Cuadro 75: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 06.</i>	207
<i>Cuadro 76: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 06.</i>	208
<i>Cuadro 77: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 06.</i>	210
<i>Cuadro 78: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 06.</i>	213
<i>Cuadro 79: Subestación Eléctrica N° 07.</i>	214
<i>Cuadro 80: Datos Generales de la Subestación 07.</i>	216
<i>Cuadro 81: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 07.</i>	216
<i>Cuadro 82: valores representativos de la tensión S.E. 07.</i>	218
<i>Cuadro 83: Valores representativos de la Corriente S.E. 07.</i>	219
<i>Cuadro 84: Valores representativos de la Potencia S.E. 07.</i>	221
<i>Cuadro 85: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 07.</i>	222
<i>Cuadro 86: Valores representativos de la Energía S.E. 07.</i>	223

<i>Cuadro 87: Valores representativos Flicker S.E. 07.</i>	224
<i>Cuadro 88: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 07.</i>	225
<i>Cuadro 89: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 07.</i>	226
<i>Cuadro 90: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 07.</i>	228
<i>Cuadro 91: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 07.</i>	231
<i>Cuadro 92: Evaluación de los Parámetros acorde a Norma.</i>	232
<i>Cuadro 93: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 01.</i>	234
<i>Cuadro 94: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 02.</i>	235
<i>Cuadro 95: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 03.</i>	236
<i>Cuadro 96: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 05.</i>	237
<i>Cuadro 97: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 06.</i>	238
<i>Cuadro 98: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 07.</i>	239
<i>Cuadro 99: Tendencia de Consumo de Energía.</i>	240
<i>Cuadro 100: Valores Representativos del Consumo de Energía Anual.</i>	243
<i>Cuadro 101: Valores Representativos del Precio Unitario de Energía.</i>	244
<i>Cuadro 102: Análisis Aproximado de la Energía Consumida Total Mensual Medida.</i>	246
<i>Cuadro 103: Resumen General del Suministro Eléctrico.</i>	248
<i>Cuadro 104: Termomagnéticos.</i>	267
<i>Cuadro 105: características del condensador para la 5ta armónica de corriente a implementar.</i>	267
<i>Cuadro 106: Características de la reactancia para la 5ta armónica de corriente a implementar</i>	267
<i>Cuadro 107: Valores de compensación por Subestación Eléctrica.</i>	269
<i>Cuadro 108: Beneficios de la Elaboración del Proyecto.</i>	269
<i>Cuadro 109: Aplicación del VAN.</i>	271
<i>Cuadro 110 Evaluación Económica.</i>	272

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Señal en la Fuente sin Carga.....	34
Gráfico 2: Carga (Z).....	34
Gráfico 3: Señal vista por la carga.....	35
Gráfico 4: Señal vista en la fuente con carga .....	35
Gráfico 5: Forma de Onda/Voltaje/Corriente.....	36
Gráfico 6: Onda de tensión por una Subtensión.....	39
Gráfico 7: Onda afectada por una Sobretensión.....	40
Gráfico 8: Factor de potencia/Rangos.....	41
Gráfico 9: Forma de Onda afectada por Fluctuación de tensión.....	43
Gráfico 10: Onda de distorsión Armónica .....	44
Gráfico 11: Señal Senoidal – Fasores.....	47
Gráfico 12: Corriente Directa.....	55
Gráfico 13: Corriente Alterna.....	56
Gráfico 14: Triángulo de Potencia.....	57
Gráfico 15: Optimización mediante compensación reactiva.....	62
Gráfico 16: Corrección del Factor de Potencia.....	64
Gráfico 17: Determinación de la Potencia reactiva necesaria.....	76
Gráfico 18: Comportamiento de la Reactancia Capacitiva.....	79
Gráfico 19: Definición de Horas Punta y Horas Fuera de Punta.....	94
Gráfico 20: Proceso de la Medición.....	105
Gráfico 21: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 01.....	126
Gráfico 22: Valores de Frecuencia S.E. 01.....	127
Gráfico 23: Valores de Tensión S.E. 01.....	128
Gráfico 24: Valores de Corriente S.E. 01.....	130
Gráfico 25: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 01.....	131
Gráfico 26: Valores del Factor de Potencia S.E. 01.....	132
Gráfico 27: Valores de la Energía S.E. 01.....	133
Gráfico 28: Valores Flicker S.E. 01.....	135
Gráfico 29: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 01.....	141
Gráfico 30: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 01.....	142
Gráfico 31: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 01.....	142
Gráfico 32: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 01.....	143
Gráfico 33: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 02.....	145
Gráfico 34: Valores de Frecuencia S.E. 02.....	146
Gráfico 35: Valores de Tensión S.E. 02.....	147
Gráfico 36: Valores de Corriente S.E. 02.....	149
Gráfico 37: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 02.....	150
Gráfico 38: Valores del Factor de Potencia S.E. 02.....	151
Gráfico 39: Valores de la Energía S.E. 02.....	152
Gráfico 40: Valores Flicker S.E. 02.....	153
Gráfico 41: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 02.....	158
Gráfico 42: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 02.....	158

Gráfico 43: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 02.....	159
Gráfico 44: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 02.....	160
Gráfico 45: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 03.....	162
Gráfico 46: Valores de Frecuencia S.E. 03.....	163
Gráfico 47: Valores de Tensión S.E. 03.....	164
Gráfico 48: Valores de Corriente S.E. 03.....	165
Gráfico 49: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 03.....	167
Gráfico 50: Valores del Factor de Potencia S.E. 03.....	168
Gráfico 51: Valores de la Energía S.E. 03.....	169
Gráfico 52: Valores Flicker S.E. 03.....	170
Gráfico 53: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 03.....	175
Gráfico 54: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 03.....	175
Gráfico 55: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 03.....	176
Gráfico 56: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 03.....	177
Gráfico 57: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 04.....	179
Gráfico 58: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 05.....	181
Gráfico 59: Valores de Frecuencia S.E. 05.....	182
Gráfico 60: Valores de Tensión S.E. 05.....	183
Gráfico 61: Valores de Corriente S.E. 05.....	184
Gráfico 62: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 05.....	186
Gráfico 63: Valores del Factor de Potencia S.E. 05.....	187
Gráfico 64: Valores de la Energía S.E. 05.....	188
Gráfico 65: Valores Flicker S.E. 05.....	189
Gráfico 66: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 05.....	194
Gráfico 67: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 05.....	194
Gráfico 68: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 05.....	195
Gráfico 69: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 05.....	196
Gráfico 70: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 06.....	198
Gráfico 71: Valores de Frecuencia S.E. 06.....	199
Gráfico 72: Valores de Tensión S.E. 06.....	200
Gráfico 73: Valores de Corriente S.E. 06.....	201
Gráfico 74: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 06.....	203
Gráfico 75: Valores del Factor de Potencia S.E. 06.....	204
Gráfico 76: Valores de la Energía S.E. 06.....	205
Gráfico 77: Valores Flicker S.E. 06.....	206
Gráfico 78: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 06.....	211
Gráfico 79: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 06.....	211
Gráfico 80: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 06.....	212
Gráfico 81: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 06.....	213
Gráfico 82: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 07.....	215
Gráfico 83: Valores de Frecuencia S.E. 07.....	216
Gráfico 84: Valores de Tensión S.E. 07.....	217
Gráfico 85: Valores de Corriente S.E. 07.....	219
Gráfico 86: Valores de la Potencia Activa Reactiva y Aparente S.E. 07.....	221

<i>Gráfico 87: Valores del Factor de Potencia S.E. 07.....</i>	222
<i>Gráfico 88: Valores de la Energía S.E. 07. ....</i>	223
<i>Gráfico 89: Valores Flicker S.E. 07.....</i>	224
<i>Gráfico 90: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 07. ....</i>	229
<i>Gráfico 91: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 07.....</i>	229
<i>Gráfico 92: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 07.....</i>	230
<i>Gráfico 93: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 07.....</i>	231
<i>Gráfico 94: Tendencia del Consumo de Energía (kW-H). ....</i>	241
<i>Gráfico 95: Tendencia del Consumo de Energía (S/). ....</i>	241
<i>Gráfico 96: Tendencia del Consumo de Energía Reactiva (S/). ....</i>	242
<i>Gráfico 97: Tendencia del Consumo de Energía Reactiva Facturada y Consumida (kVARH).....</i>	242
<i>Gráfico 98: Tendencia del Factor de Potencia (Cosφ). ....</i>	245

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Efecto de los armónicos en conductor neutro.....</i>	53
<i>Figura 2: Triángulo de potencia con presencia de armónicos .....</i>	54
<i>Figura 3: Baterías de Condensadores Estáticos. ....</i>	68
<i>Figura 4: Corrección del Factor de Potencia Distribuida. ....</i>	71
<i>Figura 5: Corrección del Factor de Potencia por Grupos. ....</i>	73
<i>Figura 6: Corrección Centralizada. ....</i>	73
<i>Figura 7: Ejemplo de circuito resonante serie .....</i>	79
<i>Figura 8: Filtros para la reducción de Armónicas.....</i>	81
<i>Figura 9: Filtros Activo/Híbrido de Armónicas. ....</i>	82
<i>Figura 10: Filtros Pasivos: (a) de sintonización única, (b) pasa altas. ....</i>	83
<i>Figura 11: Esquema básico de un Filtro Activo Universal.....</i>	87
<i>Figura 12: Elemento activo en Serie con la Carga. ....</i>	89
<i>Figura 13: Elemento activo en serie con filtro Pasivo. ....</i>	90
<i>Figura 14: Instrumento PowerQ4Plus (Metrel). ....</i>	111
<i>Figura 15: Panel de Conectores (Metrel). ....</i>	114
<i>Figura 16: Panel de Conectores Laterales (Metrel).....</i>	114
<i>Figura 17: Vista Inferior (Metrel). ....</i>	115
<i>Figura 18: Accesorios estándar del PowerQ4Plus (Metrel).....</i>	117
<i>Figura 19: Proceso de Instalación.....</i>	118
<i>Figura 20: Equipos de Protección Personal. ....</i>	118
<i>Figura 21: Sistema trifásico de 3 hilos. ....</i>	119
<i>Figura 22: Menú Principal.....</i>	120
<i>Figura 23: Menú de Configuraciones y Mediciones.....</i>	120
<i>Figura 24: Icono del Software PowerView v2.0.....</i>	122
<i>Figura 25: Software PowerView v2.0 proceso de exportación. ....</i>	122
<i>Figura 26: Metrel 3 formas de exportación. ....</i>	123
<i>Figura 27: Punto de Conexión Común (PCC). ....</i>	124
<i>Figura 28: Diseño del filtro para la 5<sup>ta</sup> Armónica.....</i>	260
<i>Figura 29: Diseño del Filtro para la 7<sup>ma</sup> Armónica. ....</i>	266

**ÍNDICE DE TABLAS**

<i>Tabla 1: Nivel de Compatibilidad de la Severidad del Flicker .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2: Factor de Potencia/Cargas.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3: Uso Optimizado de las Máquinas Eléctricas.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4: Armónicos Individuales (Impares).....</i>	<i>137</i>

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<i>Anexo 1: Factura de Consumo de Energía Eléctrica .....</i>	280
<i>Anexo 2: Placas Características de los Transformadores. ....</i>	281
<i>Anexo 3: Diseño de Filtros de Armónicos. ....</i>	283
<i>Anexo 4: Evaluación Económica. ....</i>	286
<i>Anexo 5: Costo de Filtros de Armónicos. ....</i>	287
<i>Anexo 6: Características del condensador. ....</i>	288
<i>Anexo 7: Costo de Condensadores. ....</i>	289
<i>Anexo 8: Características Técnicas y de Equipamiento del Sistema de la UNA – PUNO. .....</i>	289
<i>Anexo 9: Fotos de la Toma de Datos en las Subestaciones Eléctricas. ....</i>	292

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, UTILIZANDO UN ANALIZADOR DE REDES - 2016” tiene como objetivo general estudiar y analizar experimentalmente la calidad del suministro de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes para luego dar alternativas de optimización del sistema eléctrico; los parámetros eléctricos evaluados son: frecuencia, voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, energía, flicker, armónicos de tensión y/o corriente; dentro de la evaluación y el estudio general realizado al suministro de las 6 subestaciones eléctricas operativas de UNA – PUNO, se logró constatar que la mayoría de estas están en óptimas condiciones, sin embargo se pudo determinar que las subestación N° 01, se encuentra con un factor de potencia de 0.74; también se constató las pérdidas de energía reactiva en especial de la subestación N° 03; también se halló armónicos de corriente en todas las subestaciones resaltando los de orden 3, 5 y 7, estos parámetros deficientes se ocasionan a causa de equipos que generan cargas de tipo no lineal, también se debe al desconocimiento y la falta de mantenimiento a dichas subestaciones, por tal motivo se dio las alternativas de solución, el cual es implementar filtros pasivos paralelo LC – resonante, para poder compensar la energía reactiva y de la misma manera dar solución a los armónicos existentes en las redes de la ciudad universitaria; se realizó el diseño acorde a la NTCSE y las normas internacionales los cuales son mencionadas a lo largo de la presente investigación.

**PALABRAS CLAVES:** Parámetros, optimización, evaluación, determinación, energía reactiva, armónicos, filtros.

## ABSTRACT

The present research work entitled "STUDY AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE QUALITY OF ELECTORAL SUPPLY OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF ALTIPLANO, USING A NETWORK ANALYZER - 2016" has as general objective to study and analyze experimentally the quality of the supply of the National University of Altiplano, using a network analyzer to later give alternatives of optimization of the electrical system; The electrical parameters evaluated are: frequency, voltage, current, power, power factor, energy, flicker, voltage and / or current harmonics; Within the evaluation and the general study carried out on the supply of the 6 operating electrical substations of UNA - PUNO, it was verified that the majority of these are in optimal conditions, nevertheless it was possible to determine that the substation N° 01, A power factor of 0.74; The reactive power losses were also observed, especially in substation No. 03; Also current harmonics were found in all substations highlighting those of order 3, 5 and 7, these poor parameters are caused by equipment that generate loads of non-linear type, is also due to ignorance and lack of maintenance to these substations , For that reason the solution alternatives were given, which is to implement parallel passive LC - resonant filters, to be able to compensate the reactive energy and in the same way to give solution to the existing harmonics in the networks of the university city; The design according to the NTCSE and the international norms which were mentioned throughout the present investigation was realized.

**KEYWORDS:** Parameters, optimization, evaluation, determination, reactive energy, harmonics, filters.

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años en nuestro país y en el mundo entero la electricidad se ha vuelto no solo un lujo, sino una necesidad para poder desarrollarse y aumentar el nivel de vida de la población. Hoy en día la electricidad es utilizada en mayor medida por equipos de iluminación, refrigeración y aires acondicionados en edificaciones, esto debido a la comodidad y satisfacción de las personas en sus lugares de trabajo y también al clima tan cambiante de nuestro país. En la industria se utiliza principalmente en motores. También la electricidad se ve afectada por el aumento de dispositivos de control electrónicos, como computadoras, impresores, variadores de frecuencia, etc. Este tipo de dispositivos son delicados ya que con pequeñas variaciones en sus niveles permisibles de voltaje, corriente o frecuencia. Se ven afectados en gran medida, volviéndose menos eficientes y su vida útil disminuye; en casos extremos se presentan daños irreparables. Es por esto que surge la necesidad de estudiar las variaciones en el sistema eléctrico desde el punto de entrega de la distribuidora hasta el punto de conexión del usuario final; así como también el uso de la electricidad en los edificios. Para este caso se estudiarán edificios de interés público, ya que de estas instituciones depende mucho nuestra vida y nuestros impuestos. De esta manera se presentarán alternativas favorables para poder ahorrar energía eléctrica, evitar multas y hacer más eficientes los sistemas. El ahorro de energía se verá reflejado también en un ahorro económico importante para estas instituciones de interés público. De este modo se verían beneficiados no solo estas instituciones sino también los usuarios ya que se podrían reinvertir estos fondos para el beneficio de la población.

En los siguientes párrafos se detalla una breve introducción de los capítulos contenidos a lo largo de esta investigación:

En el primer capítulo se determina el problema y los objetivos de la investigación. Desde este capítulo empieza el estudio, diagnóstico y plan de solución que se le dará al sistema eléctrico del campus de la universidad nacional del altiplano.

En el segundo capítulo se realizará un bosquejo teórico de los principales conceptos a utilizar a lo largo de la presente tesis. Puntos como qué es calidad de energía, calidad de suministro, optimización de sistemas eléctricos, qué es la gestión tarifaria y otros más, se explican en esta sección y su comprensión es necesaria para poder entender el caso de aplicación que luego se presentará.

En el tercer capítulo se desarrolla una auditoría energética al campus de la universidad nacional del altiplano. Se realizó un análisis energético, describiendo los parámetros eléctricos obtenidos con la ayuda del analizador de redes, también se detalla la tendencia de consumo mediante el recibo facturado. De esta auditoría energética se obtiene un diagnóstico que permite elaborar medidas correctivas y definir soluciones de gestión energética dentro del campus.

En el capítulo cuatro se realiza un plan de solución energético, también se elabora una optimización mediante diseño y compensación de filtros de armónicos, compensado así la potencia reactiva. También se hace una evaluación económica de los filtros mencionados. Este es un punto importante, ya que la ejecución de un proyecto, depende de la rentabilidad económica del mismo.

# CAPÍTULO I

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Debido a la importancia que debe tener la calidad de energía eléctrica y el cual nos debe de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, se verificará si los parámetros de la calidad de los servicios eléctricos de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrico son los adecuados para garantizar un buen suministro, confiable y de calidad. Para lo cual el objeto de estudio del presente trabajo es determinar la eficacia de la calidad de la energía eléctrica, y la razón más relevante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Así mismo, porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

#### **1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Se plantea el siguiente problema.

##### **1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL.**

- ¿Cómo se estudiará y analizará experimentalmente la calidad de suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano utilizando un analizador de redes, para permitir efectuar una calidad de energía eficiente?

##### **1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.**

- ¿El determinar el balance correcto de los parámetros eléctricos, investigar y analizar las soluciones integrales que existen actualmente para estos problemas? ¿Nos permitirá un buen control en la calidad de energía de la Universidad Nacional del Altiplano?

- ¿En qué medida se comprobará que la energía suministrada por la distribuidora local o concesionaria cumple con los rangos mínimos aceptables por las Normas Peruanas?

- ¿En qué medida los diagramas de espectros de armónicos determinarán un nivel de distorsión y que acciones o soluciones se propondrían para mejorar la calidad de energía eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

Actualmente se ha incrementado el uso de la energía eléctrica en diferentes campos de la ciencia, es así que antes solo nos preocupaba tener voltaje, pero con el pasar de los tiempos fue cambiando tanto que hoy en día es importante tener una energía eficaz y de calidad; y esto hace que se tenga la necesidad de realizar estudios de los diferentes parámetros eléctricos tal es el caso del suministro de la Universidad Nacional del Altiplano.

### **1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

La mala calidad de energía no solo perjudica a las industrias o empresas sino también a todos los usuarios conectados en la red eléctrica, los clientes requieren energía permanente y de buena calidad.

### **1.2.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

Si una red eléctrica es deficiente en todos los aspectos de calidad esta perjudica económicamente a las empresas distribuidoras y a los usuarios en general generando gastos de reparación, pérdidas por calentamiento, desgaste de la vida útil de los equipos, etc. Si no se realiza un estudio adecuado los clientes estarían pagando por demás y no de acuerdo a su recibo.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVOS GENERALES**

Estudiar y analizar experimentalmente la calidad del suministro de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes, para permitir efectuar una calidad de energía eficiente.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar y Analizar experimentalmente la calidad de suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes para verificar si el suministro se encuentra en óptimas condiciones y de no ser así dar alternativas de solución, para poder optimizar costos con el fin de realizar ahorros en el consumo de energía eléctrica.

2. Analizar mediciones eléctricas para comprobar que la energía suministrada por la distribuidora local cumple con los rangos mínimos aceptables en los parámetros eléctricos según las normas peruanas.

3. Estudiar los diagramas de espectros de armónicos para identificar mediante el nivel de distorsión el problema que presentan o pudieren presentar los transformadores u otros, luego proponer un plan de acción para mejorar la calidad de energía eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, que contenga recomendaciones, planteamiento de soluciones y proyecciones a futuro.

## CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO.

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

A continuación se detalla algunos estudios referentes al tema de tesis:

El Proyecto de final de graduación previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico desarrollada por Marcos Holguín y David Gómezcoello en marzo del 2010 – Guayaquil, Ecuador, se asemeja con nuestro proyecto por realizar el “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL NUEVO CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”. Este proyecto tiene como objetivo que la calidad de energía eléctrica es un medio para que en la parte técnica, el abonado espere obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes, y también encontrar soluciones efectivas para corregir los disturbios y variaciones del voltaje y proponer conclusiones para corregir las fallas o problemas que se presenten en el sistema eléctrico. (M. Gomezcoello & D. Gomezcoello, 2010)

El proyecto de tesis para obtener el Título de Ingeniero Electrónico, desarrollada por Yaneth Cecilia Zapata Oyarzún en 2010 – Chile, se asemeja con nuestro proyecto por realizar el “ANÁLISIS ELECTRÓNICO DE LAS SOLUCIONES QUE EXISTEN EN CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA” se desarrolla un estudio y análisis de las soluciones actuales que existen en el mercado que permiten mejorar las perturbaciones que ocurren en la red de energía eléctrica y que afectan a la calidad de esta. Este estudio también comprende un análisis de las soluciones adoptadas en Chile con respecto al tema de eficiencia energética, el cual ha adquirido gran importancia en los últimos años debido a las restricciones de gas y a la

contaminación por gases de efecto invernadero. La Información obtenida corresponde a una investigación realizada por medio de revisión Bibliográfica. (Zapata, 2010)

El proyecto de tesis para obtener el Título de Ingeniero Electricista, desarrollada por Daniel Alberto Saucedo Martínez y José Luis Taxis Villagran en el 2008 – México, se muestra con el nombre de “FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA Y SU SOLUCIÓN”; En los primeros días de utilización de la energía eléctrica, el servicio estándar eléctrico, junto con las limitaciones que lo acompañaban, era por lo general adecuado para que trabajaran la mayoría de los equipos eléctricos. Algunos de los usuarios más sensibles de aquellos días; como los procesos industriales continuos, llegaron en ocasiones al extremo de asignar un puesto de centinela de tempestades para que avisara cuando había rayos en las cercanías y así parara la maquinaria hasta que pasara la tempestad. Los sistemas de protección de varillas para rayos hicieron un trabajo adecuado de protección contra rayos en la mayoría de las circunstancias. Aunque las interrupciones eléctricas prolongadas representaban un inconveniente y llegaban a causar pérdidas económicas, la mayoría de los equipos accionados por electricidad funcionaban sin mayores problemas. (Sauce Martinez & Taxis Villagran, 2008)

El proyecto de tesis para obtener el Título de Ingeniero Eléctrico, desarrollada por Gabriela Vanessa Navarro Méndez en Octubre del 2013 – Quito - Ecuador, se asemeja con nuestro proyecto por realizar el tema “ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS ILLUCHI 1 E ILLUCHI 2 DE ELEPCO S.A.”. Teniendo como trabajo de investigación el objetivo general de este proyecto contemplar y realizar un análisis técnico de los efectos de los armónicos producidos por cargas no lineales en las unidades de

generación de las centrales hidroeléctricas Illuchi de la empresa eléctrica provincial de Cotopaxi ELEPCO S.A. (Navarro Mendez, 2013)

## **2.2. SUSTENTO TEÓRICO**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

El concepto "Calidad de Energía Eléctrica" es un tema muy importante en la actualidad, el cual ha tenido gran evolución en este último tiempo, está relacionado con las perturbaciones que pueden afectar a las condiciones eléctricas del suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos. Cuando se habla de calidad, en general se toma como base de referencia el parámetro estándar que se conozca del producto o servicio, lo que nos permite establecer si el producto es de calidad o no. En el caso de los sistemas eléctricos, lo deseable es que la tensión de suministro esté dentro las normas establecidas.

Para el caso de querer contar con una buena calidad de energía eléctrica existen 4 parámetros o condiciones que deben cumplirse:

1. Debe existir un suministro eléctrico continuo (continuidad sin interrupciones).
2. El voltaje eléctrico debe encontrarse en los rangos permisibles (amplitud del voltaje).
3. La frecuencia de la energía debe ser estable.
4. La energía eléctrica debe tener una forma de onda senoidal.

El primer parámetro que es la continuidad, se refiere al tiempo en que las señales de tensión y corriente están disponibles para el usuario, y los últimos tres, se refieren a la calidad de la energía eléctrica, expresada como el producto de la tensión por la corriente.

Las perturbaciones o disturbios, están relacionados con cualquier desviación en el valor nominal de tensión, corriente y/o frecuencia. Se refieren básicamente a apagones, subidas y bajas de voltaje, ruidos, picos de voltaje, interrupciones de suministro eléctrico, entre otras. Con esto se crea la necesidad de contar con productos, equipos y servicios que ofrezcan soluciones de alta calidad y confiabilidad, garantizando la continuidad de las operaciones cotidianas del usuario. (Zapata, 2010)

### **2.2.2. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

El estudio de la calidad de la energía eléctrica, es el primer y más importante paso para identificar y solucionar problemas del sistema de potencia. Los problemas eléctricos pueden dañar el comportamiento del equipo y reducir su confiabilidad, disminuir la productividad y la rentabilidad e incluso puede poner en peligro la seguridad del personal si permanecen sin corregirse. (Sauce & Taxis, 2008)

Este tipo de estudios para plantas industriales, empresas de energía y empresas privadas, incluyendo auditorías energéticas y revisiones mecánicas, térmicas y eléctricas conducentes a reducir los desperdicios de energía y administrar eficientemente los recursos energéticos.

Además nos permiten descubrir las tres causas mayores de los problemas de la calidad de potencia (SAGS<sup>1</sup> de tensión, interrupciones en el suministro y distorsión de la onda de tensión debido a la presencia de armónicos en la red) lo cual requiere de seis pasos básicos:

1. Planeación y preparación de la encuesta.
2. Inspección en sitio.

---

<sup>1</sup> SAGS: Disminución del valor eficaz de la tensión de funcionamiento normal.

3. Monitoreo de la potencia (registro de variables eléctricas con equipo especializado).
4. Análisis del monitoreo e inspección de los datos recolectados.
5. Prácticas de la utilización de la energía.
6. Aplicación de las soluciones correctivas.

### **2.2.3. EL ORIGEN DE LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

La mala calidad de energía eléctrica se puede indicar que se origina a partir de 2 motivos:

Como principal, la acometida de la red eléctrica que alimenta la instalación, la cual puede generar mala calidad por deficiencias del servicio de energía eléctrica en los edificios, industrias y otros, esto crea efectos en la facturación y producción.

La medición en algunos casos es alterada a las lecturas erróneas en los contadores electrónicos por la aparición de armónicos en la red del sistema; respecto al proceso se presentan pérdida de sincronismo en los equipos al variar la frecuencia fundamental y la calidad del servicio eléctrico afectada por la pérdida de información al a ver cambios bruscos de la tensión del sistema. (Santana & Zambrano, 2013)

Como secundario, en la cual nos centraremos, es el estudio, análisis y diagnóstico de las deficiencias en la propia instalación (en nuestro caso de UNA-PUNO). Los componentes electrónicos modernos (computadoras, variadores de frecuencia, balastos electrónicos) tienen una particularidad en su comportamiento de carga no léal a diferencia de otros componentes que presentan carga léal (resistencias, calefactores eléctricos, otros). Normalmente la energía que requieren los elementos de carga léal es de la frecuencia del sistema en nuestro caso es de 60 Hz y 220, 380 y 440 voltios, todo estos niveles depende de la configuración trifásica para poderlos alimentar.

Aunque los equipos electrónicos demandan de una energía eficaz, que tiene como cualidad el trabajo en pulsaciones la cual se caracteriza en no tener la forma de onda sinusoidal de voltaje. Estos sofisticados equipos necesitan de un módulo electrónico que se encarga de convertir la corriente alterna en corriente directa. Estos dispositivos tienen efectos secundarios que son los que ocasionan la mala calidad de energía.

#### **2.2.4. EFECTOS CAUSADOS A LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

##### **A. EFECTOS TÉCNICOS.**

Los efectos técnicos es decir son todos aquellos que comportan una pérdida de rendimiento de nuestra instalación.

Es decir:

- Pérdidas de capacidad en líneas de distribución de energía.
- Sobrecarga de transformadores.
- Sobrecarga de conductores.
- Caídas de tensión.
- Descalificación de los transformadores.
- Pérdidas por efecto Joule en líneas y Máquinas.
- Pérdidas magnéticas en Máquinas eléctricas.

Normalmente, todos los costes técnicos derivan en costes económicos. Aquí se halla la importancia del control de nuestra instalación.

##### **B. EFECTOS ECONÓMICOS.**

Los efectos económicos son aquellos que podemos cuantificar económicamente, aunque en algunos casos puede ser difícil. Estos costes los podemos dividir en visibles y ocultos.

**Costes visibles:**

- Mayor consumo eléctrico.
- Puntas de consumo eléctrico.
- Recargo o pago de energía reactiva.

**Costes ocultos:**

- Pérdidas de distribución.
- Pérdidas de potencia y energía (por efecto Joule y magnéticas).
- Ampliación de instalaciones.
- Paradas de procesos productivos.

Todos estos fenómenos pueden encontrarse en mayor o menor proporción en función de la propia instalación y de las cargas conectadas. (Serra, 2009)

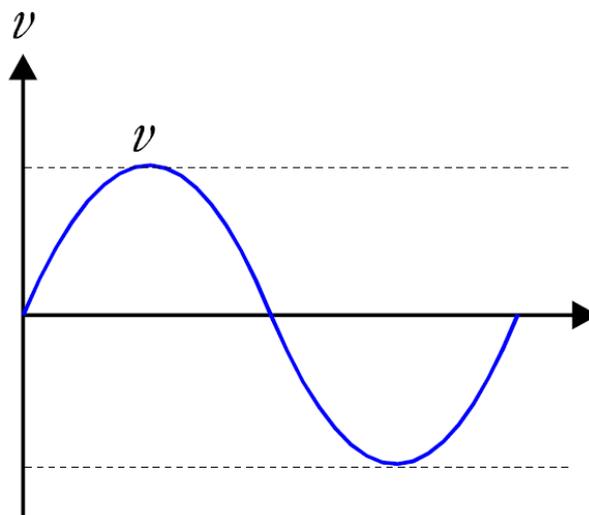
**2.2.5. TIPOS DE CARGAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.****A. CARGAS LINEALES.**

Una carga es lineal cuando la corriente que ella absorbe tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta. Además, esta corriente, no posee contenido armónico. Los resistores, inductores y los condensadores son dispositivos lineales. Cuando se conecta una carga resistiva en el sistema de potencia, se obtiene una corriente senoidal. Cuando se conecta una carga inductiva, se observan corrientes senoidales aunque con fase diferente a la carga resistiva. (Zapata, 2010)

Es una carga eléctrica que, en estado normal de operación tiene una impedancia constante a lo largo del ciclo de la señal de tensión aplicada, por lo tanto, la corriente requerida por la carga varía en función de la tensión, como se muestra en las siguientes figuras:

**Gráfico 1.-** Es la señal de tensión senoidal que existe en la fuente de alimentación en ausencia de carga.

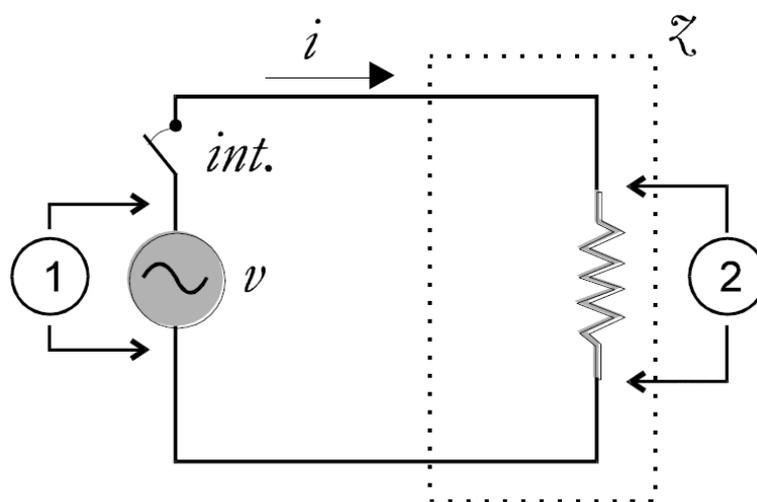
*Gráfico 1: Señal en la Fuente sin Carga.*



*Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)*

**Gráfico 2.-** Al cerrar el interruptor “int” comienza a circular la corriente ( $i=v/z$ ) requerida por la carga “z”.

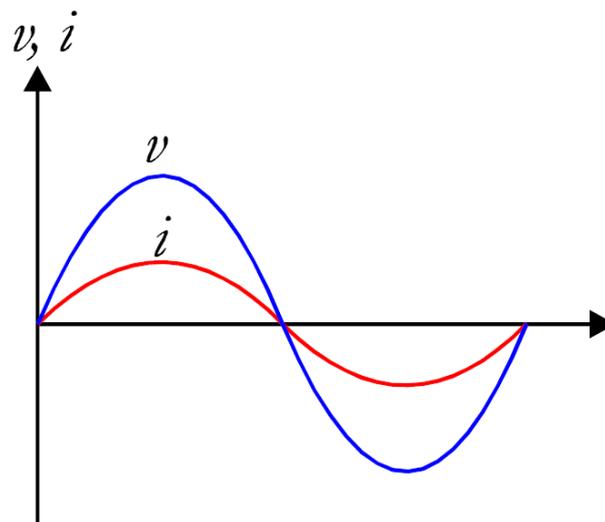
*Gráfico 2: Carga (Z)*



*Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)*

**Gráfico 3.-** La señal de corriente “ $i$ ” requerida por la carga varía en función de la tensión “ $v$ ” y es una señal senoidal.

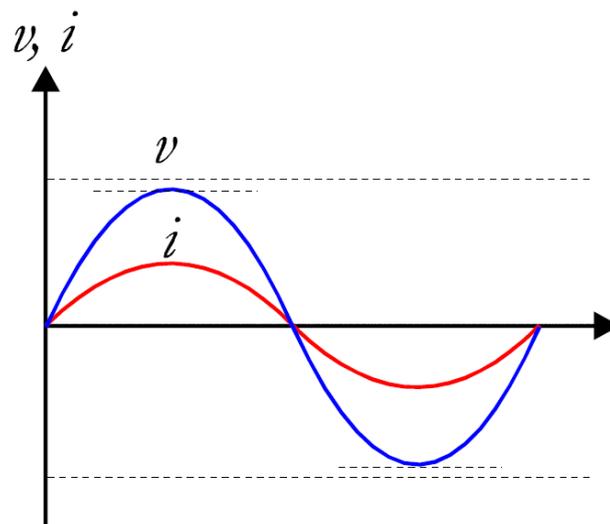
*Gráfico 3: Señal vista por la carga*



*Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)*

**Gráfico 4.-** En la fuente existe una reducción del valor de tensión con respecto al gráfico 1; ésta reducción será mínima si la potencia de la carga es pequeña con respecto a la potencia o capacidad de generación de la fuente, a medida que la potencia de la carga se incrementa provocará una mayor caída de tensión (en magnitud, no deformación).

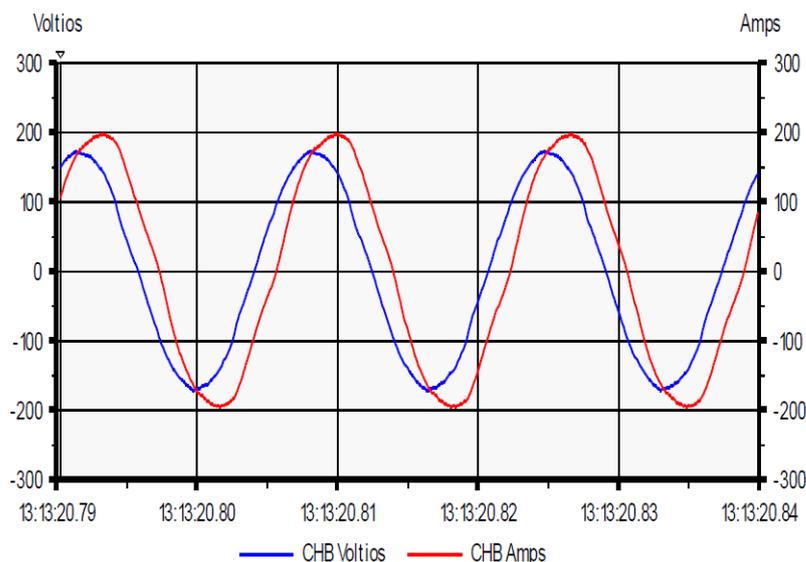
*Gráfico 4: Señal vista en la fuente con carga*



*Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)*

Las cargas lineales más comunes son: (Alumbrado incandescente, hornos eléctricos de resistencias, motores y resistencias). Estas cargas requieren de una corriente senoidal y no distorsionan la señal senoidal de tensión.

*Gráfico 5: Forma de Onda/Voltaje/Corriente.*



*Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)*

## **B. CARGAS NO LINEALES.**

Una carga es no lineal cuando la corriente que ella absorbe no tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta, además que su impedancia cambia al aplicarle esta tensión. Esta corriente no senoidal contiene componentes armónicas que interactúan con la impedancia del sistema creando distorsión de voltaje que puede afectar a los equipos del sistema de distribución y cargas conectadas, por lo que su espectro será función de las características de carga que alimenta.

La mayoría de los sistemas de potencia tolera ciertos niveles de armónicas, pero tiene problemas cuando son parte significativa de la carga total. Asimismo, la distorsión de voltaje, no de corriente, afectará los equipamientos conectados al sistema. Hay muchos tipos de cargas no lineales que producen armónicas, como las de alta potencia y uso industrial. (Zapata, 2010)

### 2.2.6. CALIDAD DE SUMINISTRO.

La calidad de suministro está referida a la existencia o no de tensión en un punto de entrega. Cuando la tensión desaparece en el punto de entrega, se dice que hay una interrupción del suministro. Un aspecto importante de la calidad de suministro es la forma de medirla, para lo cual se utilizan indicadores. No existe un indicador que sea capaz de medir la calidad de suministro total. Es necesario medir una característica de interés con un indicador asociado, lo cual conlleva a la existencia de multitud de indicadores. Dependiendo de la utilización que se quiera hacer del indicador, se puede calcular en modo histórico o predictivo. En modo histórico, los indicadores se determinan a partir de registros de incidencias y/o a partir de información del funcionamiento del sistema eléctrico, permitiendo evaluar la calidad de suministro proporcionada y realizar análisis comparativos y de tendencias. En modo predictivo, se determinan los valores medios y/o máximos esperados, a través de modelos de confiabilidad aplicados al sistema eléctrico, permitiendo identificar zonas que requieren mejora de la calidad de suministro, realizar análisis de expansión del sistema eléctrico y evaluar el impacto de inversiones. La información necesaria comprende datos de confiabilidad de los componentes, topología del sistema eléctrico, así como cantidad de clientes y su demanda. (Collantes, 2010)

La mayoría de indicadores definidos en las regulaciones de calidad de suministro, analizan individualmente la calidad de suministro proporcionada a un cliente o evalúan el comportamiento del sistema eléctrico desde un punto de vista global. En ese sentido, se distinguen indicadores individuales, que reflejan el nivel de calidad de suministro de un cliente en particular, e indicadores globales, que reflejan el nivel de calidad de suministro medio del sistema eléctrico, definido este como una parte de las instalaciones eléctricas, una zona, una región, etc.

### **2.2.6.1. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.**

#### **2.2.6.1.1. FRECUENCIA.**

Es el número de ciclos que se producen en un segundo. Se representa por la letra ( $f$ ) y se mide en Hertzios (Hz) o en ciclos/segundo.

De esta definición es fácil deducir que, en el caso del alternador elemental la frecuencia es de 60 Hertz y que coincide con las revoluciones por segundo de la espira. También se deduce que para calcular la frecuencia, conocida el periodo, empleamos la siguiente expresión:  $f = 1/T$

- 60 Hertz, Perú, EE.UU. y México.

#### **2.2.6.1.2. VOLTAJE.**

Como ya se sabe, en un circuito el generador es el encargado de crear la diferencia de carga. Para crear esta diferencia de cargas, el generador tiene que arrancar electrones del polo positivo y depositarlos en el polo negativo. Para realizar esta tarea el generador necesita desarrollar una energía “a la fuerza necesaria para trasladar los electrones desde el polo positivo al negativo, y así crear la diferencia de cargas, se denomina fuerza electromotriz (f.e.m.)”. (De la Fuente & Garcia, 2004)

Es la f.e.m. la que permite la circulación de electrones; el propio término indica: fuerza electromotriz, que mueve los electrones.

A la diferencia de cargas se la llama de otra forma: diferencia de potencial o tensión eléctrica (símbolo  $V$ ), y su unidad de medida es el voltio ( $V$ ). La f.e.m. de un generador se mide también en voltios.

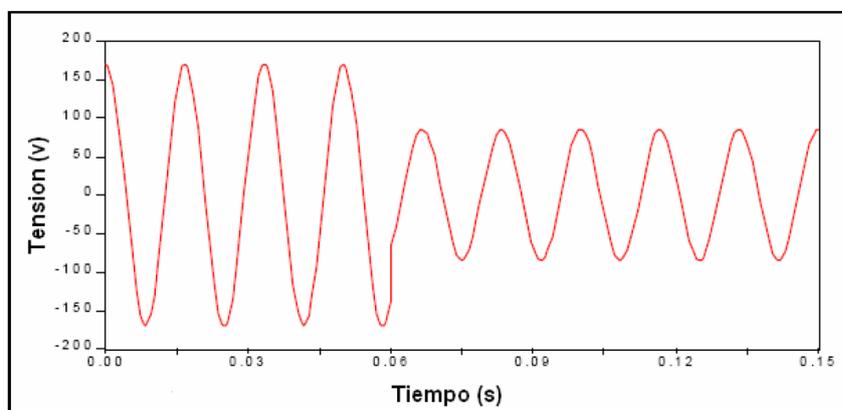
### A. SUBTENSIÓN.

Se entiende por subtenSIÓN o baja-tensiÓN a la reducciÓN en un 90% del valor nominal de la tensiÓN RMS, con una duraciÓN mayor a un minuto ( $> 1$  min.) hasta muchas horas.

Los circuitos sobrecargados pueden producir subtenSIones en los terminales de la carga. La sobretensiÓN y la subtenSIÓN generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comÚnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexiÓN y desconexiÓN.

Aparte del mal funcionamiento de equipos, las bajas de voltaje crÓnicas pueden causar desgaste excesivo en ciertos dispositivos tales como motores, los que operan sobrecalentados cuando el voltaje es muy bajo. La soluciÓN mÁs viable para este tipo de problemas es un estabilizador de voltaje. (Zapata, 2010)

*GrÁfico 6: Onda de tensiÓN por una SubtenSIÓN.*



*Fuente: (Zapata, 2010).*

### B. SOBRETENSIÓN.

Una sobretensiÓN es el incremento de la tensiÓN a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duraciÓN mayor de un minuto ( $> 1$  min.) y hasta varias horas.

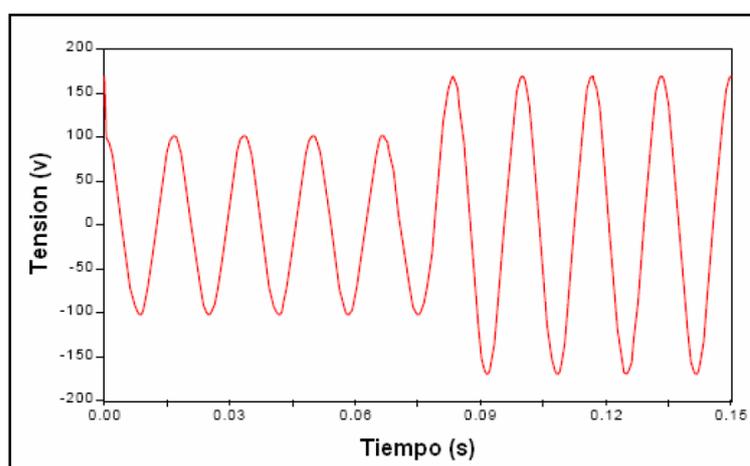
Las sobretensiONES son usualmente el resultado de la desconexiÓN de grandes cargas o debido a la conexiÓN de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el

sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

Las condiciones crónicas de sobrevoltaje son frecuentemente causadas por la suministradora, o por el usuario final, existen sobretensiones temporales que generalmente se deben a un cortocircuito entre un fase y tierra o a un problema de ferresonancia<sup>2</sup>. En otros casos pueden deberse a una descarga atmosférica (rayo).

Un sobrevoltaje puede tener efectos negativos en la mayoría de los equipos electrónicos debido al sobrecalentamiento resultante. La solución más viable es un estabilizador de voltaje. (Zapata, 2010)

*Gráfico 7: Onda afectada por una Sobretensión.*



*Fuente: (Zapata, 2010)*

### 2.2.6.1.3. INTERRUPCIONES.

Una interrupción es un evento durante el cual el voltaje, en el punto de conexión del cliente, cae a cero y no retorna a sus valores normales automáticamente.

De acuerdo con la IEC<sup>3</sup>, el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 min. Se denomina corta interrupción.

<sup>2</sup> Ferresonancia: Caso especial de resonancia repentina en la cual la no linealidad está en la magnetización del núcleo de hierro.

<sup>3</sup> IEC: Comisión Internacional de Electricidad.

Los estándares de la IEEE<sup>4</sup> definen como interrupciones sostenidas a aquellas que duran más de 3 segundos [Std.1159] o más de 2 min. [Std.1250].

De acuerdo a su origen, las interrupciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: Interrupciones Programadas e Interrupciones Imprevistas.

- a) **Interrupciones programadas.**- Son aquellas que se avisan con la suficiente anticipación a los clientes. Están claramente definidas en los marcos regulatorios de la mayoría de los mercados abiertos
- b) **Interrupciones imprevistas.**- Son todas las que no se contemplan en la clasificación anterior.

#### 2.2.6.1.4. FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, también se utiliza para proteger su instalación eléctrica interna, como también para recibir una calidad de servicio adecuado por parte de la concesionaria eléctrica, es muy importante tener en cuenta nuestro factor de potencia de nuestro consumo.

El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia es igual a  $\cos\phi$  la cual podemos representar en el siguiente gráfico. (Ministerio de Energía y Minas, 2011)

*Gráfico 8: Factor de potencia/Rangos*



*Fuente: (Dirección General de Electricidad, 2011)*

<sup>4</sup> IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

El factor de potencia cercano a la unidad significa que la energía reactiva es pequeña comparada con la energía activa, y que se encuentra en un rango considerablemente bien, mientras que un valor de factor de potencia bajo indica la condición opuesta, la relación de P/S, es decir, kW divididos por kVA en un momento dado es la siguiente:

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}}$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{U * I * \cos \varnothing}{U * I} = \cos \varphi \quad (1)$$

#### 2.2.6.1.5. FLUCTUACIÓN DE TENSIÓN FLICKER.

Las fluctuaciones de tensión son variaciones periódicas de amplitud o frecuencia, en la red eléctrica. Su duración va desde varios milisegundos hasta los 10 segundos y con una amplitud no superior al 10% del valor nominal.

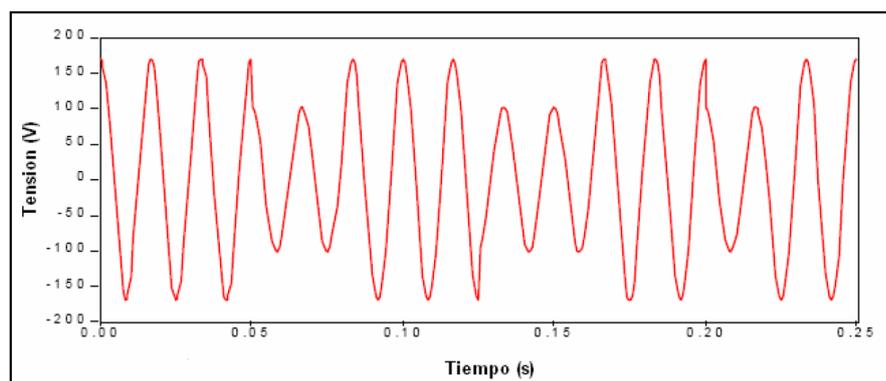
El término flicker proviene de las fluctuaciones de tensión, que resultan ser percibidas por el ojo humano como una especie de “parpadeo” en lámparas, bombillos y otros tipos de iluminación. Para ser técnicamente correctos, la fluctuación de tensión es un fenómeno electromagnético, mientras que el “flicker” es un resultado indeseable de la fluctuación de tensión en algunas cargas. Sin embargo, los dos términos están frecuentemente relacionados en estándares.

Los flicker se producen, por cargas que muestran una rápida y continua variación en la corriente de carga, particularmente en la componente reactiva (capacitancias e inductancias), como pueden ser soldadoras eléctricas, hornos de arco, arranque de grandes motores, etc.

Los efectos de las fluctuaciones de tensión, suelen ser muy diversos, desde problemas técnicos que pueden interrumpir procesos de producción, hasta el efecto fisiológico del parpadeo que puede producir molestias y deterioro de la calidad del

trabajo, provocando la reducción de los niveles de concertación y fatiga en los trabajadores. Para el primer caso, en las máquinas eléctricas las fluctuaciones de tensión en los terminales de los generadores y motores síncronos provocan un funcionamiento irregular y el desgaste anticipado de los rotores. También producen variaciones del par motor y de la potencia, además de un aumento en las pérdidas. (Zapata, 2010)

*Gráfico 9: Forma de Onda afectada por Fluctuación de tensión.*



*Fuente: (Zapata, 2010)*

#### **a) TOLERANCIA PARA FLICKER EN EL VOLTAJE.**

El criterio de medición permite conocer el nivel de sensación que experimentaría un observador medio en el punto de la red en el que se conecte el medidor. El “flickermetro<sup>5</sup>” proporciona sus medidas en unidades de perceptibilidad.

#### **b) ÍNDICE DE EVALUACIÓN DEL FLICKER.**

- Pst: Evalúa la severidad del flicker en períodos cortos de tiempo con intervalos de observación de 10 minutos. Si el Pst es superior a 1, se considera que afecta negativamente.
- Plt: Evalúa la severidad del flicker a largo plazo, con intervalos de observación de 2 horas.

---

<sup>5</sup> Flickermetro: Medidor de flicker, simula el proceso de percepción.

$$Plt = \frac{\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} Pst_i^3}}{12} \quad (2)$$

Tabla 1: Nivel de Compatibilidad de la Severidad del Flicker

Nivel de Tensión	Pst [P.U.]	Plt [P.U.]
Baja tensión	1	0.8
Media tensión	1	0.8
Alta tensión	0.8 a 0.9	0.65 a 0.8

Fuente: (MEM. Dirección General de Electricidad D.S. N° 020- 97-EM, 1997).

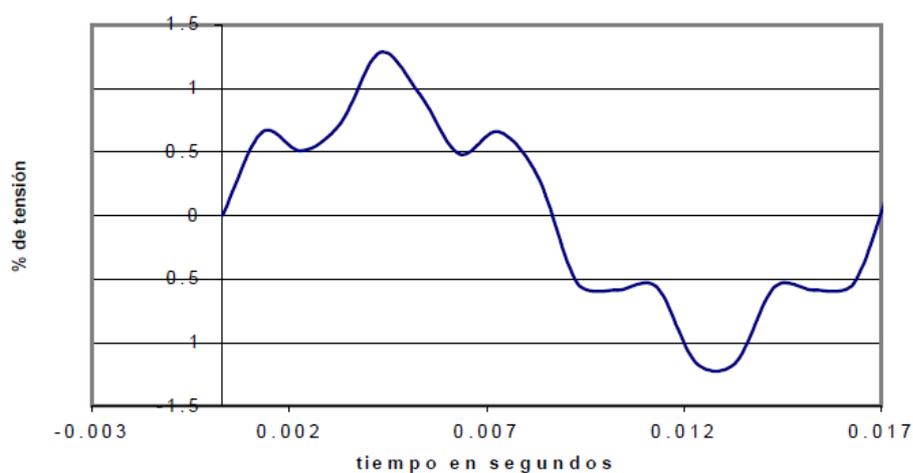
### 2.2.6.1.6. ARMÓNICOS.

Los armónicos son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación.

Que para el caso de nuestro país, la frecuencia fundamental es de 60 Hz, por lo tanto, la segunda armónica será de 120 Hz, la tercera de 180 Hz, etc.

Las formas de onda distorsionadas se pueden descomponer, con el análisis de Fourier, resultando la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas.

Gráfico 10: Onda de distorsión Armónica



Fuente: (Transmisiones Eléctricas , 2015)

### 2.2.6.1.6.1. ANÁLISIS DE FOURIER.

La serie de Fourier de una función periódica  $x(t)$  tiene la siguiente expresión:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) \right) \quad (3)$$

En esta expresión  $a_0$  constituye el valor medio de la función  $x(t)$ , mientras que  $a_n$  y  $b_n$ , los coeficientes de la serie, son las componentes rectangulares del  $n$ th armónico.

El correspondiente  $n$ th vector armónico es:

$$A_n \angle \varphi_n = a_n + jb_n \quad (4)$$

Con una magnitud:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (5)$$

y un ángulo de fase:

$$\varphi_n = \tan^{-1} \left( \frac{b_n}{a_n} \right) \quad (6)$$

Puede demostrarse que para una función dada  $x(t)$  el coeficiente constante  $a_0$  es:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt \quad (7)$$

También puede verificarse que:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (8)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (9)$$

Para los  $n=1 \rightarrow \infty$

### 2.2.6.1.6.2. PARÁMETROS DE LOS ARMÓNICOS.

Los armónicos se clasifican por tres parámetros (Orden, frecuencia y secuencia) que definen perfectamente la función del armónico correspondiente en las redes eléctricas.

#### A. ORDEN DE LOS ARMÓNICOS.

Partiendo de que la frecuencia fundamental en Perú es de 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7... Orden natural de los números.

También se define como la relación que hay entre la frecuencia del armónico ( $f_n$ ) y la frecuencia fundamental ( $f_{60}$ ).

$$n = \frac{f_n}{f_{60}} \quad (10)$$

#### B. FRECUENCIA EN LOS ARMÓNICOS.

Se define como el resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz), por ejemplo:

- 3<sup>a</sup> armónica 3 x 60 Hz = 180 Hz.
- 5<sup>a</sup> armónica 5 x 60 Hz = 300 Hz.
- 7<sup>a</sup> armónica 7 x 60 Hz = 420 Hz.

Los armónicos de orden impar son los que se encuentran en las redes eléctricas de la industria, edificios y explotaciones industriales, aeropuertos, etc. Los de orden par solo aparecen cuando hay asimetría en la señal eléctrica.

#### C. LA SECUENCIA DE LOS ARMÓNICOS.

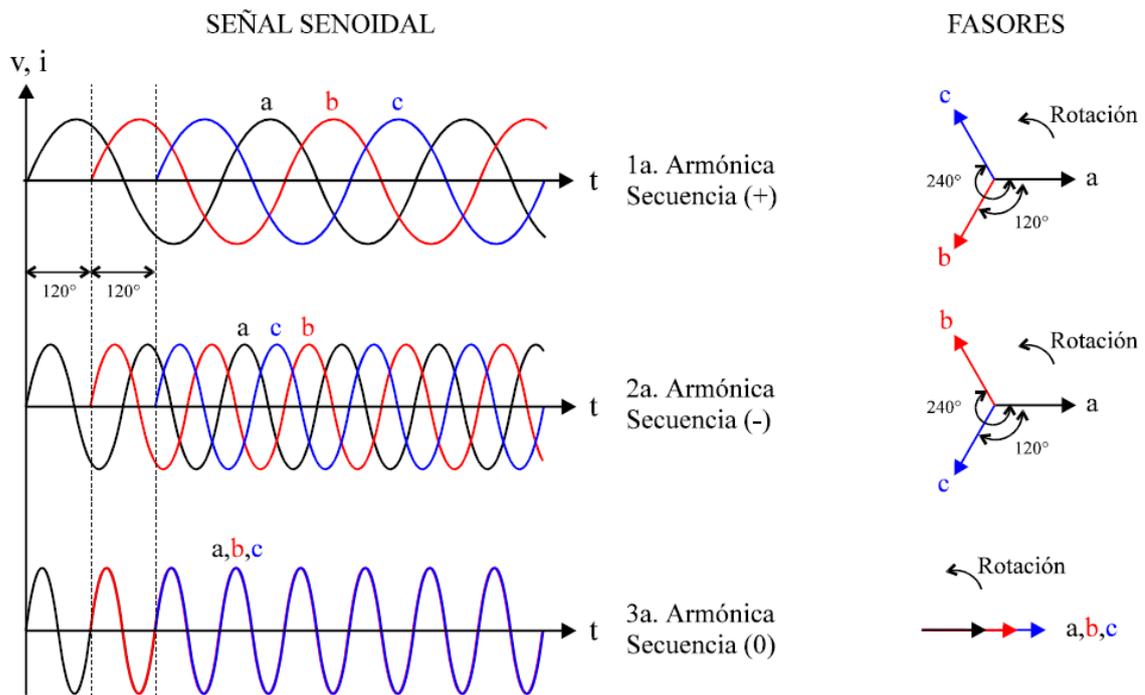
La secuencia positiva o negativa de los armónicos no determinan un comportamiento concreto de los mismos en las redes eléctricas, son igual de perjudiciales unos que otros.

Una secuencia de fases positiva (+) significa que la señal alcanza su valor pico en la secuencia a, b, c (como se muestra en el Gráfico 11(1a)). Representadas con fasores y tomando como referencia la fase “a”, la fase “b” está retrasada  $120^\circ$  y la fase “c” está retrasada  $240^\circ$  con respecto a la fase “a”.

Una secuencia de fases negativa (-) significa que la señal alcanza su valor pico en la secuencia a, c, b, (como se muestra en el Gráfico 11(2a)). Representadas con fasores y tomando como referencia la fase “a”, la fase “c” está retrasada  $120^\circ$  y la fase “b” está retrasada  $240^\circ$  con respecto a la fase “a”.

Una secuencia de fases cero (0) significa que las señales a, b, c, alcanzan su valor pico en el mismo instante (como se muestra en el Gráfico 11(3a)), es decir, están en fase (no existe ángulo entre ellos). (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)

Gráfico 11: Señal Senoidal – Fasores.



Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)

### 2.2.6.1.6.3. TASAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA.

Los valores de distorsión están definidos en porcentaje (%) de cantidades eléctricas, estos valores son muy utilizados para conocer el grado de contaminación de las redes eléctricas.

### 2.2.6.1.6.4. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN TENSIÓN (THDV).

El THDV es usado para definir el efecto de las armónicas en la señal de tensión del sistema eléctrico de potencia, es usado en baja, media y alta tensión. Es la relación de la raíz de la suma de los cuadrados de las armónicas de tensión con respecto a la fundamental, expresada en % y es definido como:

$$\% THDV = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad (11)$$

Donde:

**THDV**: Distorsión armónica total en tensión.

Expresada en %.

$h$  : Orden de la armónica (a partir de la 2ª componente: 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, etc...)

$V_h$  : Voltios de cada componente armónica.

$V_1$  : Voltios de componente fundamental. (1ª armónica = 60 Hz).

Aplicando la expresión anterior, en la siguiente tabla se muestra un ejemplo para obtener del valor de THDV en volts y en % calculado a partir de las componentes armónicas indicadas en el cuadro. (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)

### 2.2.6.1.6.5. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN CORRIENTE (THDI).

El THDI es usado para definir el efecto de las armónicas en la señal de corriente del sistema eléctrico de potencia, es usado en baja, media y alta tensión. Es la relación de la

raíz de la suma de los cuadrados de las armónicas de corriente con respecto a la fundamental, expresada en % y es definido como:

$$\% THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} * 100 \quad (12)$$

#### 2.2.6.1.6.6. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL.

THD corresponde a Distorsión Total Armónica (tasa de distorsión armónica global). La tasa de distorsión armónica es frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

Para una señal  $y(t)$ , la tasa de distorsión armónica está definida por la ecuación:

$$THD = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}{y_1} * 100\% \quad (13)$$

Cuando se trata con armónicos de tensión, la expresión se convierte en:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} * 100\% \quad (14)$$

Cuando se trata con armónicos de intensidad, la expresión se convierte en:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} * 100\% \quad (15)$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$IHD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100\% \quad (16)$$

Para armónicas individuales:

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} * 100\% \quad (17)$$

### 2.2.6.1.6.7. FUENTES ARMÓNICAS.

Existe un gran número de dispositivos que producen distorsiones armónicas. En nuestros días, la distorsión armónica constituye un gran problema, debido al uso de cargas no-lineales. Algunas de estas fuentes han existido desde la implantación de los sistemas de potencia; otros han existido pero en números más pequeños durante muchos años atrás. Una vez más, el progreso tecnológico ha traído consigo una contaminación grave del medio (en este caso, eléctrico), por lo tanto, es preciso aprender a controlarlo a base de una técnica adecuada. (Enriquez Harper, 1999)

En el cuadro 1 se ve los diferentes tipos de cargas las cuales producen armónicos, cada uno en diferentes niveles.

*Cuadro 1: Fuentes Armónicas.*

<b>Componente/elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Convertidores</b>	Inyectan armónicos de corriente al sistema mediante rectificadores.
<b>Hornos de inducción</b>	Los rectificadores e inversor, mediante una bobina generan calor.
<b>Compensadores estáticos de potencia.</b>	Utilizan tiristores para el control de la potencia reactiva.
<b>Hornos de arco eléctrico</b>	Son cargas que no se encuentran en estado estable.
<b>Lámparas fluorescentes</b>	Son cargas no lineales, las corrientes armónicas que se generan pueden fluir a través de los conductores hacia los transformadores.
<b>Equipos de computo</b>	La fuente de alimentación interna conformada por un puente rectificador produce armónicos.
<b>Equipos domésticos</b>	Utilizan dispositivos electrónicos y son cargas no lineales, por lo cual son fuentes de armónicos.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.6.1.6.8. EFECTOS QUE PRODUCEN LOS ARMÓNICOS.

En el cuadro 2 se ve los diferentes efectos que producen los armónicos a los componentes y elementos de todo el sistema eléctrico.

Cuadro 2: Efectos que producen los armónicos.

Componente/elemento	Problema	Efecto
<b>Conductor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de la corriente.</li> <li>- Aumento de la resistencia.</li> <li>- Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule)</li> <li>- Efecto “Skin”.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calentamiento de cables.</li> <li>- Disparo de protecciones.</li> </ul>
<b>Conductor de neutro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circulación de armónicos múltiplos de 3.</li> <li>- Retorno por el conductor de neutro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobreintensidad de la corriente circulando por el neutro.</li> <li>- Calentamiento en el neutro.</li> <li>- Degradación prematura del conductor de neutro.</li> <li>- Tensión neutro-tierra.</li> <li>- Disparo de protecciones.</li> </ul>
<b>Condensadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resonancia paralelo con el sistema.</li> <li>- Amplificación de los armónicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calentamiento.</li> <li>- Envejecimiento prematuro de condensadores.</li> <li>- Destrucción de condensadores.</li> </ul>
<b>Transformadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circulación de corrientes armónicas por los devanados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobrecalentamiento de los devanados.</li> <li>- Pérdidas de aislamiento térmico por calentamiento.</li> <li>- Pérdidas en el cobre y en el hierro (Histéresis y Foucault).</li> <li>- Disminución del rendimiento</li> <li>- Sobredimensionado del transformador.</li> <li>- Saturación del transformador (crea mayor distorsión).</li> </ul>
<b>Motores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circulación de corrientes armónicas por los devanados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobrecalentamiento de los devanados.</li> <li>- Pérdidas de aislamiento térmico por calentamiento.</li> <li>- Pérdidas en el cobre y en el hierro (Histéresis y Foucault).</li> <li>- Disminución del rendimiento.</li> <li>- Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidad.</li> <li>- Reducción del par.</li> </ul>
<b>Grupo electrógeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema blando, con mayor impedancia que la red.</li> <li>- Tensión distorsionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad de sincronización automática y posterior conmutación.</li> </ul>
<b>Equipos de medida y control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas no válidas.</li> <li>- Errores en procesos de control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Error en equipos que toman como referencia el paso por cero de la onda.</li> <li>- Saturación de transformadores de medida y/o protección.</li> <li>- Valores de magnitudes incorrectas.</li> </ul>

Fuente: (Serra, 2009)

#### **2.2.6.1.6.9. LA TERCERA Y LA QUINTA ARMÓNICA (3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup>)**

##### **A. LA 3<sup>ra</sup> ARMÓNICA.**

La onda fundamental tiene una amplitud igual a tres veces la 3ra armónica, y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante.

La 3ra armónica tiene la particularidad de que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental, y tiene secuencia cero, por lo que en el sistema trifásico de cuatro hilos (R, S, T y N) entra en anillo con las tres fases (R, S y T) desplazándose por el neutro (N). Igual ocurre con la 6ta y 9na, etc.

##### **B. LA 5<sup>ta</sup> ARMÓNICA.**

Igual que en el caso anterior la onda fundamental tiene una amplitud igual a cinco veces, la 5ta armónica, y ambas tiene su valor de pico en el mismo instante.

La 5ta armónica, a diferencia de la 3ra armónica, No es múltiplo eléctrico de la fundamental por lo que se desplaza por las tres fases R, S, y T, es la primera armónica que afecta a los condensadores y al sistema trifásico, al igual que la 7ma, 11va, etc. (RTR Energia, 2012)

#### **2.2.6.1.6.10. COMPORTAMIENTO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE ACUERDO A LA CONEXIÓN DE LOS DEVANADOS (PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR).**

En los transformadores delta–estrella las corrientes armónicas “triples” se suman en el neutro del secundario. En el primario, las corrientes armónicas “triples” de las cargas desbalanceadas salen por los conductores y los de las cargas balanceadas quedan atrapados en el devanado de la delta.

Aunque esto podría utilizarse para eliminar las armónicas de “triples” balanceadas, solo es válido en determinadas aplicaciones por los problemas que genera la recirculación de dichas corrientes en la delta. (Sanchez, 2004)

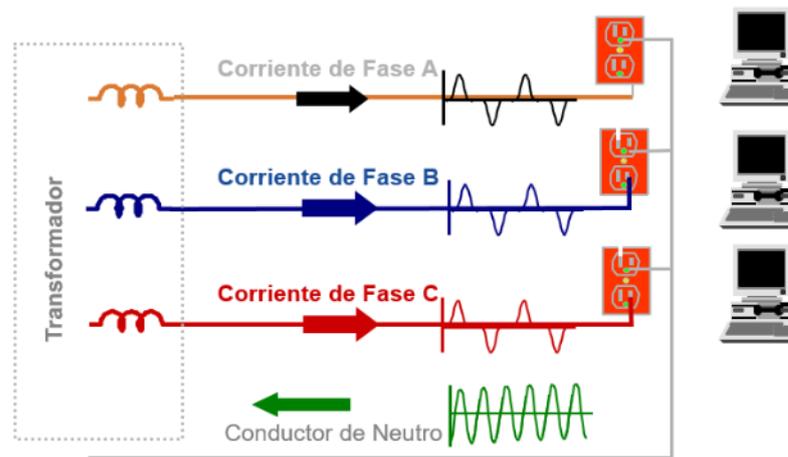


Figura 1: Efecto de los armónicos en conductor neutro

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

#### 2.2.6.1.6.11. POTENCIA DE DISTORSIÓN.

Consideramos la potencia aparente  $S$ :

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \quad (18)$$

En presencia de armónicos se puede reescribir la ecuación como:

$$S^2 = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h \quad (19)$$

Como consecuencia, en presencia de armónicos, la relación  $S^2 = P^2 + Q^2$  no es válida. Se define la potencia de distorsión  $D$  de tal forma que  $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$ . Así pues:

$$S^2 = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (20)$$

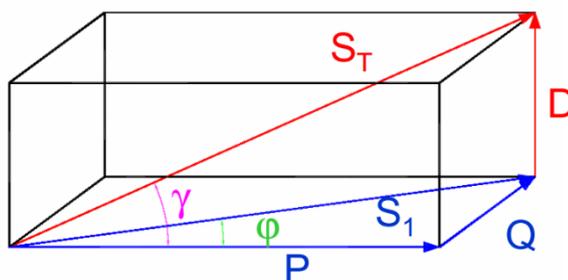


Figura 2: Triángulo de potencia con presencia de armónicos

Fuente: (Representaciones Eléctricas Aguilar S.A., 2008)

## 2.2.7. ENERGÍA Y POTENCIA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

### 2.2.7.1. CORRIENTE.

Una corriente es el desplazamiento de cargas de cualquier clase; por ejemplo electrones en un conductor, en un líquido, en un gas o en el vacío, o bien protones en los mismos medios. También son corrientes los movimientos de cualesquier iones positivos o negativos.

La corriente eléctrica se mide y expresa en ampere. Un ampere es la corriente en la que se transfiere un coulomb<sup>6</sup> por cada segundo que transcurre. Si designamos la carga transferida (en coulomb) con la letra Q, el intervalo de tiempo (en segundos) con  $\Delta t$ , y la corriente (en ampere) con I, tenemos:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad ; \quad 1A = \frac{1C}{1s} \quad (21)$$

Para la corriente se usa I, porque esa magnitud se llama también intensidad de corriente, o intensidad a secas. La letra A es el símbolo de la unidad de corriente, el ampere, la C es la unidad coulomb de carga, y la letra “s” simboliza el segundo de tiempo. El triángulo o delta mayúscula griega equivale a nuestra “D”, y significa

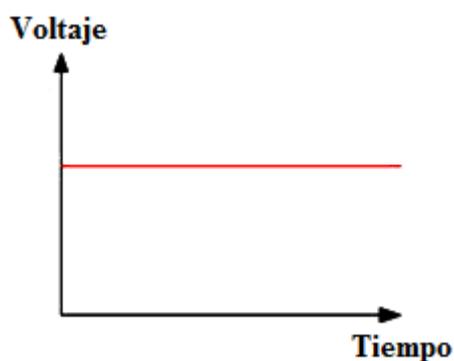
<sup>6</sup> Coulomb: Unidad de carga eléctrica del Sistema internacional, de símbolo C, que equivale a la cantidad de electricidad que transporta una corriente de intensidad de 1 ampere en 1 segundo.

diferencia, variación o intervalo. Un ampere es un coulomb por segundo, y un coulomb, un ampere segundo. (Rela, 2010)

Se puede encontrar los dos tipos de corrientes más comunes como son:

- A. **Corriente Directa (CD) o Corriente Continua**, la cual circula en un solo sentido, es decir del polo negativo al positivo de la fuente de fuerza electromotriz (FEM) que la suministre, dicha corriente siempre mantiene fija su polaridad, como es el caso de pilas, baterías y dinamos

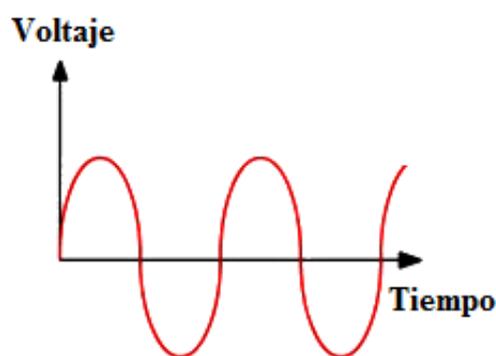
*Gráfico 12: Corriente Directa.*



*Fuente: (Gutierrez Torres, 2014)*

- B. **Corriente Alterna (CA)**, esta se diferencia de la directa cambiando su sentido de circulación periódicamente, y por ende también cambia su polaridad, esta corriente alterna es la más empleada en la industria y es la que consumimos en nuestro hogares, ya sea en sentido de circulación 50 o 60 veces por segundo, dependiendo siempre en el país que se trate, esto se conoce como frecuencia de corriente alterna.

*Gráfico 13: Corriente Alterna.*



*Fuente: (Gutierrez Torres, 2014)*

### **2.2.7.2. ENERGÍA.**

La energía es una fuente renovable la cual se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas llamadas electrones positivos y negativos, la cual se produce en el interior de materiales conductores como, cables metálicos como el cobre y entre otros.

La energía eléctrica es aquella que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico. La energía eléctrica se sabe que se puede transformar en energía lumínica o luz, en energía mecánica y térmica. (Enriquez Harper, 1999)

### **2.2.7.3. POTENCIA.**

Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).

#### **2.2.7.3.1. POTENCIA ACTIVA.**

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten energía eléctrica en otras formas de energía, tales como: mecánica, luminosa, térmica, química, etc..., Esta energía

corresponde a una energía útil o potencia activa, o simplemente potencia, similar a la energía consumida por una resistencia.

Hemos visto previamente que esta potencia puede ser expresada en watts (W).

#### 2.2.7.3.2. POTENCIA REACTIVA.

Los motores, transformadores y en general todos los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación del campo magnético. Esta potencia reactiva corresponde a la potencia reactiva estando 90 desfasada de la potencia activa. Ya vimos que esta potencia es expresada en volts-amperes reactivos (VAR).

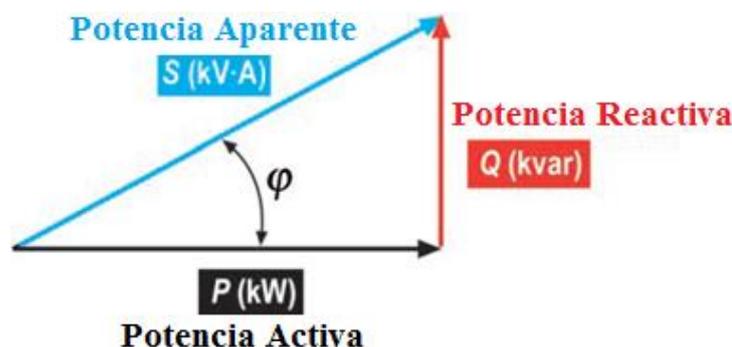
#### 2.2.7.3.3. POTENCIA APARENTE.

El producto de la corriente y el voltaje es llamado potencia aparente, es también la resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y la potencia reactiva.

#### 2.2.7.3.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA.

La siguiente representación gráfica puede ser usada para ilustrar las diferentes formas de potencia eléctrica:

Gráfico 14: Triángulo de Potencia.



Fuente: (Serra, 2009)

El ángulo entre la potencia activa y aparente es denotado por la letra  $\phi$ .

Tenemos que:

Potencia activa = potencia aparente  $\times \cos\phi$

$$P = S \cos\phi \quad (22)$$

El valor del  $\cos\phi$  es llamado factor de potencia.

El factor de potencia puede ser expresada como una función de las potencias activas y reactiva, de lo cual:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (23)$$

$$\cos\phi = \text{F.P.} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (24)$$

Esta fórmula muestra que el factor de potencia puede ser considerado en un valor relativo como un valor característico de la potencia reactiva consumida.

NOTA: Además de  $\cos\phi$ , la tangente del ángulo  $\phi$  es también usada:

$$\tan\phi = \frac{Q}{P} \quad (25)$$

## 2.2.8. IMPACTO ECONÓMICO DE UN SUMINISTRO DEFICIENTE.

### 2.2.8.1. PÉRDIDAS ENERGÉTICAS.

El efecto Joule, inducido por las corrientes armónicas en los conductores y equipos, causa pérdidas energéticas adicionales.

### 2.2.8.2. COSTOS ADICIONALES DE POTENCIA CONTRATADA.

La presencia de corrientes armónicas provoca que se incremente el nivel de potencia contratada y, consecuentemente, el costo de la suscripción. Lo que es más, los

distribuidores de energía tenderán a penalizar en el futuro a quienes produzcan perturbaciones armónicas.

### **2.2.8.3. SOBREDIMENSIONADO DE LOS EQUIPOS.**

El decalaje<sup>7</sup> de las fuentes de energía (generadores, transformadores y SAI's<sup>8</sup>) implica su sobredimensionado. Los conductores deben ser dimensionados teniendo en cuenta la circulación de las corrientes armónicas. Debido a que las frecuencias de los armónicos son mayores que la de la fundamental, las impedancias que se presentan para estas corrientes son mayores. Para evitar excesivas pérdidas debidas al efecto Joule, es necesario sobredimensionar los conductores. La circulación de corrientes armónicas en el conductor neutro implica su sobredimensionado.

### **2.2.8.4. ERROR DE MEDICIÓN.**

La presencia de armónicas afecta severamente la lectura de los instrumentos, lo que implica tomar en cuenta diversas precauciones al realizar una lectura. El análisis que se realiza a continuación se refiere a los instrumentos de uso frecuente.

#### **A. INSTRUMENTOS DE AGUJA DE TIPO ELECTRODINAMOMÉTRICO<sup>9</sup> (INSTRUMENTOS DE INDUCCIÓN).**

Estos instrumentos son los de uso más común en tableros industriales. Su principio de funcionamiento es tal que indican el verdadero valor efectivo (true RMS) de la onda. Dado que emplean inductancias y sólo consideran usualmente hasta la armónica 5 en forma fidedigna. Su mayor problema se relaciona con la calibración ya que, al existir piezas mecánicas giratorias, el roce provoca un error (registran menor valor) de lectura.

---

<sup>7</sup> Decalaje: Descordancia.

<sup>8</sup> SAIs: Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS).

<sup>9</sup> Electrodinamométrico: Galvanómetro en el que el campo magnético crea por la misma corriente de la que se quiere determinar la intensidad, tensión o potencia.

## **B. INSTRUMENTOS DIGITALES CON RECTIFICADOR A LA ENTRADA**

La gran mayoría de los instrumentos digitales a la entrada disponen de un rectificador de modo tal que lo que realmente miden es el valor medio de la onda rectificada. Por cierto, si la onda es sinusoidal el instrumento es de buena precisión. Si la onda contiene armónicas, el instrumento mide un valor inferior al valor eficaz. En la medición de corrientes como las registradas en computadores, el instrumento mide un 30% menos que el valor efectivo (RMS) de la corriente.

## **C. INSTRUMENTOS DE VERDADERO VALOR EFECTIVO (TRUE RMS).**

En general, en estos instrumentos de tipo digital, se emplea un sensor que registra la elevación de temperatura en una resistencia por la cual circula la corriente a medir. Por tanto, el instrumento mide el verdadero valor efectivo de la corriente (o de voltaje) incluyendo todas las armónicas. Debido a que se mide un fenómeno térmico el instrumento no es apto para medir consumos de rápida variación. Otros equipos de mayor calidad realizan la medición empleando un convertidor analógico-digital. (U-Cursos, 2013)

### **2.2.9. OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA.**

Mediante una optimización del uso de los recursos de compensación reactiva (bancos de capacitores y filtros de armónicos) y de controladores de tensión (taps<sup>10</sup> de transformadores, reguladores de tensión), se pueden minimizar los flujos de potencia reactiva por los circuitos, reduciendo por consiguiente las pérdidas en la red. La experiencia y estudios detallados demuestran que puede lograrse un ahorro de pérdidas de ente 5% - 15% en los alimentadores primarios.

---

<sup>10</sup> Taps: Es un selector mecánico que le sobrepone al bobinado primario un número de espiras para que la tensión de salida sea la adecuada según la regulación de tensión que se ha de operar.

Este tipo de medida se ha utilizado en algunos sistemas por décadas, sin embargo su uso no es masivo. Las nuevas tecnologías de redes inteligentes permiten realizar un control más preciso, adaptado a las condiciones del sistema en cada momento, y en forma más automatizada, reduciendo la intervención del operador, y mejorando la eficiencia del control.

#### **2.2.10. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE COMPENSACIÓN REACTIVA.**

En los circuitos de corriente alterna, la corriente absorbida por una carga puede estar representada por dos componentes:

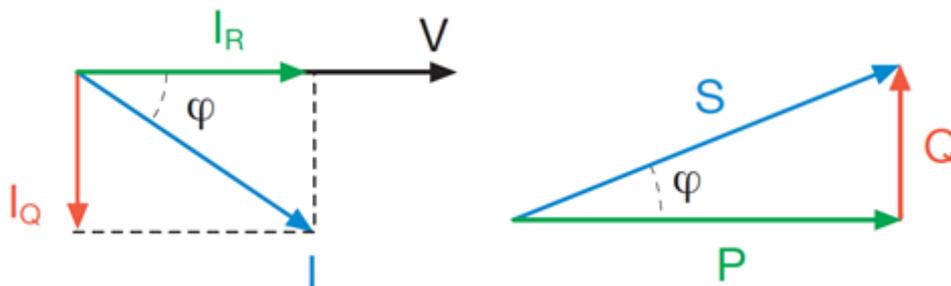
- La componente activa  $I_R$ , en fase con la tensión de alimentación, que está directamente relacionada con el trabajo útil desarrollado (y, por tanto, con la parte proporcional de energía transformada en energía de otro tipo: mecánica, lumínica, térmica...).
- La componente reactiva  $I_Q$ , perpendicular respecto a la tensión, que sirve para producir el flujo necesario para la conversión de las potencias a través del campo eléctrico o magnético y es un índice del intercambio energético entre la alimentación y el elemento de la instalación eléctrica. Sin esta componente no podría haber transferencia neta de potencia, por ejemplo, por intervención del acoplamiento magnético en el núcleo de un transformador o en el entrehierro de un motor.

Por lo general, en presencia de cargas de tipo óhmicoinductivo, la corriente total  $I$  se muestra desfasada y retardada respecto a la componente activa  $I_R$ . Por lo tanto, en una instalación eléctrica es necesario generar y transportar, además de la potencia activa útil  $P$ , una cierta potencia reactiva  $Q$ , indispensable para la conversión de la energía eléctrica que no es utilizada por el elemento sino intercambiada con la red. El complejo

de la potencia generada y transportada constituye la potencia aparente S. El factor de potencia  $\cos\varphi$  se define como la relación entre la componente activa IR y el valor total de la corriente I, siendo  $\varphi$  el ángulo de fase entre la tensión y la corriente. Con una tensión V dada de fase resulta:

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \tag{26}$$

Gráfico 15: Optimización mediante compensación reactiva.



Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

En la tabla 2 se muestran los factores de potencia típicos de algunos aparatos eléctricos.

Tabla 2: Factor de Potencia/Cargas.

CARGA	Factor de Potencia ( $\cos\varphi$ )
Transformadores en vacío.	0.1÷0.15
Motores.	0.7÷0.85
Dispositivos para el tratamiento del metal:	
- Soldadoras de arco.	0.35÷0.6
- Soldadoras de arco compensadas.	0.7÷0.8
- Soldadoras de resistencia.	0.4÷0.6
- Hornos de arco.	0.75÷0.9
Lámparas fluorescentes:	
- Compensadas.	0.9
- No compensadas.	0.4÷0.6
Convertidores de CA – CC.	0.6÷0.95
Accionamiento de CC.	0.4÷0.75
Accionamientos de CA.	0.95÷0.97
Cargas resistivas.	1

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

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

Desde el punto de vista estrictamente técnico, una instalación correctamente dimensionada puede funcionar con normalidad incluso en presencia de un bajo factor de potencia; por este motivo, no existen normas que indiquen el valor exacto del factor de potencia que debe tener una instalación eléctrica. No obstante, efectuar la corrección representa una solución que permite obtener ventajas técnicas y económicas; de hecho, gestionar una instalación con un bajo  $\cos\phi$  implica un incremento de los costes para el distribuidor de energía eléctrica, que consecuentemente aplica un sistema de tarifas que sanciona el uso de la energía con bajos factores de potencia.

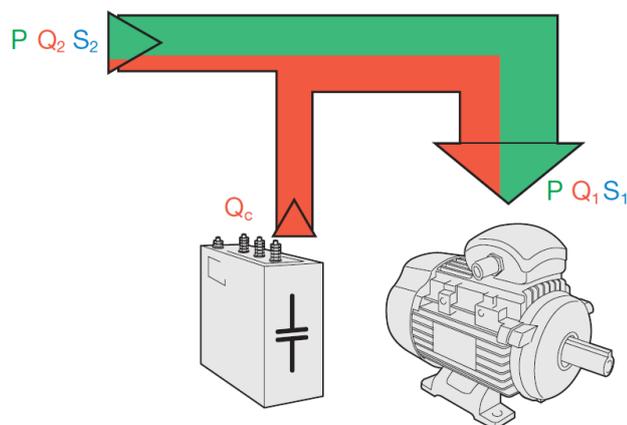
#### **2.2.10.1. VENTAJAS, TÉCNICAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.**

Al aplicar la corrección en una instalación, proporcionando localmente la potencia reactiva necesaria, se reduce el valor de la corriente, (a igual potencia útil requerida), y, por tanto, la potencia global consumida aguas arriba; esto conlleva numerosas ventajas, entre ellas, un uso optimizado de las Máquinas (generadores y transformadores) y de las líneas eléctricas (transmisión y distribución).

En el caso de formas de onda sinusoidales, la potencia reactiva necesaria para pasar de un factor de potencia  $\cos\phi_1$  a un factor de potencia  $\cos\phi_2$  es expresada por la relación:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (27)$$

Gráfico 16: Corrección del Factor de Potencia.



Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

Donde:

- P es la potencia activa.
- Q1,  $\varphi_1$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección.
- Q2,  $\varphi_2$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección,
- Qc es la potencia reactiva de corrección.

## 1. USO OPTIMIZADO DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Los generadores y los transformadores son dimensionados a partir de la potencia aparente S. Ésta, a igual potencia activa P, es más pequeña cuanto menor es la potencia reactiva Q suministrada. Por lo tanto, compensando la instalación, las Máquinas pueden ser dimensionadas en relación con una potencia aparente inferior, aun proporcionando la misma potencia activa. A modo de ejemplo, la tabla 3 muestra la variación de la potencia transmitida para transformadores trifásicos MT/ BT en función del  $\cos\varphi$  del consumidor. Máquinas

Tabla 3: Uso Optimizado de las Máquinas Eléctricas.

Potencia del Transformador [kVA]	Potencia activa transmitida					
	[kW]					
	Cos $\phi$					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1000	500	600	700	800	900	1000
1250	625	750	875	1000	1125	1250

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

Según esta tabla, si se requiere alimentar una serie de cargas con una potencia total de 170 kW con  $\cos\phi = 0.7$ , hace falta un transformador de 250 kVA. Si las cargas absorbieran la misma potencia con  $\cos\phi = 0.9$ , en vez de 0.7, bastaría con utilizar un transformador de 200 kVA.

## 2. USO OPTIMIZADO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS.

La corrección del factor de potencia permite obtener ventajas también con respecto al dimensionamiento de los cables. Como se señalaba anteriormente, aumentándolo se reduce la corriente, a igual potencia útil. Esta reducción de la corriente puede permitir la elección de conductores de sección inferior.

## 3. REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS.

Las pérdidas de potencia en un conductor eléctrico dependen de la resistencia del conductor y del cuadrado de la corriente que lo atraviesa; dado que a igual potencia activa transmitida más alto es el  $\cos\phi$  y más baja es la corriente, al crecer el factor de potencia disminuyen las pérdidas en el conductor ubicado aguas arriba respecto al punto

en el que se lleva a cabo la corrección. En un sistema trifásico, las pérdidas se expresan de la siguiente manera:

$$P = 3 * R * I^2 = R * \frac{(P^2+Q^2)}{U_n^2} \quad (28)$$

Dado que:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{\sqrt{(P^2+Q^2)}}{\sqrt{3} * U_n} \rightarrow 3 * I^2 = \frac{(P^2+Q^2)}{U_n^2} \quad (29)$$

Donde:

- I es la corriente que atraviesa el conductor.
- R es la resistencia del conductor.
- S es la potencia aparente requerida por la carga.
- P es la potencia activa requerida por la carga.
- Q es la potencia reactiva requerida por la carga.
- Un es la tensión nominal de alimentación.

La reducción de las pérdidas  $\Delta p$ , una vez efectuada la compensación, viene dada por:

$$\Delta p = p_1 * \left[ 1 - \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \right] \quad (30)$$

Donde:

- $p_1$  son las pérdidas antes de la corrección.
- $\cos \varphi_1$  es el factor de potencia antes de la corrección.
- $\cos \varphi_2$  es el factor de potencia tras la corrección.

#### 4. REDUCCIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.

La caída de tensión concatenada en una línea trifásica puede expresarse del siguiente modo:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \frac{P}{U_n} * (R + X \tan \varphi) \quad (31)$$

Donde:

- R y X son respectivamente la resistencia y la reactancia de la línea.
- P es la potencia activa transmitida.
- I es la corriente.
- $U_n$  es la tensión nominal.

A igual potencia activa transmitida, la caída de tensión será menor cuanto mayor sea el factor de potencia. La variación de dicha tensión es menor (a igual componente activa de corriente de carga y, por tanto, de la potencia activa) cuanto menor es el ángulo  $\phi$  de desfase entre tensión y corriente; además, esta variación es mínima si no hay algún consumo de potencia reactiva (corriente de fase).

## **5. MEDIOS DE PRODUCCIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA**

Los principales medios para la producción de potencia reactiva son:

- Alternadores sincrónicos.
- Compensadores sincrónicos.
- Compensadores estáticos.
- Baterías de condensadores estáticos.

### **A. ALTERNADORES SÍNCRONOS**

Los alternadores sincrónicos son las principales Máquinas eléctricas utilizadas para la generación de energía eléctrica. Proporcionan potencia eléctrica al usuario final a través de los sistemas de transmisión y de distribución. Por otro lado, dejando de lado los detalles técnicos, se puede actuar sobre la excitación del alternador para variar el valor de la tensión generada y, con ello, regular las aportaciones de potencia reactiva en la red, con objeto de mejorar los perfiles de tensión del sistema y reducir las pérdidas por efecto Joule en las líneas.

## B. COMPENSADORES SÍNCRONOS

Se trata de motores sincrónicos que funcionan en vacío, puestos en sincronismo con la red, cuya única función es absorber la potencia reactiva excedente (funcionamiento en subexcitación) o bien proporcionar la potencia que falta (funcionamiento en sobreexcitación).

## C. COMPENSADORES ESTÁTICOS.

El notable desarrollo de la electrónica de potencia está favoreciendo la sustitución de los compensadores sincrónicos por sistemas estáticos para el control de la potencia reactiva como, por ejemplo, los TSC ("thyristor switched capacitors") y los TCR ("thyristor controlled reactors"), una versión electrónica de los sistemas de compensación de energía reactiva basados en componentes electromecánicos en los que, sin embargo, la inserción de los distintos condensadores no viene dada por la apertura y el cierre de contactores, sino por medio del control ofrecido por parejas de tiristores en antiparalelo.

## D. BATERÍAS DE CONDENSADORES ESTÁTICOS.

El condensador es un bipolo pasivo constituido por dos superficies conductoras, llamadas armaduras, entre las cuales se interpone un material dieléctrico.

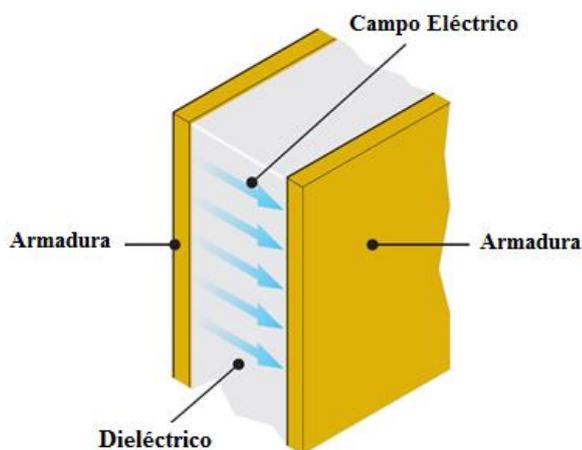


Figura 3: Baterías de Condensadores Estáticos.

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

Este sistema queda impregnado con una sustancia que impide la penetración de humedad o la formación de burbujas que podrían dar lugar a descargas eléctricas.

Los condensadores de última generación son de tipo en seco, los cuales son sometidos a un tratamiento específico que mejora sus propiedades eléctricas. Los condensadores en seco no presentan riesgos de contaminación por la eventual pérdida de la sustancia impregnante.

En función de la geometría de las armaduras metálicas, pueden ser:

- Condensadores planos.
- Condensadores cilíndricos.
- Condensadores esféricos.

Las principales magnitudes que caracterizan a un condensador son:

- la capacidad nominal  $C_n$ : el valor de la capacidad obtenido de los valores nominales de la potencia, de la tensión y de la frecuencia del condensador;
- la potencia nominal  $Q_n$ : la potencia reactiva para la que el condensador ha sido diseñado;
- la tensión nominal  $U_n$ : el valor eficaz de la tensión alterna para la que el condensador ha sido diseñado;
- la frecuencia nominal  $f_n$ : la frecuencia para la cual el condensador ha sido diseñado.

Aplicando una tensión alterna entre las armaduras, el condensador está sometido a ciclos de carga y descarga durante los cuales acumula energía reactiva (carga del condensador) para luego inyectarla al circuito al que va conectado (descarga del condensador).

Esta energía se expresa con la relación:

$$E_C = \frac{1}{2} * C * U^2 \quad (32)$$

Donde:

- C es la capacidad del condensador
- U es la tensión aplicada en los extremos del condensador

Debido a su capacidad de acumular y suministrar energía, el condensador se utiliza como elemento de base para la realización de las baterías de corrección del factor de potencia (en todos los niveles de tensión) y de los dispositivos estáticos de regulación de la potencia reactiva. En concreto, los condensadores de corrección utilizados en baja tensión están constituidos por elementos monofásicos realizados con películas de polipropileno metalizado y pueden ser de tipo autorregenerables. En los condensadores de este tipo, la parte dieléctrica dañada por una descarga es capaz de regenerarse; en tales situaciones, la parte de la película de polipropileno afectada por la descarga se volatiliza por el efecto térmico causado por la misma descarga, restableciendo de este modo la parte dañada.

## **6. TIPOS DE CORRECCIÓN.**

En los capítulos anteriores se ha visto cuáles son las ventajas técnicas y económicas de la compensación. Queda por explicar dónde se deben instalar los condensadores para sacar el máximo rendimiento de dichas ventajas.

Si bien no existen reglas específicas para los diferentes tipos de instalaciones y, en teoría, los condensadores pueden instalarse en cualquier punto, es preciso evaluar su ejecución práctica y económica. A partir de las modalidades de ubicación de los condensadores, los principales métodos de corrección son:

- Corrección del factor de potencia distribuida.
- Corrección del factor de potencia por grupos.
- Corrección del factor de potencia centralizada.
- Corrección del factor de potencia mixta.

- Corrección del factor de potencia automática.

#### a. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DISTRIBUIDA.

La corrección distribuida se realiza conectando una batería de condensadores debidamente dimensionada directamente a los terminales del dispositivo que necesita la potencia reactiva.

La instalación es sencilla y poco costosa: el condensador y la carga pueden beneficiarse de las mismas protecciones contra sobrecorrientes y se insertan o desconectan a la vez.

Este tipo de corrección es aconsejable para grandes aparatos con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión prolongados; por lo general, es utilizado para motores y lámparas fluorescentes.

La figura 2 presenta los esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.

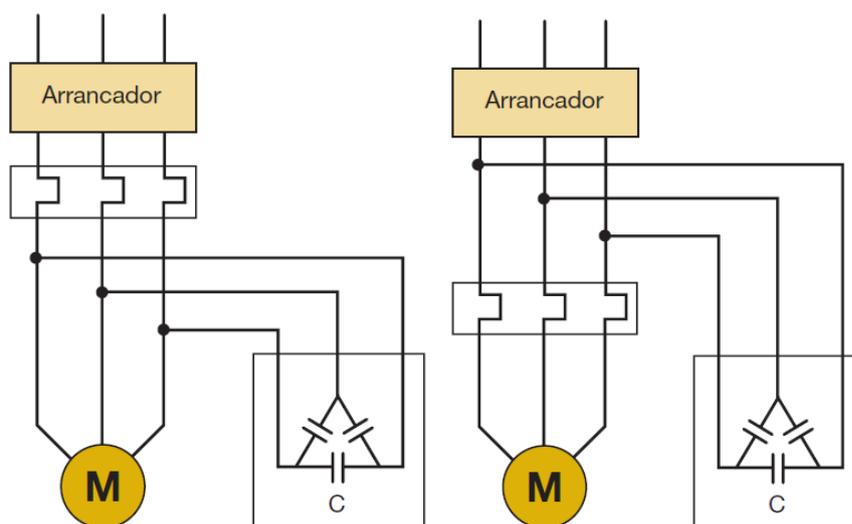


Figura 2.1

Figura 2.2

Figura 4: Corrección del Factor de Potencia Distribuida.

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

En caso de conexión directa (figura 2.1 y 2.2) se corre el riesgo de que, tras el corte de la alimentación, el motor, al continuar rotando (energía cinética residual) y

autoexcitándose con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, se transforme en un generador asíncrono. Si esto ocurre, la tensión se mantiene en el lado de carga del dispositivo de maniobra y control, con riesgo de peligrosas sobretensiones (hasta el doble de la tensión nominal).

Por medio de la figura 2.3, la batería de compensación se conecta al motor sólo cuando éste está en marcha y se desconecta del mismo antes de que se produzca el corte de la alimentación del motor. Con este tipo de corrección, toda la red aguas arriba de la carga trabaja con un factor de potencia elevado; por el contrario, esta solución resulta costosa económicamente.

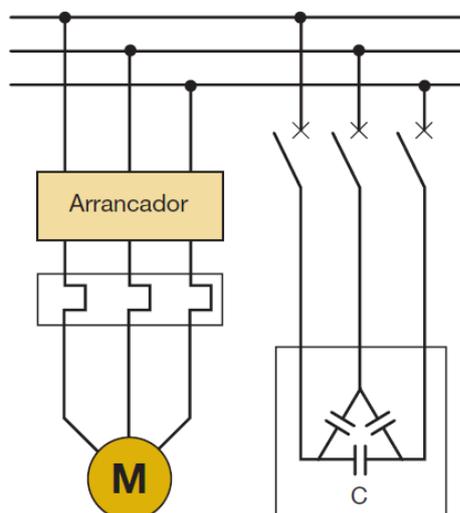


Figura 2.3

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

#### b. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA POR GRUPOS.

Consiste en corregir localmente grupos de cargas con características de funcionamiento similares mediante la instalación de una batería de condensadores.

Este método se encuentra a medio camino entre la solución económica y el correcto servicio de la instalación, ya que los beneficios de la corrección afectan sólo a las líneas aguas arriba respecto al punto en el que se encuentra instalada la batería de condensadores.

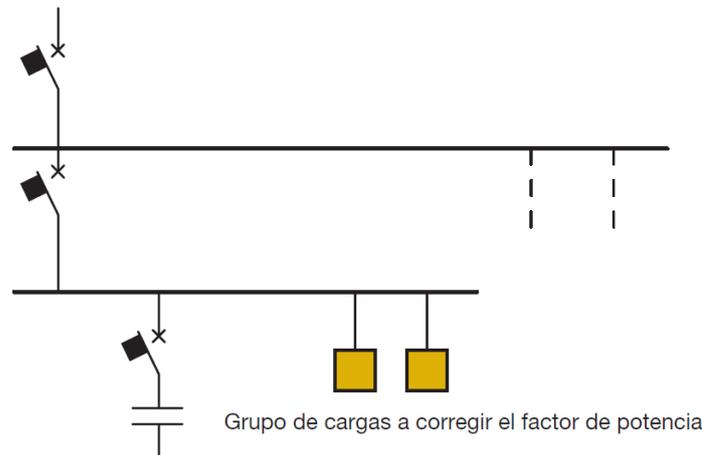


Figura 5: Corrección del Factor de Potencia por Grupos.

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

**c. CORRECCIÓN CENTRALIZADA.**

El comportamiento diario de las cargas tiene una importancia fundamental para la elección del tipo de corrección más conveniente. En instalaciones con muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y/o algunos están conectados sólo unas pocas horas al día, es evidente que la solución de la corrección distribuida resulta demasiado costosa, quedando durante largos periodos inutilizados muchos de los condensadores instalados. Por tanto, el uso de un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir notablemente la suma de potencias de los condensadores instalados.

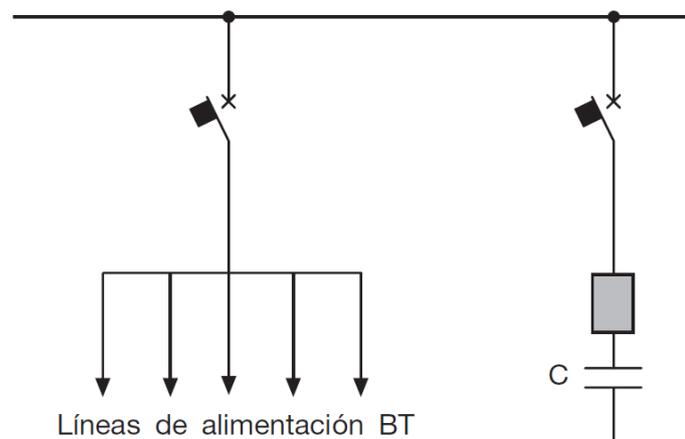


Figura 6: Corrección Centralizada.

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

En la corrección centralizada se emplean normalmente complejos automatismos (véase más adelante corrección automática), con baterías fraccionadas en más escalones, instalados directamente en los cuadros principales de distribución; el uso de una batería conectada permanentemente sólo es posible si la absorción de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día.

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

#### **d. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, SOLUCIÓN MIXTA.**

Esta solución deriva de un compromiso entre las soluciones de corrección distribuida y centralizada, combinando las ventajas de ambos. De esta forma, se utiliza la corrección distribuida para los aparatos eléctricos de mayor potencia, y la centralizada para la parte restante. La corrección mixta se emplea generalmente cuando en una instalación sólo se utilizan con frecuencia los equipos más pesados, de manera que éstos son compensados individualmente mientras que los demás aparatos son compensados de forma centralizada.

#### **e. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, SOLUCIÓN AUTOMÁTICA.**

En la mayor parte de las instalaciones no tiene lugar una absorción constante de potencia reactiva, por ejemplo, a causa de ciclos de trabajo en los que se utilizan Máquinas con diferentes propiedades eléctricas.

En dichas instalaciones se emplean sistemas de corrección automáticos que, por medio de un sistema de detección de tipo varimétrico<sup>11</sup> y de un regulador del factor de

---

<sup>11</sup> Varimétrico: Del instrumento Varímetro, utilizado para medir la potencia eléctrica relativa (Q) de un circuito a unidades de VAR.

potencia, permiten la inserción o la desconexión automática de las diferentes baterías de condensadores, siguiendo de esta forma las variaciones de la potencia reactiva absorbida y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación.

Un sistema de corrección automática está compuesto por:

- Sensores que detectan las señales de corriente y tensión.
- Una unidad inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y ejecuta la inserción o la desconexión de las baterías de condensadores en función de la potencia reactiva necesaria (regulador del factor de potencia).
- Un cuadro eléctrico de potencia, que incluye los dispositivos de protección y maniobra.
- Baterías de condensadores.

## **7. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.**

Para dimensionar la batería de condensadores a instalar para corregir la instalación, hay que determinar de manera precisa el factor de potencia a partir de los consumos o del ciclo de carga de la instalación; así se evita la inyección de excesiva energía reactiva, condición que normalmente no está permitida por las compañías eléctricas.

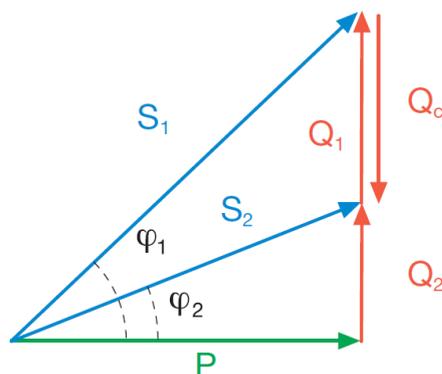
Si se desea efectuar una corrección distribuida o por grupos, es necesario determinar el  $\cos\phi$  de la carga o del grupo de cargas (reparto); esto puede llevarse a cabo de los siguientes modos:

- directamente, mediante medida directa por medio de un cosfímetro;
- indirectamente, a través de la lectura de los contadores de energía activa y reactiva.

## 8. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA NECESARIA.

Una vez conocido el factor de potencia de la instalación ( $\cos\phi_1$ ) y el que se quiere obtener ( $\cos\phi_2$ ), es posible determinar la potencia reactiva necesaria de la batería de condensadores para alcanzar la corrección.

Gráfico 17: Determinación de la Potencia reactiva necesaria.



Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

Siendo:

- $P$  la potencia activa instalada.
- $\phi_1$  el ángulo de desfase antes de la corrección.
- $\phi_2$  el ángulo de desfase que se quiere obtener con la corrección la potencia de la batería de condensadores  $Q_c$  es igual a:

$$Q_c = (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) * P = K * P \quad (33)$$

### 2.2.11. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE COMPENSACIÓN DE FILTROS.

Como se vio en el apartado 2.2.6.1.6. Armónicos son las componentes de una forma de onda distorsionada y su utilización permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal, descomponiéndola en distintas componentes sinusoidales.

### 2.2.11.1. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS.

#### A. SOBRECARGAS.

La presencia de armónicos en la red eléctrica puede provocar un funcionamiento anómalo de los aparatos, como sobrecargas en el conductor de neutro, aumento de las pérdidas en los transformadores, daños en el par de los motores, etc. En concreto, los armónicos son el fenómeno que más daños causa a los condensadores de compensación.

De hecho, se sabe que la reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia; por lo tanto, la impedancia producida en los armónicos de tensión disminuye al aumentar el orden de armónicos. Esto significa que los condensadores, al estar alimentados por una tensión deformada, pueden absorber una corriente con una magnitud que podría dañarlos seriamente, a continuación se muestra la ecuación 34, denotando Reactancia Capacitiva e Inductiva.

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad (34)$$

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L \quad (35)$$

Imaginemos que, en el caso de una batería de condensadores conectada en triángulo, es posible calcular la corriente de línea correspondiente al n-ésimo armónico según la siguiente relación:

Donde:

- $I_n$  es la corriente correspondiente al n-ésimo armónico.
- $n$  es el orden de armónicos.
- $\omega$  es la pulsación del armónico fundamental.
- $C$  es la capacidad del condensador.
- $U_n$  es la tensión concatenada correspondiente al n-ésimo armónico.

La corriente total de línea absorbida por la batería de condensadores será:

$$I_c = \sqrt{3} * \omega * C * \sqrt{U_1^2 + \sum_{n=2}^{\alpha} (n * U_n)^2} \quad (36)$$

Esta relación evidencia que la corriente absorbida en presencia de armónicos de tensión es superior a la que se tendría en su ausencia. Por ello, las normas IEC EN 60831-1<sup>12</sup> e IEC EN 60931-1 establecen que los condensadores sean capaces de funcionar permanentemente con corriente superior a la corriente nominal de la batería.

## B. RESONANCIA

Un problema aún más importante se da cuando la distorsión en línea alcanza valores elevados, existiendo peligro de resonancia entre el sistema de corrección (capacidad equivalente de los condensadores) y la inductancia equivalente de la red.

La resonancia se presenta cuando la reactancia inductiva y capacitiva se iguala. De esta forma, se hablará de circuito resonante serie cuando la inductancia y la capacidad estén conectadas en serie, o de circuito resonante paralelo si la inductancia y la capacidad se encuentran conectadas en paralelo. En una misma red, pueden darse al mismo tiempo una resonancia en serie y una resonancia en paralelo. La resonancia tiene lugar a una frecuencia concreta, llamada frecuencia de resonancia fr:

$$X_L = X_C \rightarrow f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} \quad (37)$$

Cuando se tiene resonancia en serie, la impedancia total teóricamente se anula:

$$\bar{Z}_t = j(X_L - X_C) = 0 \quad (38)$$

Contrariamente, en presencia de resonancia en paralelo, la impedancia total tiende al infinito:

<sup>12</sup> IEC EN 60831-1: Se refiere a condensadores como a los bancos de condensadores destinados a utilizarse, en particular, para la corrección del factor de potencia de a.c.

$$\bar{Z}_t = \frac{X_L \cdot X_C}{j(X_L - X_C)} \rightarrow \alpha \tag{39}$$

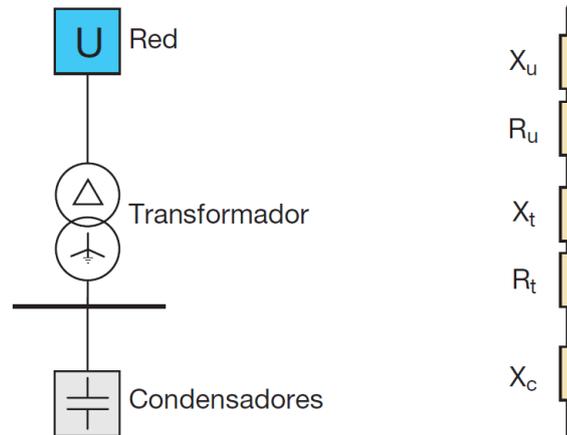
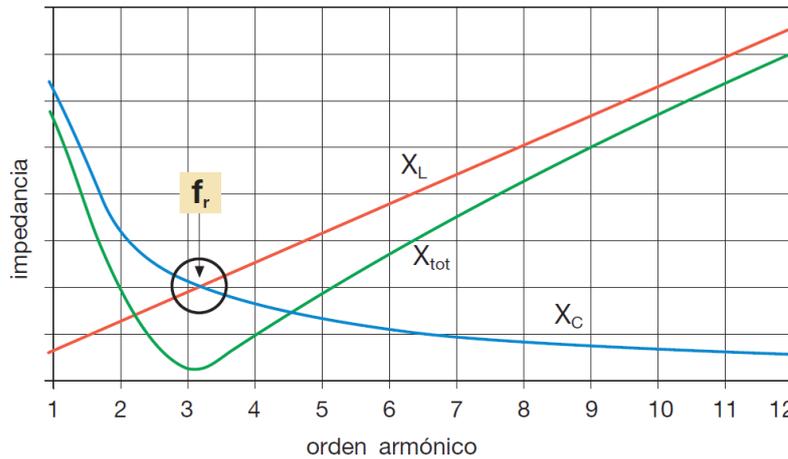


Figura 7: Ejemplo de circuito resonante serie

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

La figura 18 muestra el comportamiento de la reactancia capacitiva (decreciente con el orden de armónicos), inductiva (creciente con el orden de armónicos) y total de una red; la reactancia total en serie adquiere su valor mínimo en la frecuencia de resonancia (en el ejemplo del gráfico, unas tres veces la frecuencia fundamental).

Gráfico 18: Comportamiento de la Reactancia Capacitiva.



Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

La frecuencia de resonancia  $f_r$  también puede hallarse con la siguiente fórmula:

$$f_r = f_1 * \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \tag{40}$$

Donde:

- $f_1$  es la frecuencia fundamental.
- $X_{C1}$  es la reactancia capacitiva del condensador a la frecuencia fundamental.
- $X_{L1}$  es la reactancia inductiva (a la frecuencia fundamental) de la red aguas arriba respecto al punto de instalación del condensador.

En ausencia de armónicos y suponiendo que la frecuencia de resonancia difiera lo suficiente de la frecuencia fundamental del sistema de alimentación, no tendrán lugar sobrecorrientes en las líneas.

En presencia de armónicos, podría producirse una amplificación de la corriente en el armónico de orden cercano a la frecuencia de resonancia. Para más detalles, véase la norma IEC EN 61642<sup>13</sup>, que incluye además un ejemplo numérico de un circuito resonante serie del que se concluye que cuando la frecuencia es cercana a la frecuencia de resonancia en serie, una tensión relativamente baja en las barras de alimentación puede dar lugar a una corriente elevada.

Para evitar este fenómeno de resonancia y, por tanto, para que la vida del condensador no se vea reducida, es preciso que la red tenga una frecuencia de resonancia lo más diferente posible de la de los armónicos presentes.

La solución más común, tal y como se indica en la norma IEC EN 61642, consiste en conectar debidamente una reactancia inductiva en serie al condensador (reactancia de bloqueo); la reactancia debe estar dimensionada con una frecuencia de resonancia inferior a la frecuencia armónica más baja de la tensión presente en el circuito.

#### **2.2.11.2. FILTROS PARA LA REDUCCIÓN DE ARMÓNICAS.**

Junto con los inductores, y con objeto de limitar los efectos de los armónicos en una red, pueden emplearse los bancos de condensadores. De hecho, la combinación condensador-inductor constituye un filtro para armónicos.

---

<sup>13</sup> IEC EN 61642: Proporciona orientación para el uso de Filtros armónicos y condensadores shunt para la limitación de armónicos y la corrección del factor de potencia.

Anteriormente hemos visto que, para evitar los efectos negativos de la resonancia, es necesario insertar un inductor en serie a un condensador. Siguiendo esa misma lógica, se puede insertar en un punto específico de la red una combinación de un inductor y un condensador oportunamente dimensionados con una frecuencia de resonancia igual al orden del armónico de corriente que se quiere eliminar. De esta forma, el bipolo inductor-condensador presenta una reactancia muy baja en el armónico que se desea eliminar, la cual permanecerá en el bipolo sin afectar al resto de la red.

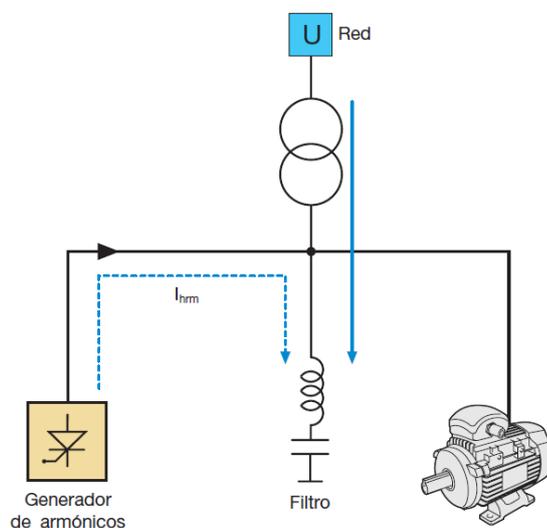
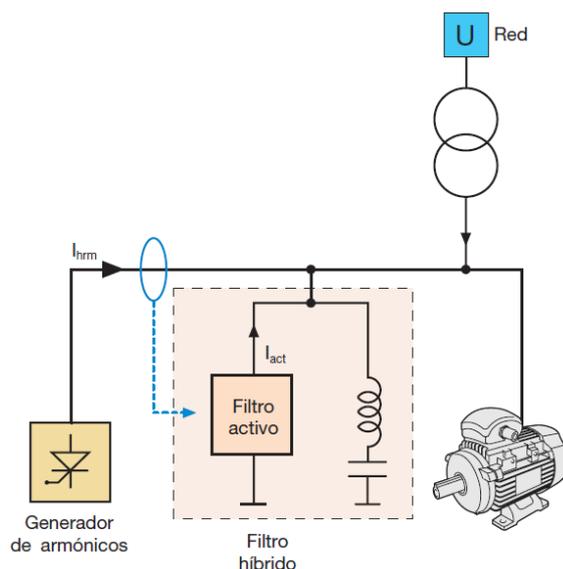


Figura 8: Filtros para la reducción de Armónicas.

Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)

El filtro, denominado filtro pasivo, está compuesto por un condensador conectado en serie a un inductor y su función es la de igualar la frecuencia de resonancia total a la frecuencia del armónico que se desea eliminar. El filtro pasivo, que se determina en cada caso en función del armónico concreto que necesita ser filtrado, es económico al tiempo que fácil de conectar y de poner en funcionamiento.

El filtro activo es capaz de eliminar de forma automática los armónicos de corriente presentes en la red con una amplia gama de frecuencias. Su tecnología electrónica le permite generar un sistema de armónicos capaz de anular los armónicos presentes en la red.



*Figura 9: Filtros Activo/Híbrido de Armónicas.*

*Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)*

La ventaja del filtro activo es que puede filtrar al mismo tiempo decenas de armónicos sin comportar costes de planificación para el dimensionamiento.

Un filtro en general puede actuar de una de las siguientes formas:

- Introducir una alta impedancia en serie para bloquear el paso de las corrientes armónicas.
- Derivar a tierra las corrientes armónicas a través de caminos de baja impedancia.
- Inyectar armónicos en oposición de fase a los presentes en la red para cancelarlos.

Según el tipo de armónico a eliminar, se han propuestos diferentes tipos de filtros pasivos o activos conectados en serie o en paralelo, hasta filtro híbridos (pasivos-activos). (Zapata, 2010)

### 2.2.11.3. FILTROS PASIVOS.

Los filtros pasivos se pueden clasificar en categorías:

- Los de sintonización única: Representan una ruta de baja impedancia para los armónicos de corriente y suelen estar contruidos mediante arreglos LC sintonizados a los armónicos 5°, 7° y 11° ya que son estos los armónicos de mayor magnitud que regularmente se pueden encontrar en los sistemas trifásicos industriales.
- los pasa altas: Al igual que los filtros de sintonización única, los filtros pasa altas presentan baja impedancia a las corrientes armónicas con la diferencia de emplearse para atenuar los armónicos de orden superior a partir de la frecuencia de corte. En la figura 8 se muestra el diagrama básico de los filtros pasivos.

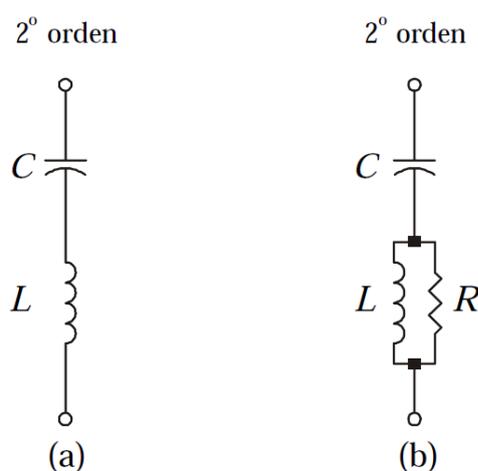


Figura 10: Filtros Pasivos: (a) de sintonización única, (b) pasa altas.

Fuente: (Zapata Azarcoya, 2003)

#### 2.2.11.3.1. SELECCIÓN DE FILTROS PASIVOS.

- Dependiendo del número de armónicos existentes en el sistema, se puede determinar la cantidad de filtros para la atenuación de las componentes armónicas.
- Los requerimientos del filtro, hace referencia a la acción correctiva que se desee del filtro (compensación de reactivos, reducción de la distorsión armónica,

regulación de tensión o todos). Cada requerimiento del filtro implica un diseño específico.

- La energía de cada armónico, considera que la magnitud de cada armónico está directamente relacionada con las pérdidas que estas componentes ocasionan en el sistema de potencia. (Zapata, 2010)

#### **2.2.11.3.2. FILTROS PASIVOS SERIE.**

Conectados en serie con la carga no lineal, un filtro pasivo serie presenta una alta impedancia a los armónicos cercanos a la frecuencia de sintonía y bajas impedancias a medida que los armónicos se apartan por debajo o por encima de dicha frecuencia, usados comúnmente en instalaciones monofásicas con cargas no lineales, también se los conecta al neutro de instalaciones de capacitores para bloquear el flujo de armónicos.

Usualmente los filtros pasivos serie se diseñan para tener una impedancia baja a corriente fundamental, siendo esto una desventaja porque sus componentes tiene que ser dimensionados para la corriente nominal de carga. (Navarro Mendez, 2013)

#### **2.2.11.3.3. FILTROS PASIVOS PARALELO - RESONANTE.**

Un filtro con una inductancia  $L$  y una capacitancia  $C$  en serie forman un circuito con frecuencia resonante, sintonizado para eliminar el armónico de corriente deseado, Este filtro presenta una mínima impedancia (resistencia propia del inductor), con lo cual absorbe corriente armónica con baja distorsión de voltaje.

Cuando este filtro está por debajo de la frecuencia a la que fue sintonizado, tiene un comportamiento de capacitor y contribuye en la compensación de potencia reactiva, cuando el sistema se encuentra trabajando a frecuencia nominal.

Puesto que este filtro solo sirve para un tipo de frecuencia de resonancia, si se desea filtrar otras, se deben emplear varias secciones de filtros.

Una de las desventajas del Filtro Paralelo Resonante es su pérdida de sintonía, por lo cual se debe tener presente posibles ajustes (tap's) por correcciones en las tolerancias de fábrica, además el desempeño del filtro es de gran importancia ya que junto al factor de calidad reducen problemas de pérdida de sintonía ante fluctuaciones de frecuencia de la red o frecuencia de resonancia del mismo filtro por variaciones de envejecimiento y temperatura. (Navarro Mendez, 2013)

#### 2.2.11.3.4. UBICACIÓN DE FILTROS PASIVOS.

- **Si existen cargas altamente contaminantes:** Se debe ubicar el filtro en el lado de baja tensión; de esta forma el transformador de potencia sirve de amortiguador (aislante de armónicos) tanto de las corrientes armónicas provenientes de otras cargas como de las corrientes armónicas generada por la carga, lográndose aislar el problema.
- **Si existen cargas que generan armónicas distribuidas:** los filtros deben ser ubicados en media tensión y en lugares estratégicos óptimos para evitar la excesiva circulación de corrientes armónicas por el sistema.

#### 2.2.11.3.5. PROBLEMA DE LOS FILTROS PASIVOS.

Uno de los mayores problemas de los filtros es que se produzca la desintonía de éstos. Los cuatro eventos más comunes que pueden dar como resultado una desintonización del filtro son:

- Deterioro de los condensadores, lo cual disminuye la capacitancia total y con esto aumenta la frecuencia a la cual el filtro fue sintonizado.
- Tolerancia de fabricación tanto en el reactor como en los condensadores.
- Variación de temperatura.
- Variación en el sistema.

La principal desventaja de los filtros pasivos es que la eficacia de su operación está íntimamente ligada con las características de la red. Cuando la impedancia de la red y filtros pasivos se combinan se puede dar lugar a un fenómeno conocido como resonancia armónica donde tensiones y corrientes se amplifican poniendo en peligro la integridad del sistema eléctrico. Por otro lado, los filtros pasivos no son reconfigurables (se diseñan para una carga específica) y demandan corriente reactiva aun cuando no haya carga. (Zapata Azarcoya, 2003)

Las aplicaciones típicas para los filtros pasivos son las instalaciones de potencia media o de potencia alta (pocos cientos de kVA) lo que incluye variadores de velocidad, hornos de inducción, hornos de arco y rectificadores, y también aquellas que requieren corrección del factor de potencia.

Típicamente, los filtros se sintonizan aproximadamente entre un 3% y un 10% por debajo de la frecuencia deseada. Esto para tener la opción de una buena operación del filtro en un rango mayor de tiempo de vida útil.

De los cuatro eventos mencionados anteriormente los tres primeros tienen que ver con variaciones propias de los elementos constitutivos de los filtros, mientras que el último depende de las variaciones del equivalente del sistema. (Zapata, 2010)

#### **2.2.11.4. FILTROS ACTIVOS.**

Los filtros activos son equipos que cancelan las perturbaciones de tensión o corrientes armónicas presentes en la red mediante la inyección activa de tensiones o corrientes de igual magnitud a las perturbaciones pero desfasadas  $180^\circ$ . Se construyen alrededor de inversores controlados mediante técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM<sup>14</sup>, por sus siglas en inglés) que conectan a la línea de CA con un sistema de almacenamiento de energía en el lado de CD. El circuito de control incluido tiene a su

---

<sup>14</sup> PWM: Pulse Width Modulation (modulación por ancho de pulsos).

cargo la obtención y seguimiento de las referencias de compensación. Los filtros activos se clasifican de acuerdo a variable a compensar. (Zapata Azarcoya, 2003)

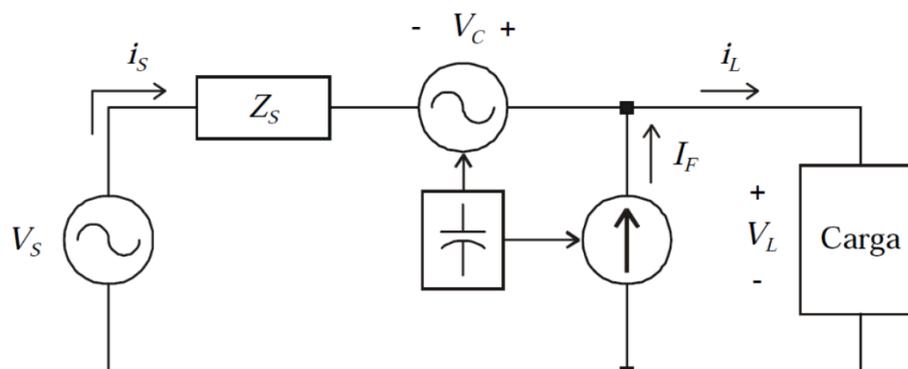


Figura 11: Esquema básico de un Filtro Activo Universal.

Fuente: (Zapata Azarcoya, 2003)

Pueden usarse para toda una instalación o solo dedicado a un equipo que introduzca una cantidad significativa de armónicos a la red.

Proporcionan una selectiva e instantánea compensación armónica, reduciendo las pérdidas eléctricas, además aumentan el factor de potencia e incluso corrigen algunos desequilibrios. La compensación armónica de estos filtros se debe a que están formados por inversores con modulación PWM, los que a diferencia de los filtros pasivos, son capaces de censar la información de corrientes y voltaje armónico presente en los alimentadores para inyectarle corrientes armónicas con un desfase de  $180^\circ$ , es decir, corriente armónica inversa, lo que compensa a las formas de onda de voltaje y corriente de las redes, lo que se conoce como principio de supresión. (Zapata, 2010)

Estos equipos se adaptan automáticamente a cualquier tipo de carga, monofásica o trifásica y pueden ser conectado a cualquier red trifásica con o sin neutro.

Las aplicaciones típicas de los compensadores activos están en instalaciones de potencia baja y potencia media (desde pocas decenas de kVA a pocos cientos de kVA),

incluyendo equipos de computación, UPS<sup>15</sup>, variadores de velocidad e iluminación fluorescente, entre otras.

Los filtros paralelos actúan básicamente como una fuente de corriente, que tiene como misión contrarrestar los armónicos de corriente, generados por la carga, de forma que la corriente en la red, suma de corrientes de la carga y el filtro, sea senoidal.

Por otro lado los filtros serie se comportan como una fuente de tensión en serie con la propia red, y su principal función es que la tensión en bornes de la carga sea senoidal. Para la reducción de la distorsión de la corriente, en el punto donde se conecta el filtro activo se acostumbra a utilizar un filtro de tipo paralelo. Mientras que para la reducción de la distorsión de la tensión en la carga se utilizan filtros serie.

En general los filtros paralelos y series tienen diferentes funciones, siendo los primeros, los más utilizados:

*Cuadro 3: Diferentes Funciones de los Filtros Paralelos y Series.*

<b>FILTROS PARALELO</b>	<b>FILTROS SERIE</b>
a). Reducción de los armónicos de corriente	a). Reducción de armónicos de tensión en la carga
b). Compensación del factor de potencia	b). Regulación de la tensión
c). Reducción de la corriente por el neutro	c). Reducción del Flicker y Microcortes de tensión

*Fuente: (Zapata, 2010)*

Básicamente un filtro activo paralelo está formado por un inversor de tensión, un elemento de almacenamiento de energía (condensador), unos circuitos de medida de las tensiones y corrientes, y un circuito de control que se encarga de la obtención de consignas, del control y de la generación de las señales moduladas, que actúan sobre el convertidor. Además el filtro puede contar con transformadores y/o bobinas para su conexión a la red.

<sup>15</sup> UPS: Uninterruptible power supply, dispositivo que gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado.

La compensación armónica cubre el rango desde el orden 2 al orden 25, o desde el orden 2 al orden 50 según el compensador usado, con posibilidades de compensar parcial o totalmente. (Zapata, 2010)

### 2.2.11.5. FILTROS HÍBRIDOS.

El filtro activo híbrido consiste en la asociación de elementos pasivos y activos y ha sido empleado tradicionalmente para compensar perturbaciones de corriente. Este equipo suele presentar dos configuraciones básicas:

En el circuito de la Gráfico 20, los elementos pasivos se conectan en paralelo con la carga para ser combinados posteriormente con un acondicionador serie. Esta topología permite, además de atenuar los armónicos de la red, compensar desbalances de tensión y componentes de secuencia cero en sistemas trifásicos con neutro. En esta topología, tanto la corriente demandada por la carga como la corriente reactiva demandada a frecuencia fundamental por el filtro pasivo circulan a través del compensador serie. (Zapata Azarcoya, 2003)

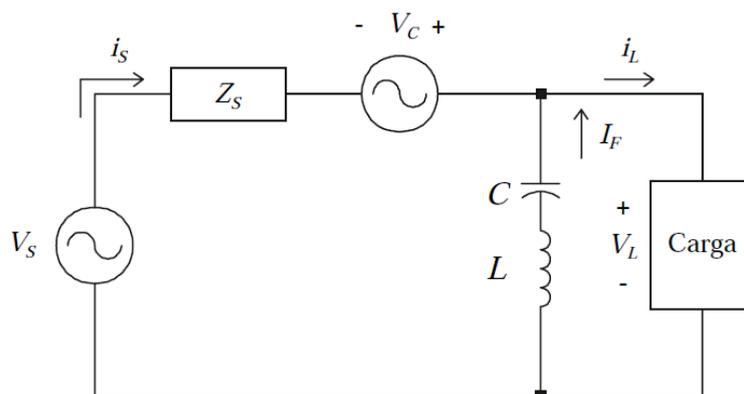


Figura 12: Elemento activo en Serie con la Carga.

Fuente: (Zapata Azarcoya, 2003)

En el esquema presentado en la figura 28, el elemento activo se conecta en serie con los filtros pasivos para finalmente conectar este último arreglo en paralelo con la carga. La principal ventaja de esta configuración es que la corriente de la carga no

circula por la parte activa y solo lo hace la componente reactiva que demandan los filtros pasivos a frecuencia fundamental. Ya que corriente que circula por la compensadora serie es menor a la corriente correspondiente a la topología de la Gráfico 21, es menor también la potencia instalada de los convertidores que se emplean en su construcción.

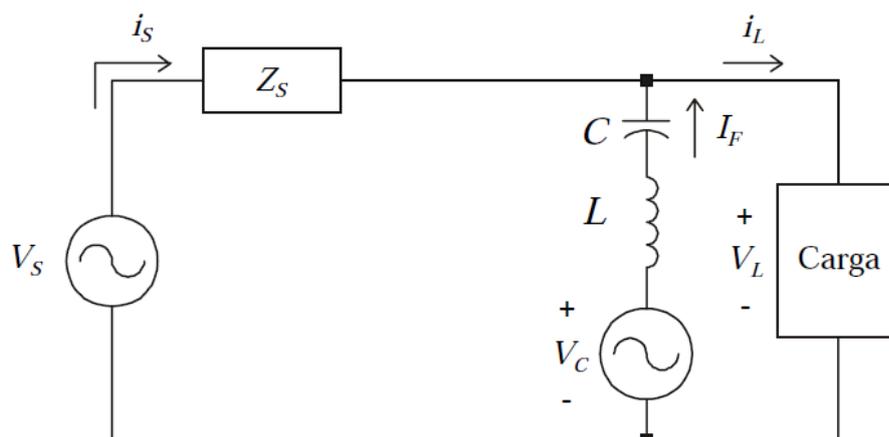


Figura 13: Elemento activo en serie con filtro Pasivo.

Fuente: (Zapata Azarcoya, 2003)

En el filtro activo híbrido la parte activa no se emplea directamente para compensar los armónicos demandados por la carga sino para mejorar las características de compensación de los filtros pasivos y solucionar los problemas que estos presentan de su actuación independiente.

Esta solución permite un alto nivel de funcionalidad, dado al gran número del orden armónico cubierto. El uso del filtro pasivo dedicado a la frecuencia del orden predominante permite cubrir un rango más amplio de potencia y el filtro activo es ajustado sólo para una fracción de la corriente armónica total.

Las aplicaciones típicas de los filtros híbridos son las mismas aplicaciones de los filtros pasivos, es decir, para instalaciones de potencia media y potencia alta, aplicaciones que demandan corrección del factor de potencia, además de la funcionalidad de eliminar el resto armónicos de orden diferente. (Zapata, 2010)

El filtro híbrido combina las ventajas de ambas tecnologías básicas: el filtro pasivo es una solución de bajo costo y el compensador activo es una solución de alta funcionalidad.

### **2.2.12. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA.**

Las definiciones que se van a señalar se utilizan únicamente para orientar al usuario final, en la aplicación de las opciones tarifarias para la selección de la tarifa adecuada, de acuerdo a su consume energía y potencia, para nuestro caso se tocara la opción tarifaria en media tensión (MT). (OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD, 2013)

- A. Son usuarios en Media Tensión (MT) aquellos que están conectados con su empalme a redes cuya tensión de suministro es superior a 1kV y menor a 30kV.
- B. En caso que no cuenten con la medición adecuada en MT, los usuarios en MT podrán solicitar la medición de sus consumos en BT. El sistema de medición puede ser instalado en el lado de BT del transformador de potencia, debiéndose utilizar la compensación de las pérdidas de transformación. En este caso, se considerará un recargo por pérdidas de transformación, equivalente a un 2,5%, aplicable al monto total consumido en unidades de potencia y energía activa y reactiva. La empresa distribuidora podrá proponer al OSINERGMIN<sup>16</sup> un valor de recargo por pérdidas de transformación promedio distinto al indicado, el cual deberá sustentarse con el promedio de las mediciones de todos sus clientes de MT que se encuentran medidos en BT, para un periodo mínimo de un año.
- C. Las tarifas para aquellos usuarios, cuyos suministros estén conectados directamente a barra MT se obtendrán con la metodología y criterios regulados para los precios a nivel de generación y peajes de transmisión, hasta los precios

---

<sup>16</sup> OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

en barra equivalente en media tensión según la resolución vigente para dichos precios, siempre y cuando, no tengan a disposición o no usen instalaciones de distribución eléctrica.

**2.2.12.1. TARIFAS ELÉCTRICAS EN MEDIA TENSIÓN MT.**

La Norma de Opciones Tarifarias vigente está dada a través de la Resolución OSINERGMIN-206-2013-OS-CD, la cual entro en vigencia el 1 de noviembre del 2013, anterior resolución OSINERGMIN-182-2009-OS-CD, el cual entró en vigencia el 1 de noviembre de 2009, Antes del 1 de noviembre de 2009, estaba vigente la Norma de Opciones Tarifarias dada por la Resolución OSINERGMIN–236-2005-OS-CD.

1997-10-09.- D. S. N° 020-97-EM.- Aprueban la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997-10-11). Incluye modificaciones según Decreto Supremo N° 009-99-EM (1999-04-11), Decreto Supremo N° 013-2000-EM (2000-07-27) y Decreto Supremo N° 040-2001-EM (2001-07-17)

Es importante señalar que la norma de opciones tarifarias se actualiza cada cuatro años.

**2.2.12.2. OPCIONES TARIFARIAS.**

Las opciones tarifarias para usuarios regulados de media tensión se muestran a continuación:

*Cuadro 4: Opciones Tarifarias.*

Opción Tarifaria	Sistema y Parámetros de Medición	Cargos de Facturación
MT2	<p><u>Sistema de Medición:</u> Medición de dos energías activas y dos potencias activas (2E2P)</p> <p><u>Parámetros de Medición:</u> Energía: Punta y Fuera de Punta Potencia: Punta y Fuera de Punta</p>	<p>a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa en horas punta. c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta d) Cargo por potencia activa de generación en horas punta. e) Cargo por potencia activa por uso de las redes de distribución en horas punta. f) Cargo por exceso de potencia activa por</p>

	Medición de energía reactiva. Modalidad de facturación de potencia activa variable.	uso de las redes de distribución en horas fuera de punta g) Cargo por energía reactiva.
MT3	<u>Sistema de Medición:</u> Medición de dos energías activas y una potencia activa (2E1P) <u>Parámetros de Medición:</u> Energía: Punta y Fuera de Punta Potencia: Punta y Fuera de Punta Medición de energía reactiva. Modalidad de facturación de potencia activa variable. Calificación de Potencia: P: Usuario presente en punta FP: Usuario presente fuera de punta	a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa en horas punta. c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta d) Cargo por potencia activa de generación e) Cargo por potencia activa por uso de las redes de distribución. f) Cargo por energía reactiva.
MT4	<u>Sistema de Medición:</u> Medición de una energía activa y una potencia activa (1E1P) <u>Parámetros de Medición:</u> Energía: Punta y Fuera de Punta Potencia: Punta y Fuera de Punta Medición de energía reactiva. Modalidad de facturación de potencia activa variable. Calificación de Potencia: P: Usuario presente en punta FP: Usuario presente fuera de punta	a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa. c) Cargo por potencia activa de generación d) Cargo por potencia activa por uso de las redes de distribución. e) Cargo por energía reactiva.

Fuente: (OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD, 2013)

La vigencia de la opción tarifaria registrá por un plazo mínimo de un año, con excepción de los usuarios temporales del servicio eléctrico.

- **Elección de la opción tarifaria.-** Los usuarios podrán elegir libremente cualquiera de las opciones tarifarias vigentes, teniendo en cuenta el sistema de medición que exige la respectiva opción tarifaria (ver cuadro 4).

La opción tarifaria elegida por el usuario deberá ser aceptada obligatoriamente por la concesionaria.

Las concesionarias deberán proporcionar de forma gratuita, a los usuarios que lo soliciten:

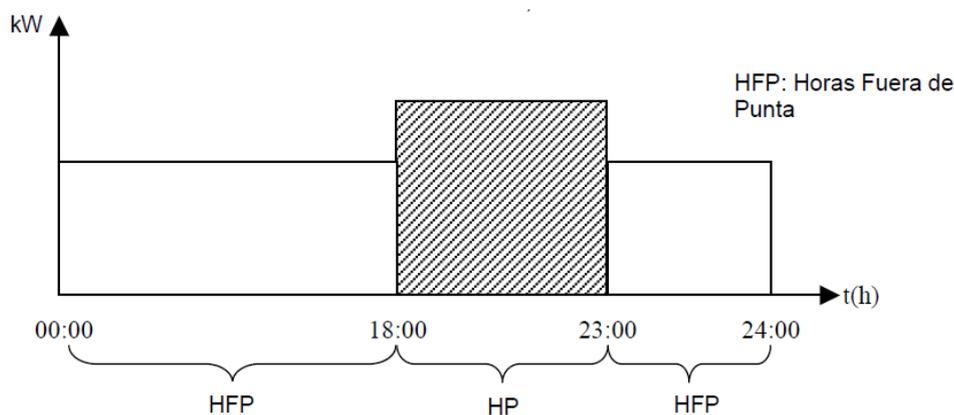
- El historial de consumos de energía y potencia en HP<sup>17</sup> y HFP<sup>18</sup>,
- Los precios vigentes de los cargos de facturación por opción tarifaria.

### 2.2.12.3. DEFINICIÓN DE HORAS PUNTA Y HORAS FUERA DE PUNTA.

Horas Punta (HP): periodo comprendido entre las 18:00 horas a 23:00 horas de cada día del año (ver gráfico 19).

Horas Fuera de Punta (HFP): al resto de horas del día no comprendidas en las horas de punta (HP) (ver gráfico 19).

*Gráfico 19: Definición de Horas Punta y Horas Fuera de Punta.*



*Fuente: (OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD, 2013)*

### 2.2.12.4. CONOCIENDO LA FACTURA ELÉCTRICA.

#### A. PARÁMETROS DE LA FACTURACIÓN

- Cargo fijo mensual.- Cargo asociado al costo por la lectura del medidor y procesamiento, emisión, reparto y cobranza del recibo o factura.
- Cargo por reposición y mantenimiento de conexión.- cargo para mantenimiento de la conexión y su reposición al final de su vida.
- Cargo por energía activa

<sup>17</sup> HP: Consumo de Energía en Horas Punta.

<sup>18</sup> HFP: Consumo de Energía en Horas Fuera de Punta.

- Cargo por potencia activa de generación
- Cargo por potencia activa por uso de las redes de distribución
- Cargo por facturación de energía reactiva.- Cargo correspondiente al consumo de energía reactiva que exceda el 30% de la energía activa total mensual. La facturación por energía reactiva solo se da en las tarifas MT2, MT3 y MT4
- Alumbrado público.- Cargo por la iluminación de avenidas, calles, plazas y otros lugares públicos.
- IGV.- Impuesto general a las ventas (19%).
- Aporte para la electrificación rural.- aporte de los usuarios de electricidad para la promoción y el desarrollo eficiente y sostenible de la electrificación de zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del país.
- Historial de consumo del usuario.- consumo de energía y potencia del mismo de los 12 últimos meses.

## **B. SELECCIÓN DE LA TARIFA ADECUADA**

Para los casos de usuarios que compran energía y potencia en media tensión, se tiene que tomar en cuenta las siguientes consideraciones para evaluar la mejor opción tarifaria:

- Si la máxima demanda en horas punta es significativamente menor respecto a la demanda de horas fuera de punta, se debe analizar la opción tarifaria MT2.
- Si la demanda leída del usuario en horas fuera de punta y horas punta son iguales y/o similares, se debe analizar solo las opciones tarifarias MT3 y MT4.

La selección la opción tarifaria adecuada para el usuario final, consiste básicamente en comparar cuanto es lo que se pagaría en cada opción tarifaria.

### C. OPCIÓN TARIFARIA MT4

Esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios cuyos consumos de energía es intensivo en el periodo de horas punta, en la cual la Universidad Nacional del Altiplano se encuentra y es el motivo por el cual se toma en cuenta esta opción.

Para determinar la calificación tarifaria se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Calificacion Tarifaria} = \frac{EA \text{ HPmes}}{M.D. \text{ leída mes} * \#HPmes} \quad (41)$$

*EA HPmes*: Energía activa consumida en Horas Punta del mes.

*M.D. leída mes \* #HPmes*: Máxima demanda leída del mes.

*#HPmes*: Número de Horas Punta del mes.

Si el resultado es  $\geq 0,5$ , el usuario es considerado como cliente presente en punta.

Si el resultado es  $< 0,5$ , el usuario es considerado como cliente fuera de punta.

La diferencia de ser un usuario presente en punta o fuera de punta, está en el costo de la potencia de generación, en el recibo que se emite se muestra la calificación que obtuvo si es en HP o HFP, para luego verificar el costo unitario que obtiene en el pliego tarifaria publicado por la concesionaria cada mes en el diario de más circulación regional.

En la determinación del consumo en horas de punta, se exceptuará los días domingos, los días feriados nacionales del calendario regular anual y los feriados nacionales extraordinarios programados en días hábiles en el caso que el equipo de medición lo permita.

### **2.2.12.5. OPORTUNIDADES PARA REDUCCIÓN DE COSTOS RELACIONADOS A LA OPCIÓN TARIFARIA.**

A continuación, se dan recomendaciones para optimizar el pago por consumo de energía y potencia, estas recomendaciones están en función al consumo de potencia y energía reactiva.

#### **1. Administración de la demanda**

En las facturas eléctricas, a nivel de empresas, existen tres términos:

- Consumo de energía activa (kW/h).
- Consumo de energía reactiva (kVAR/h).
- Demanda (kW).

Una buena gestión de la demanda, permitirá tener un control adecuado de la máxima demanda. Para analizar la factibilidad de realizar un control de máxima demanda, se debe conocer el comportamiento de la potencia en el tiempo, para esto debe solicitar a la concesionaria el perfil de carga del suministro eléctrico, en caso no se cuente con el medidor adecuado que almacene la información de consumo de potencia, se deberán realizar registros de potencia instalando un registrador en el totalizador de la planta. (Ministerio de Energía y Minas, 2011)

El ahorro por una buena administración de la demanda dependerá de la potencia que se va a controlar, la inversión dependerá si el control es del tipo manual o automático, por eso es recomendable la evaluación técnica económica de la posibilidad de reducir la facturación.

#### **2. Optimización de la calificación tarifaria**

Un factor a tener en cuenta para reducir costos de facturación es la calificación tarifaria. La calificación tarifaria solo se da en las opciones tarifarias MT3 y MT4.

La ventaja de ser calificado como un cliente calificado presente en fuera de punta, está en el precio unitario de la potencia de generación, es decir para un cliente calificado como fuera de punta el precio de la potencia es menor que la de un cliente calificado como presente en punta (ver cuadro 4).

Si el usuario está calificado como cliente presente en punta, debe evaluar la factibilidad de poder ser calificado como cliente fuera de punta.

Para determinar el valor del factor de calificación tarifaria de un mes, se necesita la siguiente información:

- Periodo de facturación: determinado por las fechas de lecturas.
- Cantidad de días domingos y feriados en el periodo de facturación.
- Consumo de energía activa en horas punta del mes.
- Máxima demanda leída del mes.
- El número de horas punta del mes, teniendo en cuenta que las horas punta por día son cinco horas.

### 3. Mejora del factor de potencia.

Si al usuario le facturan por concepto de energía reactiva, significa que el suministro eléctrico tiene un factor de potencia menor a 0,96.

Para determinar el factor de potencia del suministro eléctrico, se debe contar con la información de consumo de energía activa y reactiva del mes.

EA leída mes: Energía Activa leída mes

ER leída mes: Energía Reactiva leída mes

Cos: Coseno

Tan<sup>-1</sup>: Tangente Inversa.

FP: Factor de Potencia.

$$FP = \text{Cos} \left( \tan^{-1} \left( \frac{ER \text{ leída mes}}{EA \text{ leída mes}} \right) \right) \tag{42}$$

Como el factor de potencia calculado es menor a 0,96, la concesionaria facturará el cargo por energía reactiva.

*Cuadro 5: Criterios de Selección de Opciones Tarifarias.*

Opción tarifaria	Criterio de Selección	Observación	Recomendaciones
MT2	Para usuarios con consumo mínimo de potencia en horas punta	La facturación de potencia está en función a la máxima demanda leída en horas punta.	Tarifa para usuarios que operan en un solo turno.
MT3	Para usuarios con consumo de potencia similar en horas punta y fuera de punta	La facturación de potencia está en función de la máxima demanda leída del mes	Tarifa para usuarios que operan dos o tres turnos.
MT4			

*Fuente: (Dirección General de Electricidad, 2011)*

### 2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

**ARMÓNICO:** Componente sinusoidal de una onda periódica a una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz).

**CALIDAD DE SERVICIO:** Parámetros eléctricos para poder entregar energía de buena calidad, la Calidad de Servicio regula las interrupciones de servicio eléctrico estableciendo límites para su frecuencia y duración.

**ENERGÍA ELÉCTRICA:** Una forma de energía. Expresa la capacidad de una fuente eléctrica para realizar trabajo útil o generar calor. Suele expresarse en unidades de kilowatt-hora (kWh).

**FACTOR DE POTENCIA:** El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; esto es: f.d.p. = P/S

**FORMA DE ONDA:** Es la representación gráfica de forma con que una onda evoluciona a lo largo del tiempo. Normalmente estos fenómenos ondulatorios tales como las ondas electromagnéticas obedecen a funciones matemáticas periódicas.

**FRECUENCIA:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

**KILOWATT:** Unidad equivalente a mil Watts. Se representa por medio de kW.

**KILOWATT - HORA:** Unidad de Energía eléctrica utilizada para registrar los consumos.

**POTENCIA:** Es la cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo.

**VOLTAJE O TENSIÓN:** Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

## 2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El estudio y análisis experimental de la calidad del suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano para mejorar su eficiencia, utilizando un analizador de redes, permitirá efectuar una gestión óptima de calidad de energía.

### 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El estudio y Análisis experimental de la calidad de Suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, permitirá encontrar las condiciones reales del suministro de energía, en casos de no ser satisfactorio se brindaría soluciones para un buen control en la Calidad de energía eléctrica.

- Al analizar la medición eléctrica, comprobaremos si la distribuidora local cumple con los rangos mínimos aceptables en los parámetros eléctricos según las normas Peruanas, de no cumplir con los parámetros se tomara las acciones necesarias.
- Al estudiar los espectros de Armónicos, identificaremos el nivel de distorsión del problema que pudiesen presentar los equipos eléctricos, luego al dar soluciones se planteara un plan de acción para mejorar la calidad de energía eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, en las cuales se recomienda, plantee soluciones y proyecciones a futuro.

**2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

*Cuadro 6: Operacionalización de Variables.*

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>	
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>
POTENCIA	MEDICIÓN
VOLTAJE	DIAGNÓSTICO
CORRIENTE	CALIDAD DE SUMINISTRO
FRECUENCIA	
ARMÓNICOS	OPTIMIZACIÓN

*Fuente: Elaboración Propia.*

## CAPÍTULO III

## DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN.

### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación es aplicada en condiciones rigurosamente controladas, usando el método científico, porque se utilizan conocimientos ya existentes con la finalidad de analizar el problema y dar soluciones.

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

Nuestra población son todas las instalaciones eléctricas de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, incluyendo el muestreo de la Calidad de la Energía Eléctrica.

- En el Diagnóstico físico de las instalaciones eléctricas, se tomaran algunas muestras de los circuitos principales donde se encuentran las cargas de mayor consumo eléctrico.
- La medición de los parámetros eléctricos se hicieron durante 6 días; entre los cuales los parámetros principales medidos fueron la tensión, la corriente, la frecuencia, la potencia, la energía, el factor de potencia, la distorsión armónica de tensión y/o corriente, flicker, estos parámetros se muestran en el capítulo III con una evaluación a los datos obtenidos.

Para lograr nuestro objetivo se tomó muestras de 12 meses de facturas eléctricas concernientes al año 2015 y 2016, dichos datos se adquirieron de la empresa regional de servicio público de electricidad Electro Puno S.A.A, se mostrará el recibo facturado del mes de octubre 2016 en el anexo 1, teniendo en digital los demás que se utilizaron en el análisis.

### 3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.

A continuación se muestra en el Cuadro 7:

*Cuadro 7: Ubicación y descripción de la población.*

<b>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN</b>	
Departamento	Puno
Provincia	Puno
Distrito	Puno
Localización	Av. Sesquicentenario No. 1150
Altitud	3825 m.s.n.m
Longitud Sur	15°49'29"
Longitud Oeste	70°00'56"
Temperatura máxima media	15.5 °C
Temperatura media	8.4 °C
Temperatura mínima media	1.3 °C
Humedad relativa	54%

*Fuente: (Senamhi, 2016)*

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN.

#### 3.4.1. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA.

Para la medición de los parámetros eléctricos (voltaje, corriente, frecuencia, potencia, energía, factor de potencia, armónicos, flicker) y su adecuada evaluación tenemos que tomar en cuenta lo siguiente:

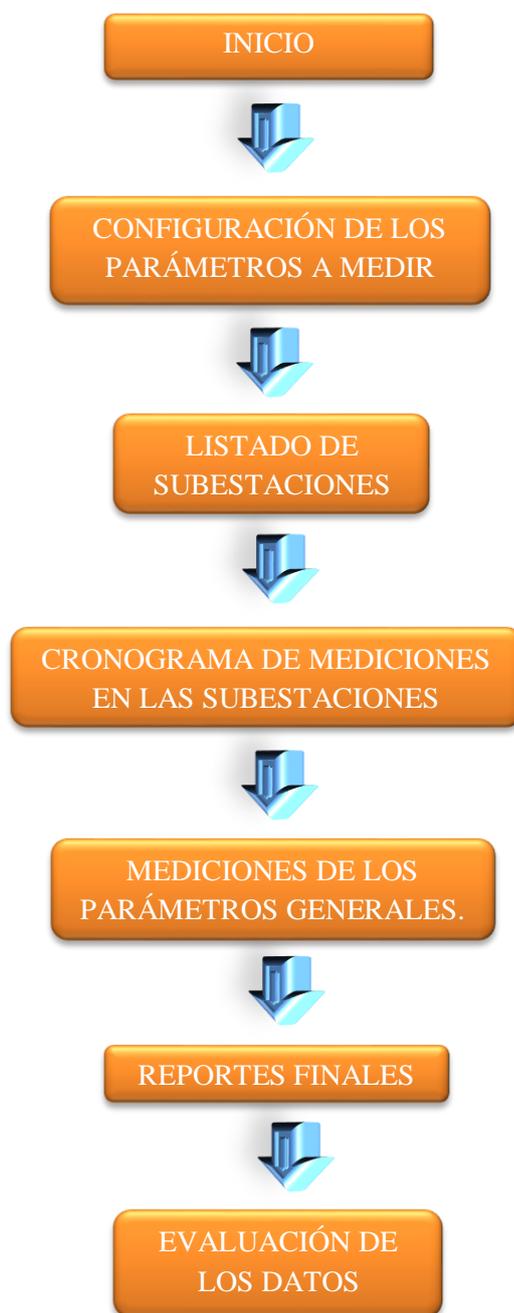
- El tipo de configuración de la red de media tensión y la configuración de los transformadores de distribución de todo el campus de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Tipos de usuarios (cargas lineales y cargas no lineales)
- Tener definido las cargas de las carreras profesionales

Con estas reseñas se procedió a medir y evaluar toda la red de distribución del campus de la Universidad Nacional del Altiplano, con un muestreo de un total de 7 subestaciones.

### 3.4.2. PROCESO DE APLICACIÓN DE LA MEDICIÓN.

En el siguiente gráfico se muestra el procedimiento adecuado para la medición y evaluación de los parámetros eléctricos:

*Gráfico 20: Proceso de la Medición.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.4.3. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.

Se ha considerado las 7 subestaciones del campus de la Universidad Nacional del Altiplano porque estas alimentan a todas las Facultades y escuelas profesionales.

### 3.4.4. LISTADO DE SUBESTACIONES Y SU MÁXIMA DEMANDA.

Actualmente está en operación 6 subestaciones eléctricas de 200, 320 y 400 kVA, estas alimentan todo el campus. No se está considerando la subestación N° 04, por motivos que no cuentan con carga que alimentar, el edificio de 15 pisos, estadio universitario contarán con Subestaciones propias cuando entren en operación. Se recomienda en un futuro hacer el análisis considerando esas tres subestaciones, en el anexo 2 se muestra las placas de los transformadores de todas las Subestaciones Eléctricas.

*Cuadro 8: Listado de Subestaciones y Coordenas UTM.*

N° S.E.	UBICACIÓN	Coord. X	Coord. Y
S.E. 01	Frente a la faculta de enfermería.	391090.84	8250120.43
S.E. 02	Al lado de la escuela de administración.	391008.35	8250197.21
S.E. 03	Al lado del coliseo cubierto.	391316.75	8250165.07
S.E. 04	Residencia de estudiantes.	391573.25	8250186.49
S.E. 05	Frente a la escuela de ingeniería de minas.	391325.62	8250368.29
S.E. 06	Al lado de la escuela profesional de arte.	391134.49	8250394.19
S.E. 07	Frente a la escuela de ingeniería agroindustrial	390891.74	8250337.69

*Fuente: Elaboración Propia.*

Demanda máxima del campus de la UNA - PUNO es de: 1510 kW.

A continuación, mostramos el resumen de cuadro de cargas.

*Cuadro 9: Resumen de Cargas.*

Número de S.E.	Cto	Descripción	MD (kW)	Potencia nominal [kVA]
<b>SE-01</b>	CG-1	Edificio Administrativo	12	400
	CG-2	E.P. Enfermería	4,6	
		E.P. Nutrición Humana	8,45	
	CG-3	E.P. Medicina Humana 1	10	
		E.P. Medicina Humana 2	15,84	

		Facultad de Ciencias de la Educación	37,44	
		Guardianía puerta	0,9	
		I.E.S. Aplicación	3,63	
		Laboratorios Educación	5,62	
	CG-4	Administración de Ciencias de la Salud	19,63	
		E.P. Nutrición Humana	8,9	
		E.P. Odontología	28,04	
	CG-5	E.P. Odontología	19,68	
		Enfermería	10	
		Hospital Universitario	15,36	
CG-AP		7,558		
<b>SE-02</b>	CG-1	Parque de Aguas	87,95	320
	CG-2	Parque de Aguas	87,95	
	CG-3	Almacén central UNA	3,05	
		E.P. Administración	12,68	
		E.P. Biología	15,61	
		E.P. Ing. Electrónica	11	
		E.P. Ing. Estadística e Informática	12,5	
		E.P. Ing. Sistemas	11,9	
	CG-4	E.P. Ing. Civil	14,23	
		E.P. Ing. Mecánica Eléctrica	22,99	
CG-AP		10		
CG-Re.		25		
<b>SE-03</b>	CG-1	Coliseo cubierto	15,2	320
	CG-2	Taller de mantenimiento	8,9	
	CG-3	E. Postgrado	22,56	
		E.P. Educación Física	10	
		Entrada postgrado	1	
	CG-4	Estadio (bombas de agua)	25	
		Grifo UNA	7,64	
	CG-5	Auditorio Magno UNA	15,5	
		Librería UNA	4,28	
		Vicerrectorado - Administración UNA	6,5	
	CG-6	Biblioteca Central	35,13	
		Editorial UNA	4	
	CG-7	Comedor UNA	17,14	
	CG-8	E.P. Arquitectura y Urbanismo	23,5	
		E.P. Ing. Antropología	4,5	
		E.P. Ing. Sociología	5,63	
E.P. Ing. Topográfica y Agrimensura		9,63		
CG-AP		10		
<b>SE-04</b>	CG-1	Centro de convenciones	40	200
	CG-2	Residencia de estudiantes	16,75	
	CG-3	Reserva-1	30	
	CG-4	Reserva-2	50	

	CG-AP		10	
<b>SE-05</b>	CG-1	Ciencias Sociales	7,45	200
		E.P. Ing. Minas	35	
		E.P. Turismo	1,54	
		Pastoral UNA	5	
	CG-2	Auditórium Ing. Económica	5,13	
		E.P. Ing. Económica	32,95	
	CG-3	Ciencias de la Comunicación	7,2	
		E.P. Antropología	4,5	
		E.P. Sociología	3,63	
	CG-4	Ciencias de la Comunicación	5,8	
		E.P. Antropología	2	
		E.P. Arte - Danza	6	
		E.P. MVZ	2	
		E.P. Sociología	2	
E.P. Trabajo Social		4		
CG-AP	O.A.C. Contables	3		
CG-AP		8		
<b>SE-06</b>	CG-1	E.P. Arte - Danza	6,76	200
		E.P. Trabajo Social	4,79	
		O.A.C. Contables	4,45	
	CG-2	Ciencias Contables	4,32	
		Ciencias Contables y Administración	24,48	
		Medicina Veterinaria	4,94	
	CG-3	Estadística	5,17	
		OAC y OTI	73,08	
	CG-4-R	Reserva	20	
	CG-AP	Alumbrado exterior	10	
<b>SE-07</b>	CG-1	E.P. Ing. Agroindustrial	14,92	400
		E.P. Ing. Química	25,21	
	CG-2	E.P. Ing. Agrícola	15,79	
		E.P. Ing. Civil	12,98	
		E.P. Ing. Civil, Arquitectura, Físico M.	20,07	
		E.P. Ing. Geológica, Metalúrgica, Química	11,7	
	CG-3	Fundición, soldadura, lab. Mecanización	15,77	
		Servicios complementarios C. Agrarias	10	
			41,06	
	CG-4	Megalaboratorio UNA	50	
	CG-5	Aula MVZ	4,5	
		Clínica Veterinaria	15	
		Laboratorio Agronomía	0,66	
		Maestría MVZ	1,5	
	CG-6	Agrarias	1,46	
E.P. MVZ		21,67		

		Facultad de Ciencias Agrarias	10,89	
		Granja Avícola	13,9	
	CG-7	E.P. Ing. Agroindustrial	9,94	
		Facultad de Ciencias Agrarias	17,52	
	CG-AP	E.P. Ing. Agroindustrial	7	
<b>Total general</b>			1510	

Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.

### 3.4.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBESTACIONES.

Las subestaciones en general son de tipo caseta con una dimensión de 3.6 x 4.4m exterior y una vereda de 0.60m en los costados y 1.20 al frente.

Dentro de las subestaciones se aloja una celda de llegada, una celda de transformación y tableros de distribución en baja tensión.

#### A. TABLERO DE DISTRIBUCIÓN.

Los tableros de distribución son autosoportados de ejecución modular con las siguientes características:

Dimensiones: Ancho: 780 mm, Altura: 1600 mm, Profundidad: 430 mm

Accesorios: Barras colectoras de Cu. 5 x 50 mm, Barra de Tierra de Cu. 5 x 25 mm, 6 Aisladores de porcelana 17.5 kV, Con protección de malla interior.

Los tableros están equipados con los siguientes termomagnéticos:

Cuadro 10: Corriente Nominal de Termomagnéticos.

Número de S.E.	Circuitos	Potencia Nominal transformador [kVA]	Corriente nominal termomagnético general [A]	Corriente nominal termomagnético por circuito [A]
SE-01	CG-1	400	1600	40
	CG-2			50
	CG-3			250
	CG-4			175
	CG-5			150
	CG-AP			25

<b>SE-02</b>	CG-1	320	1250	400
	CG-2			400
	CG-3			225
	CG-4			125
	CG-Re.			80
	CG-AP			32
<b>SE-03</b>	CG-1	320	1250	50
	CG-2			32
	CG-3			125
	CG-4			125
	CG-5			100
	CG-6			125
	CG-7			63
	CG-8			150
	CG-AP			32
<b>SE-04</b>	CG-1	200	800	125
	CG-2			63
	CG-3			100
	CG-4			160
	CG-AP			32
<b>SE-05</b>	CG-1	200	800	160
	CG-2			125
	CG-3			50
	CG-4			80
	CG-AP			25
<b>SE-06</b>	CG-1	200	800	50
	CG-2			125
	CG-3			250
	CG-4-R			63
	CG-AP			32
<b>SE-07</b>	CG-1	400	1600	125
	CG-2			200
	CG-3			225
	CG-4			160
	CG-5			80
	CG-6			150
	CG-7			63
	CG-AP			25

Fuente: OAC remodelación de las redes 2012

### 3.4.5. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN.

PowerQ4 Plus de METREL es un instrumento multifunción portátil para el análisis de la calidad de la energía y las mediciones de eficiencia energética.

Se detallará características básicas del instrumento multifuncional, para mayor información visite la página web de la marca METREL.



*Figura 14: Instrumento PowerQ4Plus (Metrel).*

*Fuente: (METREL, 2011)*

## 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.

- 4 canales de tensión con una amplia escala de medición: 0 ÷ 1000 Vrms, CAT III/1000V
- 4 canales de tensión con posibilidad de reconocimiento automático de pinzas y selección de escala “en el instrumento”.
- Conformidad con la normativa de calidad de la energía IEC 61000-4-30 Clase S. Perfil del registrador predefinido para inspecciones según la norma EN 50160
- Mediciones de potencia conforme a las normas IEC 61557-12 e IEEE 1448
- 8 canales simultáneos – conversión AD de 16 bit para obtener unas mediciones de potencia precisas (error mínimo de variación de fase)

- Registrador potente y fácil de utilizar con 8MB de memoria y posibilidad para registrar 524 firmas de calidad de la energía diferentes
- Medición y registro de interarmónicos y señalización de red
- Termómetro digital para la medición de la temperatura
- Potentes herramientas de localización de problemas: registrador de sobretensiones transitorias<sup>1</sup>, corrientes de arranque/rápidas y formas de onda
- Captura de eventos de tensión y alarmas definidas por el usuario
- 15 horas de alimentación autónoma (mediante pilas)
- **PowerView v2.0** es un software informático de acompañamiento que ofrece el modo más fácil para descargar, visualizar y analizar los datos medidos, o para imprimirlos.
  - El analizador PowerView v2.0 incluye una interfaz sencilla pero potente para descargar los datos del instrumento y analizarlos de forma rápida, intuitiva y descriptiva. La organización de la interfaz permite una rápida selección de los datos utilizando una vista en forma de árbol similar a la del Explorador de Windows.
  - El usuario puede descargar fácilmente los datos registrados y organizarlos en múltiples emplazamientos con muchos sub-emplazamientos o lugares.
  - Genere cuadros, tablas y gráficas para sus análisis de los datos de calidad de la energía, y cree informes impresos profesionales
  - Exporte o copie/pegue los datos en otras aplicaciones (p.ej. hojas de cálculo) para su posterior análisis.
  - Es posible presentar y analizar múltiples registros de datos simultáneamente. Combine diferentes datos de registro en una única

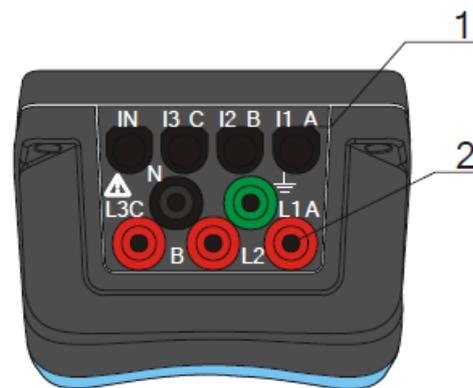
medición, sincronice los datos registrados con diferentes instrumentos con offsets de tiempo, divida los datos del registro en múltiples mediciones o extraiga datos de interés.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PANEL FRONTAL

Se puede apreciar la figura 14, para relacionar lo indicado a continuación:

1. Pantalla LCD: Pantalla gráfica con retroiluminación mediante LED, 320 x 200 píxeles.
2. F1 – F4: Teclas de función
3. FLECHAS: Desplazan el cursor y seleccionan los parámetros
4. Tecla ENTER: Confirma los nuevos ajustes, salir de los submenús
5. Tecla ESC: Sale de cualquier procedimiento, salir de los submenús
6. Tecla LUZ: Enciende/apaga la retroiluminación de la pantalla LCD (la retroiluminación se apaga automáticamente transcurridos 15 minutos si no se pulsa ninguna tecla).  
  
Si se pulsa la tecla LUZ durante más de 1,5 segundos se muestra el menú CONTRASTE. El contraste se puede ajustar pulsando las teclas IZQUIERDA y DERECHA.
7. Tecla ENCENDIDO-APAGADO: Enciende/apaga el instrumento.

### 3. PANEL DE CONECTORES.



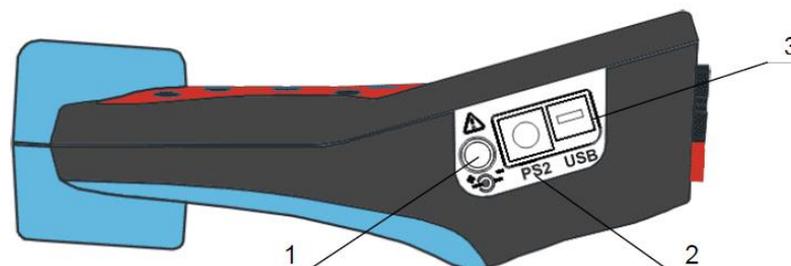
*Figura 15: Panel de Conectores (Metrel).*

*Fuente: (METREL, 2011)*

### 4. DISPOSICIÓN DEL PANEL DE CONECTORES SUPERIOR:

1. Terminales de entrada de transformadores de corriente de pinza (I1, I2, I3, IN).
2. Terminales de entrada de tensión (L1, L2, L3, N, GND).

### 5. DISPOSICIÓN DEL PANEL DE CONECTORES LATERAL

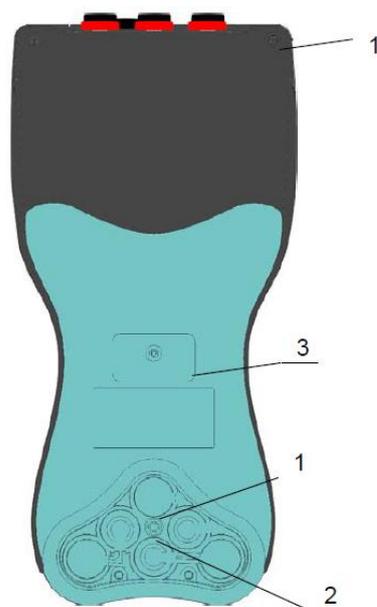


*Figura 16: Panel de Conectores Laterales (Metrel).*

*Fuente: (METREL, 2011)*

1. Toma para la alimentación externa.
2. Conector seríal PS-2 – RS-232/GPS.
3. Conector USB USB/GPRS.

**6. VISTA INFERIOR**



*Figura 17: Vista Inferior (Metrel).*

*Fuente: (METREL, 2011)*

- 1. Compartimento de las pilas.
- 2. Tornillo del compartimento de las pilas (desatornillar para sustituir las pilas).
- 3. Etiqueta de número de serie.

**7. NORMATIVAS EMPLEADAS EN EL INSTRUMENTO.**

El instrumento PowerQ4 Plus ha sido diseñado y comprobado de acuerdo con las siguientes normativas europeas:

*Cuadro 11: Normativas Empleadas en el Instrumento.*

<b>COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (EMC)</b>	
EN 61326-2-2: 2006	Equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión: Equipo de clase A (para fines industriales).</li> <li>• Inmunidad para equipos diseñados para uso en lugares industriales.</li> </ul>
<b>SEGURIDAD (LVD)</b>	
EN 61010-1: 2001	Requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio
<b>MÉTODOS DE MEDICIÓN</b>	

IEC 61000-4-30: 2008 Clase S	Técnicas de comprobación y medida – Métodos de medida de la calidad de la energía
IEC 61557-12: 2007	Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección – Parte 12: Medida del rendimiento y dispositivos de vigilancia (PMD)
IEC 61000-4-7: 2002 + A1: 2008 Clase II	Guía general relativa a las medidas e instrumentación de armónicos e interarmónicos
IEC 61000-4-15 : 2010	Medidor de flicker – Especificaciones funcionales y de diseño
EN 50160 : 2010	Características de la tensión de suministrada por las redes generales de distribución

Fuente: (METREL, 2011)

**NOTA: ACERCA DE LAS NORMATIVAS EN EL IEC**

Este manual contiene referencias a normativas europeas. Todas las normativas de la serie EN 6XXXX (p.ej. EN 61010) son equivalentes a las normativas IEC con el mismo número (p.ej. IEC 61010) y únicamente difieren en las partes modificadas requeridas por el procedimiento de armonización europeo.

**8. ACCESORIOS ESTÁNDAR DEL POWERQ4PLUS.**

*Cuadro 12: Accesorios Estándar del PowerQ4Plus.*

Descripción	Unidades
Pinza de corriente flexible de 3000 A / 300 A / 30 A (A 1227)	4
Sonda de temperatura (A 1354)	1
Punta de prueba, roja	2
Punta de prueba (CAT II), roja	3
Punta de prueba (CAT II), negra	1
Cocodrilo, rojo	3
Cocodrilo, negro	1
Cocodrilo, verde	1
Cable de medición de tensión, rojo	3
Cable de medición de tensión, negro	1
Cable de medición de tensión, verde	1
Cable USB	1
Cable RS-232	1
Adaptador de alimentación 12V/1,2A	1
Pilas recargables de NiMH, tipo HR 6 (AA)	6
Funda de transporte	1
Manual de instrucciones del PowerQ4 / PowerQ4 Plus	1

<b>Contenido del CD – relacionado con PowerQ4 / PowerQ4 Plus</b>	
Programa de software PowerView v2.0 con manual de instrucciones	
Manual de instrucciones del instrumento PowerQ4 / PowerQ4 Plus	
Manual "Técnicas modernas de medición de la calidad de energía"	

*Fuente: (METREL, 2011)*



*Figura 18: Accesorios estándar del PowerQ4Plus (Metrel).*

*Fuente: Elaboración Propia.*

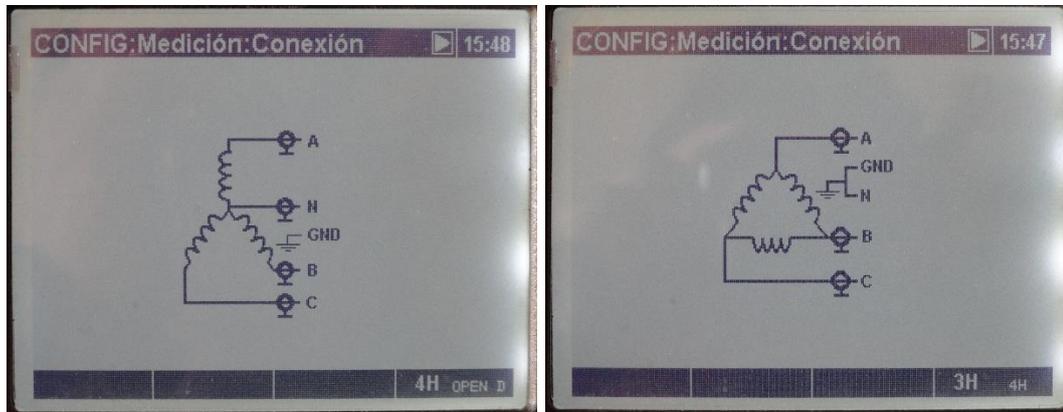
### **3.4.6. PROCESO DE INSTALACIÓN Y DESCONEXIÓN DEL EQUIPO.**

#### **1. INSTALACIÓN.**

Al instalar el equipo analizador de redes, se debe tener en cuenta una inspección previa de toda la instalación de la subestación en la cual se va hacer las mediciones y/o del sistema de tableros las cuales se encuentran con cargas no lineales.

Una de las prioridades es tener en cuenta sobre el tipo de conexión del secundario del transformador al cual se encuentra conectado la carga, identificando si es conexión

delta o estrella, la cual nos permitirá elegir la conexión que tendrán las pinzas de corriente y de tensión, en la cual nuestra conexión es delta – delta.



*Figura 19: Proceso de Instalación.*

*Fuente: (METREL, 2011)*

Se debe seguir los siguientes pasos:

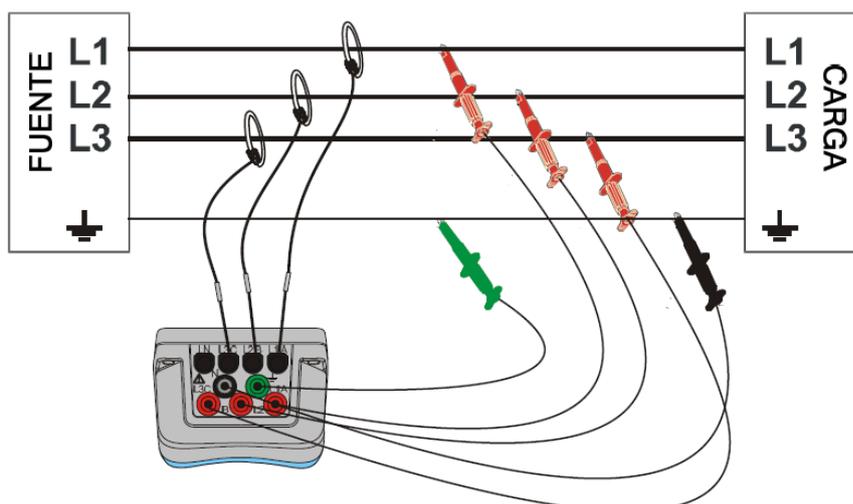
- Primeramente tener en cuenta las normas de seguridad industrial, ya que es un factor imprescindible tanto para la instalación y desconexión del equipo.



*Figura 20: Equipos de Protección Personal.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

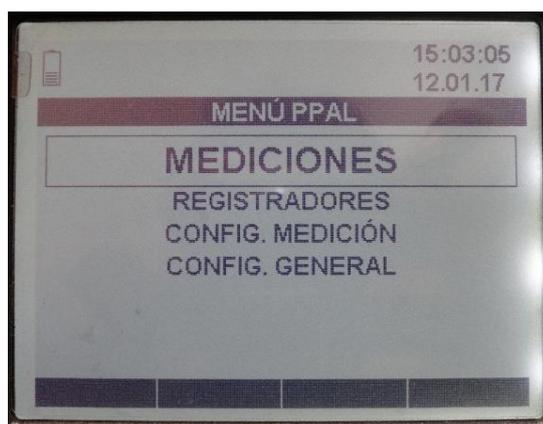
- Para empezar a instalar el equipo en el lado del secundario de las barras del tablero general, se debe tener apagado el analizador y de esa forma poder instalar las pinzas de corriente en las respectivas fases Tierra, Neutro, R, S Y T previamente identificando el tipo de conexión elegida.



*Figura 21: Sistema trifásico de 3 hilos.*

*Fuente: (METREL, 2011)*

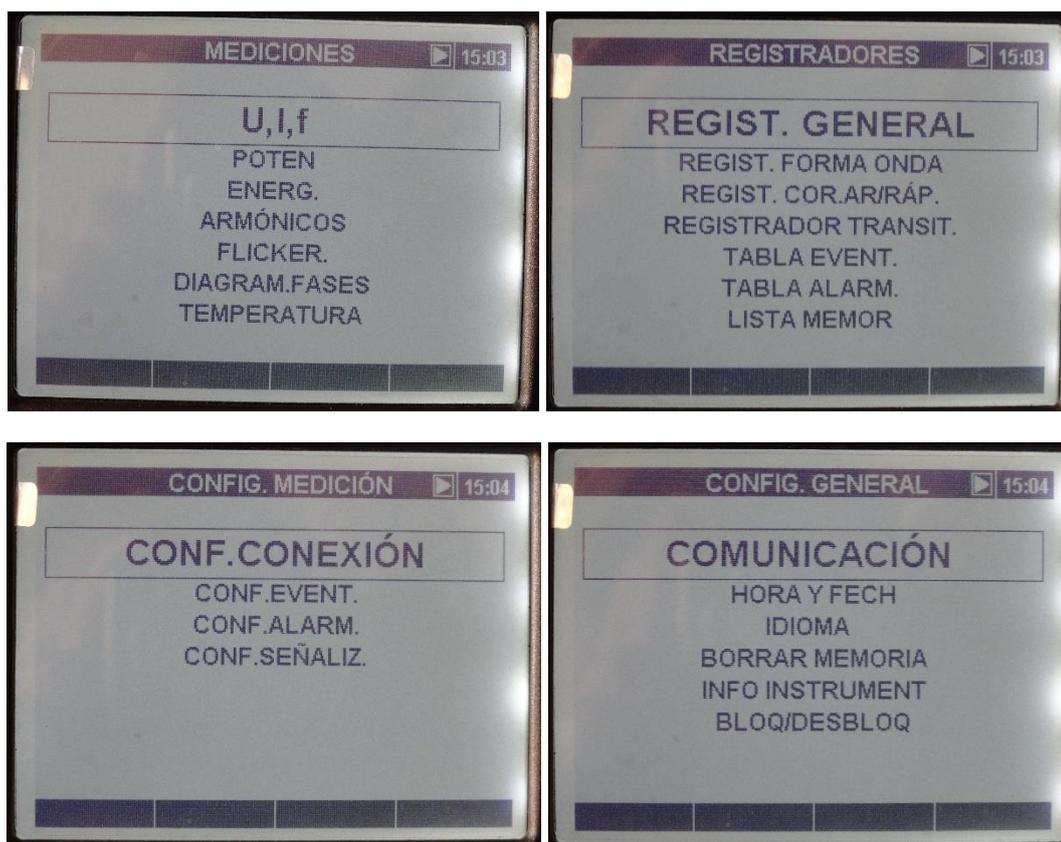
- Enseguida se instala los conectores de tensión (tipo cocodrilo) en las fases ya identificadas, las cuales se encuentran con sus respectivas señales y colores.
- Terminado las conexiones se inicia el encendido del analizador de redes.
- Una vez encendido aparece la pantalla de inicio, en la cual se encuentra el menú de configuraciones donde se selecciona el tipo de circuito a medir en el secundario.



*Figura 22: Menú Principal.*

*Fuente: (METREL, 2011)*

- Prosiguiendo se hace todas las configuraciones necesarias como la hora, fecha tiempo de registro, intervalos de medición, entre otros.



*Figura 23: Menú de Configuraciones y Mediciones.*

*Fuente: (METREL, 2011)*

- Luego de todo este proceso se empieza a pulsar el botón para que pueda empezar el registro, el analizador registra todos los datos ya mencionados en la figura 23.

## **2. DESCONEXIÓN DEL EQUIPO.**

Concluido el periodo de registro de los datos, se procede a desinstalar el equipo analizador de redes teniendo en cuenta los siguientes pasos.

- Apagar el equipo.
- Desconectar los conectores de tensión y las pinzas de corriente de las barras del tablero general en el sentido contrario de la forma en que se instaló.

### **3.4.7. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA DATA.**

El proceso de la extracción de la data (información) se puede realizar en campo (subestación) o en gabinete, para la cual si deseamos extraer tenemos que contar con una computadora portátil el cual previamente ya tenga instalado el software PowerView v2.0 el cual es un software informático de acompañamiento que ofrece el modo más fácil para descargar, visualizar y analizar los datos medidos o para imprimirlos, de no contarlo se ara trabajo de gabinete siguiendo los siguientes pasos.

- Realizar la conexión del interface a través del cable USB y de esa manera poder hacer la transferencia de información entre el equipo analizador de redes y el computador.
- Siguiente paso, encender el analizador de redes PowerQ4 Plus.
- Estando ya en el entorno de Windows y el icono del software PowerView v2.0 (previamente ya instalado en nuestra PC), entrar haciendo doble clic.

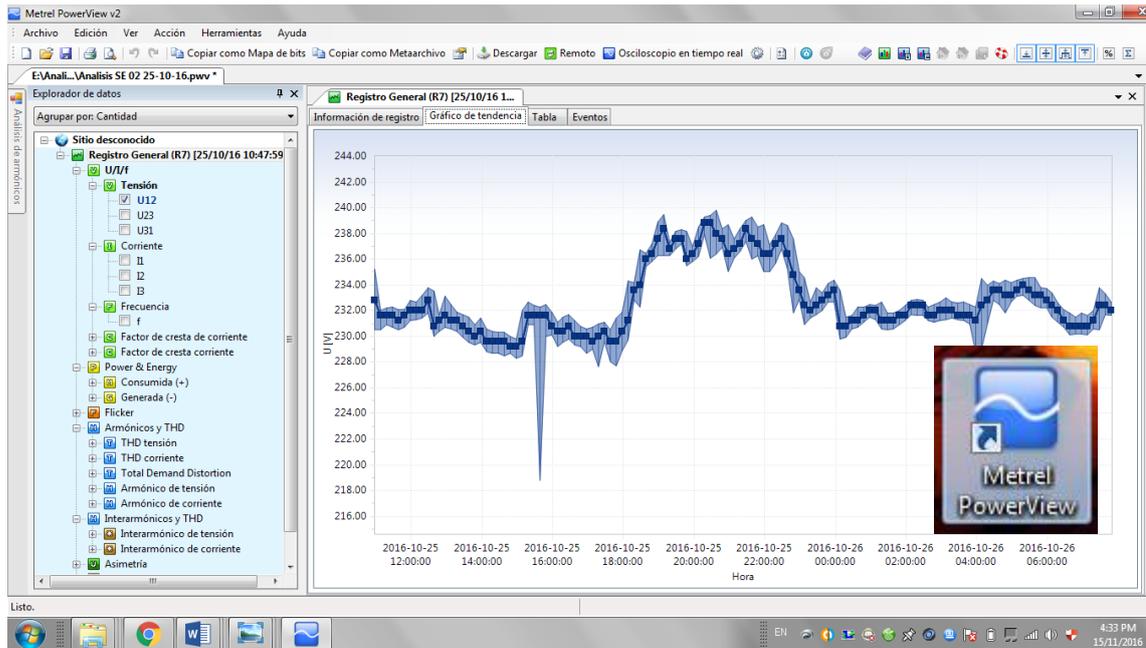


Figura 24: Icono del Software PowerView v2.0.

Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

- El software nos permite el ingreso en la cual nos muestra todos los datos que se registró en el tiempo para el cual estuvo programado, sin restricción alguna.

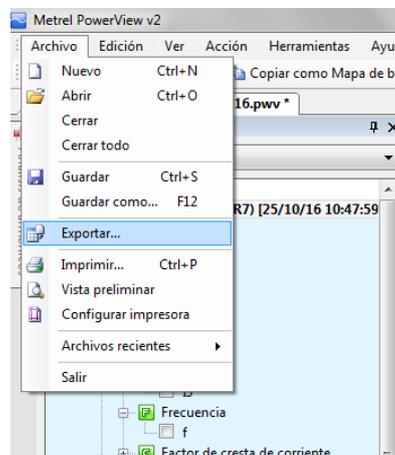


Figura 25: Software PowerView v2.0 proceso de exportación.

Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

- El software nos permite extraer los registros de tres formas los cuales son: Excel en formato XML, archivos CSV y TXT, los cuales son 100% confiables.

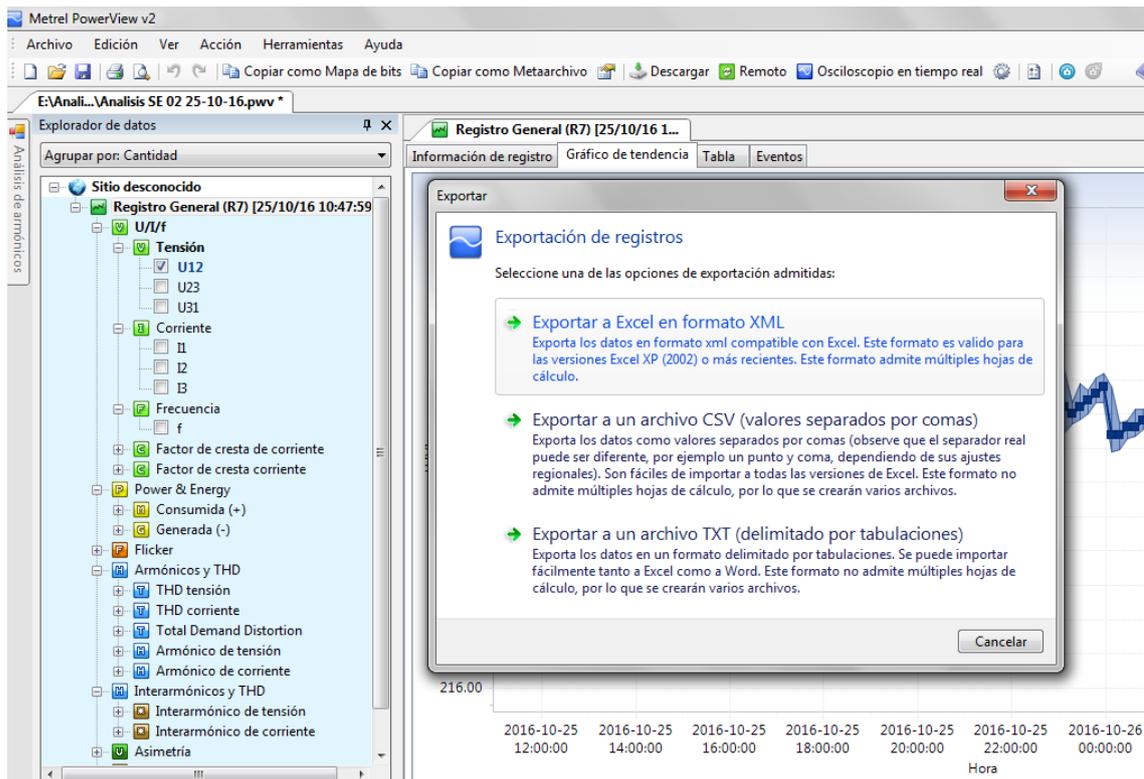


Figura 26: Metrel 3 formas de exportación.

Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

- Al finalizar la transferencia de la data sale una pequeña ventana que indica que la transferencia se realizó correctamente y así podamos cerrar ya el software.

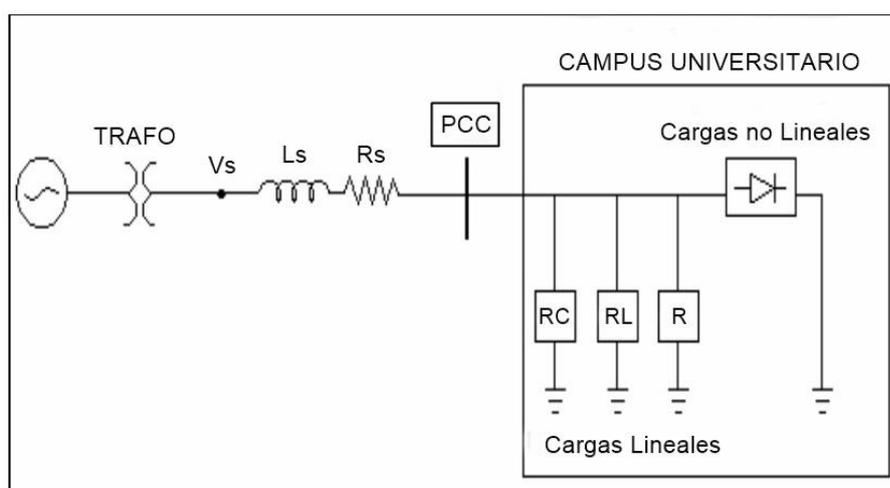
### 3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

En este capítulo se analizarán los datos obtenidos en las mediciones de las siete subestaciones del campus de la Universidad Nacional del Altiplano. Para dicho fin se presentan gráficos y tablas; las cuales servirán para establecer si los resultados obtenidos cumplen con la normatividad empleada en este estudio y para posteriormente hacer una comparación entre las mediciones y la factura de energía eléctrica.

Es importante recalcar que las normas peruanas y NTCSE (norma técnica de calidad de los servicios eléctricos) no mencionan ciertos estándares de calidad como las armónicas de corriente (THDi), para ello se ha recurrido a normas internacionales mencionadas en el apartado 3.6.1. Evaluación de los parámetros acorde a Norma.

### 3.5.1. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN (PCC).

Se debe tener en cuenta que a la hora de efectuar la medición se tiene que estudiar todo lo que está alrededor de la estructura donde se va a realizar la medición. Dicho lo anterior, la medición se realizó en el transformador de distribución que se encuentra en el campus universitario. Según la figura 27 el punto de conexión común se sitúa en el lado de la baja tensión del transformador de distribución. Se eligió el lado de la baja tensión por razones de seguridad y accesibilidad para realizar la medición.



*Figura 27: Punto de Conexión Común (PCC).*

*Fuente: (Asea Brown Boveri S.A., 2011)*

### 3.5.2. ANÁLISIS POR SUBESTACIONES.

Se registró un análisis por subestaciones de distribución para todos los parámetros mencionados y medidos en el lado de la Baja Tensión, los cuadros nos muestran estos parámetros lo que nos permitirá tener una referencia para un análisis mucho más profundo.

### 3.5.2.1. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 01.

La subestación eléctrica N° 01 tiene una potencia nominal de 400 kVA, se encuentra ubicada al frontis de la facultad de enfermería, esta S.E. 01 alimenta a las siguientes cargas que se muestran a continuación:

*Cuadro 13: Subestación Eléctrica N° 01.*

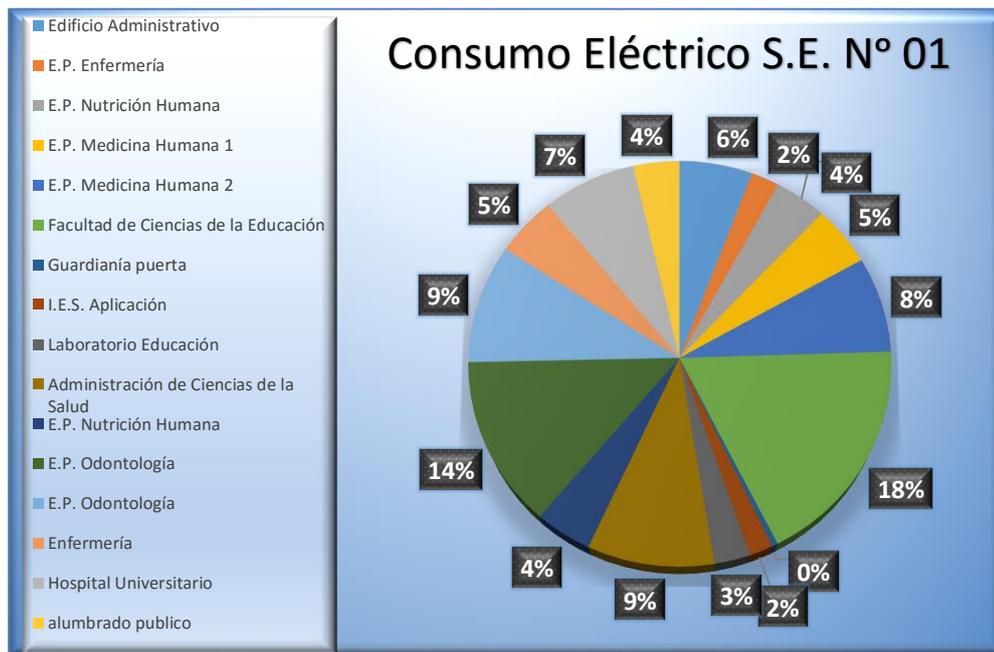
Número de SE y potencia nominal	Cto	Descripción	MD (kW)
<b>SE-01 (400 kVA)</b>	CG-1	Edificio Administrativo	12
	CG-2	E.P. Enfermería	4,6
		E.P. Nutrición Humana	8,45
	CG-3	E.P. Medicina Humana 1	10
		E.P. Medicina Humana 2	15,84
		Facultad de Ciencias de la Educación	37,44
		Guardianía puerta	0,9
		I.E.S. Aplicación	3,63
		Laboratorios Educación	5,62
	CG-4	Administración de Ciencias de la Salud	19,63
		E.P. Nutrición Humana	8,9
		E.P. Odontología	28,04
	CG-5	E.P. Odontología	19,68
		Enfermería	10
		Hospital Universitario	15,36
CG-AP	Alumbrado Público.	7,558	

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.*

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 207.648 kW; del cuadro se puede observar que la facultad de ciencias de la educación es la que tiene una máxima demanda de 37.44 kW y así seguida por las demás escuelas profesionales.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta la gráfico 21 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 21: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 01.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico se puede observar que el área con mayor consumo son las siguientes: Facultad de ciencias de la Educación con un 18%, seguida por la E.P. Odontología, Administración de ciencias de la salud, etc... en base a este gráfico, en el cual se tienen identificados cuales son las cargas con mayor consumo energético, se presentan datos tomadas de la subestación que nos ayudarán a optimizar el consumo eléctrico.

### 1. DATOS DE LA SUBESTACIÓN 01.

Cuadro 14: Datos de la Subestación 01.

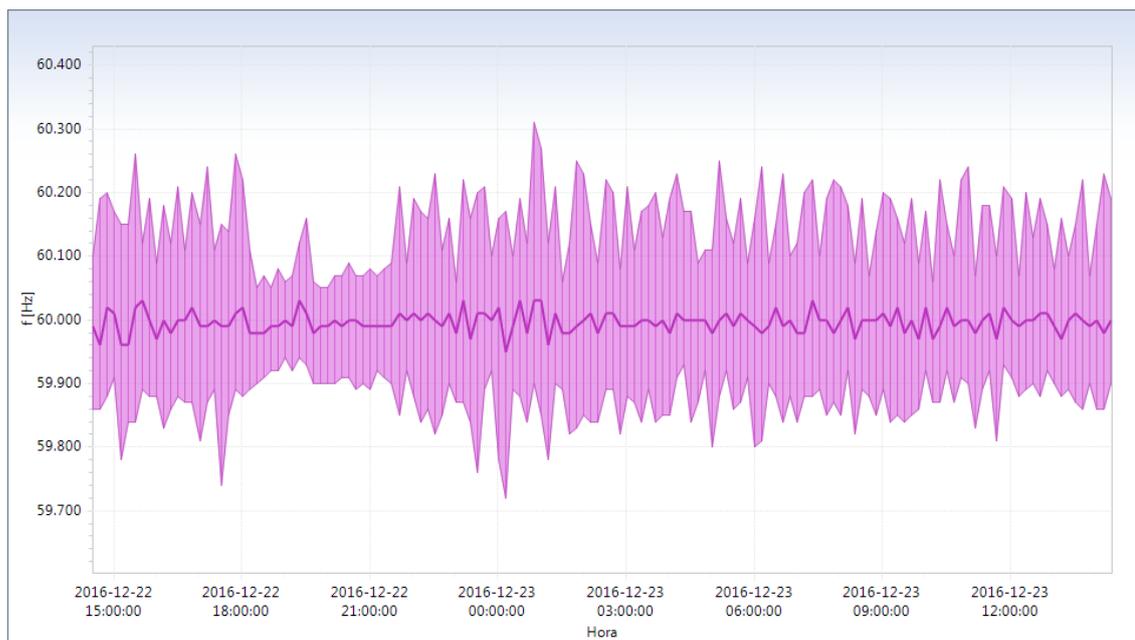
Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
400	Delta primario/Delta secundario	230

Fuente: Elaboración Propia.

## 2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.

En el gráfico 22, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un periodo de duración de 24 horas, en el cuadro 15, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes, dichos valores mostrados son los más representativos.

Gráfico 22: Valores de Frecuencia S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 15: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 01.

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
23/12/2016 00:51:00	Valor máximo	60.31	0.51
23/12/2016 00:11:00	Valor mínimo	59.72	-0.47
Promedio		60.00	0.00

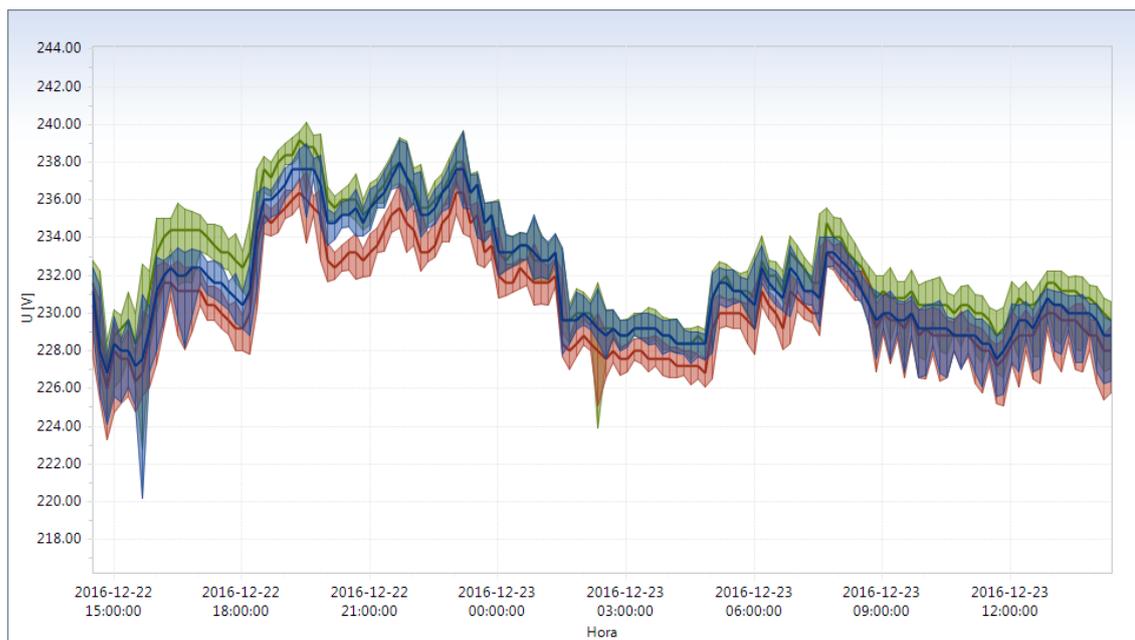
Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de servicio eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 15 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro es de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En el gráfico 23 se visualiza los valores obtenidos de la medición de los valores U12, U23, U31; las cuales se hizo en un periodo de 24 horas, En el cuadro 16 se muestra los valores representativos mostrados a continuación:

Gráfico 23: Valores de Tensión S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 16: valores representativos de la tensión S.E. 01.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
22/12/2016 19:31:00	Valor máximo	239.60	238.00	240.10
22/12/2016 15:41:00	Valor mínimo	220.20	223.30	222.80
promedio		231.68	230.60	232.47
Max Δ %		4.01%	3.36%	4.21 %
Min Δ %		-4.45 %	-3.00%	-3.23%

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante la siguiente ecuación se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrica (NTCSE).

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_k} \times 100 \quad (43)$$

Donde:

V<sub>k</sub>: voltaje medido (máximo o mínimo), [V]

V<sub>n</sub>: voltaje nominal

En el cuadro 16 y según a la NTCSE el cual indica que 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 el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos, ahora se puede ver que los valores se mantienen en el rango permisible, siendo  $4.21\%$  y  $-4.45\%$  los valores extremos con respecto a la tensión nominal de 230V del transformador. Esto se debe a la conexión de grandes cargas lo cual produce un desbalance en la corriente.

#### **4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.**

En el Gráfico 24 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 17, se muestra los valores tomados con el analizador de redes en el periodo ya mencionado.

Gráfico 24: Valores de Corriente S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 17: Valores representativos de la Corriente S.E. 01.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
23/12/2016 10:01:00	Valor máximo	1,309.68	1,217.43	1,045.35
23/12/2016 5:31:00	Valor mínimo	66.78	64.08	30.24
Promedio		369.42	311.32	228.79

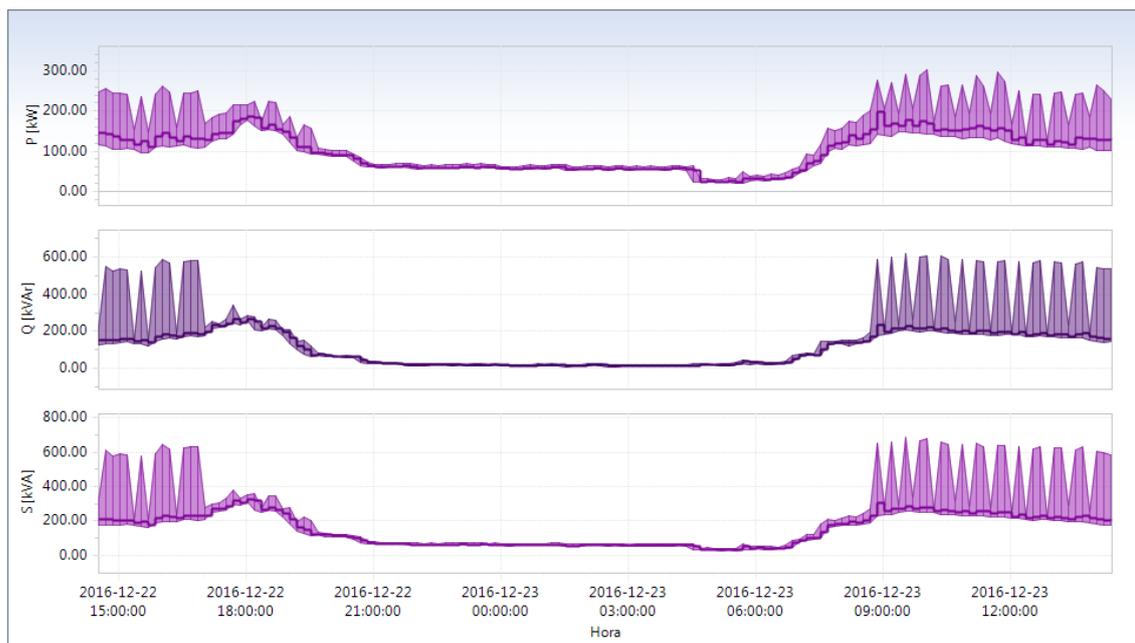
Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 17 y el gráfico 24, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta aproximadamente a horas 7:00 Esto debido a la carga conectada que se da en la subestación eléctrica N° 01 con una carga constante aproximadamente hasta la hora 18:30, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 21:00 horas, a partir de la cual me mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 del día siguiente como se puede apreciar.

### 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

En el gráfico 25 se visualiza los valores obtenidos de la medición de los valores de la potencia activa, reactiva y aparente; en el cuadro 18 se muestra los valores tomados en el periodo ya mencionado, los cuales son los más representativos.

Gráfico 25: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 18: Valores representativos de la Potencia S.E. 01.

Medidas de tendencia	Análisis de Potencia		
	kW	kVAR	kVA
Valor máximo	302.13	618.57	683.82
Valor mínimo	21.06	8.64	27.63
promedio	99.14	106.34	149.00

Fuente: Elaboración Propia.

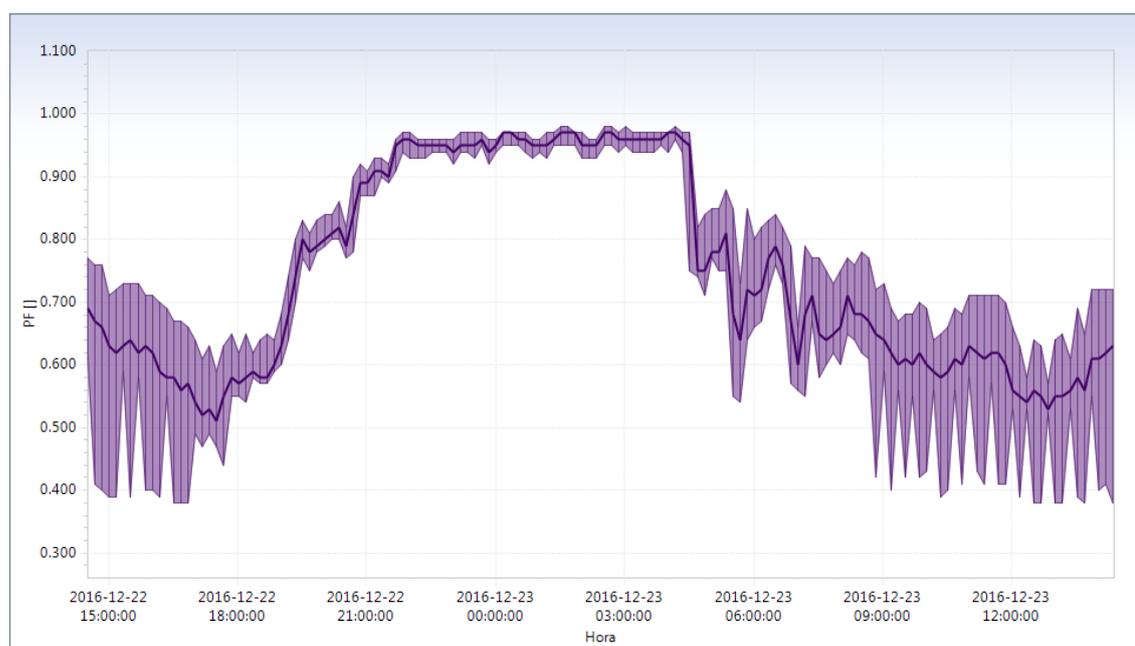
En los gráficos 23, 24 y 25, se pueden observar que los picos de consumo de energía se produce en los periodos de 8:00 am – 18:30 pm del día con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo, es por tal motivo que dentro de estos periodos la potencia reactiva es elevada en esta S.E. 01.

En el cuadro 18, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 683.82 kVA con variaciones similares en periodos cortos, sobre pasando un 70.96% de lo nominal, pero como valor promedio registrado es de 149.00 kVA de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 37.25% ya que la potencia nominal del Transformador es de 400 kVA.

## 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 26 se visualiza los valores obtenidos de la medición del factor de potencia ( $\cos\phi$ ) en dicho periodo, En el cuadro 19 se muestra los valores más representativos.

*Gráfico 26: Valores del Factor de Potencia S.E. 01.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

Cuadro 19: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 01.

Medidas de tendencia		Factor de potencia
Fecha/hora	descripción	cosφ
23/12/2016 1:31	Valor máximo	0.98
22/12/2016 16:31	Valor mínimo	0.38
Promedio		0.74

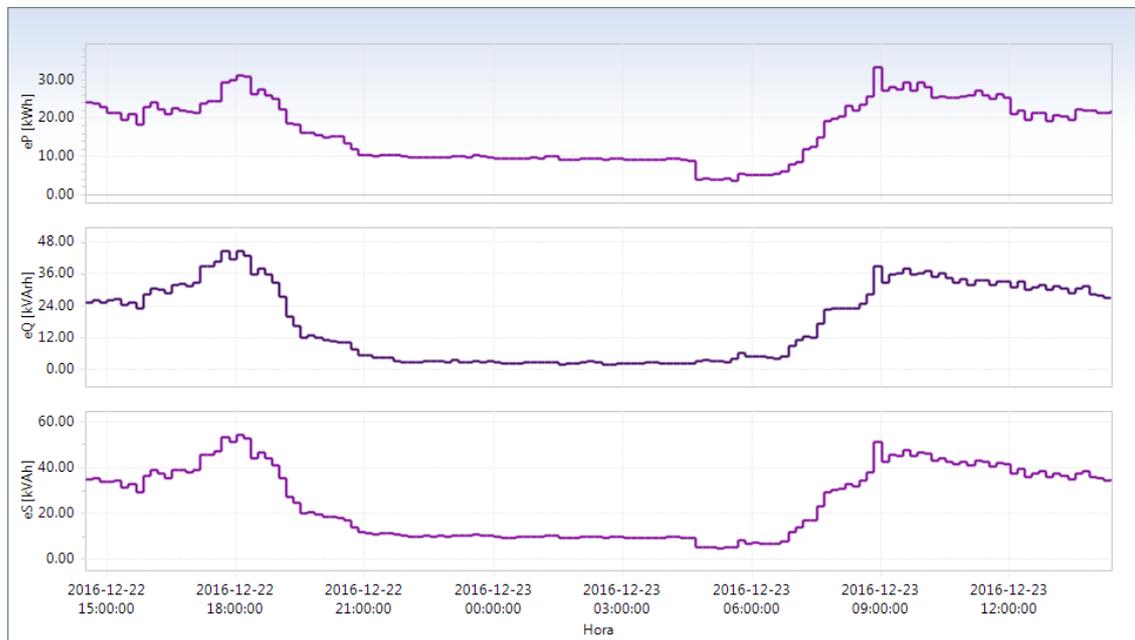
Fuente: Elaboración Propia.

El valor promedio 0.74 sería el que se tendría que analizar, para así poder alcanzar un valor adecuado y eficiente de energía.

### 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA.

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el gráfico 27 se observa el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 20 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 27: Valores de la Energía S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 20: Valores representativos de la Energía S.E. 01.

Medidas de tendencia descripción	Análisis de la Energía consumida		
	kW-h Total	kVAR –h Total	kVA-h Total
<b>Valor máximo</b>	33.22	44.24	54.06
<b>Valor mínimo</b>	3.70	2.05	4.97
<b>promedio</b>	<b>16.52</b>	<b>17.72</b>	<b>24.83</b>
<b>Consumo Total en un Día</b>	<b>2,379.26</b>	<b>2,552.21</b>	<b>3,575.94</b>
<b>Consumo Total en un Mes</b>	<b>52,343.72</b>	<b>56,148.62</b>	<b>78,670.68</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

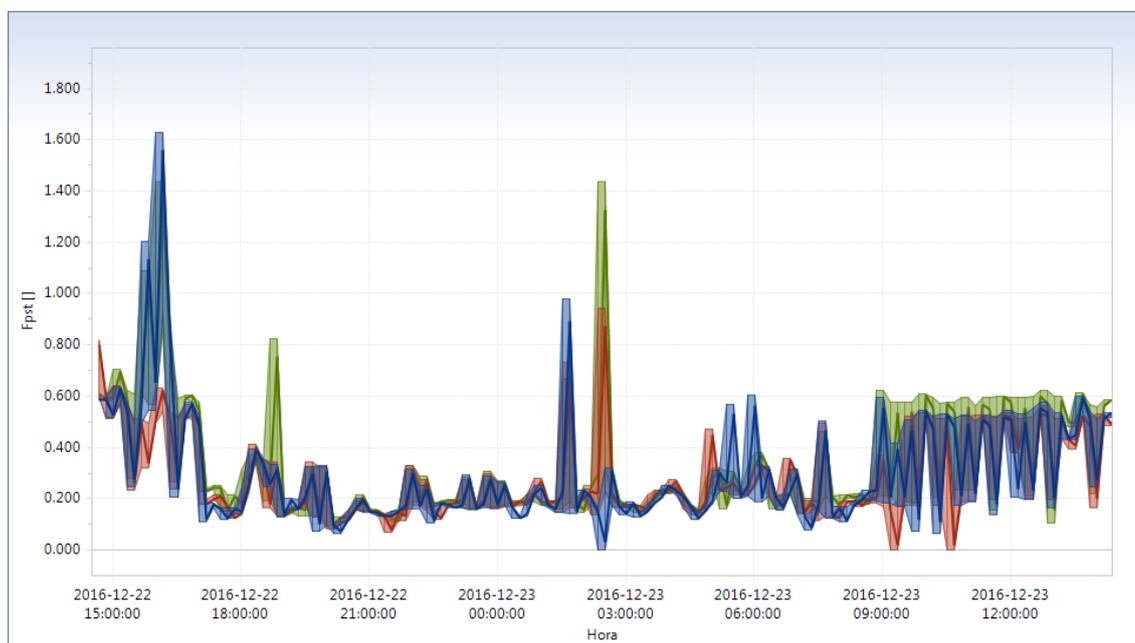
Se ha considerado para todas las subestaciones eléctricas como consumo total mensual 22 días en las cuales hay labores academias y por lo tanto existe carga eléctrica, los días sábados y domingos no cuenta con carga por ser días no laborables donde no hay actividad académica y no hay consumo de energía.

En el cuadro 20, podemos notar visiblemente que la energía reactiva generada durante un mes es alta, siendo 56,148.62 kVARh de la potencia activa. Con estos valores registrados se puede deducir que se tiene que realizar una compensación de energía reactiva para no incurrir en gastos extras y mejorar la eficiencia energética.

El consumo promedio de energía durante un mes es de 52,343.72 kW- h, esta medición se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 28: Valores Flicker S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 21: Valores representativos Flicker S.E. 01.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
22/12/2016 16:11	Valor máximo	1.63	0.94	1.44
23/12/2016 9:11	Valor mínimo	0.00	0.00	0.10
Promedio		0.30	0.28	0.33

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja tensión; se considera el limite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 21 se puede observar que los valores máximos no se encuentran en el rango, ya que en la fase “12” se tiene un valor máximo de 1.63 y en la fase “31” se tiene

1.44 encima del índice de severidad, indicando que el servicio es de baja calidad respecto al Flicker, una solución a la severidad flicker es la compensación reactiva.

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 22 se muestra los valores obtenidos del total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THDv).

*Cuadro 22: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 01.*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THDv U 12 (%)</b>	<b>THDv U 23 (%)</b>	<b>THDv U 31 (%)</b>
3.10	2.80	3.20

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 22 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase están dentro de la norma la cual es de 5%

En el cuadro 23 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25.

*Cuadro 23: Análisis de Armónicos de Tensión (%).*

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	0.54	0.48	0.47	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	1.21	1.30	1.25	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.42	0.42	0.46	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.18	0.18	0.17	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.27	0.28	0.33	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.21	0.19	0.19	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.11	0.09	0.10	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.12	0.13	0.13	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.09	0.09	0.08	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.08	0.08	0.08	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.06	0.06	0.06	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.04	0.04	0.05	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 23 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE).

## B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519<sup>19</sup>, en la tabla 4 se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Tabla 4: Armónicos Individuales (Impares)

<b>ARMÓNICOS INDIVIDUALES (IMPARES)</b>						
$I_{sc}/I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	$TDD$
<b>&lt; 20</b>	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
<b>20 – 50</b>	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
<b>50 – 100</b>	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
<b>100 – 1000</b>	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
<b>&gt; 1000</b>	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: Norma (IEEE - 519, 1992)

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la siguiente expresión:

$$V_{ccl}\% = \frac{V_{ccl}}{V_{in}} \times 100 \quad (44)$$

Donde:

$V_{ccl}\%$ : voltaje de corto circuito expresado en porcentaje.

<sup>19</sup> Norma IEEE 519-1992: Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.

$V_{ccl}$ : voltaje de cortocircuito de línea.

$V_{in}$ : voltaje de alimentación.

$$V_{ccl} = \frac{V_{ccl\%}}{100} \times V_{in} \quad (45)$$

$$V_{ccl} = \frac{3.98 \times 230}{100}$$

$$V_{ccl} = 9.15 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 9.15 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del 3.98 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 9.15 V, y por tanto la de fase es la misma.

Ahora hallamos la impedancia de corto circuito

$$Z_{cc} = \frac{V_{ccf}}{I_{nf}} \quad (46)$$

Donde:

$Z_{cc}$ : impedancia de corto circuito.

$V_{ccf}$ : voltaje de corto circuito de fase.

$I_{nf}$ : corriente nominal en fase.

Enseguida hallamos la corriente nominal de línea en función de la potencia aparente:

$$I_L = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_{IN}} \quad (47)$$

$S_T$  : Potencia Aparente = 400 kVA.

$I_L$  : Intensidad de Línea

$V_{IN}$  : Voltaje Nominal = 230 V.

Donde:

$$I_L = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 230}$$

$$I_L = 1004.09 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase esta denotada por la siguiente expresión:

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad (48)$$

$I_F$ : Intensidad de fase.

$I_L$ : Intensidad de línea.

$$I_F = \frac{1004.09 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I_F = 579.71 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada:

$$Z_{cc} = \frac{9.15 \text{ V}}{579.71 \text{ A}}$$

$$Z_{cc} = 0.01578 \Omega$$

Mediante la siguiente ecuación se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = \frac{V_{ef}}{Z_{cc}} \quad (49)$$

Donde:

$V_{ef}$  : Tensión efectiva del generador.

$Z_{CC}$  : Impedancia equivalente del transformador de distribución.

$$I_{SC} = \frac{230 \text{ V}}{0.01578 \Omega}$$

$$I_{SC} = 14.58 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la siguiente relación:

$$\frac{I_{SC}}{I_L} \quad (50)$$

$I_{SC}$ : Corriente de corto circuito

$I_L$ : Corriente de línea

Donde:

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{14.58 \text{ kA}}{1004.09 \text{ A}} = 14.51$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 14.51, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{SC}/I_L < 20$  están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$

En el cuadro 24 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

En el gráfico 29, 30 y 31 se muestran los espectros de armónicos de corriente desde la 3ra hasta la 25 armónica.

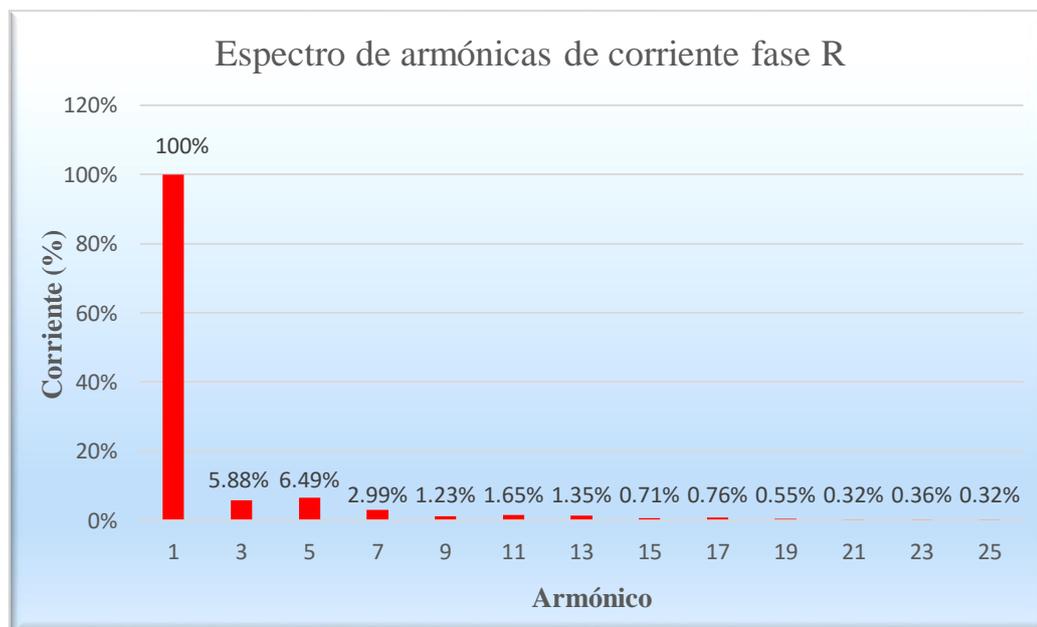
Cuadro 24: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 01.

Análisis de Armónicos de Corriente (%)				
Orden Armónico	I 1 (%)	I 2 (%)	I 3 (%)	IEEE 519 (%)
3	5.88	5.19	8.24	≤ 4.0
5	6.49	7.19	9.43	≤ 4.0
7	2.99	3.56	4.70	≤ 4.0
9	1.23	1.34	1.59	≤ 4.0
11	1.65	2.98	3.66	≤ 4.0
13	1.35	1.78	1.91	≤ 2.0
15	0.71	0.61	0.84	≤ 2.0
17	0.76	0.79	1.05	≤ 2.0
19	0.55	0.75	0.64	≤ 1.5
21	0.32	0.33	0.42	≤ 1.5
23	0.36	0.47	0.43	≤ 1.5
25	0.32	0.29	0.44	≤ 0.6

Fuente: Elaboración Propia.

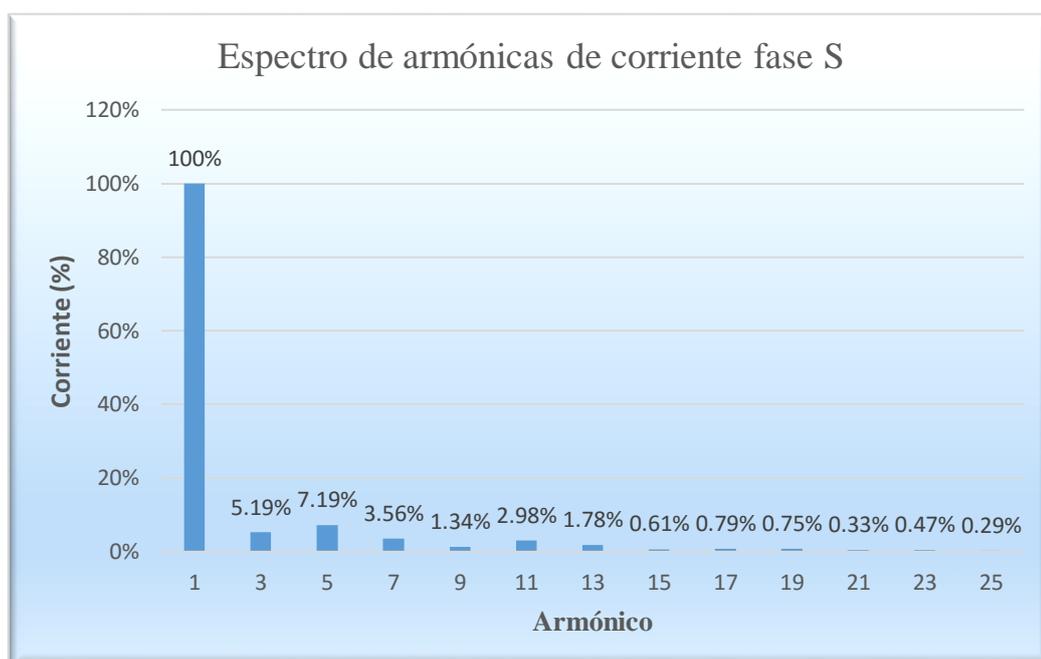
Del cuadro 24 se puede apreciar que los valores del promedio diario de la 3, 5 y 7 armónica no están en el rango normativo, para lo cual se debe hacer una compensación con filtro de armónicos.

Gráfico 29: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 01.



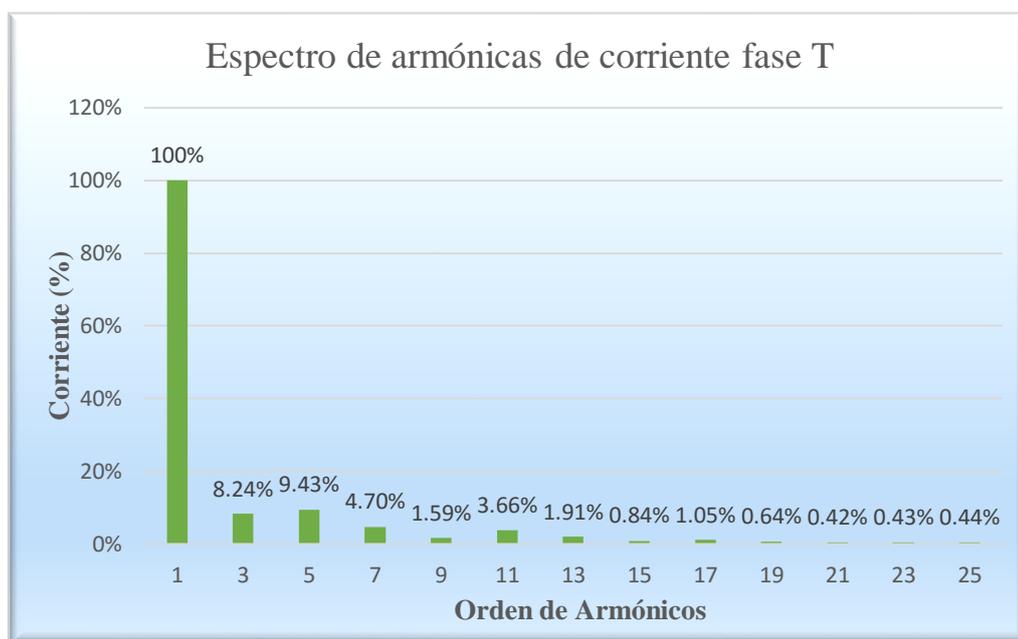
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 30: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 31: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 01.



Fuente: Elaboración Propia.

De los gráficos 29, 30 y 31 se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3, 5 y la 7, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos

que podría reducir y solucionar problemas ocasionados por las mismas, además que también podría solucionar problemas de energía reactiva.

## 10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).

En el Gráfico 32 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 25 se muestra los valores más representativos.

*Gráfico 32: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 01.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

En el gráfico 32 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 7:00 horas hasta las 18 horas, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

Cuadro 25: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 01.

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
descripción			
Valor máximo	11.08	9.20	14.87
Valor mínimo	0.96	1.06	1.55
Promedio	4.34	4.56	6.53

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 25 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores al 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

### 3.5.2.2. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 02.

La subestación eléctrica N° 02 tiene una potencia de 320 kVA, se encuentra ubicada al lado de la escuela profesional de Administración, esta S.E. 02 alimenta a las siguientes cargas mostradas a continuación:

Cuadro 26: Subestación Eléctrica N° 02.

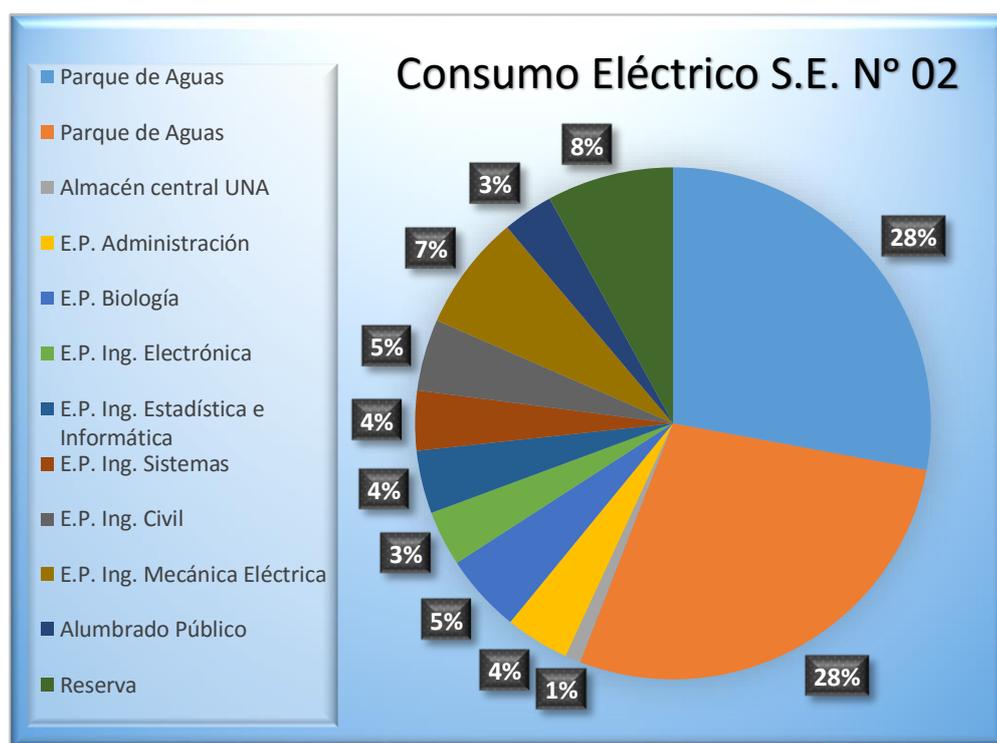
Número de S.E. y Potencia Nominal	Cto.	Descripción	MD (kW)
SE-02 (320 kVA)	CG-1	Parque de Aguas	87,95
	CG-2	Parque de Aguas	87,95
	CG-3	Almacén central UNA	3,05
		E.P. Administración	12,68
		E.P. Biología	15,61
		E.P. Ing. Electrónica	11
		E.P. Ing. Estadística e Informática	12,5
	CG-4	E.P. Ing. Sistemas	11,9
		E.P. Ing. Civil	14,23
	CG-4	E.P. Ing. Mecánica Eléctrica.	22,99
		CG-AP	Alumbrado Público.
	CG-Re.	Reserva.	25

Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 314.86 kW; Del gráfico se puede observar que el parque de las aguas es la que tiene mayor consumo que llegaría con una carga de ambos circuitos 1 y 2 a una máxima demanda de 175.90 kW, la cual en el día de la medición según el plan de trabajo no se encontraba en funcionamiento y motivo por la cual no se pudieron registrar dichos datos, con lo cual la máxima demanda sería consumida por la Escuela Profesional de Ing. Mecánica Eléctrica con 22.99 kW.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el gráfico 33 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 33: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 02.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 33 se observar que el área con mayor consumo de energía son las siguientes Escuelas Profesionales: Ing. Mecánica Eléctrica con 7%, seguida por la E.P.

de Ing. Civil, Biología, Ing. Estadística e Informática, etc..., en base a este gráfico, en el cual se tienen identificados cuales son las cargas con mayor consumo energético, se presentan datos tomadas de la subestación que nos ayudaran a optimizar el consumo de energía eléctrica.

### 1. DATOS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN N° 02.

*Cuadro 27: Datos Generales de la Subestación 02.*

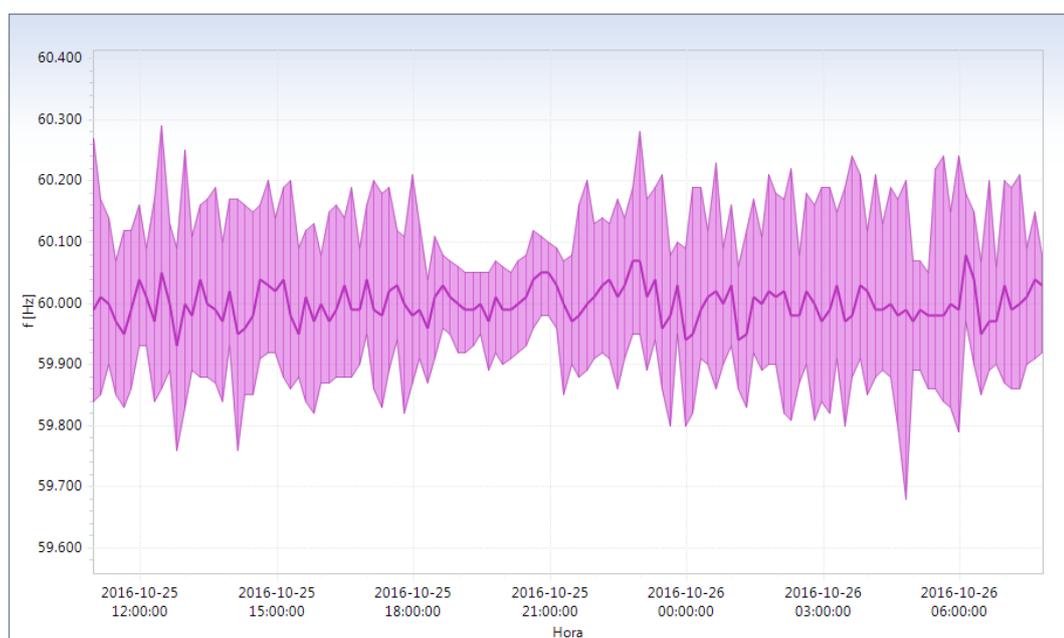
Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
320	Delta primario/Delta secundario	230

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.

En el gráfico 34, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un tiempo determinado, en el cuadro 28, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes los cuales son los más representativos.

*Gráfico 34: Valores de Frecuencia S.E. 02*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

Cuadro 28: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 02.

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
25.10.2016 12:27:59	Valor máximo	60.29	0.48
25.10.2016 20:57:59	Valor mínimo	59.68	-0.54
Promedio		60.00	0.00

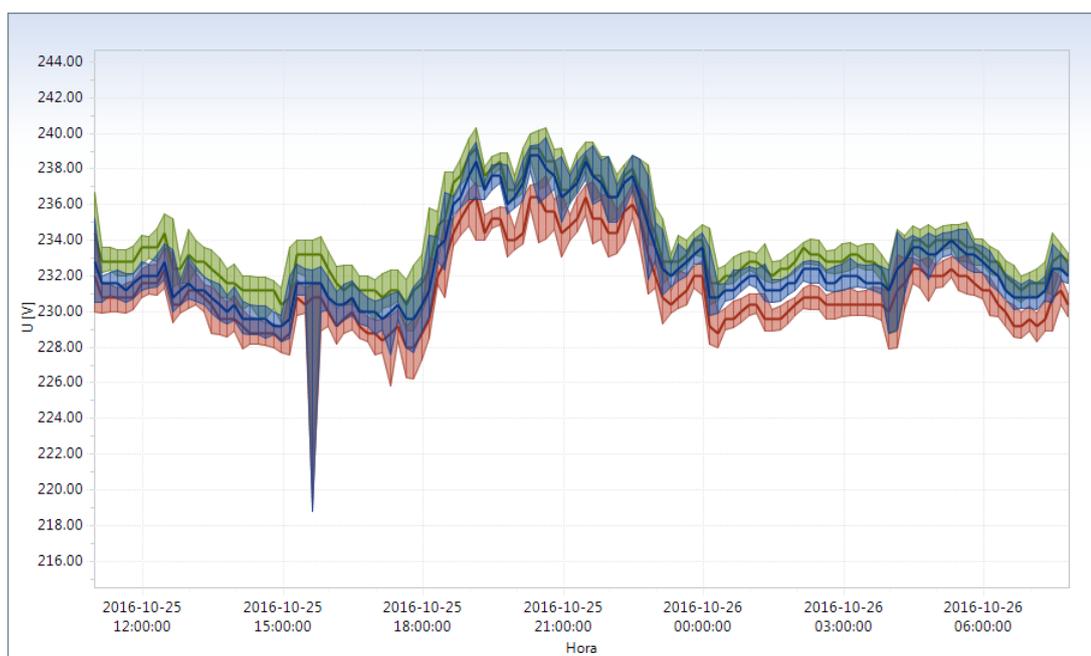
Fuente: Elaboración Propia.

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 28 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro es de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En la gráfico 35 se visualiza los valores obtenidos de la medición de los valores U12, U23, U31; la cual se hizo en un tiempo determinado, En el cuadro 29 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 35: Valores de Tensión S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 29: valores representativos de la tensión S.E. 02.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
25.10.2016, 20:37:59	Valor máximo	239.80	237.60	240.30
25.10.2016, 20:37:59	Valor mínimo	218.80	219.10	221.10
promedio		232.70	231.36	233.61
Max $\Delta$ %		4.09%	3.20%	4.29 %
Min $\Delta$ %		-5.12 %	-4.97%	-4.03%

Fuente: Elaboración Propia.

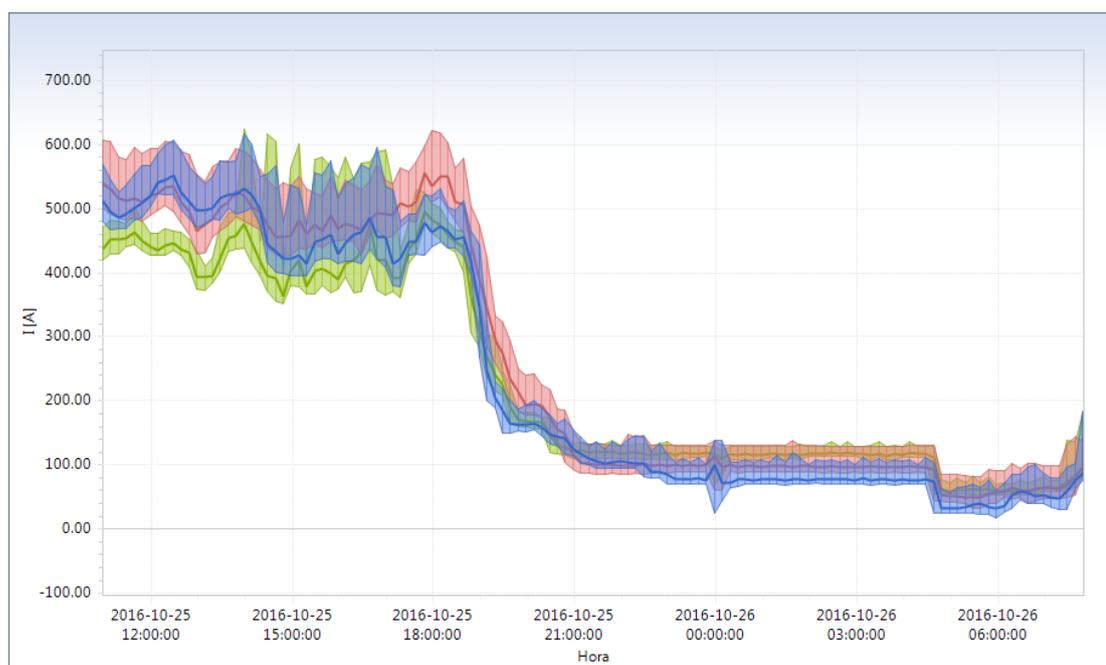
Mediante la ecuación 43 ya mencionada anteriormente se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrico (NTCSE).

En el cuadro 29 y según a la NTCSE el cual indica que 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 el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos, Ahora se puede ver que los valores no se mantienen en el rango, siendo 4.29% y -5.12% los valores extremos con respecto a la tensión nominal de 230V del transformador, pudiendo decir que existe caída de tensión, Esto se debe a la conexión de grandes cargas lo cual produce un desbalance en la corriente.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.

En el gráfico 36 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 30 se muestra los valores tomados con el analizador de redes en un determinado tiempo.

Gráfico 36: Valores de Corriente S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 30: Valores representativos de la Corriente S.E. 02.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
25.10.2016 13:57:59	Valor máximo	615.60	621.27	623.70
26/10/2016 5:58:59	Valor mínimo	17.64	32.49	53.28
Promedio		237.92	258.67	235.20

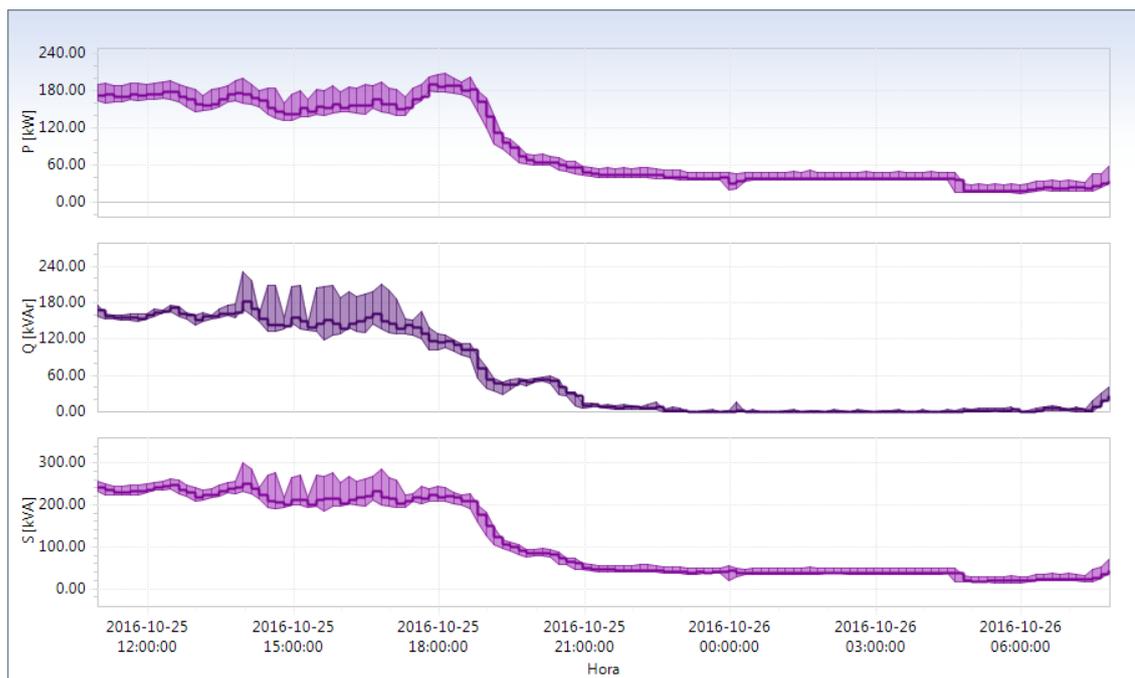
Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 30, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta aproximadamente a horas 7:30 esto debido a la carga conectada que se da en la subestación eléctrica N° 02 con una carga constante aproximadamente hasta la hora 18:30, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 21:00 horas, a partir de la cual se mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 del día siguiente como se puede apreciar.

### 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

En el gráfico 37 se visualiza los valores obtenidos de la medición de la potencia Activa, Reactiva y Aparente; En el cuadro 31 se muestra los valores tomados en el periodo ya mencionado, los cuales son los más representativos.

Gráfico 37: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 31: Valores representativos de la Potencia S.E. 02.

Medidas de tendencia descripción	Análisis de Potencia		
	kW	kVAR	kVA
Valor máximo	207.72	229.95	299.34
Valor mínimo	14.58	0.00	14.58
promedio	88.45	61.38	111.44

Fuente: Elaboración Propia.

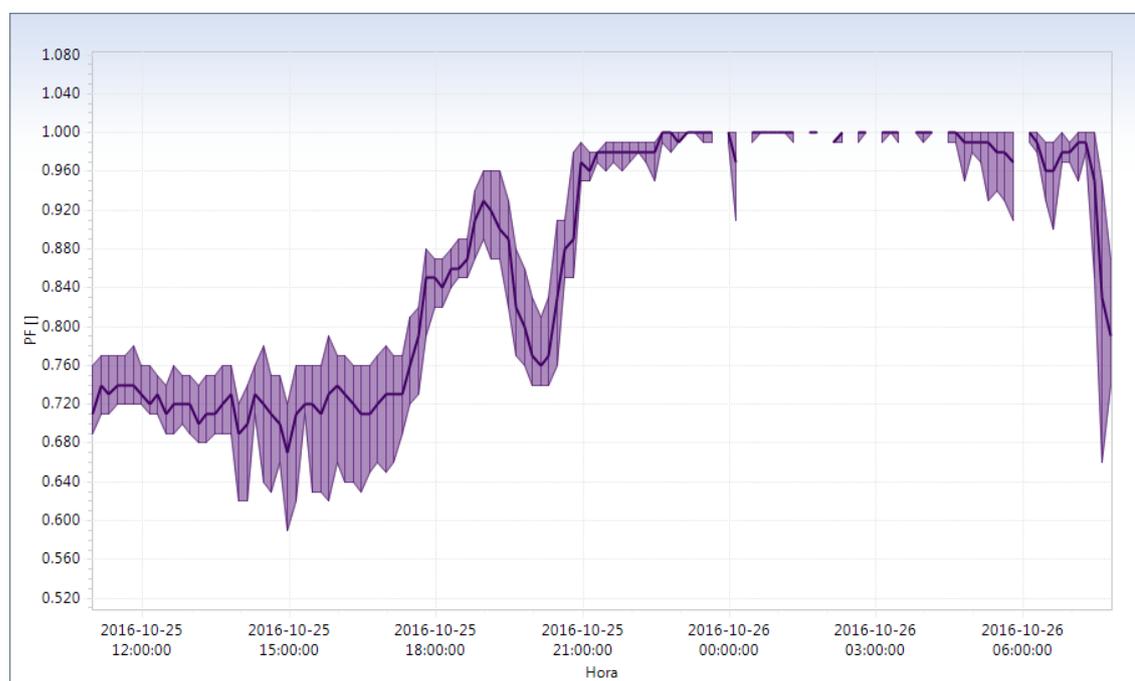
En los gráficos 35, 36 y 37 se pueden observar que los picos de consumo de energía se produce en los periodos de 7:30 am – 18:30 pm con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo en el día.

En el cuadro 31, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 299.34 kVA con variaciones similares en periodos cortos, de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 93.54% ya que la potencia nominal del Transformador es de 320 kVA.

## 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 38 se muestra los valores obtenidos de la medición de los valores del factor de potencia ( $\cos\phi$ ); En el cuadro 32 se muestra los valores más representativos.

*Gráfico 38: Valores del Factor de Potencia S.E. 02.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

*Cuadro 32: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 02.*

Medidas de tendencia		Factor de potencia
Fecha/hora	descripción	$\cos\phi$
25.10.2016 22:37	Valor máximo	1.00
25.10.2016 14:57	Valor mínimo	0.59
Promedio		0.87

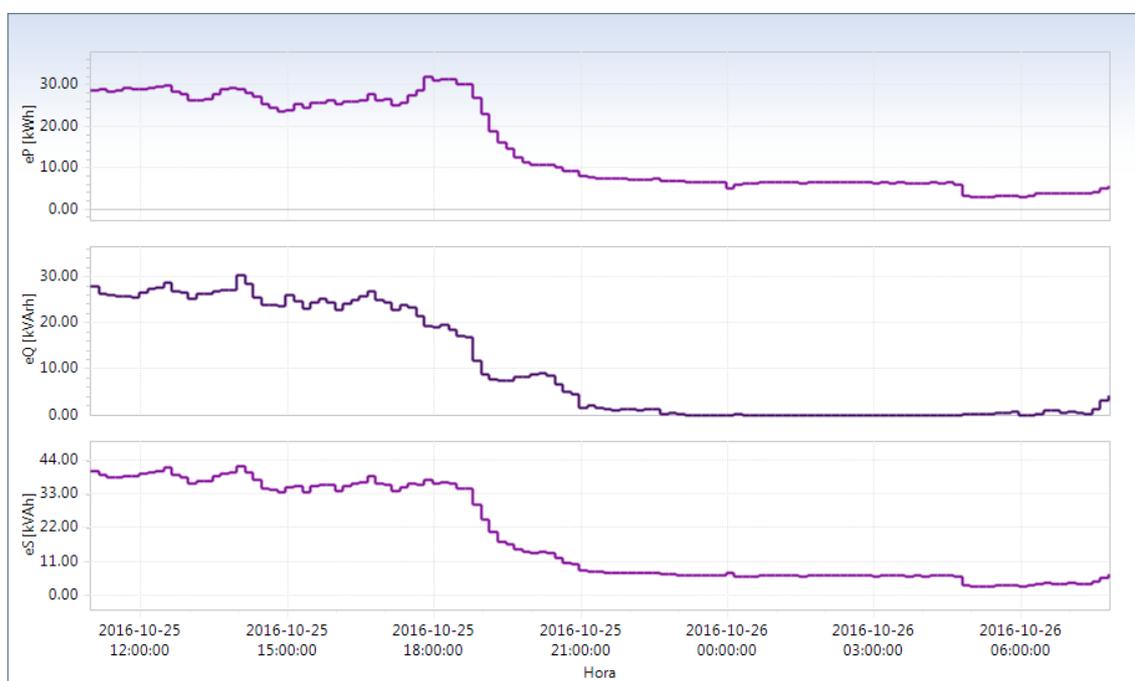
*Fuente: Elaboración Propia.*

El valor promedio 0.87 sería el que se tendría que analizar, para así poder alcanzar un valor adecuado y eficiente de energía.

### 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el gráfico 39 se muestra el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 33 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 39: Valores de la Energía S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 33: Valores representativos de la Energía S.E. 02.

Medidas de tendencia	Análisis de la Energía consumida		
	kW-h Total	kVAR -h Total	kVA-h Total
Valor máximo	31.82	30.18	41.77
Valor mínimo	3.00	0.00	3.01
promedio	14.74	10.23	18.57
Consumo Total en un Día	2,107.39	1,363.90	2,465.22
Consumo Total en un Mes	46,362.58	30,005.80	54,234.84

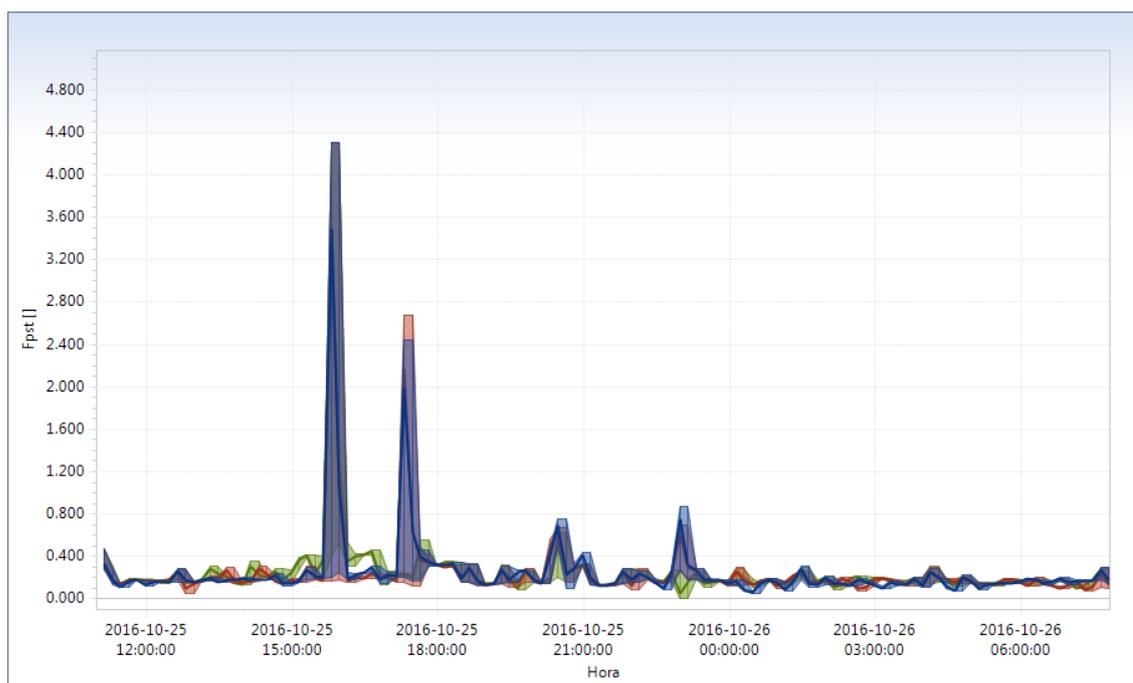
Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 33, podemos notar visiblemente que la energía reactiva generada durante un mes es alta, siendo 30,005.80 kVARh de la potencia activa. Con estos valores registrados se puede deducir que se tiene que realizar una compensación de energía reactiva para no incurrir en gastos extras y mejorar la eficiencia energética.

El consumo promedio de energía durante un mes es de 46,362.58 kW- h, esta medición se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

### 8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 40: Valores Flicker S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 34: Valores representativos Flicker S.E. 02.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
25.10.2016 15:47	Valor máximo	4.30	4.30	4.30
25.10.2016 22:57	Valor mínimo	0.06	0.05	0.00
Promedio		0.25	0.25	0.25

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja tensión; se considera el límite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 34 se puede observar que los valores máximos no se encuentran en el rango, ya que en la fase “12”, fase “23” y fase “31” se tienen un valor máximo de 4.30 encima del índice de severidad, indicando que el servicio es de baja calidad respecto al Flicker.

Una solución respecto a la severidad flicker es la compensación reactiva.

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 35 se muestra los valores obtenidos del Total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THDv).

*Cuadro 35: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 02.*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THDv U 12 (%)</b>	<b>THDv U 23 (%)</b>	<b>THDv U 31 (%)</b>
2.20	2.40	1.90

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 35 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase están dentro de la norma la cual es de 5%

En el cuadro 36 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25.

Cuadro 36: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 02.

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	1.01	0.36	0.37	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	1.02	1.08	0.96	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.49	0.52	0.54	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.16	0.15	0.18	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.26	0.32	0.29	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.15	0.17	0.15	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.08	0.09	0.08	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.09	0.09	0.09	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.09	0.09	0.09	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.08	0.09	0.09	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.06	0.08	0.08	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.05	0.03	0.04	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 36 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE).

## **B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519, en el tabla 4 ya mencionado en la S.E. N° 01, se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

V<sub>cc</sub>: voltaje de cortocircuito de línea = 3.78

V<sub>in</sub>: voltaje de alimentación = 230 v.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la expresión de la ecuación 44 ya mencionada se obtiene:

$$V_{ccl} = 8.69 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 8.69 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del transformador es 3.78 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 8.69 V, y por tanto la de fase es la misma.

Enseguida hallamos la corriente nominal de línea en función de la potencia aparente con la ecuación 47 ya mencionada.

$$S_T : \text{Potencia Aparente} = 320 \text{ kVA.}$$

$$V_{IN} : \text{Voltaje Nominal} = 230 \text{ v}$$

Donde:

$$I_L = 803.27 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase según la ecuación 48 es:

$$I_F = 463.77 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la Impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada y hallamos que:

$$Z_{cc} = 0.01874 \ \Omega$$

Mediante la ecuación 49 se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = 12.27 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la relación de la ecuación 50 ya mencionada en la parte superior.

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{12.27 \text{ kA}}{803.27 \text{ A}} = 15.28$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 15.28, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{SC}/I_L < 20$  están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$ .

En el cuadro 37 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

*Cuadro 37: Análisis de Armónicos de Corriente (%).*

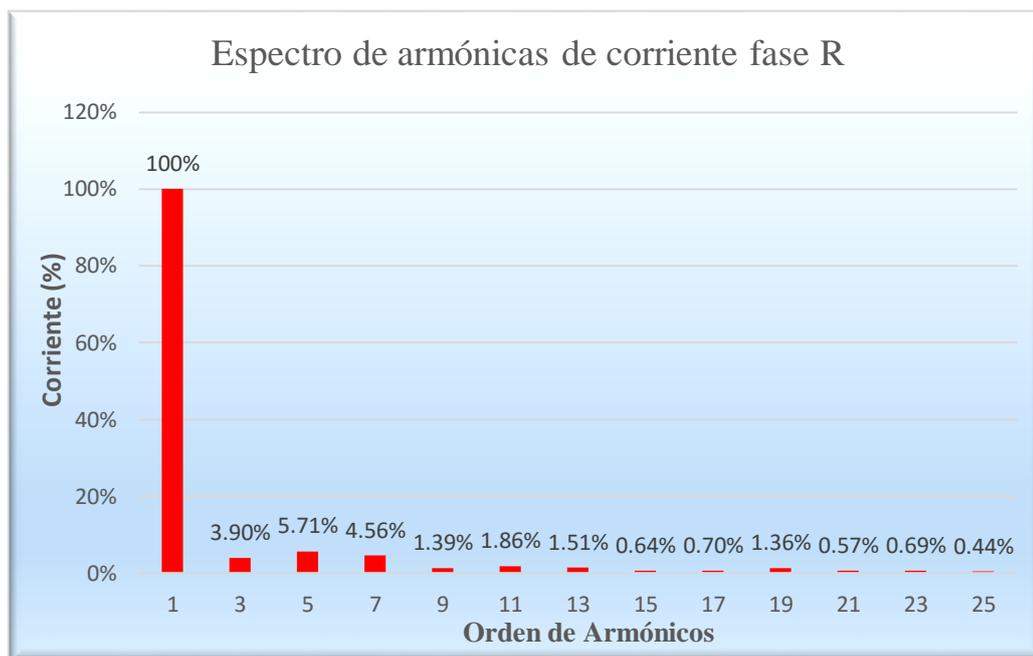
<b>Análisis de Armónicos de Corriente (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>I 1 (%)</b>	<b>I 2 (%)</b>	<b>I 3 (%)</b>	<b>IEEE 519 (%)</b>
<b>3</b>	3.90	4.24	6.15	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>5</b>	5.71	7.29	7.48	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>7</b>	4.56	4.69	5.73	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>9</b>	1.39	1.41	1.65	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>11</b>	1.86	2.54	2.25	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>13</b>	1.51	1.55	1.16	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>15</b>	0.64	0.95	0.99	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>17</b>	0.70	1.25	1.39	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>19</b>	1.36	1.01	1.01	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>21</b>	0.57	0.49	0.66	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>23</b>	0.69	0.62	1.02	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>25</b>	0.44	0.47	0.45	<b><math>\leq 0.6</math></b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 37 se puede apreciar que los valores del promedio diario de la 3, 5 y 7 armónica no están en el rango normativo, para lo cual se debe hacer una compensación de filtro de armónicos.

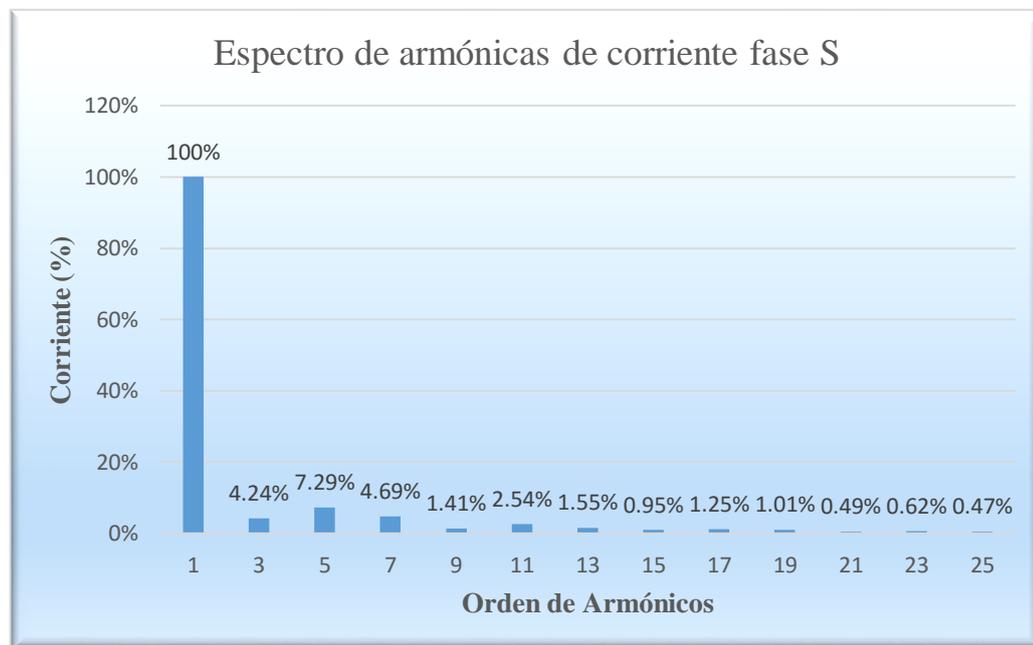
En el gráfico 41, 42 y 43 se muestran los espectros de armónicos de corriente desde la 3 hasta la 25 armónica

Gráfico 41: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 02.



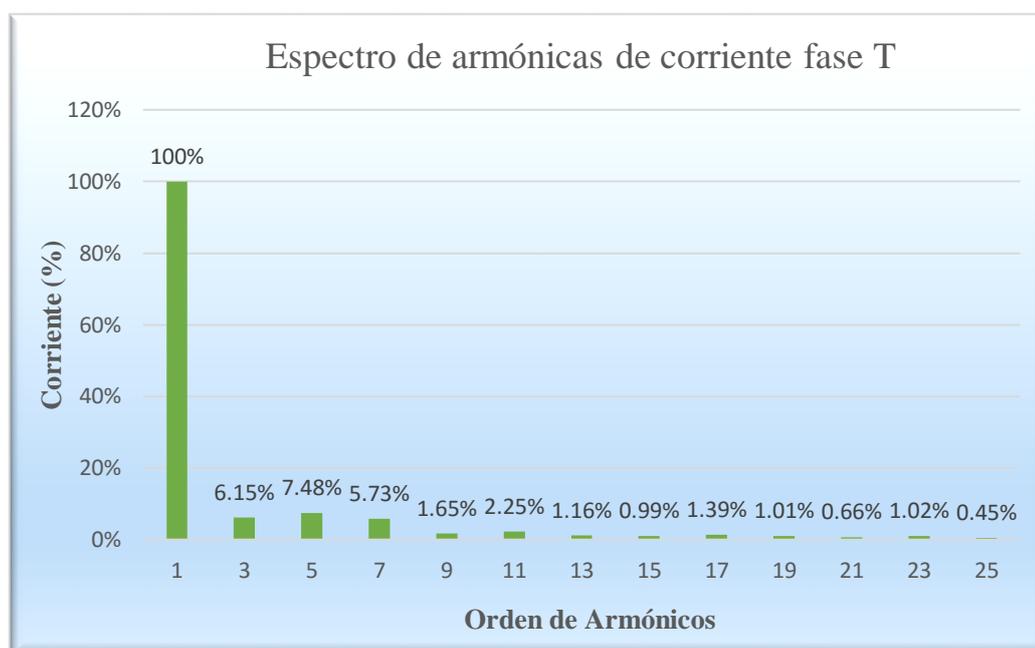
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 42: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 43: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "T" S.E. 02.



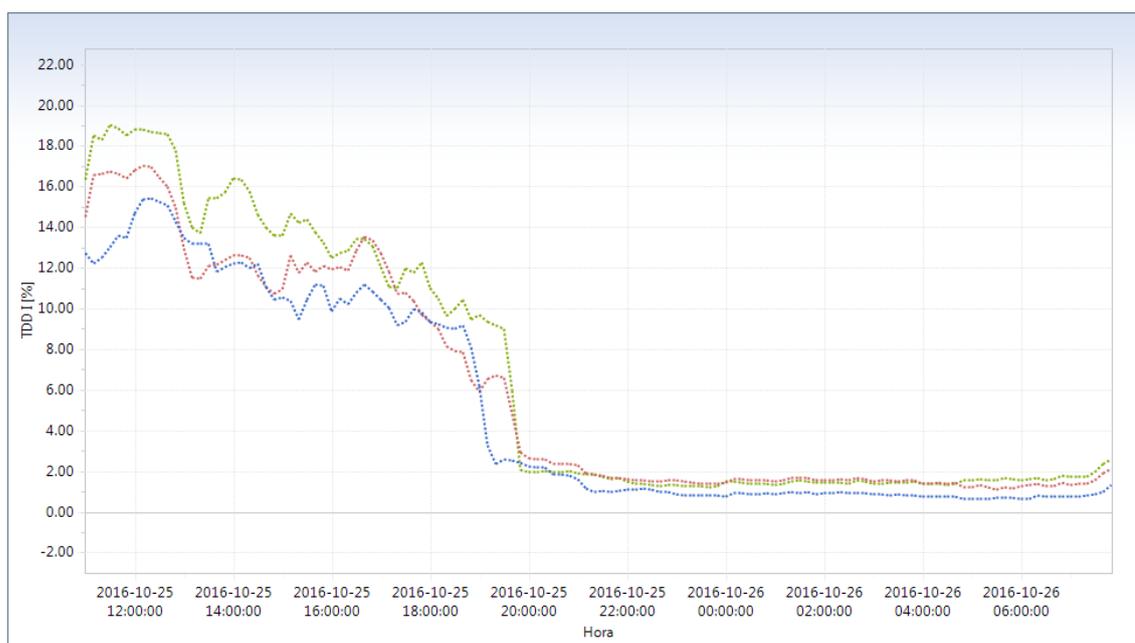
*Fuente: Elaboración Propia.*

De los gráficos 41, 42 y 43 se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3, 5 y la 7, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos que podría reducir y dar solución a problemas ocasionados por las mismas, además de solucionar problemas de energía reactiva.

#### **10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).**

En el gráfico 44 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 38 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 44: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 02.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

En el gráfico 44 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 8:00 horas hasta las 19:00 horas, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

Cuadro 38: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 02.

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
<b>descripción</b>			
<b>Valor máximo</b>	15.47	17.05	19.05
<b>Valor mínimo</b>	0.67	1.13	1.25
<b>Promedio</b>	5.13	5.97	6.78

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 38 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores a 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

**3.5.2.3. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 03.**

La subestación eléctrica N° 03 tiene una potencia de 320 kVA, se encuentra ubicada entre la escuela profesional de Educación Física y el Coliseo Cubierto, esta S.E. 03 alimenta a las siguientes cargas la cual se muestra en el siguiente cuadro:

*Cuadro 39: Subestación Eléctrica N° 03.*

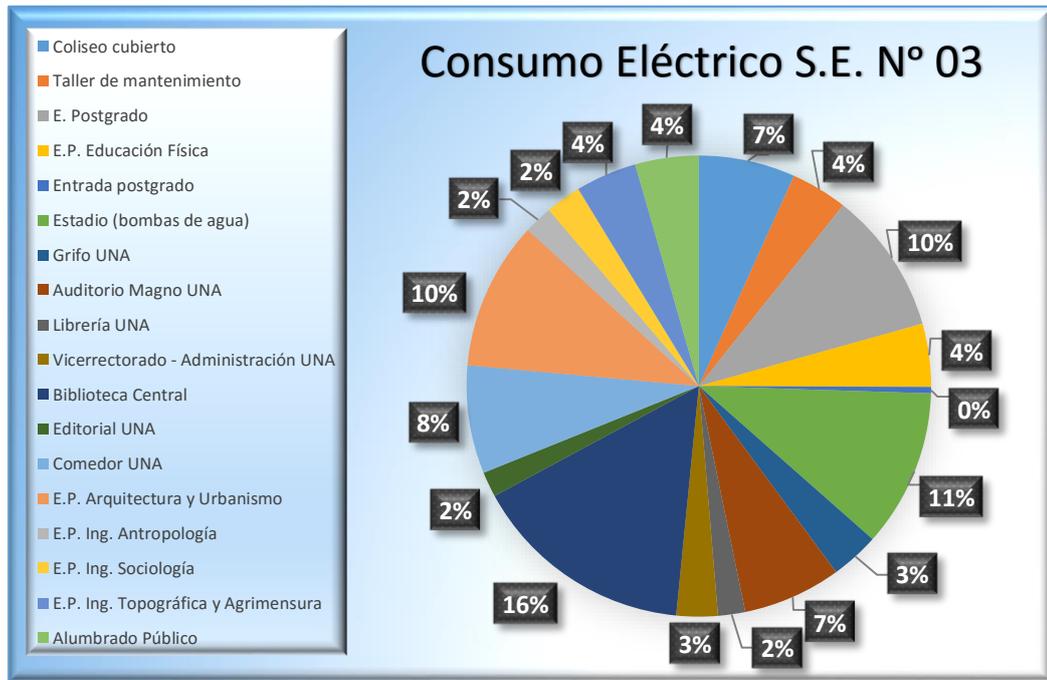
Número de S.E. y Potencia Nominal	Cto.	Descripción	MD (kW)
<b>SE-03 (320 kVA)</b>	CG-1	Coliseo cubierto	15,2
	CG-2	Taller de mantenimiento	8,9
	CG-3	E. Postgrado	22,56
		E.P. Educación Física	10
		Entrada postgrado	1
	CG-4	Estadio (bombas de agua)	25
		Grifo UNA	7,64
	CG-5	Auditorio Magno UNA	15,5
		Librería UNA	4,28
		Vicerrectorado - Administración UNA	6,5
	CG-6	Biblioteca Central	35,13
		Editorial UNA	4
	CG-7	Comedor UNA	17,14
	CG-8	E.P. Arquitectura y Urbanismo	23,5
		E.P. Ing. Antropología	4,5
		E.P. Ing. Sociología	5,63
		E.P. Ing. Topográfica y Agrimensura	9,63
CG-AP	Alumbrado Publico	10	

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.*

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 226.11 kW; Del gráfico se puede observar que la Biblioteca Central tiene mayor consumo que llegaría con una máxima demanda de 35.13 kW, la cual en el día de la medición según el plan de trabajo se realizó con total normalidad, la que le seguiría en consumo es la E.P. de Arquitectura y Urbanismo con 23.5 kW de máxima demanda.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el Gráfico 45 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 45: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 03.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 45 se observar que el área con mayor consumo de energía son los siguientes: la Biblioteca Central con 16%, E.P. de Arquitectura y Urbanismo, E. Postgrado, comedor universitario, etc..., en base a este gráfico se identifica cuáles son las cargas con mayor consumo energético.

**1. DATOS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN N° 03.**

Cuadro 40: Datos Generales de la Subestación 03.

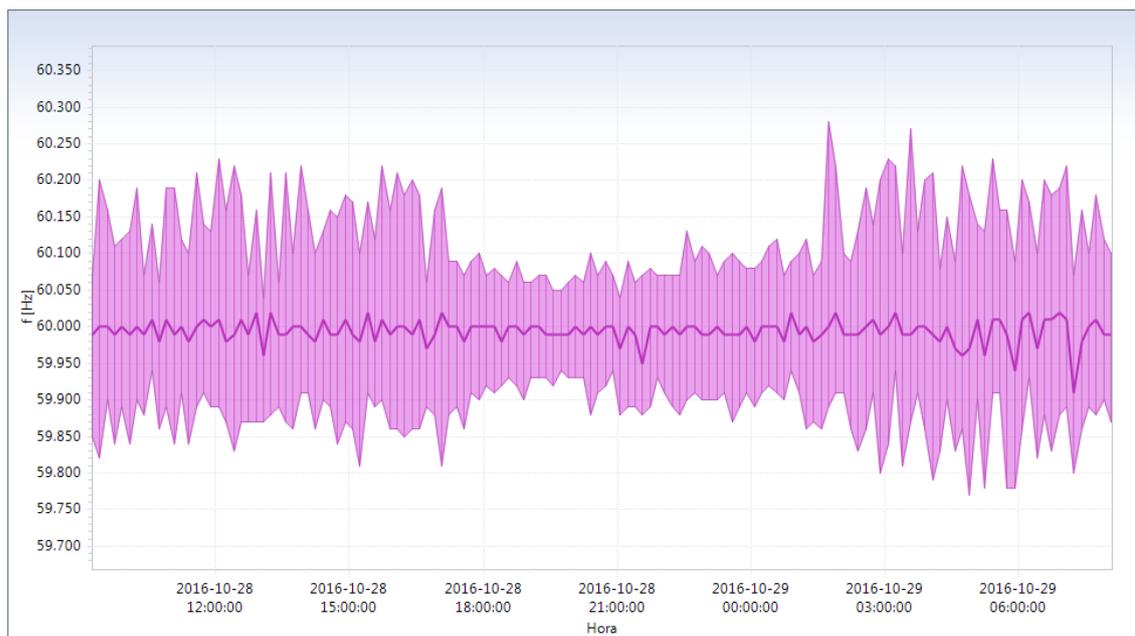
Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
320	Delta primario/Delta secundario	230

Fuente: Elaboración Propia.

## 2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.

En el gráfico 46, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un tiempo determinado, en el cuadro 41, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes, dichos valores mostrados son los más representativos.

*Gráfico 46: Valores de Frecuencia S.E. 03.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

*Cuadro 41: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 03.*

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
29/10/2016 1:44:00	Valor máximo	60.28	0.46%
29/10/2016 4:54:00	Valor mínimo	59.77	-0.38%
Promedio		59.99	-0.02%

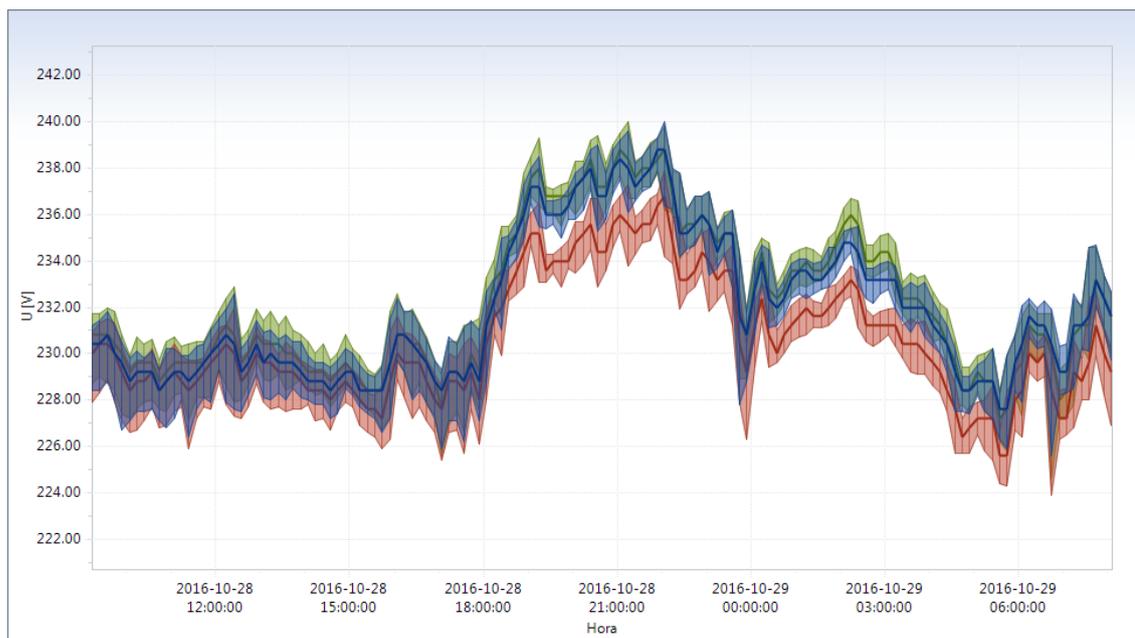
*Fuente: Elaboración Propia.*

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 41 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro fue de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En el gráfico 47 se visualiza los valores obtenidos de la medición de los valores U12, U23, U31; las cuales se hizo en un periodo determinado, En el cuadro 42 se muestra los valores representativos mostrados a continuación:

Gráfico 47: Valores de Tensión S.E. 03.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 42: valores representativos de la tensión S.E. 03.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
28/10/2016 22:04:00	Valor máximo	240.00	237.90	240.00
29/10/2016 6:44:00	Valor mínimo	225.60	223.90	224.60
promedio		231.91	230.59	232.15
Max Δ %		4.17%	3.32%	4.17%
Min Δ %		-1.95%	-2.72%	-2.40%

Fuente: Elaboración Propia.

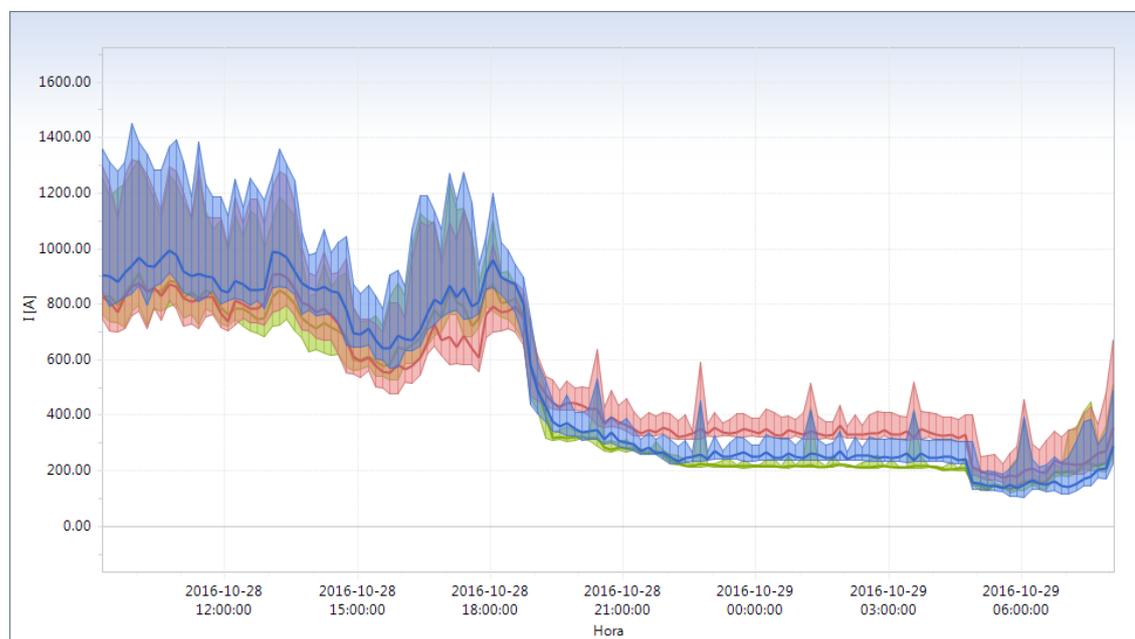
Mediante la ecuación 43, ya mencionada se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrica (NTCSE).

En el cuadro 42 y según a la NTCSE el cual indica que 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 el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Ahora se puede ver que no hay caída de tensión ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles siendo 4.17%, -2.72% los valores extremos con respecto a la tensión nominal de 230V del transformador. Esto se debe a la conexión de grandes cargas lo cual produce un desbalance en la corriente.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.

En el gráfico 48 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 43, se muestra los valores tomados con el analizador de redes en el periodo ya mencionado.

*Gráfico 48: Valores de Corriente S.E. 03.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

Cuadro 43: Valores representativos de la Corriente S.E. 03.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
28/10/2016 9:54:00	Valor máximo	1,450.89	1,323.18	1,320.66
29/10/2016 6:04:00	Valor mínimo	104.67	133.92	120.87
Promedio		504.32	504.47	458.29

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 43 y del gráfico 48, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta aproximadamente a horas 7:30 esto debido a la carga conectada que se da en la subestación N° 03 con una constante aproximadamente hasta la hora 18:30, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 19:30 horas, a partir de la cual se mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 a 7:30 horas del día siguiente como se puede apreciar en dicho gráfico.

## 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

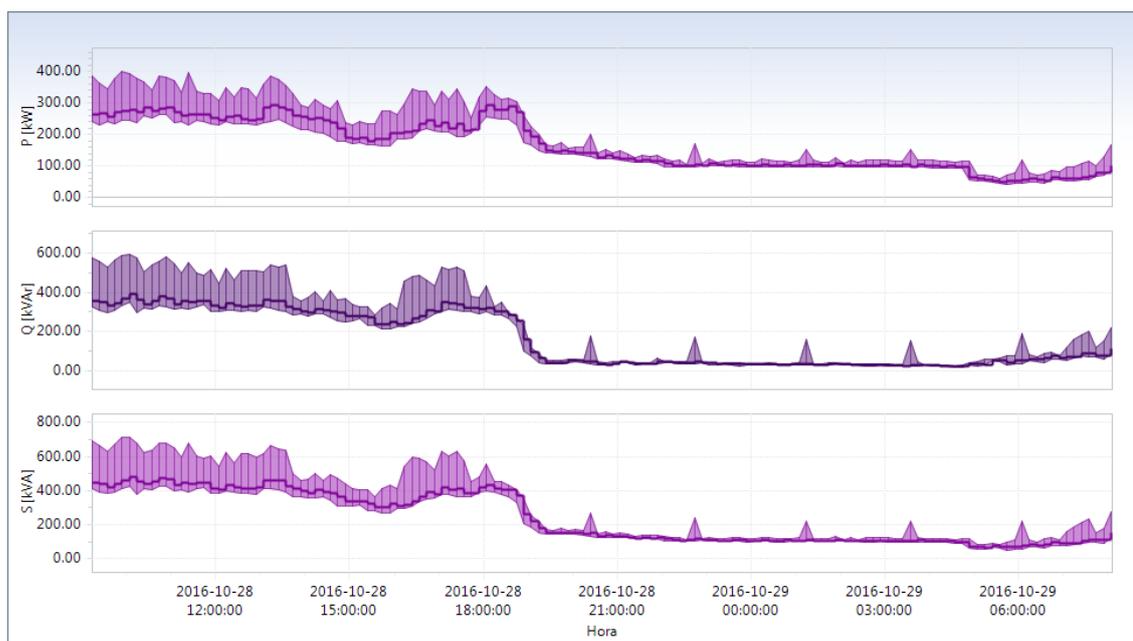
En el gráfico 49 se muestra los valores obtenidos de la medición de la potencia activa, reactiva y aparente; En el cuadro 44 se muestra los valores tomados en un periodo determinado, los cuales son los más representativos.

Cuadro 44: Valores representativos de la Potencia S.E. 03.

Medidas de tendencia	Análisis de Potencia		
descripción	kW	kVAR	kVA
Valor máximo	399.15	592.02	710.82
Valor mínimo	43.29	19.44	52.83
promedio	163.42	160.25	236.11

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 49: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 03.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

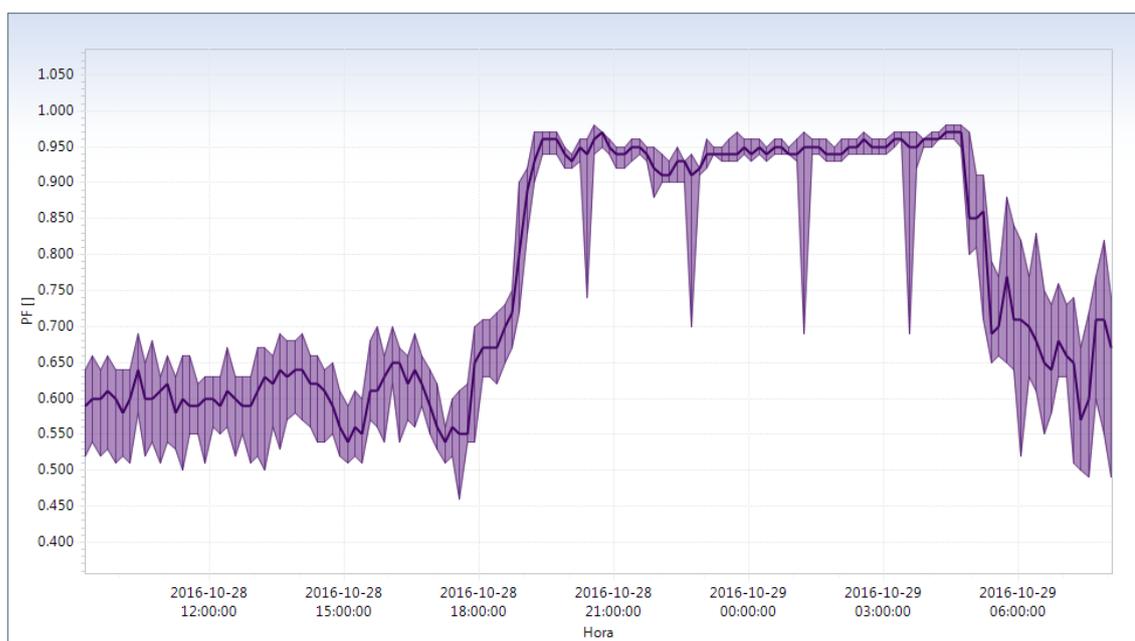
En los gráficos 47, 48 y 49 se pueden observar que los picos de consumo de energía se producen en los periodos de 8:00 am – 18:00 pm con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo en el día, es por tal motivo que dentro de estos periodos la potencia reactiva es elevada en esta S.E. 03.

En el cuadro 44, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 710.82 kVA con variaciones similares en periodos cortos, trabajando a un 122% de exceso y con una potencia promedio de 236.11 kVA en un tiempo de 24 horas, de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 73.78% ya que la potencia nominal del Transformador es de 320 kVA.

### 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 50 se muestra los valores obtenidos en la medición del factor de potencia ( $\cos\phi$ ); En el cuadro 45 se muestra los valores más representativos.

*Gráfico 50: Valores del Factor de Potencia S.E. 03.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

*Cuadro 45: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 03.*

Medidas de tendencia		Factor de potencia
Fecha/hora	descripción	$\cos\phi$
28/10/2016 20:34	Valor máximo	0.98
28/10/2016 17:34	Valor mínimo	0.46
Promedio		0.77

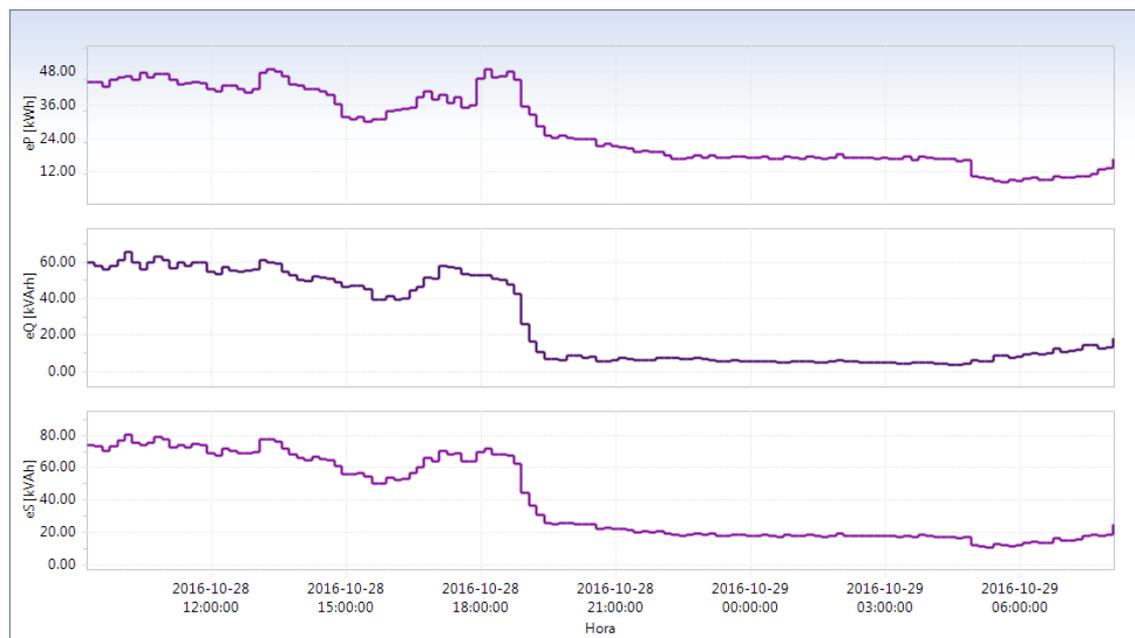
*Fuente: Elaboración Propia.*

El valor promedio 0.77 sería el que se tendría que analizar, para así poder alcanzar un valor adecuado y eficiente de energía.

## 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el Gráfico 51 se muestra el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 46 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 51: Valores de la Energía S.E. 03.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 46: Valores representativos de la Energía S.E. 03.

Medidas de tendencia	Análisis de la Energía consumida		
	kW-h Total	kVAR -h Total	kVA-h Total
descripción			
Valor máximo	48.75	65	80.23
Valor mínimo	8.44	3.91	10.87
promedio	<b>27.24</b>	<b>26.71</b>	<b>39.35</b>
Consumo Total en un Día	<b>3,758.69</b>	<b>3,685.79</b>	<b>5,430.56</b>
Consumo Total en un Mes	<b>82,691.18</b>	<b>81,087.38</b>	<b>119,472.32</b>

Fuente: Elaboración Propia.

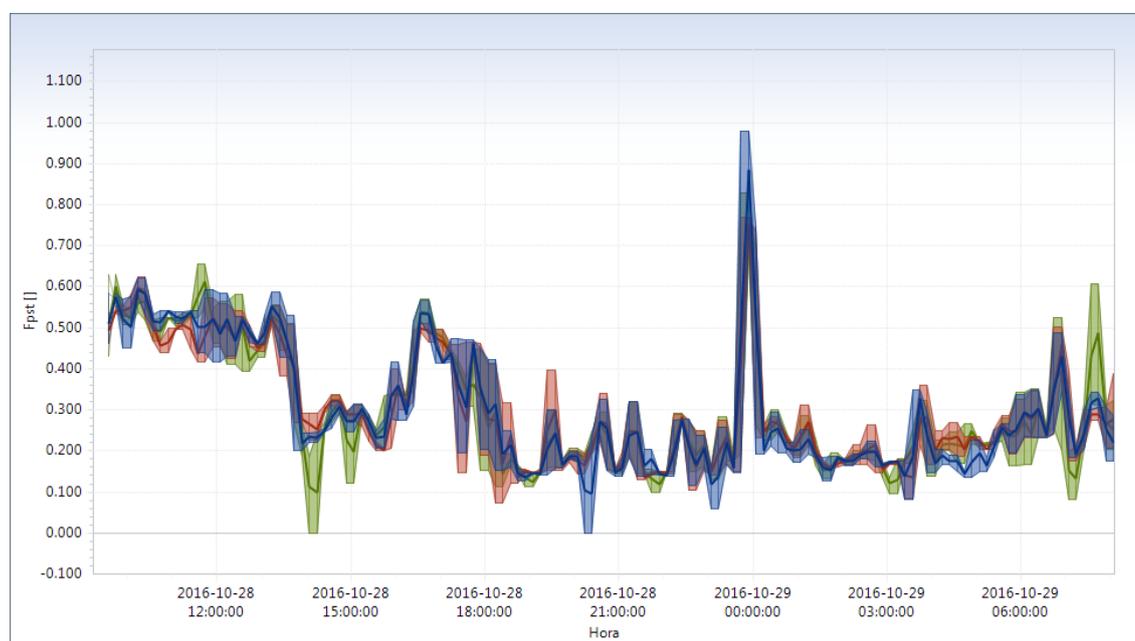
En el cuadro 46, podemos notar visiblemente que la energía reactiva generada durante un mes es alta, siendo 81,087.38 kVARh de la potencia activa. Con estos

valores registrados se puede deducir que se tiene que realizar una compensación de energía reactiva para no incurrir en gastos extras y mejorar la eficiencia energética.

El consumo promedio de energía durante un mes es de 82,691.18 kW- h, esta medición se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

### 8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 52: Valores Flicker S.E. 03.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 47: Valores representativos Flicker S.E. 03.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
25.10.2016 15:47	Valor máximo	0.98	0.77	0.83
25.10.2016 22:57	Valor mínimo	0.00	0.07	0.00
Promedio		0.30	0.30	0.30

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja

tensión; se considera el límite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 47 se puede observar que los valores máximos se encuentran en el rango del índice de severidad, indicando que el servicio es de una buena calidad respecto al Flicker, pero esta medición se encuentra casi al límite y se debería de tomar acciones.

Una solución respecto a la severidad flicker es la compensación reactiva

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 48 se muestra los valores obtenidos del total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THDv).

*Cuadro 48: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 03.*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THDv U 12 (%)</b>	<b>THDv U 23 (%)</b>	<b>THDv U 31 (%)</b>
2.40	2.00	3.10

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 48 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase se encuentran dentro de la norma la cual es de 5%.

En el cuadro 49 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25.

Cuadro 49: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 03.

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	0.45	0.44	0.40	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	0.93	1.00	0.97	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.51	0.54	0.55	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.17	0.16	0.22	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.27	0.31	0.30	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.18	0.18	0.18	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.10	0.09	0.09	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.10	0.09	0.09	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.07	0.07	0.07	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.08	0.08	0.07	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.05	0.04	0.02	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.05	0.03	0.03	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 49 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE).

## **B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519, en el tabla 4 ya mencionada en la S.E. 01, se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

Vccl: voltaje de cortocircuito de línea = 3.78

Vin: voltaje de alimentación = 230 v.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la expresión de la ecuación 44 ya mencionada:

$$V_{ccl} = 8.69 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 8.69 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del transformador es 3.78 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 8.69 V, y por tanto la de fase es la misma.

Enseguida hallamos la corriente nominal de línea en función de la potencia aparente con la ecuación 47 ya mencionada.

$$S_T : \text{Potencia Aparente} = 320 \text{ kVA.}$$

$$V_{IN} : \text{Voltaje Nominal} = 230 \text{ v}$$

Donde:

$$I_L = 803.27 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase esta denotada por la ecuación 48:

$$I_F = 463.77 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la Impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada, donde se halla que:

$$Z_{cc} = 0.01874 \ \Omega$$

Mediante la ecuación 49 se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = 12.27 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la relación de la ecuación 50 ya mencionada en la S.E. N° 01.

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{12.27 \text{ kA}}{803.27 \text{ A}} = 15.28$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 15.28, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{SC}/I_L < 20$  están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$ .

En el cuadro 50 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

*Cuadro 50: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 03.*

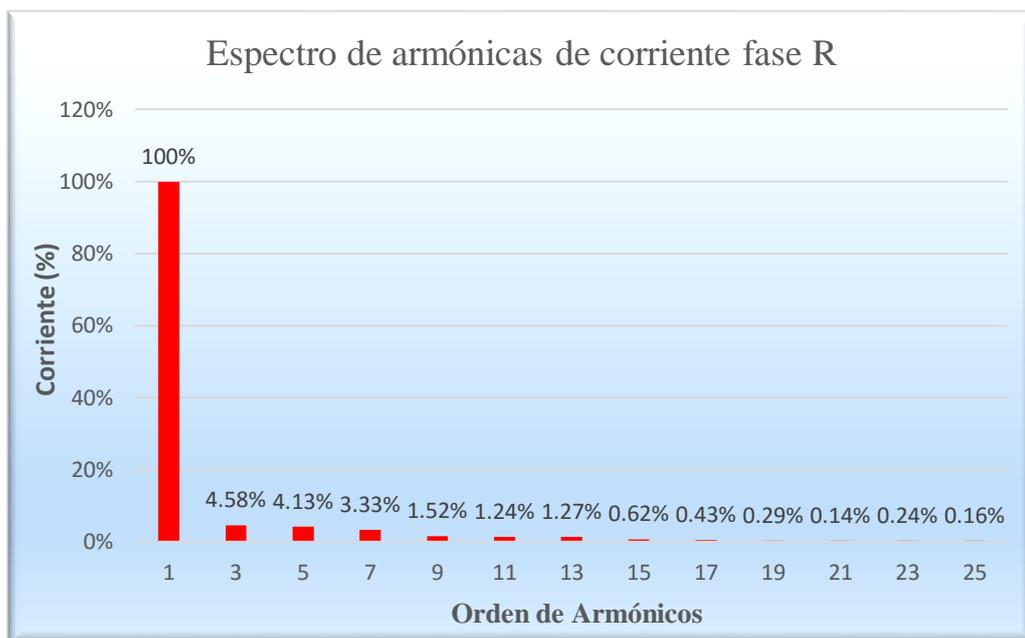
<b>Análisis de Armónicos de Corriente (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>I 1 (%)</b>	<b>I 2 (%)</b>	<b>I 3 (%)</b>	<b>IEEE 519 (%)</b>
<b>3</b>	4.58	3.57	3.81	<b>≤ 4.0</b>
<b>5</b>	4.13	4.41	4.29	<b>≤ 4.0</b>
<b>7</b>	3.33	2.38	3.27	<b>≤ 4.0</b>
<b>9</b>	1.52	0.87	1.84	<b>≤ 4.0</b>
<b>11</b>	1.24	1.73	2.5	<b>≤ 4.0</b>
<b>13</b>	1.27	0.88	1.52	<b>≤ 2.0</b>
<b>15</b>	0.62	0.50	0.45	<b>≤ 2.0</b>
<b>17</b>	0.43	0.44	0.33	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.29	0.23	0.33	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.14	0.13	0.18	<b>≤ 1.5</b>
<b>23</b>	0.24	0.19	0.19	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.16	0.15	0.15	<b>≤ 0.6</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Del cuadro 50 se puede apreciar que los valores del promedio diario de la 3 y 5 armónica no están en el rango normativo, para lo cual se debe hacer una compensación de filtro de armónicos.

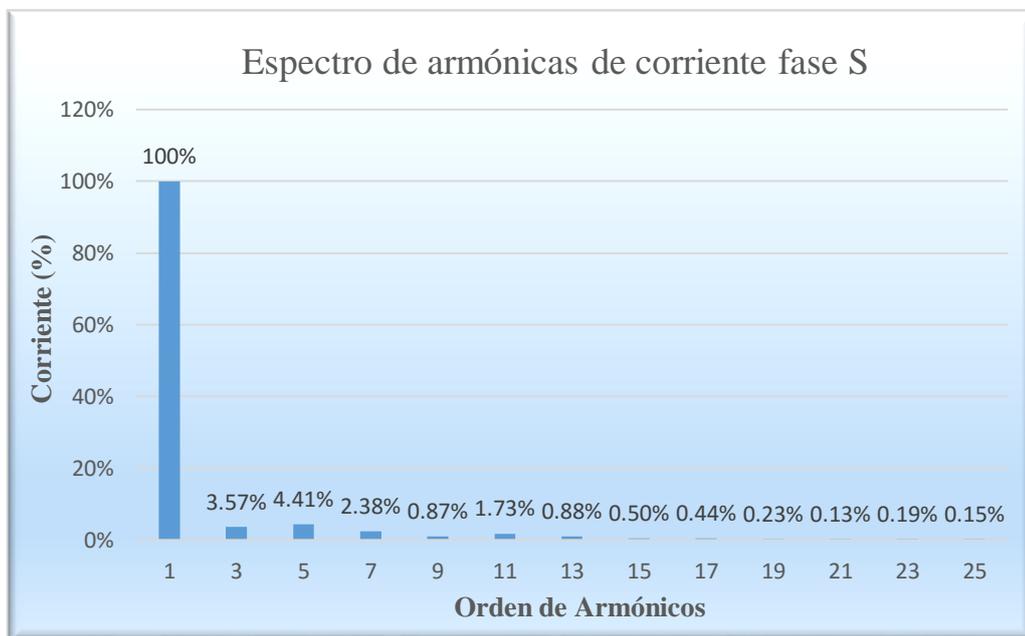
En los gráficos 53, 54 y 55 se muestran los espectros de armónicos de corriente desde la 3 hasta la 25 armónica.

Gráfico 53: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "R" S.E. 03



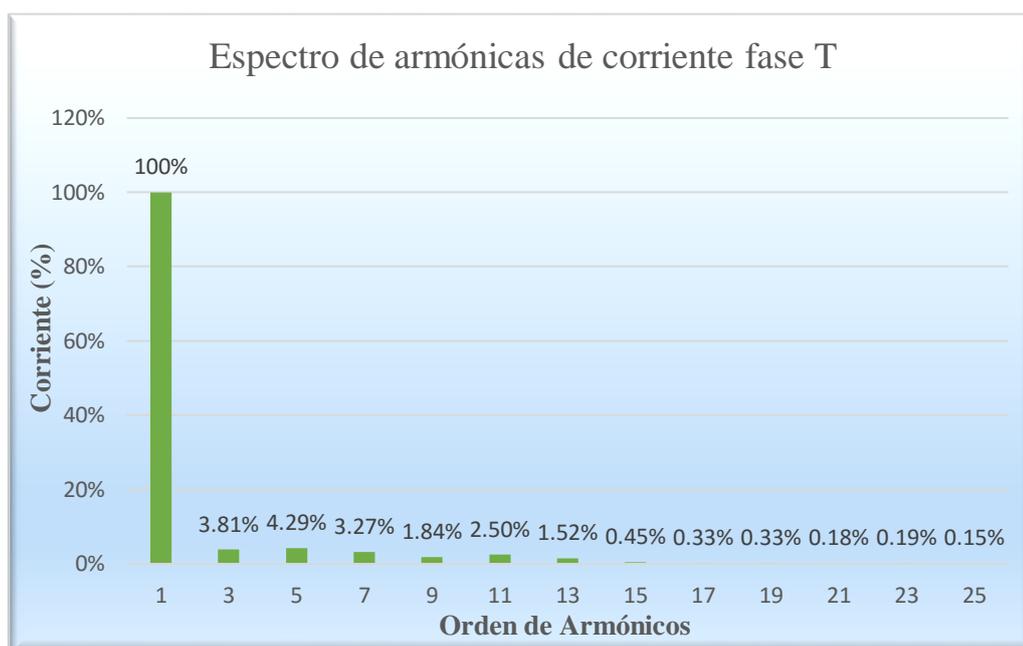
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 54: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "S" S.E. 03



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 55: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "T" S.E. 03



*Fuente: Elaboración Propia.*

De los gráficos 53, 54 y 55 se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3 y la 5, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos que podría reducir y dar solución a problemas ocasionados por las mismas, además de solucionar problemas de energía reactiva.

#### 10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).

En el gráfico 56 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 51 se muestra los valores representativos.

Gráfico 56: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 03.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 51: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 03.

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
<b>descripción</b>			
<b>Valor máximo</b>	8.41	8.58	8.63
<b>Valor mínimo</b>	1.48	1.55	1.37
<b>Promedio</b>	3.92	3.71	3.56

Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 56 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 8:00 horas hasta las 16:30 horas, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

En el cuadro 51 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores a 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

### 3.5.2.4. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 04.

La subestación eléctrica N° 04, no se encuentra operativa por motivos de que no cuenta con carga en la actualidad, esta subestación entrará en operación en cuanto se habilite la escuela profesional de Trabajo Social (pabellón nuevo), y el Centro de Convenciones, esta información fue recabada del encargado de la oficina de operación y mantenimiento del sistema eléctrico de la UNA – PUNO, la mencionada subestación contara con una potencia de 200 kVA, la que se ubica al lado de la Residencia de Docentes, cerca de la E.P. de Ing. Topografía y Agrimensura, esta S.E. 04 alimentará las siguientes cargas:

*Cuadro 52: Subestación Eléctrica N° 04.*

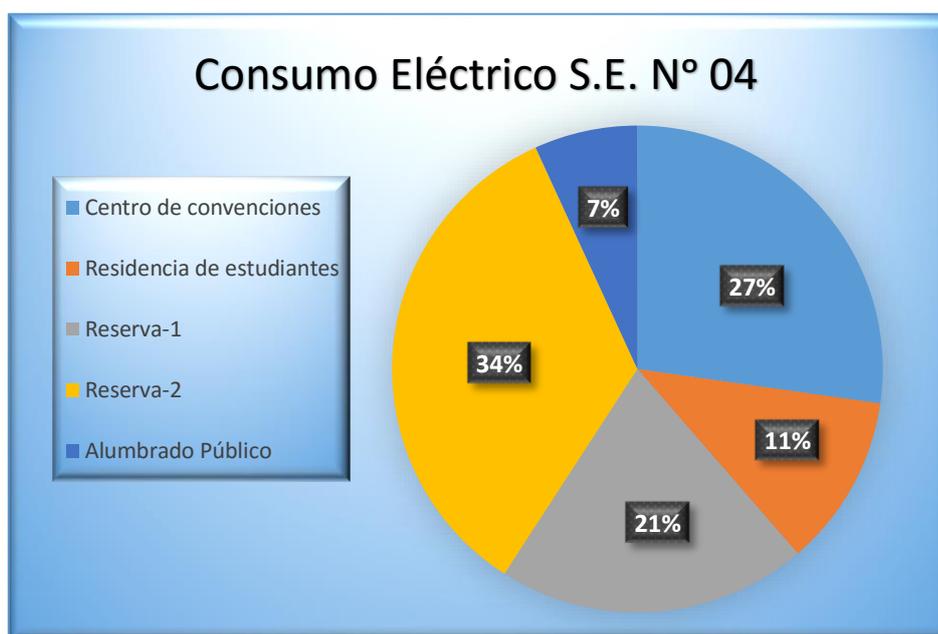
Número de S.E. y Potencia Nominal	Cto.	Descripción	MD (kW)
<b>SE-04 (200 kVA)</b>	CG-1	Centro de convenciones	40
	CG-2	Residencia de estudiantes	16,75
	CG-3	Reserva-1	30
	CG-4	Reserva-2	50
	CG-AP	Alumbrado Publico	10

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.*

Esta S.E. tendrá una máxima demanda total de 146.75 kW; del gráfico se puede observar que el centro de convenciones tendrá el mayor consumo que llegaría con una máxima demanda de 40 kW, seguida por la residencia de estudiantes y las demás demandas son reserva para lo que se pueda proyectar a futuro.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el gráfico 57 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada circuito.

Gráfico 57: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 04.



*Fuente: Elaboración Propia.*

En el gráfico 57 se observa que el área con mayor consumo de energía son las siguientes: Centro de Convenciones, residencia de estudiantes y así quedando disponible las reservas para otros nuevos proyectos que puedan tener consumo eléctrico.

La carga de la residencia de estudiantes se encuentra conectada a la S.E. 05, según nos comentaron que esa carga ya no existirá por motivos que ese pabellón lo declararon inhabitable.

**3.5.2.5. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 05.**

La subestación eléctrica N° 05 tiene una potencia de 200 kVA, se encuentra ubicada al frente de la Escuela Profesional de Ing. Minas, la S.E. 05 alimenta a las siguientes cargas mostradas en el cuadro a continuación:

*Cuadro 53: Subestación Eléctrica N° 05.*

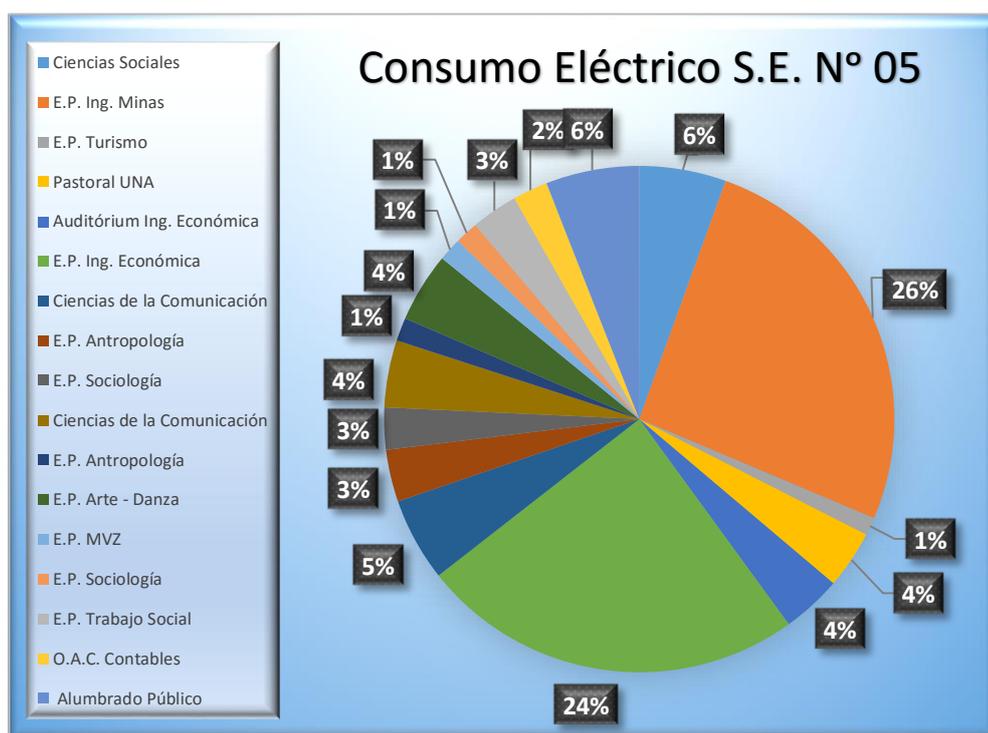
<b>Número de S.E. y Potencia Nominal</b>	<b>Cto.</b>	<b>Descripción</b>	<b>MD (kW)</b>
<b>SE-05 (200 kVA)</b>	CG-1	Ciencias Sociales	7,45
		E.P. Ing. Minas	35
		E.P. Turismo	1,54
		Pastoral UNA	5
	CG-2	Auditórium Ing. Económica	5,13
		E.P. Ing. Económica	32,95
	CG-3	Ciencias de la Comunicación	7,2
		E.P. Antropología	4,5
		E.P. Sociología	3,63
	CG-4	Ciencias de la Comunicación	5,8
		E.P. Antropología	2
		E.P. Arte - Danza	6
		E.P. MVZ	2
		E.P. Sociología	2
		E.P. Trabajo Social	4
CG-AP	O.A.C. Contables	3	
CG-AP	Alumbrado Público	8	

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.*

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 135.2 kW; Del cuadro se puede observar que la E.P. de Ing. Minas tiene una máxima demanda de 35 kW, siguiéndola la E.P. de Ing. Económica y así sucesivamente completando las demás carreras profesionales.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el gráfico 58 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 58: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 05.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 58 se observar que el área con mayor consumo de energía son las siguientes Escuelas Profesionales: Ing. De Minas e Ing. Económica, en base a este gráfico, en el cual se tienen identificados cuales son las cargas de mayor consumo energético, se presentan datos que nos ayudarán a optimizar el consumo eléctrico.

### 1. DATOS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN N° 05.

Cuadro 54: Datos Generales de la Subestación 05.

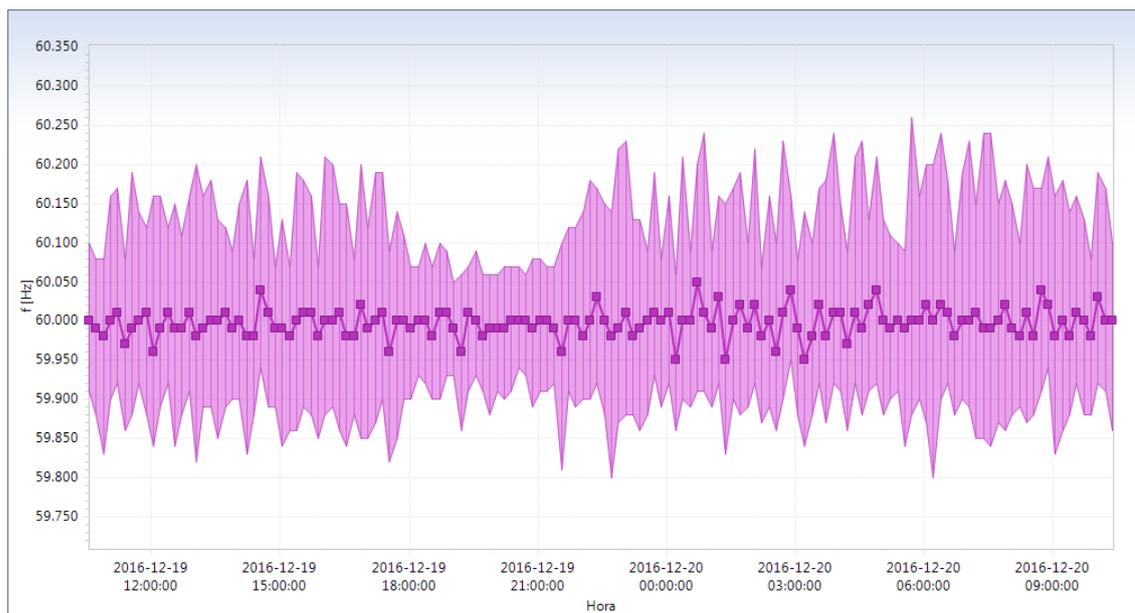
Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
200	Delta primario/Delta secundario	230

Fuente: Elaboración Propia.

## 2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.

En el gráfico 59, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un periodo determinado de 24 horas, en el cuadro 55, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes los cuales son los más representativos.

Gráfico 59: Valores de Frecuencia S.E. 05



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 55: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 05.

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
20/12/2016 5:53:00	Valor máximo	60.26	0.43
19/12/2016 22:43:00	Valor mínimo	59.80	-0.33
Promedio		60.00	0.00

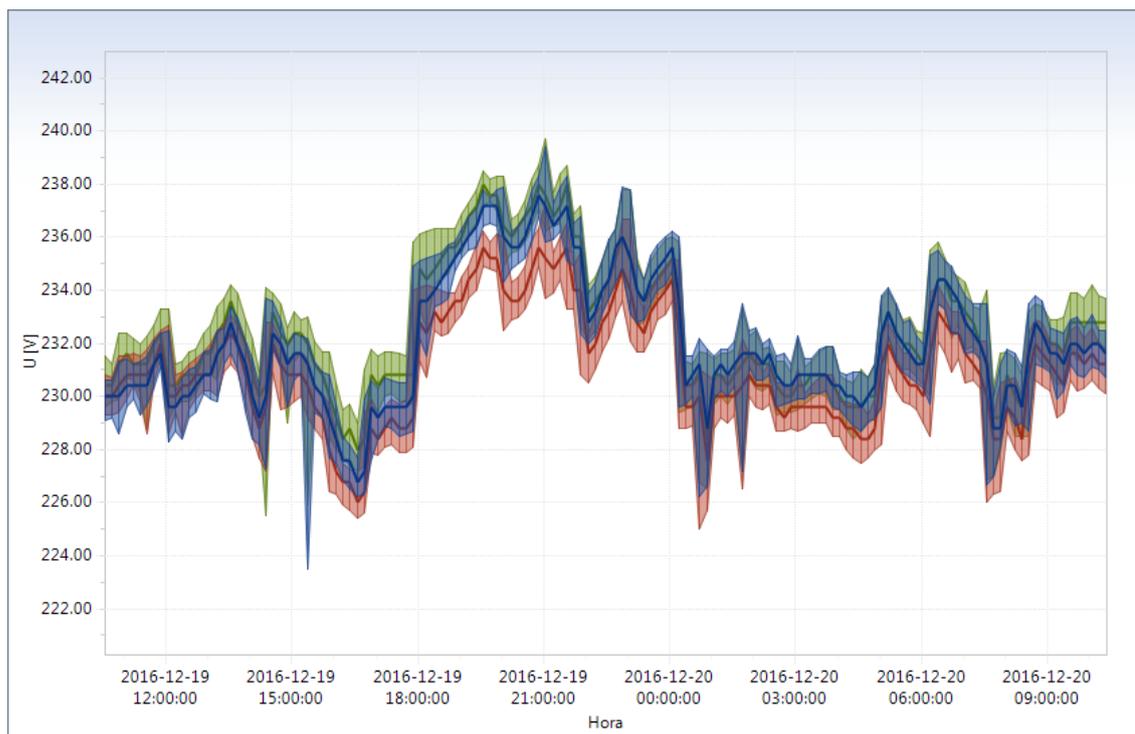
Fuente: Elaboración Propia.

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 55 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro es de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En el gráfico 60 se muestra los valores obtenidos de la medición de los voltajes U12, U23, U31; las cuales se hizo en un tiempo determinado, en el cuadro 56 se muestra los valores más representativos mostrados a continuación.

Gráfico 60: Valores de Tensión S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 56: valores representativos de la tensión S.E. 05.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
19/12/2016 21:03:00	Valor máximo	239.40	237.30	239.70
19/12/2016 15:23:00	Valor mínimo	223.50	225.00	225.50
promedio		232.04	231.11	232.41
Max Δ %		3.93%	3.08%	4.05 %
Min Δ %		-2.91 %	-2.22%	-2.00%

Fuente: Elaboración Propia.

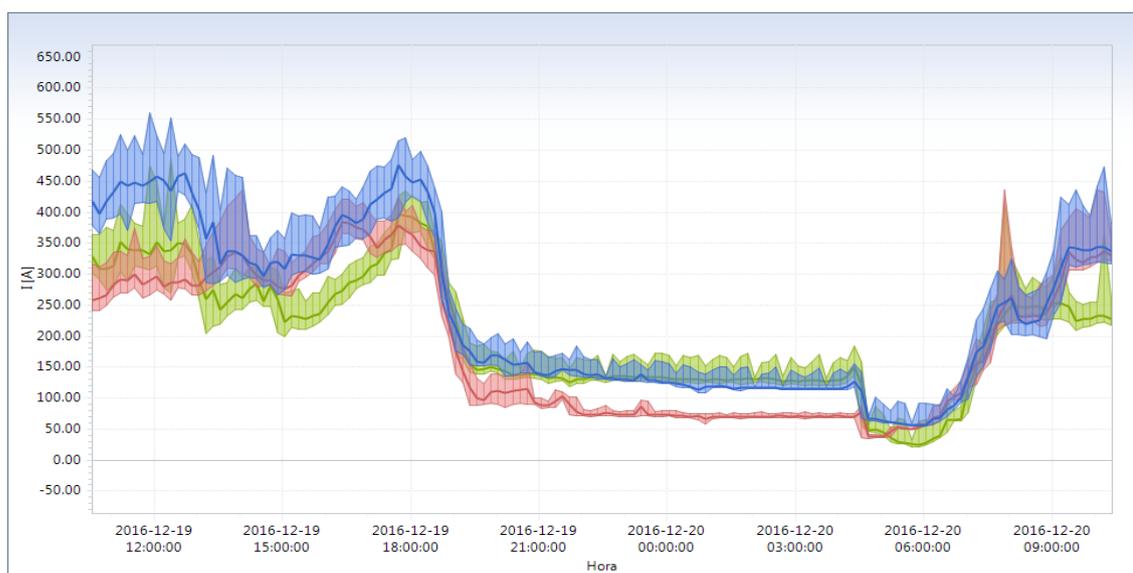
Mediante la ecuación 43, ya mencionada, se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrica (NTCSE).

En el cuadro 56 y según a la NTCSE el cual indica que 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 el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Ahora se puede ver que no hay caída de tensión ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles siendo  $4.05\%$ ,  $-2.91\%$  los valores extremos con respecto a la tensión nominal de  $230V$  del transformador. Esto se debe a la conexión de grandes cargas lo cual produce un desbalance en la corriente.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.

En el gráfico 61 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 57, se muestra los valores tomados con el analizador de redes en el tiempo ya mencionado.

Gráfico 61: Valores de Corriente S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 57: Valores representativos de la Corriente S.E. 05.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
19/12/2016 11:53:00	Valor máximo	560.16	436.05	486.09
20/12/2016 4:43:00	Valor mínimo	55.17	34.65	21.51
Promedio		236.53	187.92	198.68

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 57 y del gráfico 61, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta aproximadamente a horas 7:00 esto debido a la carga conectada que se da en la subestación N° 05 con una constante aproximadamente hasta la hora 18:30, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 19:30 horas, a partir de la cual se mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 a 7:30 horas del día siguiente como se puede apreciar en dicho gráfico.

## 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

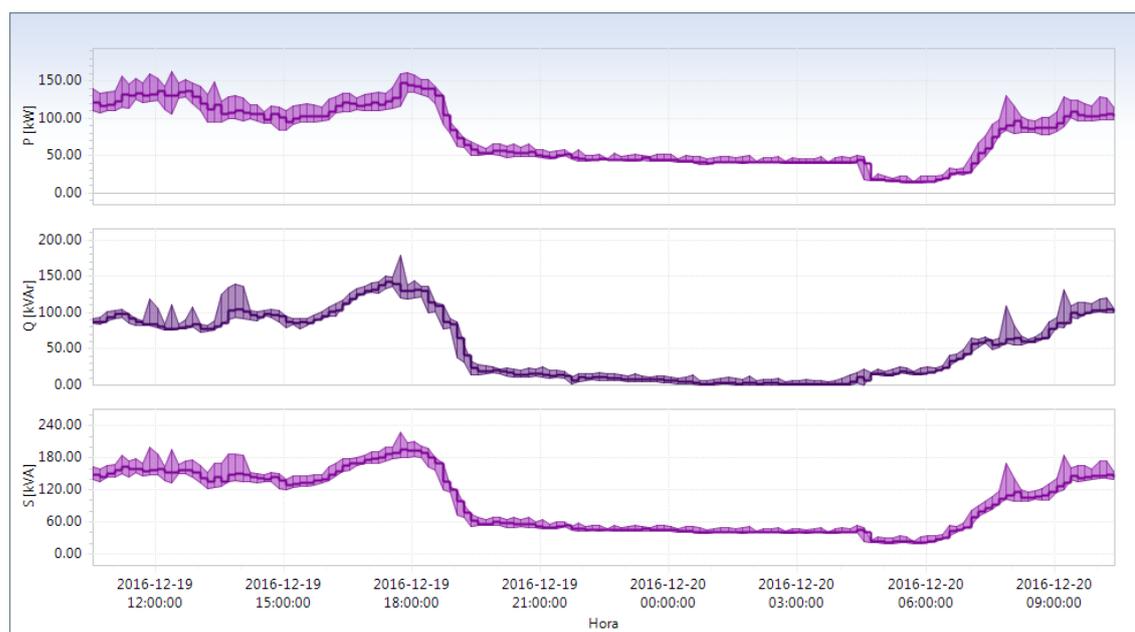
En el gráfico 62 se muestra los valores obtenidos de la medición de la potencia activa, reactiva y aparente; En el cuadro 58 se muestra los valores tomados en un tiempo determinado, los cuales son los más representativos mostrados a continuación.

Cuadro 58: Valores representativos de la Potencia S.E. 05.

Medidas de tendencia	Análisis de Potencia		
	kW	kVAR	kVA
Valor máximo	161.91	178.02	227.16
Valor mínimo	13.68	0.00	19.98
promedio	75.12	52.42	94.13

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 62: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

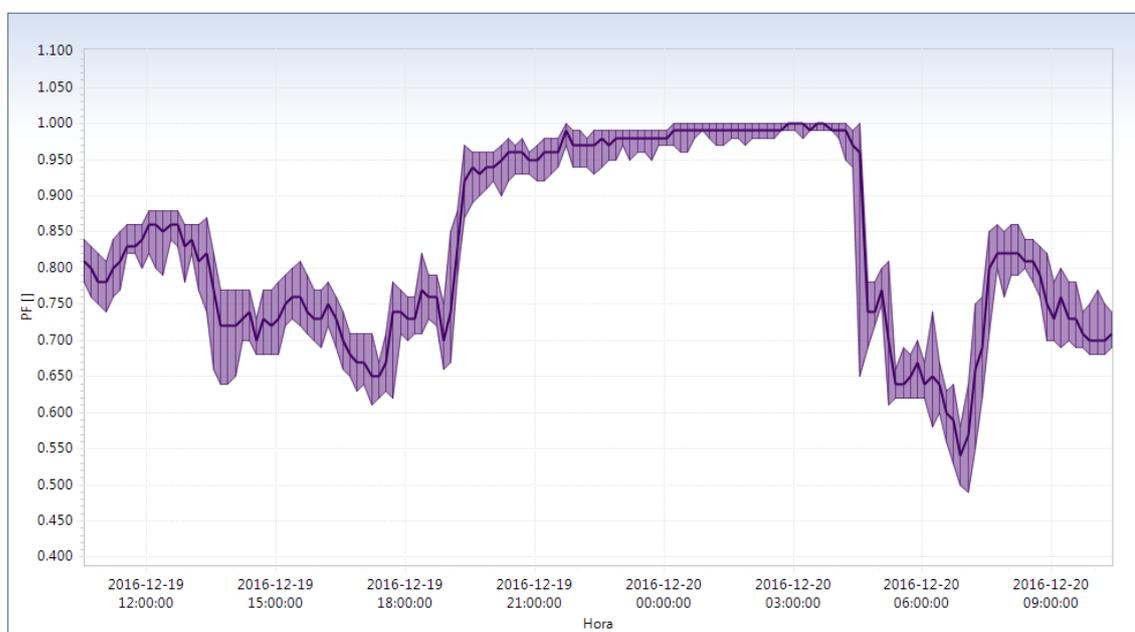
En los gráficos 60, 61 y 62, se pueden observar que los picos de consumo de energía se produce en los periodos de 9:00 am – 18:00 pm con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo en el día, es por tal motivo que dentro de estos periodos la potencia reactiva es elevada en esta S.E. 05.

En el cuadro 58, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 227.16 kVA con variaciones similares en periodos cortos, trabajando a un 13% de exceso del límite y con una potencia promedio de 94.13 kVA en un periodo de 24 horas, de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 47.07% ya que la potencia nominal del Transformador es de 200 kVA.

### 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 63 se muestra los valores obtenidos en la medición del factor de potencia (cosφ); En el cuadro 59 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 63: Valores del Factor de Potencia S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 59: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 05.

Medidas de tendencia		Factor de potencia
Fecha/hora	descripción	cosφ
19/12/2016 21:43	Valor máximo	1.00
20/12/2016 7:03	Valor mínimo	0.49
Promedio		0.83

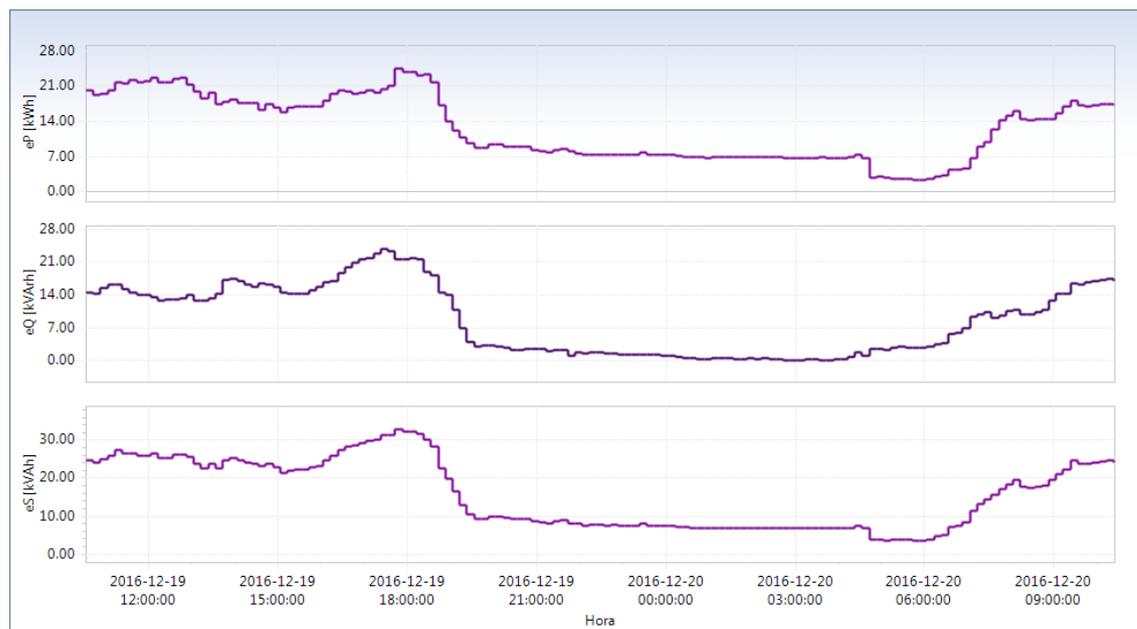
Fuente: Elaboración Propia.

El factor de potencia (cosφ) valor máximo 1.00 es alcanzado a horas 21:43 pm siendo constante hasta las 4:32 am del día siguiente, en la cual el valor empieza a ser inestable, llegando a un valor promedio de 0.83 el cual se tendría que rectificar..

### 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el gráfico 64 se muestra el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 60 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 64: Valores de la Energía S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 60: Valores representativos de la Energía S.E. 05.

Medidas de tendencia	Análisis de la Energía Consumida		
	kW-h Total	kVAR –h Total	kVA-h Total
<b>descripción</b>			
<b>Valor máximo</b>	24.46	23.73	32.74
<b>Valor mínimo</b>	2.38	0.15	3.60
<b>promedio</b>	<b>12.52</b>	<b>8.73</b>	<b>15.69</b>
<b>Consumo Total en un Día</b>	<b>1,802.89</b>	<b>1,256.70</b>	<b>2,259.18</b>
<b>Consumo Total en un Mes</b>	<b>39,663.58</b>	<b>27,647.40</b>	<b>49,701.96</b>

Fuente: Elaboración Propia.

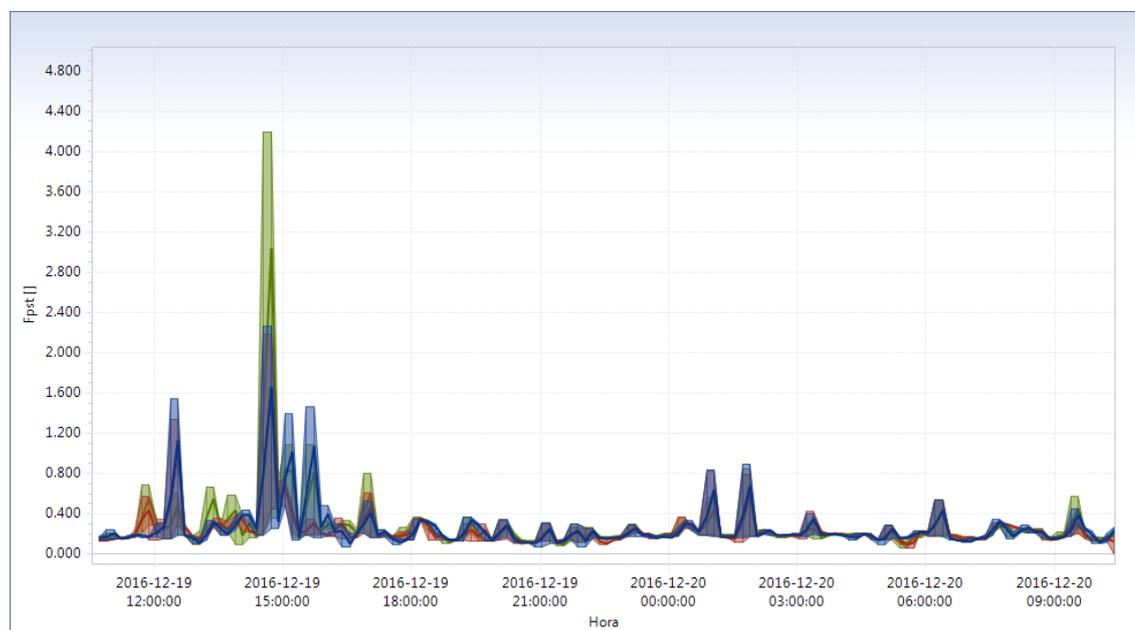
En el cuadro 60, podemos notar visiblemente que la energía reactiva generada durante un mes es alta, siendo 27,647.40 kVARh de la potencia activa. Con estos

valores registrados se puede deducir que se tiene que realizar una compensación de energía reactiva para no incurrir en gastos extras y mejorar la eficiencia energética.

El consumo de energía durante un mes es de 39,663.58 kW- h, este valor se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

### 8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 65: Valores Flicker S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 61: Valores representativos Flicker S.E. 05.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
19/12/2016 14:33	Valor máximo	2.26	2.18	4.19
20/12/2016 5:23	Valor mínimo	0.07	0.00	0.06
Promedio		0.26	0.24	0.27

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja

tensión; se considera el límite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 61 se puede observar que los valores máximos se encuentran fuera del rango del índice de severidad en todas las fases sobrepasando la unidad que es el límite, esto indicaría que el servicio es de una mala calidad respecto al Flicker.

Una solución respecto a la severidad flicker es la compensación reactiva.

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 62 se muestra los valores obtenidos del Total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THD<sub>v</sub>).

*Cuadro 62: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 05*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THD<sub>v</sub> U 12 (%)</b>	<b>THD<sub>v</sub> U 23 (%)</b>	<b>THD<sub>v</sub> U 31 (%)</b>
3.20	3.00	2.00

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 62 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase se encuentran dentro de la norma la cual es de 5%.

En el cuadro 63 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25.

Cuadro 63: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 05.

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	0.48	0.40	0.40	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	1.14	1.23	1.13	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.37	0.40	0.45	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.15	0.15	0.17	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.27	0.32	0.30	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.19	0.20	0.17	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.09	0.08	0.10	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.14	0.11	0.14	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.11	0.10	0.09	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.09	0.08	0.10	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.10	0.04	0.08	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.07	0.05	0.05	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 63 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE) como se puede apreciar.

## **B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519, en el tabla 4 ya mencionada en la S.E. 01, se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

V<sub>cc</sub>: voltaje de cortocircuito de línea = 3.68

V<sub>in</sub>: voltaje de alimentación = 230 v.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la expresión de la ecuación 44 ya mencionada:

$$V_{ccl} = 8.46 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 8.46 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del 3.68 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 8.46 V, y por tanto la de fase es la misma.

Enseguida hallamos la corriente nominal de línea en función de la potencia aparente con la ecuación 47, ya mencionada.

$$S_T : \text{Potencia Aparente} = 200 \text{ kVA.}$$

$$V_{IN} : \text{Voltaje Nominal} = 230 \text{ v.}$$

Donde:

$$I_L = 502.04 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase esta denotada por la ecuación 48:

$$I_F = 289.86 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la Impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada donde se obtiene:

$$Z_{cc} = 0.02918 \Omega$$

Mediante la ecuación 49 se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = 7.88 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la relación de la ecuación 50 ya mencionada en la parte superior.

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{7.88 \text{ kA}}{502.04 \text{ A}} = 15.70$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 15.70, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$ , están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$ .

En el cuadro 64 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

*Cuadro 64: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 05.*

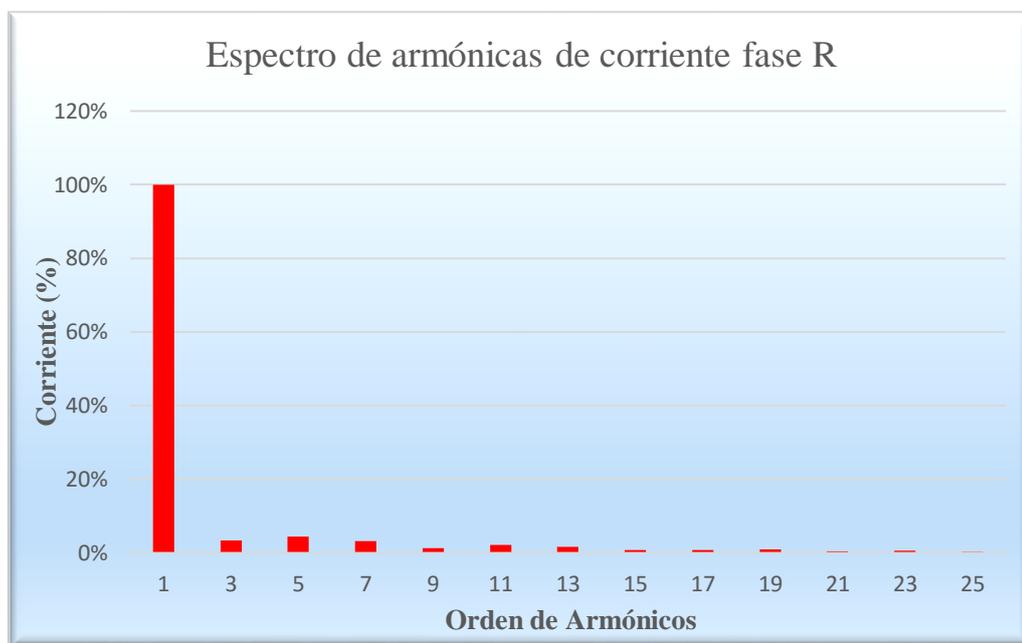
<b>Análisis de Armónicos de Corriente (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>I 1 (%)</b>	<b>I 2 (%)</b>	<b>I 3 (%)</b>	<b>IEEE 519 (%)</b>
<b>3</b>	3.41	5.33	4.54	<b>≤ 4.0</b>
<b>5</b>	4.36	8.48	5.78	<b>≤ 4.0</b>
<b>7</b>	3.20	3.20	3.73	<b>≤ 4.0</b>
<b>9</b>	1.24	1.75	1.23	<b>≤ 4.0</b>
<b>11</b>	2.27	5.67	3.58	<b>≤ 4.0</b>
<b>13</b>	1.67	3.94	2.04	<b>≤ 2.0</b>
<b>15</b>	0.78	0.85	0.83	<b>≤ 2.0</b>
<b>17</b>	0.74	1.18	0.81	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.91	1.39	0.74	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.46	0.59	0.47	<b>≤ 1.5</b>
<b>23</b>	0.56	0.67	0.45	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.34	0.48	0.36	<b>≤ 0.6</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Del cuadro 64 se puede apreciar que los valores del promedio diario de la 3 y 5 armónica no están en el rango normativo, para lo cual se debe hacer una compensación de filtro de armónicos. .

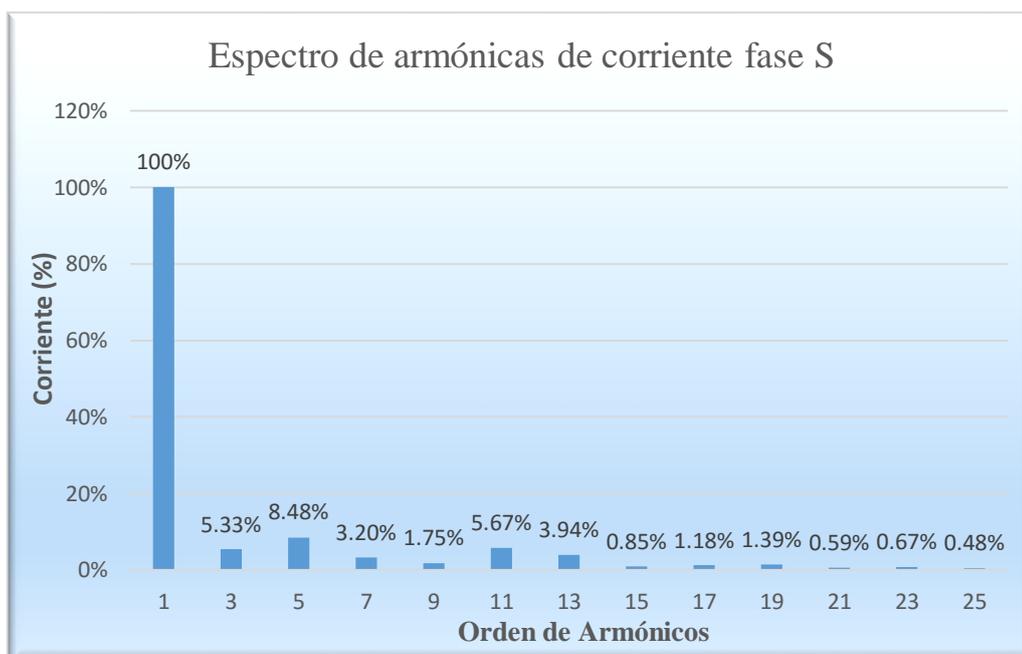
En los gráficos 66, 67 y 68 se muestra los espectros de armónicos de corriente desde la 3 hasta la 25 armónica.

Gráfico 66: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "R" S.E. 05.



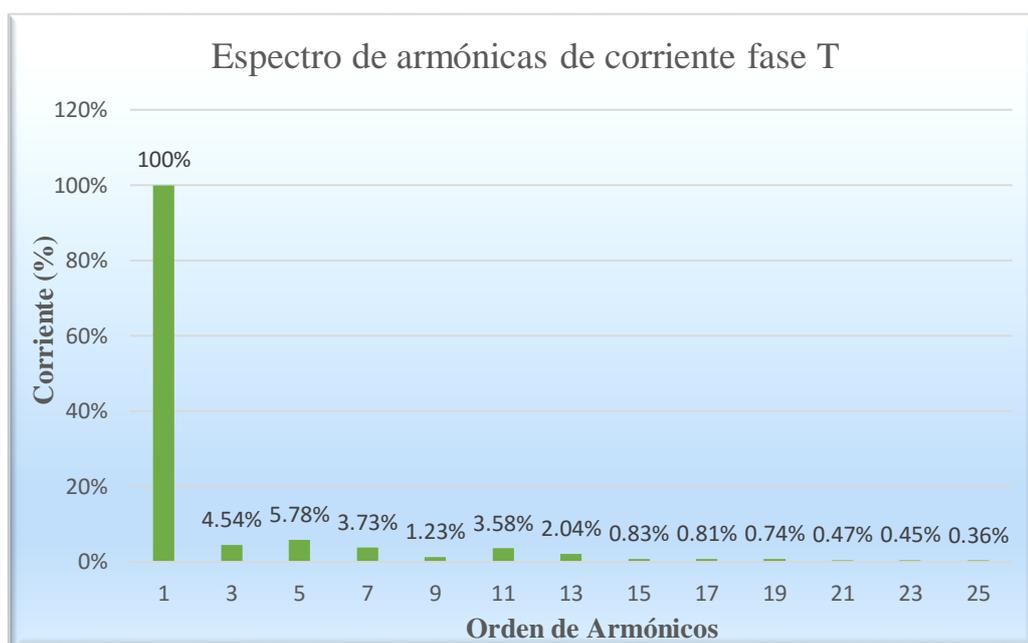
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 67: Espectro de Armónicos de Corriente Fase "S" S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 68: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia.

De los gráficos 66, 67 y 68, se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3 y la 5, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos que podría reducir y dar solución a problemas ocasionados por las mismas, además de solucionar problemas de energía reactiva.

### 10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).

En el gráfico 69 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 65 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 69: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 05.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

En el gráfico 69 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 7:30 hasta las 17:00 horas, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

Cuadro 65: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 05

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
<b>descripción</b>			
<b>Valor máximo</b>	9.14	7.43	11.52
<b>Valor mínimo</b>	0.96	1.24	0.52
<b>Promedio</b>	3.81	4.60	4.77

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 65 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores a 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

**3.5.2.6. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 06.**

La subestación eléctrica N° 06 tiene una potencia instalada de 200 kVA, se encuentra ubicada en la parte posterior de la escuela profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, esta S.E. 06 alimenta a las siguientes cargas que se muestran a continuación:

*Cuadro 66: Subestación Eléctrica N° 06.*

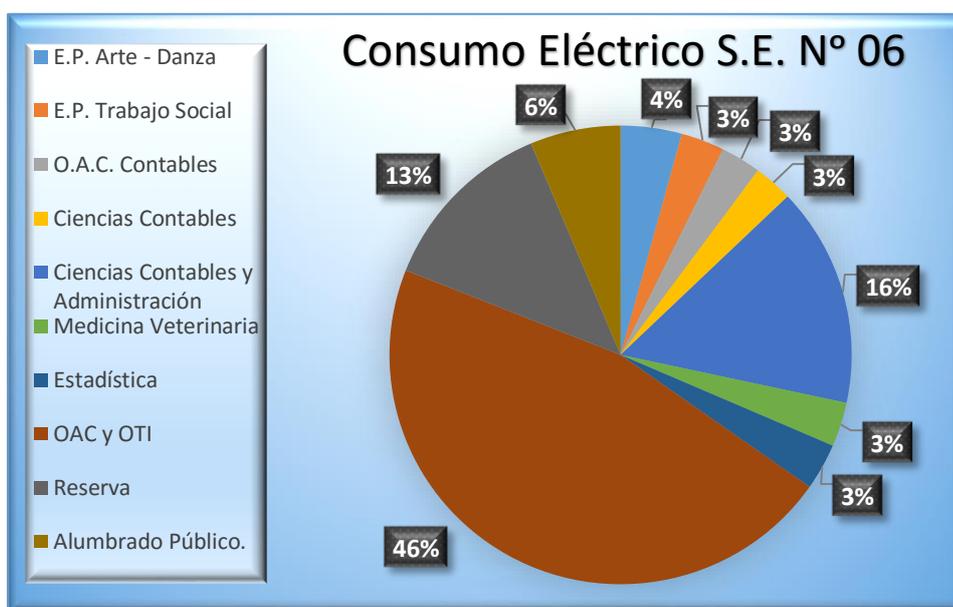
Número de S.E. y Potencia Nominal	Cto	Descripción	MD (kW)
<b>SE-06 (200 kVA)</b>	CG-1	E.P. Arte - Danza	6,76
		E.P. Trabajo Social	4,79
		O.A.C. Contables	4,45
	CG-2	Ciencias Contables	4,32
		Ciencias Contables y Administración	24,48
		Medicina Veterinaria	4,94
	CG-3	Estadística	5,17
		OAC y OTI	73,08
	CG-4-R	Reserva	20
	CG-AP	Alumbrado Público.	10

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012*

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 157.99 kW; Del cuadro se puede observar que la Oficina de Arquitectura y Construcción (OAC) y la Oficina de Tecnología e Informática (OTI) tienen una máxima demanda de 73.08 kW, del total ya mencionado, siguiendo el consumo la Facultad de Ciencias Contables y Administración con 24.48 kW, y así complementando las demás carreras conectadas en este circuito.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el gráfico 70 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 70: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 06.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 70 se observar que el área con mayor consumo de energía son la OAC y OTI con 46%, y así siguiendo las demás escuelas profesionales, en base a este gráfico se identifica cuáles son las cargas con mayor consumo energético.

**1. DATOS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN N° 06.**

Cuadro 67: Datos Generales de la Subestación 06.

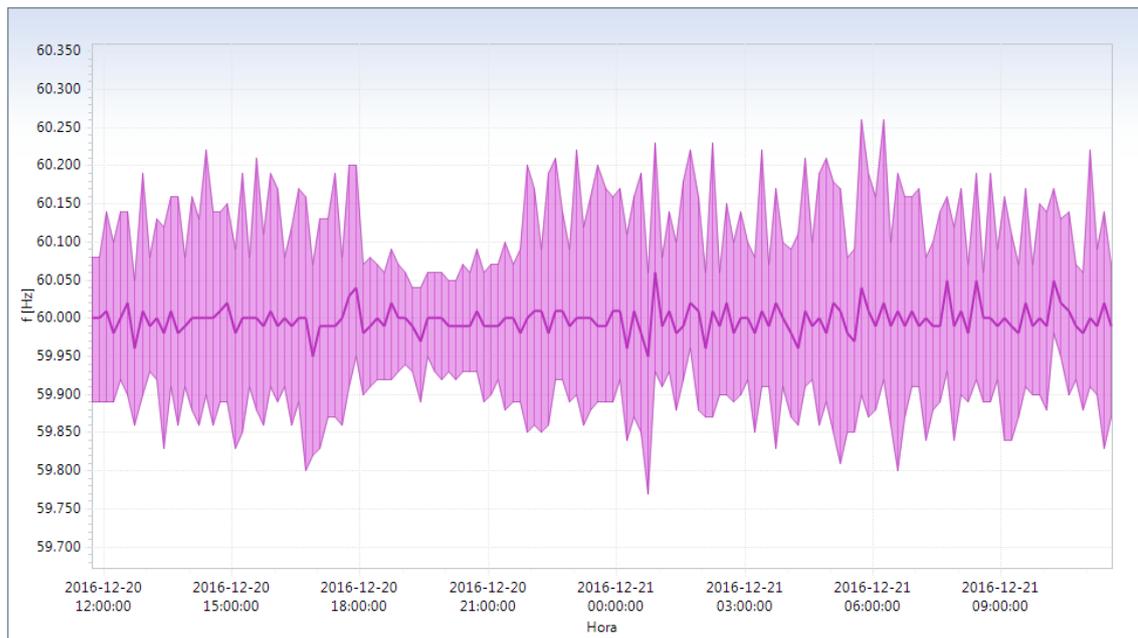
Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
200	Delta primario/Delta secundario	230

Fuente: Elaboración Propia.

**2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.**

En el gráfico 71, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un tiempo determinado, en el cuadro 68, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes, dichos valores mostrados son los más representativos.

Gráfico 71: Valores de Frecuencia S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 68: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 06.

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
21/12/2016 5:44:00	Valor máximo	60.26	0.43
21/12/2016 00:44:00	Valor mínimo	59.77	-0.38
Promedio		60.00	0.00

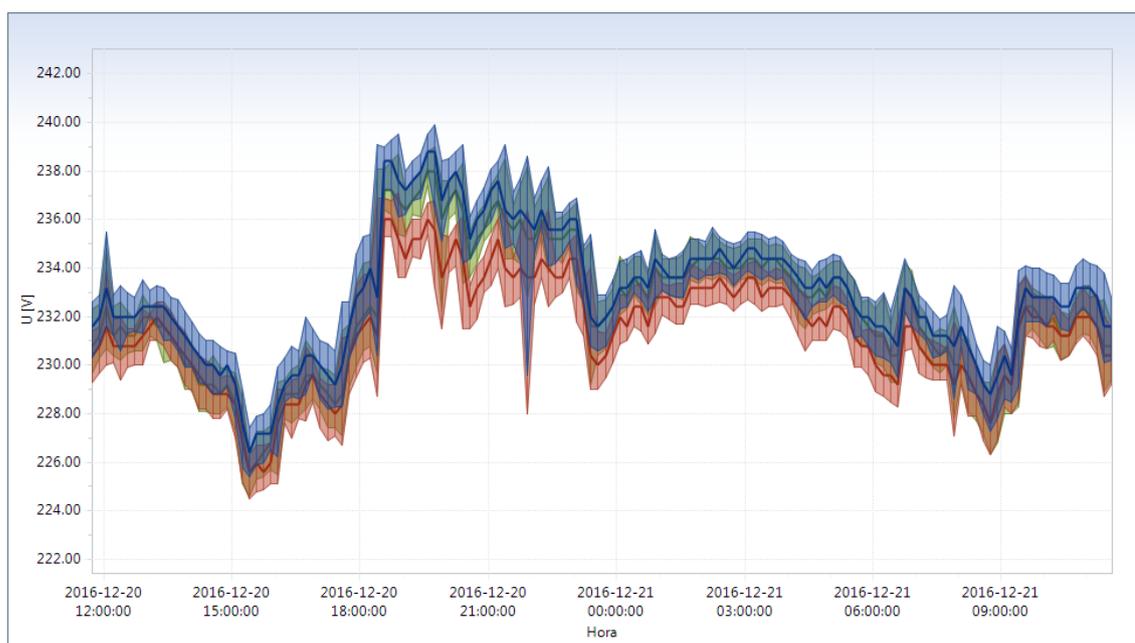
Fuente: Elaboración Propia.

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 68 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro fue de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En el gráfico 72 se visualiza los valores obtenidos de la medición de los valores U12, U23, U31; las cuales se hizo en 24 horas, En el cuadro 69 se muestra los valores representativos mostrados a continuación:

Gráfico 72: Valores de Tensión S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 69: valores representativos de la tensión S.E. 06.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
20/12/2016 19:44:00	Valor máximo	239.90	237.10	239.00
20/12/2016 15:24:00	Valor mínimo	225.40	224.50	224.60
promedio		232.93	231.49	232.32
Max Δ %		4.09%	2.99%	3.77 %
Min Δ %		-2.04 %	-2.45%	-2.40%

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante la ecuación 43, ya mencionada se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrica (NTCSE).

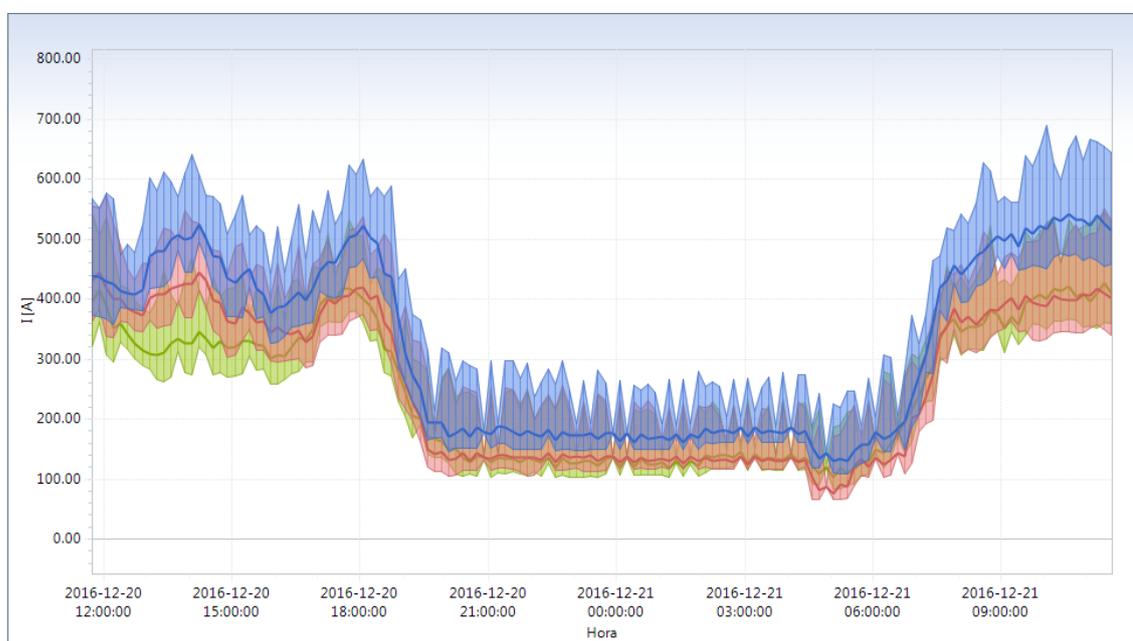
En el cuadro 69 y según a la NTCSE el cual indica que las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Ahora se puede ver que no hay caída de tensión ya que se encuentran dentro de

los rangos permisibles siendo 4.09%, -2.45% los valores extremos con respecto a la tensión nominal de 230V del transformador.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.

En el gráfico 73 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 70, se muestra los valores tomados con el analizador de redes en el periodo ya mencionado.

Gráfico 73: Valores de Corriente S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 70: Valores representativos de la Corriente S.E. 06.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
20/12/2016 14:04:00	Valor máximo	689.85	573.21	545.76
20/12/2016 23:04:00	Valor mínimo	108.63	66.42	83.61
Promedio		319.69	258.72	247.31

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 70 y del gráfico 73, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta

aproximadamente a horas 7:00 esto debido a la carga conectada que se da en la subestación eléctricas N° 06 con una constante aproximadamente hasta la hora 18:20, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 21:00 horas, a partir de la cual me mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 del día siguiente como se puede apreciar.

## 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

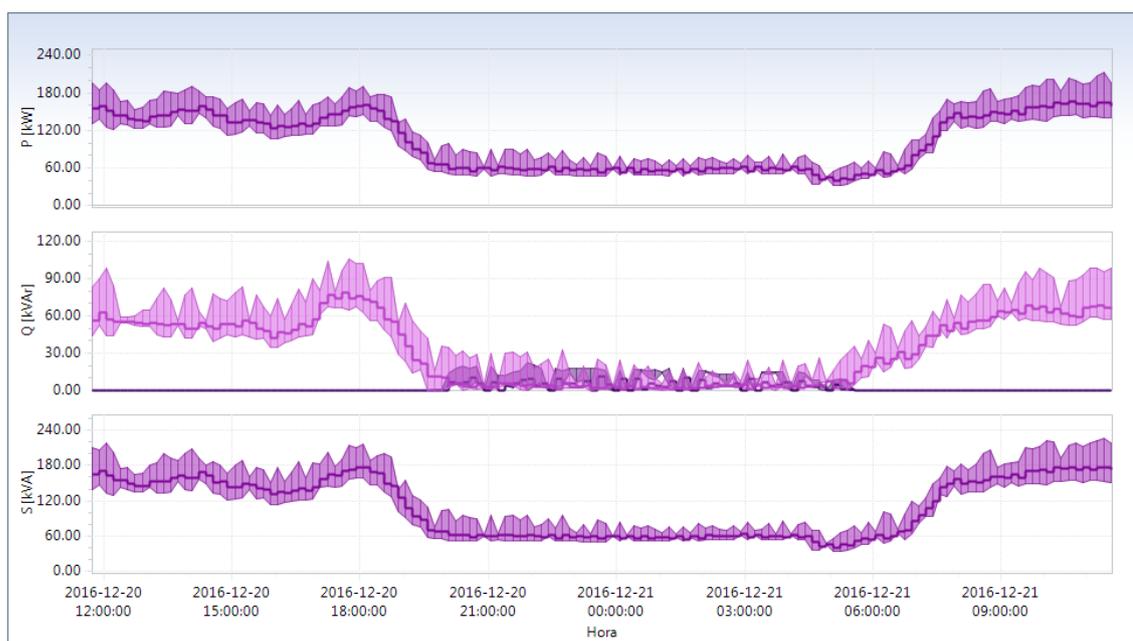
En los gráficos 72, 73 y 74, se pueden observar que los picos de consumo de energía se produce en los periodos de 8:00 am – 18:00 pm con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo en el día.

En el gráfico 74 se muestra los valores obtenidos de la medición de la potencia activa, reactiva y aparente, en el caso de la potencia reactiva se tomó dos datos los cuales son:

Potencia reactiva inductiva ( $Q_{tot_{ind}^+}$ ), como se aprecia en el gráfico 74 no muestra esta potencia en horas del día debido a que se pueda haber contrarrestado, también no pudo haber estado en funcionamiento cargas como máquinas o instrumentos los cuales generan dicha potencia, pero sin embargo se muestra en horas de la noche a partir de las 17:45 hasta las 5:13 horas, con un nivel bajo como se muestra en el cuadro 71, esto debido a las luminarias con las cuales cuenta las escuelas profesionales.

Potencia reactiva capacitiva ( $Q_{tot_{cap}^+}$ ), esta potencia existe debido a que pueden estar conectadas cargas capacitivas como UPS, la cual contrarresta la potencia reactiva inductiva disminuyéndola y es por tal motivo en el gráfico 74 se ven sus pulsaciones a lo largo del día, bajando de noche; en el cuadro 71 se muestra los valores más representativos de ambas potencias.

Gráfico 74: Valores de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 71: Valores representativos de la Potencia S.E. 06.

Medidas de tendencia	Análisis de Potencia			
	kW	kVAR(ind <sup>+</sup> )	kVAR(cap <sup>+</sup> )	kVA
Valor máximo	212.31	22.05	105.39	226.17
Valor mínimo	32.94	0.00	0.09	34.02
promedio	101.33	4.55	32.31	107.68

Fuente: Elaboración Propia.

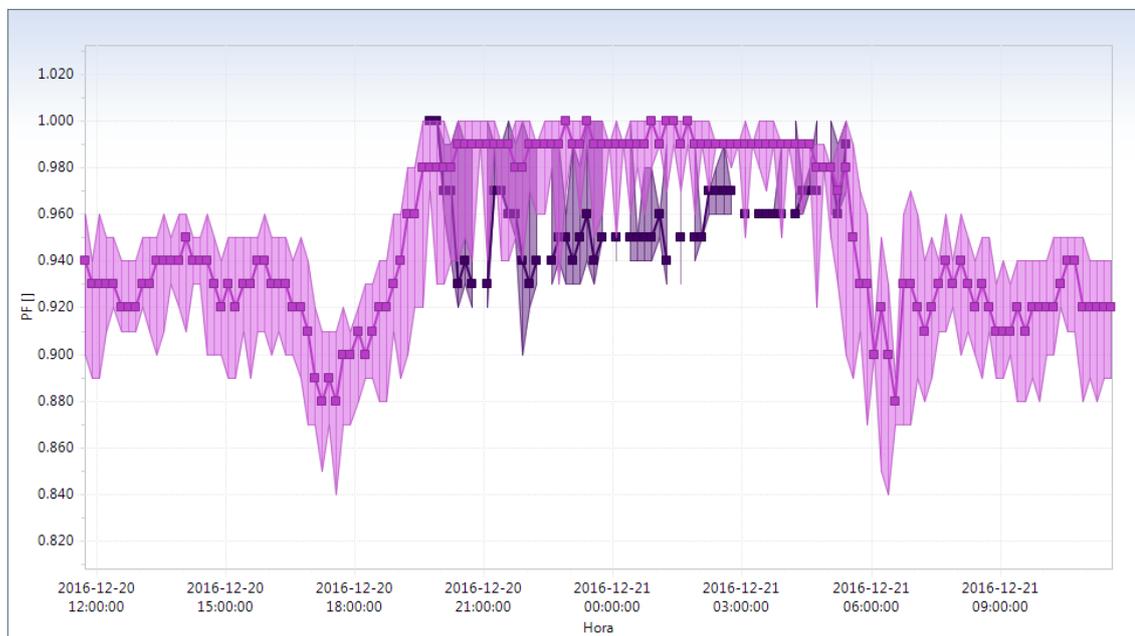
En el cuadro 71, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 226.17 kVA con variaciones similares en periodos cortos, trabajando a un 13% de exceso y con una potencia promedio de 107.68 kVA en un tiempo de 24 horas, de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 53.84% ya que la potencia nominal del transformador es de 200 kVA.

## 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 75 se muestra los valores obtenidos de la medición del factor de potencia ( $\cos\phi$ ), las cuales como se mencionó en el ítem 5, también en el factor de

potencia existirán dos por motivos ya mencionado en el análisis de la potencia; En el cuadro 72 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 75: Valores del Factor de Potencia S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 72: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 06.

Medidas de tendencia		Factor de potencia	
Fecha/hora	descripción	cosφ (ind <sup>+</sup> )	cosφ (cap <sup>+</sup> )
20/12/2016 19:44	Valor máximo	1.00	1.00
20/12/2016 21:54	Valor mínimo	0.90	0.84
Promedio		0.96	0.95

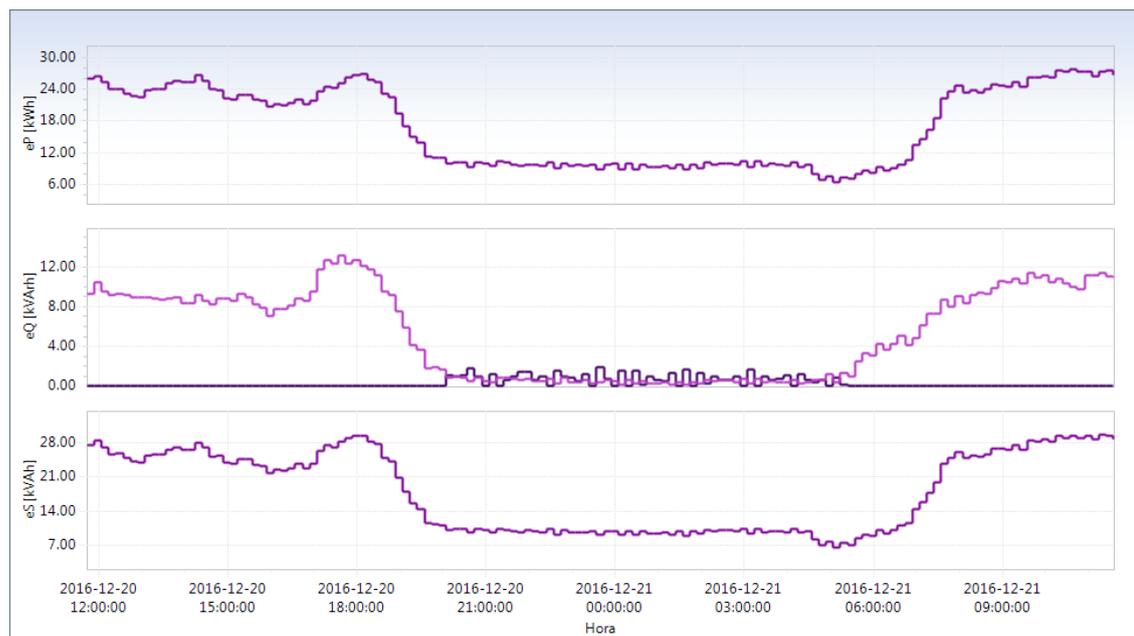
Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 72 se muestran dos valores, los cuales dan a conocer que el transformador está trabajando en un rango eficiente tanto en lo inductivo y capacitivo, ya que no hay potencia reactiva inductiva a facturar.

### 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el gráfico 76 se muestra el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 73 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 76: Valores de la Energía S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 73: Valores representativos de la Energía S.E. 06.

Medidas de tendencia	Análisis de la Energía Consumida		
	kW-h Total	kVAR -h Total	kVA-h Total
descripción			
<b>Valor máximo</b>	27.65	1.87	29.64
<b>Valor mínimo</b>	6.51	0.00	6.62
<b>promedio</b>	<b>16.89</b>	<b>0.29</b>	<b>17.95</b>
<b>Consumo Total en un Día</b>	<b>2,431.97</b>	<b>41.97</b>	<b>2,584.28</b>
<b>Consumo Total en un Mes</b>	<b>53,503.34</b>	<b>923.34</b>	<b>56,854.16</b>

Fuente: Elaboración Propia.

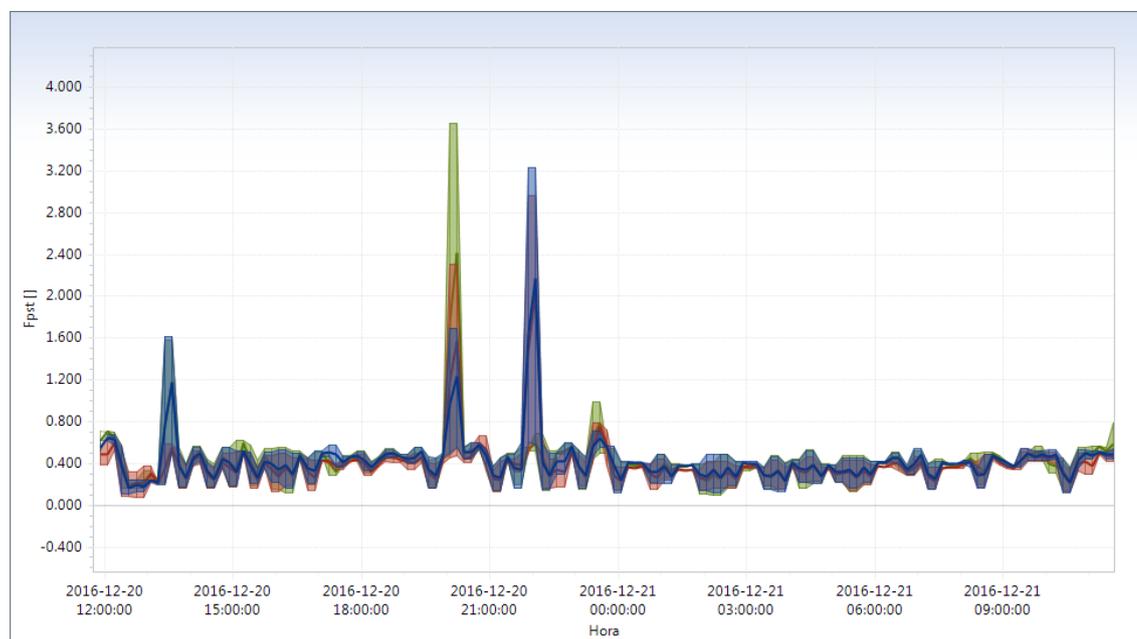
En el cuadro 73, podemos notar visiblemente que la energía reactiva generada durante un mes no está considerablemente alta como las demás ya vistas anteriormente,

siendo 923.34 kVARh de la potencia activa. Con estos valores registrados se puede deducir que se tendría que mejorar haciendo una compensación de energía reactiva.

El consumo promedio de energía durante un mes es de 53,503.34 kW- h, esta medición, se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

### 8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 77: Valores Flicker S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 74: Valores representativos Flicker S.E. 06.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
20/12/2016 20:04	Valor máximo	3.23	2.96	3.65
20/12/2016 12:24	Valor mínimo	0.11	0.08	0.10
Promedio		0.43	0.40	0.43

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja

tensión; se considera el límite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 74 se puede observar que los valores máximos se encuentran fuera del rango del índice de severidad, indicando que el servicio es de baja calidad respecto al Flicker.

Una solución respecto a la severidad flicker es la compensación reactiva

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 75 se muestra los valores obtenidos del total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THDv).

*Cuadro 75: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 06.*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THDv U 12 (%)</b>	<b>THDv U 23 (%)</b>	<b>THDv U 31 (%)</b>
2.40	2.50	2.50

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 75 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase se encuentran dentro de la norma la cual es de 5%.

En el cuadro 76 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25.

Cuadro 76: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 06.

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	0.46	0.50	0.45	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	1.38	1.33	1.33	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.65	0.55	0.45	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.20	0.18	0.17	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.35	0.33	0.29	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.21	0.24	0.19	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.15	0.13	0.13	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.19	0.15	0.18	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.13	0.15	0.10	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.09	0.09	0.09	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.10	0.05	0.05	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.07	0.05	0.06	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 76 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE).

## **B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519, en la tabla 4 se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

V<sub>cc</sub>: voltaje de cortocircuito de línea = 3.68

V<sub>in</sub>: voltaje de alimentación = 230 v.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la expresión de la ecuación 44:

$$V_{ccl} = 8.46 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 8.46 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del 3.68 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 8.46 V, y por tanto la de fase es la misma.

Enseguida hallamos la corriente nominal de línea en función de la potencia aparente con la ecuación 47, ya mencionada.

$$S_T : \text{Potencia Aparente} = 200 \text{ kVA.}$$

$$V_{IN} : \text{Voltaje Nominal} = 230 \text{ v.}$$

Donde:

$$I_L = 502.04 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase esta denotada por la ecuación 48:

$$I_F = 289.86 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada donde se halla que:

$$Z_{cc} = 0.02918 \Omega$$

Mediante la ecuación 49 se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = 7.88 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la relación de la ecuación 50 ya mencionada en la parte superior.

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{7.88 \text{ kA}}{502.04 \text{ A}} = 15.70$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 15.70, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$ , están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$ .

En el cuadro 77 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

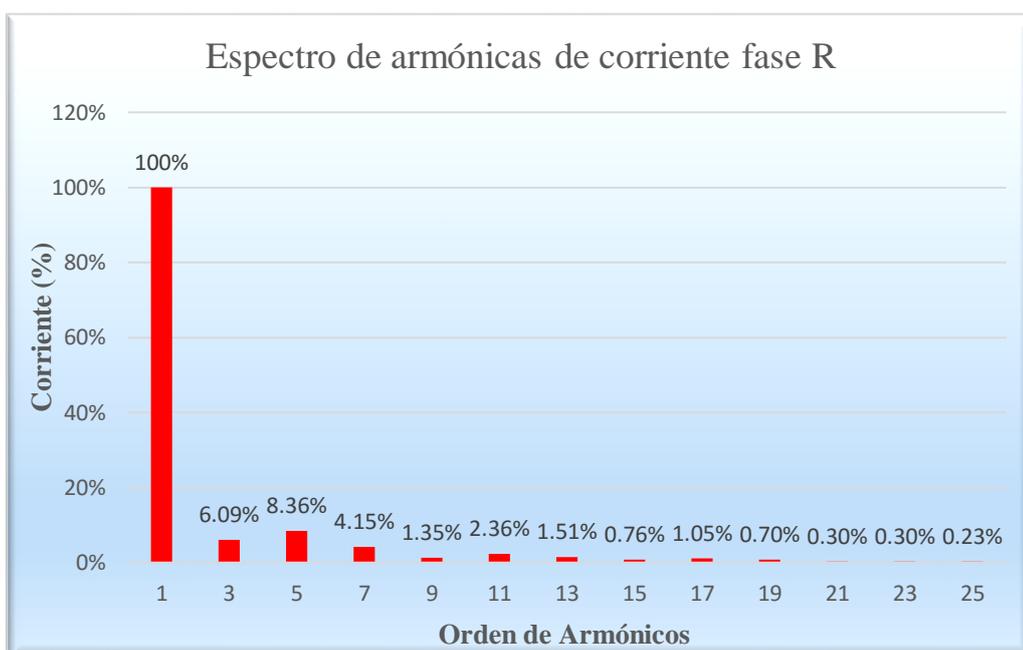
*Cuadro 77: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 06.*

<b>Análisis de Armónicos de Corriente (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>I 1 (%)</b>	<b>I 2 (%)</b>	<b>I 3 (%)</b>	<b>IEEE 519 (%)</b>
<b>3</b>	6.09	7.20	2.38	<b>≤ 4.0</b>
<b>5</b>	8.36	8.04	7.39	<b>≤ 4.0</b>
<b>7</b>	4.15	6.08	3.71	<b>≤ 4.0</b>
<b>9</b>	1.35	2.48	1.72	<b>≤ 4.0</b>
<b>11</b>	2.36	1.62	2.31	<b>≤ 4.0</b>
<b>13</b>	1.51	1.81	1.49	<b>≤ 2.0</b>
<b>15</b>	0.76	0.82	0.76	<b>≤ 2.0</b>
<b>17</b>	1.05	0.94	1.14	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.70	1.14	0.68	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.30	0.45	0.36	<b>≤ 1.5</b>
<b>23</b>	0.30	0.39	0.24	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.23	0.29	0.23	<b>≤ 0.6</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

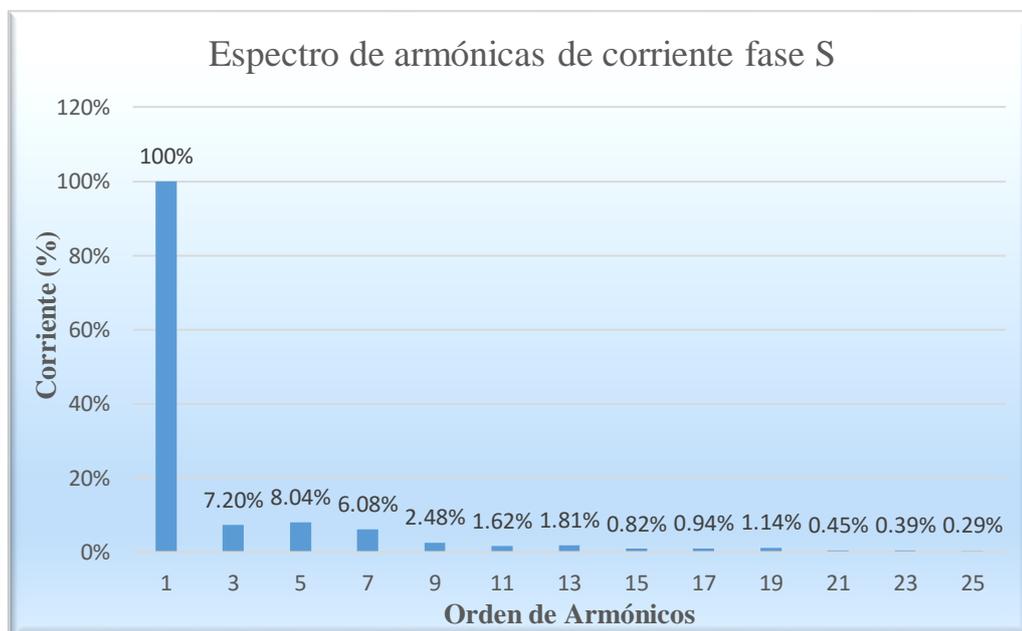
En los gráficos 78, 79 y 80 se muestran los espectros de armónicos de corriente desde la 3 hasta la 25 armónica.

Gráfico 78: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 06.



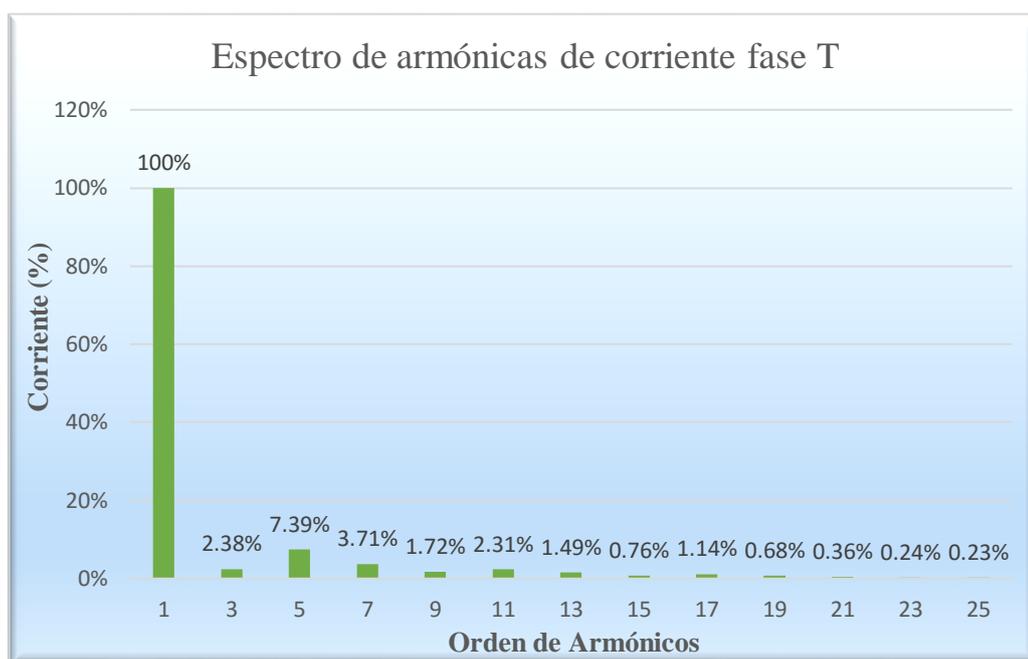
Fuente: Software PowerView v2.0.

Gráfico 79: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 06.



Fuente: Software PowerView v2.0.

Gráfico 80: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 06.



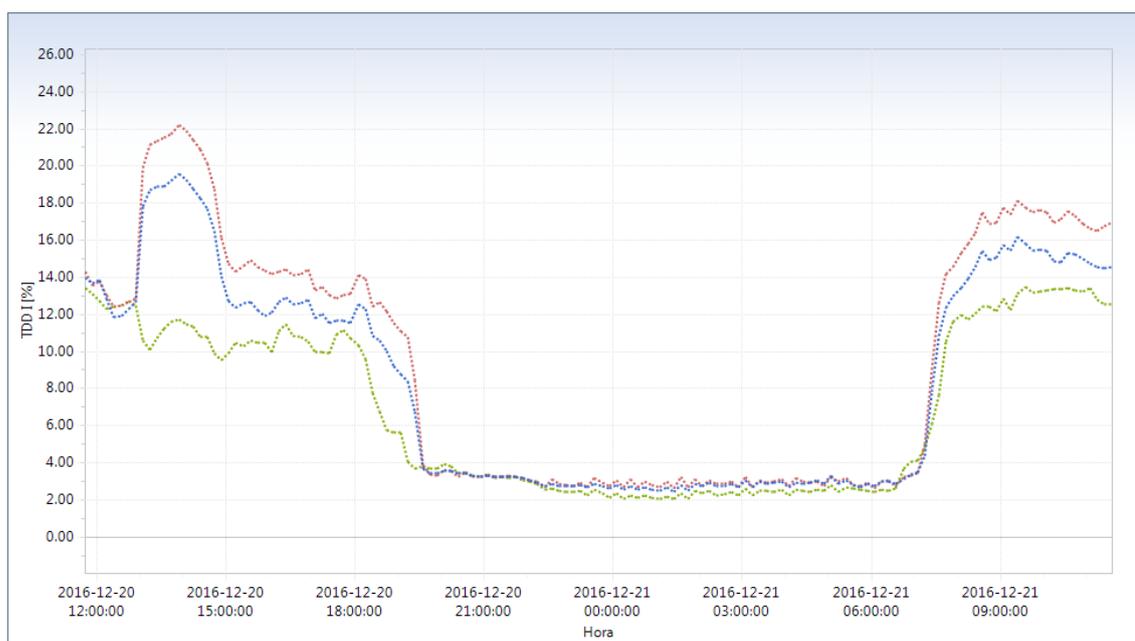
Fuente: Software PowerView v2.0.

Los gráficos 78, 79 y 80 se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3, 5 y la 7, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos que podría reducir y dar solución a problemas ocasionados por las mismas, además de solucionar problemas de energía reactiva.

### 10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).

En el gráfico 81 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 78 se muestra los valores más representativos mostrados a continuación.

Gráfico 81: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 06.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

En el gráfico 81 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 13:00 hasta las 15:30 horas, variando hasta las 17:30, bajando su nivel en horas de la noche y madrugada, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

Cuadro 78: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 06.

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
<b>descripción</b>			
<b>Valor máximo</b>	19.58	22.21	13.51
<b>Valor mínimo</b>	2.46	2.61	2.07
<b>Promedio</b>	8.45	9.41	6.89

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 78 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores al 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

**3.5.2.7. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 07.**

La subestación eléctrica N° 07 tiene una potencia instalada de 400 kVA, se encuentra ubicada al lado de la escuela profesional Ing. Agrícola, esta S.E. 07 alimenta a las siguientes cargas mostradas a continuación:

*Cuadro 79: Subestación Eléctrica N° 07.*

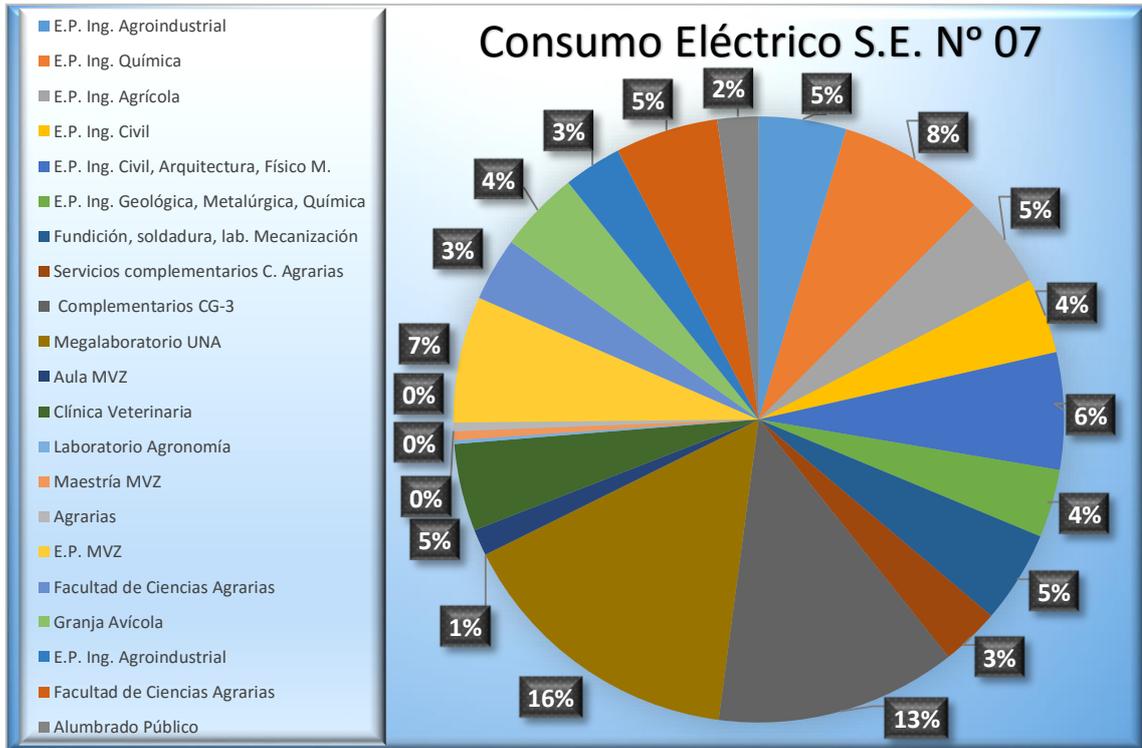
<b>Número de SE y Potencia Nominal.</b>	<b>Cto</b>	<b>Descripción</b>	<b>MD (kW)</b>
<b>SE-07 (400 kVA)</b>	CG-1	E.P. Ing. Agroindustrial	14,92
		E.P. Ing. Química	25,21
	CG-2	E.P. Ing. Agrícola	15,79
		E.P. Ing. Civil	12,98
		E.P. Ing. Civil, Arquitectura, Físico M.	20,07
		E.P. Ing. Geológica, Metalúrgica, Química	11,7
	CG-3	Fundición, soldadura, lab. Mecanización	15,77
		Servicios complementarios C. Agrarias	10
		Complementarios CG-3	41,06
	CG-4	Megalaboratorio UNA	50
	CG-5	Aula MVZ	4,5
		Clínica Veterinaria	15
		Laboratorio Agronomía	0,66
		Maestría MVZ	1,5
	CG-6	Agrarias	1,46
		E.P. MVZ	21,67
		Facultad de Ciencias Agrarias	10,89
		Granja Avícola	13,9
	CG-7	E.P. Ing. Agroindustrial	9,94
		Facultad de Ciencias Agrarias	17,52
CG-AP	Alumbrado Público	7	

*Fuente: OAC remodelación de las redes 2012.*

Esta S.E. tiene una máxima demanda total de 321.54 kW; del gráfico se puede observar que los servicios complementarios del CG-3 obteniendo una máxima demanda de 41.06 kW, seguida por la E.P. de Ing. Química con 25.21 kW y así sucesivamente todas las demás escuelas profesionales y alumbrado público.

En base a los datos anteriores de la máxima demanda se presenta el gráfico 82 en la cual se muestra el porcentaje de distribución de consumo eléctrico por cada facultad y/o escuela profesional.

Gráfico 82: Distribución de Consumo Eléctrico S.E. N° 07.



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 82 se observar que los áreas con mayores consumos de energía son los siguientes, servicios complementarios CG-3 con un 16%, E.P. de Ing. Química con 13%, E.P. de Medicina Veterinaria y Zootecnia, etc..., en base a este gráfico, en el cual se tienen identificados cuales son las cargas en la cual se da el mayor consumo energético, se presentan medidas que nos ayudaran a optimizar el consumo eléctrico.

**1. DATOS GENERALES DE LA SUBESTACIÓN N° 07.**

*Cuadro 80: Datos Generales de la Subestación 07.*

Potencia instalada (kVA)	Configuración	Voltaje secundario (V)
400	Delta primario/Delta secundario	230

*Fuente: Elaboración Propia.*

**2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA.**

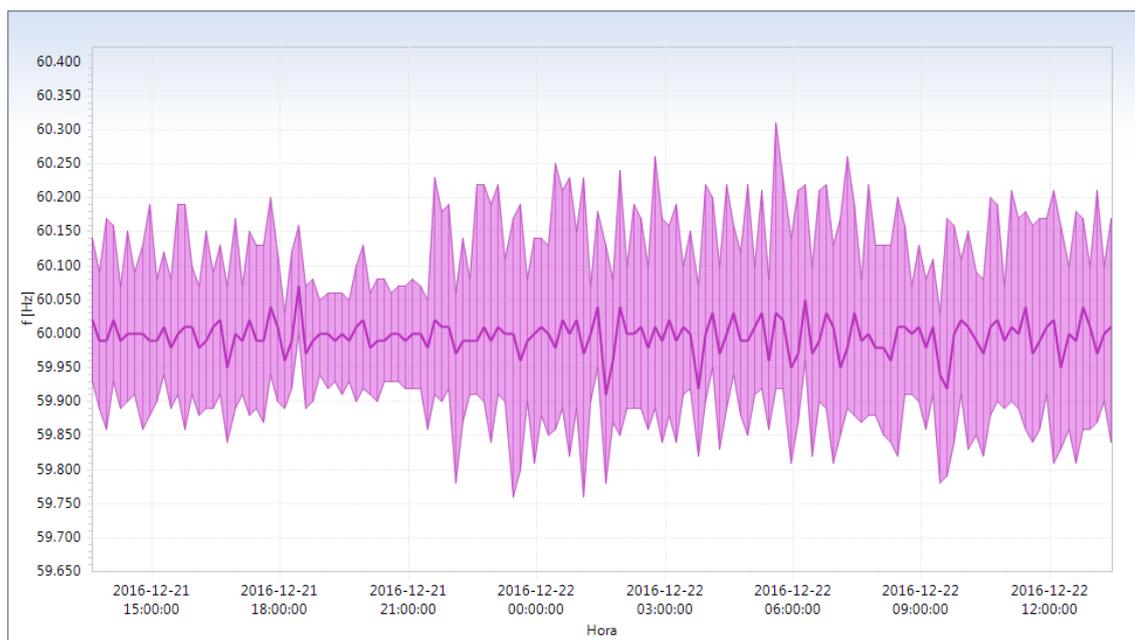
En el gráfico 83, se puede observar los valores obtenidos de la frecuencia en un tiempo de 24 horas, en el cuadro 81, se muestran los valores obtenidos con el analizador de redes los cuales son los más representativos.

*Cuadro 81: Valores representativos de la Frecuencia S.E. 07.*

Medidas de tendencia		Análisis de Frecuencia	
Fecha/hora	descripción	f (Hz)	$\Delta f_k$ (%)
22/12/2016 5:36:00	Valor máximo	60.31	0.51
22/12/2016 1:06:00	Valor mínimo	59.76	-0.40
Promedio		60.00	0.00

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico 83: Valores de Frecuencia S.E. 07.*



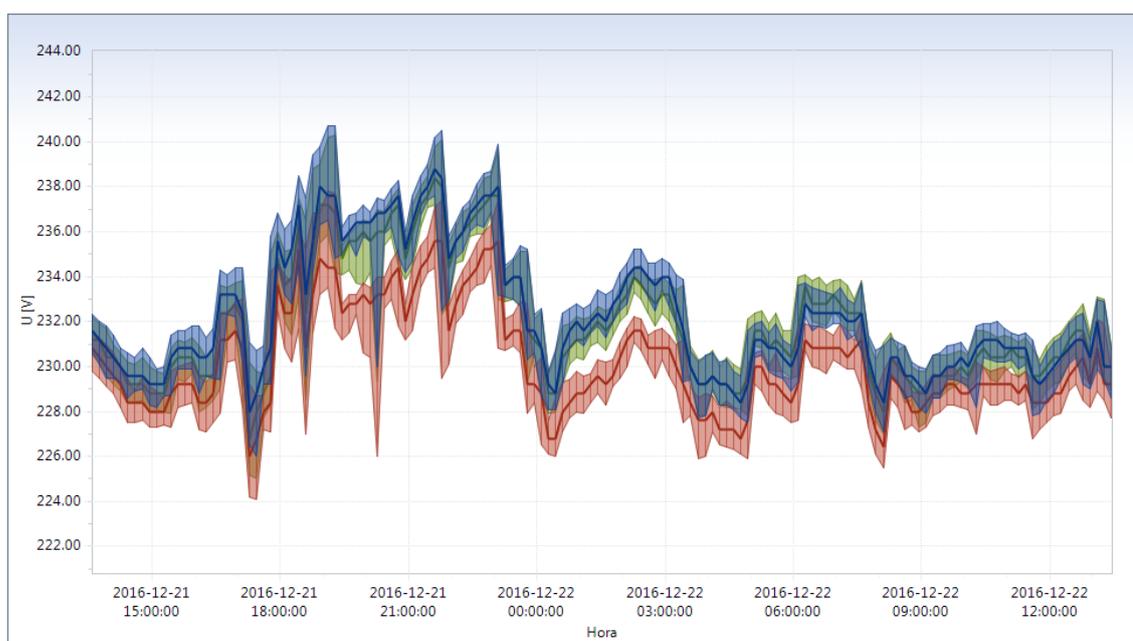
*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

Según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctricos (NTCSE), las variaciones sostenidas son aceptables en un rango de  $\pm 0.6\%$  y las variaciones súbitas hasta 1Hz, del cuadro 81 se puede corroborar que no existen variaciones súbitas, de la cual se puede deducir que el suministro fue de buena calidad.

### 3. ANÁLISIS DEL VOLTAJE.

En el gráfico 84 se visualiza los valores obtenidos de las mediciones de voltaje U12, U23, U31; las cuales se hicieron en un periodo de 24 horas, En el cuadro 82 se muestra los valores representativos mostradas a continuación:

*Gráfico 84: Valores de Tensión S.E. 07.*



*Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.*

Cuadro 82: valores representativos de la tensión S.E. 07.

Medidas de tendencia		Análisis de voltaje		
Fecha/hora	descripción	Voltaje U (12)	Voltaje U (23)	Voltaje U (31)
25.10.2016, 20:37:59	Valor máximo	240.70	237.80	240.30
25.10.2016, 20:37:59	Valor mínimo	226.00	224.10	225.00
promedio		232.21	230.20	231.92
Max $\Delta$ %		4.45%	3.28%	4.29 %
Min $\Delta$ %		-1.77 %	-2.63%	-2.22%

Fuente: Elaboración Propia.

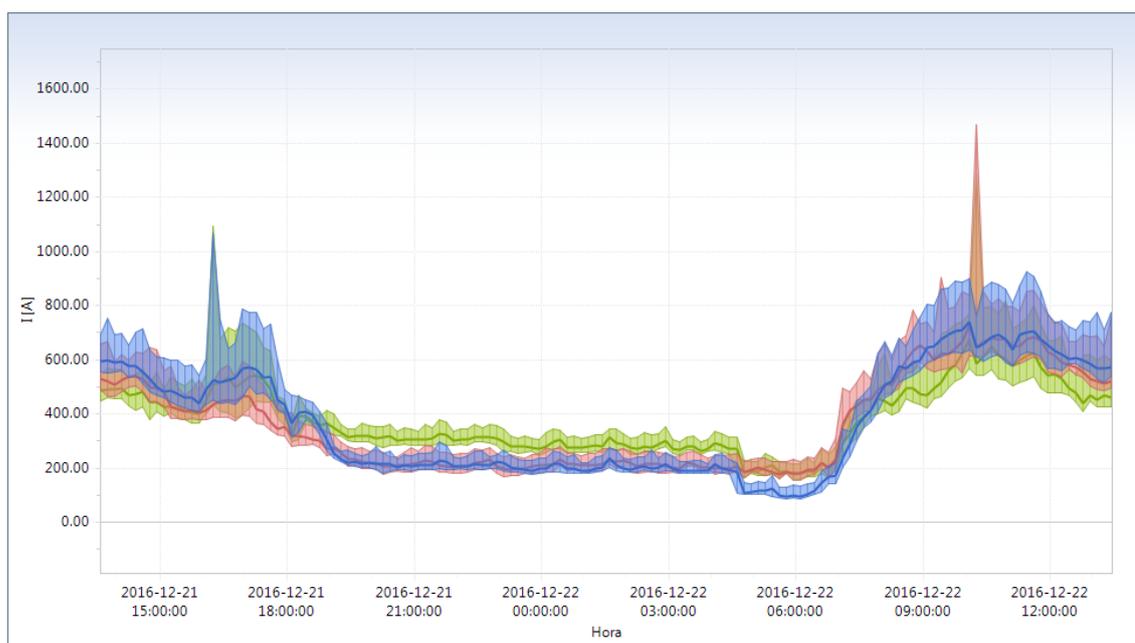
Mediante la ecuación 43 se calcula el porcentaje de error de la tensión, la cual nos sirve para determinar si las mediciones están dentro del rango de la Norma Técnica de Calidad de Suministro Eléctrica (NTCSE).

En el cuadro 82 y según a la NTCSE el cual indica que 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 el  $\pm 5.0\%$  de las tensiones nominales de tales puntos. Ahora se puede ver que no hay caída de tensión ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles siendo 4.45%, -2.63% los valores extremos con respecto a la tensión nominal de 230V del transformador. Esto se debe a la conexión de grandes cargas lo cual produce un desbalance en la corriente.

#### 4. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE.

En el gráfico 85 se visualiza los valores obtenidos de la medición de las corrientes en las distintas fases como I1, I2, I3; En el cuadro 83, se muestra los valores tomados con el analizador de redes en el tiempo ya mencionado.

Gráfico 85: Valores de Corriente S.E. 07.



Fuente: Software Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 83: Valores representativos de la Corriente S.E. 07.

Medidas de tendencia		Análisis de Corriente		
Fecha/hora	descripción	I 1 (A)	I 2 (A)	I 3 (A)
22/12/2016 10:16:00	Valor máximo	1,066.86	1,467.81	1,286.01
22/12/2016 6:06:00	Valor mínimo	87.03	155.07	156.78
Promedio		369.60	362.33	379.89

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro 83 y del gráfico 85, se aprecia los valores de las corrientes máximas, mínimas y promedios; los valores mostrados reflejan el periodo de tiempo que aumenta aproximadamente a horas 7:00 esto debido a la carga conectada que se da en la subestación eléctrica N° 07 con una constante aproximadamente hasta la hora 18:30, enseguida se puede observar el declive debido a la desconexión de dichas cargas hasta las 17:00 horas, a partir de la cual me mantiene constante hasta la hora de la subida que es 7:00 del día siguiente como se puede apreciar en dichos gráficos.

## 5. ANÁLISIS DE LA POTENCIA.

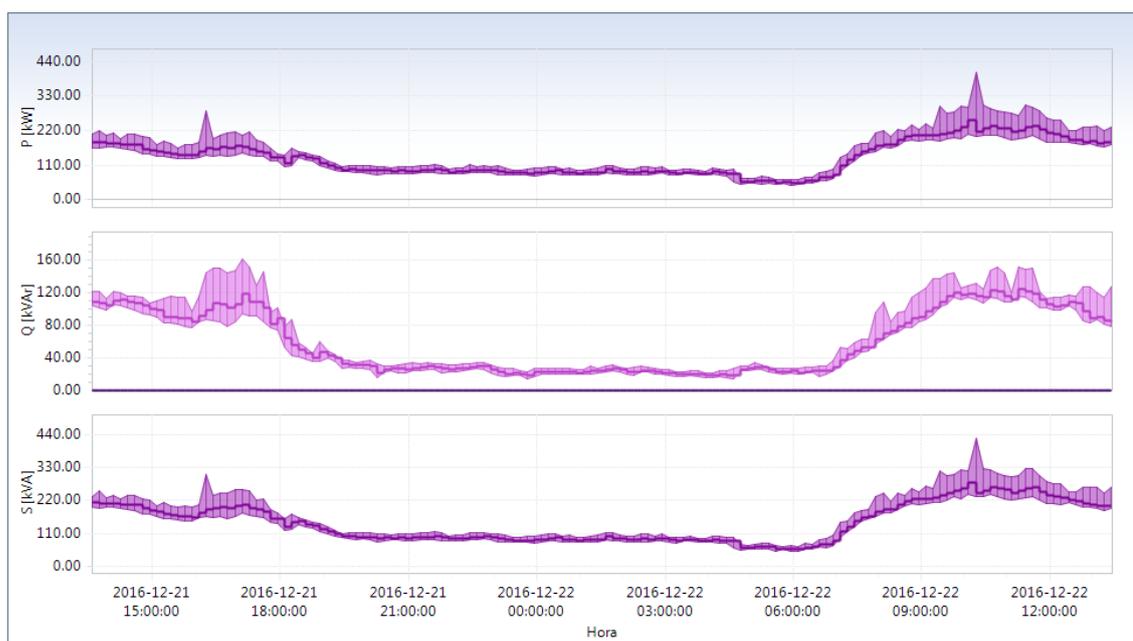
En los gráficos 84, 85 y 86, se pueden observar que los picos de consumo de energía se produce en los periodos de 8:00 am – 18:00 pm con variaciones pero manteniendo casi constante en ese rango de consumo en el día.

En el gráfico 86 se muestra los valores obtenidos de la medición de la potencia activa, reactiva y aparente, en el caso de la potencia reactiva se tomó dos datos los cuales son:

Potencia reactiva inductiva ( $Q_{tot_{ind}^+}$ ), como se aprecia en el gráfico 86 no se puede apreciar esta potencia en la medición que se hizo, debido a que se puede haber contrarrestado con cargas capacitivas, también no pudo haber cargas conectadas como máquinas o instrumentos los cuales generan dicha potencia.

Potencia reactiva capacitiva ( $Q_{tot_{cap}^+}$ ), esta potencia existe debido a que pueden estar conectadas cargas capacitivas como UPS u otros que puedan estar generando potencia capacitiva, la cual contrarresta la potencia reactiva inductiva disminuyéndola y es por tal motivo en el gráfico 86 se ven sus pulsaciones a lo largo del tiempo determinado para la prueba; en el cuadro 84 se muestra los valores más representativos de ambas potencias.

Gráfico 86: Valores de la Potencia Activa Reactiva y Aparente S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 84: Valores representativos de la Potencia S.E. 07.

Medidas de tendencia	Análisis de Potencia			
	kW	kVAR(ind <sup>+</sup> )	kVAR(cap <sup>+</sup> )	kVA
Valor máximo	404.82	0.00	161.36	425.88
Valor mínimo	46.80	0.00	14.40	52.11
promedio	131.41	0.00	59.35	145.20

Fuente: Elaboración Propia.

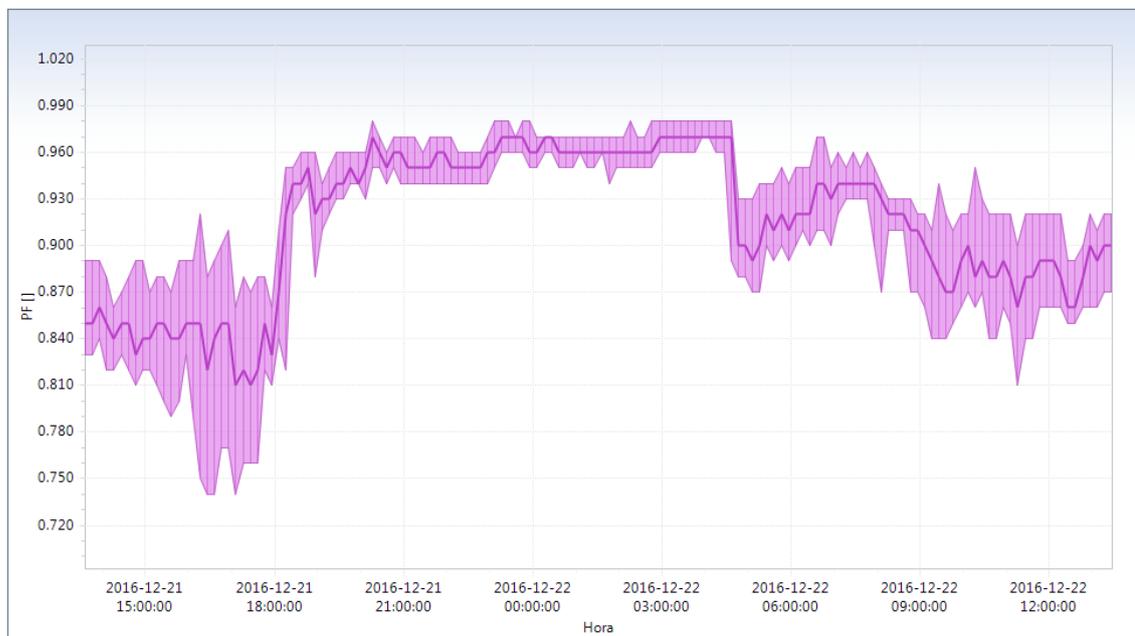
En el cuadro 84, se puede observar que la potencia máxima aparente registrada es de 425.88 kVA con variaciones similares en periodos cortos, trabajando con un 6% de exceso del nominal, la potencia promedio es 145.20 kVA de la cual se podría deducir que el transformador está trabajando a un 36.30% ya que la potencia nominal del Transformador es de 400 kVA.

## 6. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el gráfico 87 se muestra los valores obtenidos de la medición del factor de potencia (cosφ), las cuales como se mencionó en el ítem 5, también en el factor de

potencia existirán dos por motivos ya mencionado en el análisis de la potencia, pero en esta caso solo se registró el factor de potencia capacitivo ya que no existió el inductivo; En el cuadro 85 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 87: Valores del Factor de Potencia S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 85: Valores representativos del Factor de Potencia S.E. 07.

Medidas de tendencia		Factor de potencia	
Fecha/hora	descripción	cosφ (ind <sup>+</sup> )	cosφ (cap <sup>+</sup> )
21/12/2016 20:16	Valor máximo	0.00	0.98
21/12/2016 4:26	Valor mínimo	0.00	0.74
Promedio		0.00	0.91

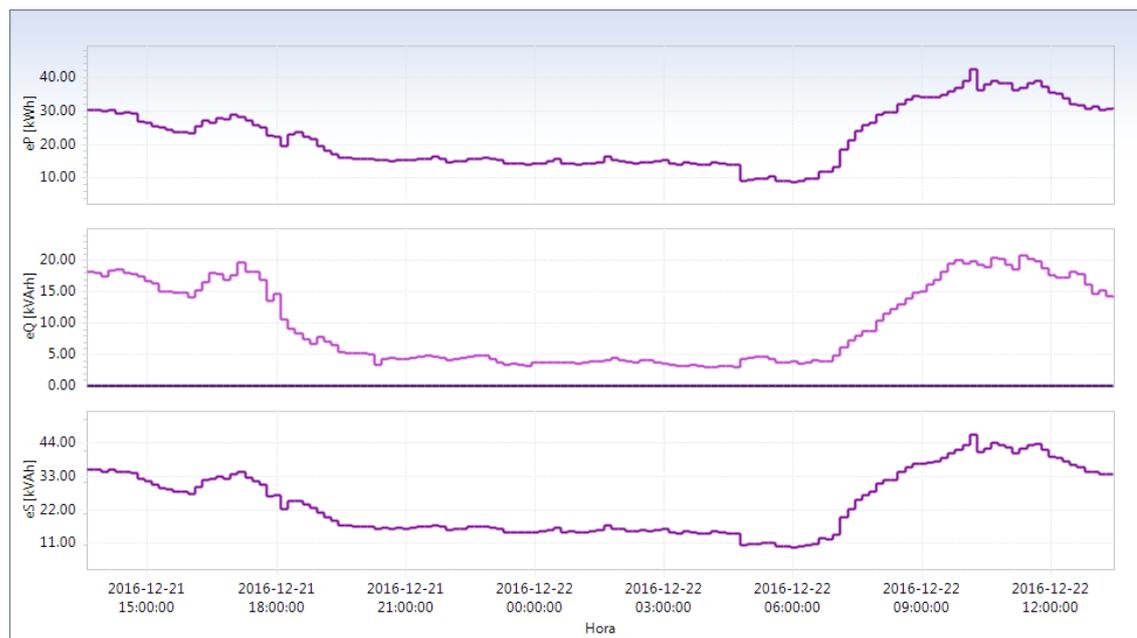
Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 85 se muestran dos valores, los cuales dan a conocer que el transformador está trabajando en un rango eficiente tanto en lo capacitivo, ya que no hay potencia reactiva inductiva a facturar.

### 7. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA

Los valores obtenidos de la energía se basaron en la potencia registrada, en el gráfico 88 se muestra el comportamiento de los valores registrados para la energía activa, reactiva y aparente; en el cuadro 86 se muestra los valores más representativos.

Gráfico 88: Valores de la Energía S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 86: Valores representativos de la Energía S.E. 07.

Medidas de tendencia	Análisis de la Energía consumida		
	kW-h Total	kVAR -h Total	kVA-h Total
descripción			
Valor máximo	42.22	0.00	46.70
Valor mínimo	8.87	0.00	9.69
promedio	<b>21.90</b>	<b>0.00</b>	<b>24.20</b>
Consumo Total en un Día	<b>3,153.89</b>	<b>0.00</b>	<b>3,484.70</b>
Consumo Total en un Mes	<b>69,385.58</b>	<b>0.00</b>	<b>76,663.40</b>

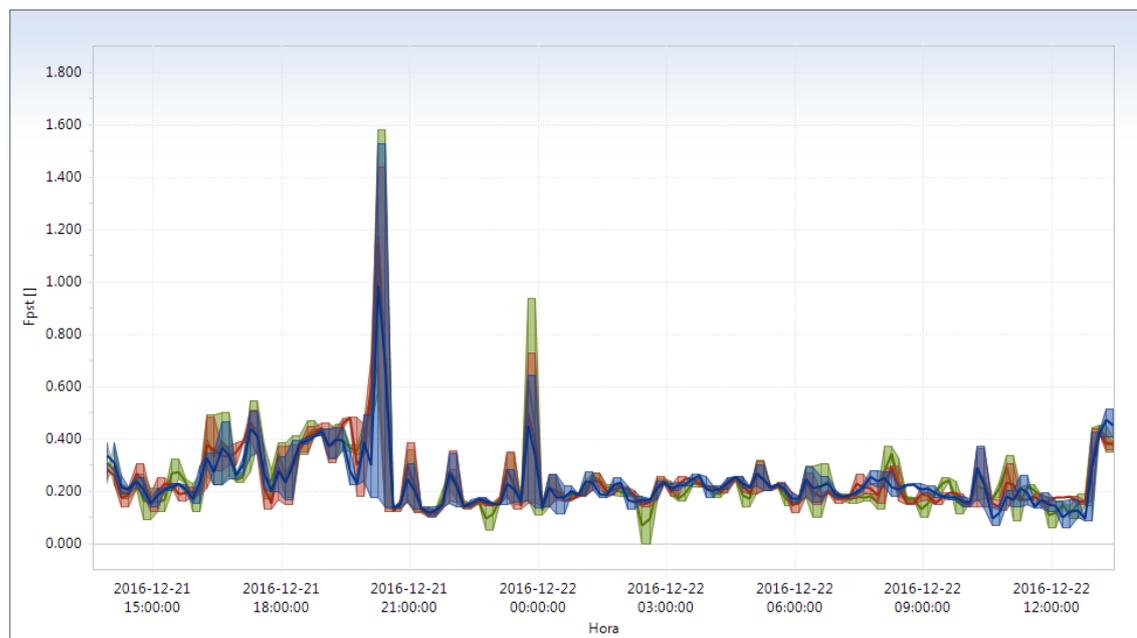
Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 86, podemos notar visiblemente que la energía reactiva no existe teniendo un valor de 0.00 kVARh de la potencia activa. Con estos valores registrados se puede deducir que no necesita realizar una compensación de energía reactiva.

El consumo promedio de energía durante un mes es de 69,385.58 kW-h, este rango se encuentra dentro de los rangos mensuales registrados en el estado de la cuenta corriente, proporcionada por la concesionaria Electro Puno S.A.A.

### 8. ANÁLISIS FLICKER.

Gráfico 89: Valores Flicker S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 87: Valores representativos Flicker S.E. 07.

Medidas de tendencia		Análisis de Flicker		
Fecha/hora	descripción	Fpst12	Fpst23	Fpst31
21/12/2016 20:16	Valor máximo	1.53	1.44	1.58
22/12/2016 2:36	Valor mínimo	0.06	0.10	0.00
Promedio		<b>0.24</b>	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el índice de severidad por flicker no debe superar la unidad ( $pst \leq 1$ ) en muy alta, media ni baja tensión; se considera el limite  $pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la

fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Del cuadro 87 se puede observar que los valores máximos se encuentran fuera del rango del índice de severidad en todas las fases sobrepasando la unidad que es el límite, esto indicaría que el servicio es de mala calidad respecto al flicker.

Una solución respecto a la severidad flicker es la compensación reactiva

## 9. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS.

### A. ARMÓNICOS DE TENSIÓN THD

En el cuadro 88 se muestra los valores obtenidos del total de las armónicas de voltaje distorsionadas (THDv).

*Cuadro 88: Análisis de los THD de Voltaje (%) S.E. 07.*

<b>Análisis de los THD de Voltaje (%)</b>		
<b>THDv U 12 (%)</b>	<b>THDv U 23 (%)</b>	<b>THDv U 31 (%)</b>
2.40	2.50	2.30

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 88 podemos ver que los valores obtenidos en cada fase se encuentran dentro de la norma la cual es de 5%.

En el cuadro 89 se muestra los valores obtenidos de las mediciones de las armónicas de tensión en (%), estas armónicas fueron desde la 3 hasta la 25 como se mostrara a continuación.

Cuadro 89: Análisis de Armónicos de Tensión (%) S.E. 07.

<b>Análisis de Armónicos de Tensión (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>U 12 (%)</b>	<b>U 23 (%)</b>	<b>U 31 (%)</b>	<b>NTCSE (%)</b>
<b>3</b>	0.38	0.43	0.43	<b>≤ 5.0</b>
<b>5</b>	1.06	1.24	1.14	<b>≤ 6.0</b>
<b>7</b>	0.49	0.41	0.45	<b>≤ 5.0</b>
<b>9</b>	0.17	0.17	0.15	<b>≤ 1.5</b>
<b>11</b>	0.27	0.29	0.25	<b>≤ 3.5</b>
<b>13</b>	0.16	0.15	0.14	<b>≤ 3.0</b>
<b>15</b>	0.08	0.08	0.07	<b>≤ 0.3</b>
<b>17</b>	0.09	0.09	0.10	<b>≤ 2.0</b>
<b>19</b>	0.08	0.08	0.06	<b>≤ 1.5</b>
<b>21</b>	0.08	0.08	0.07	<b>≤ 0.2</b>
<b>23</b>	0.06	0.05	0.07	<b>≤ 1.5</b>
<b>25</b>	0.02	0.04	0.03	<b>≤ 1.5</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Del cuadro 89 se puede ver que las armónicas de tensión obtenidas en la medición están dentro de la normatividad (NTCSE).

## **B. ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

Antes de realizar el estudio de armónicos de corriente, es necesario conocer la normatividad internacional, ya que en el Perú no se tiene una norma explícita de los armónicos de corriente.

La norma aplicada es la IEEE 519, en la tabla 4 ya mencionada en la S.E. 01, se detalla los valores permisibles aplicables a esta normatividad.

Para este cálculo se necesitan las características del transformador, y la demanda promedio del sistema.

V<sub>ccl</sub>: voltaje de cortocircuito de línea = 3.98

V<sub>in</sub>: voltaje de alimentación = 230 v.

Con los datos del transformador hallamos el voltaje de corto circuito mediante la expresión de la ecuación 44:

$$V_{ccl} = 9.15 \text{ V}$$

Ahora por ser delta el  $V_{ccl}$  es igual al  $V_{ccf}$ :

$$V_{ccf} = 9.15 \text{ V}$$

Luego el voltaje de cortocircuito del 3.98 % aplicada al secundario de un transformador conectado en delta, supone darle una tensión trifásica de línea de 9.15 V, y por tanto la de fase es la misma.

Enseguida hallamos la corriente nominal de Línea en función de la potencia aparente con la ecuación 47.

$$S_T : \text{Potencia Aparente} = 400 \text{ kVA.}$$

$$V_{IN} : \text{Voltaje Nominal} = 230 \text{ V.}$$

Donde:

$$I_L = 1004.09 \text{ A}$$

Ahora por ser conexión delta la corriente de fase esta denotada por la ecuación 48:

$$I_F = 579.71 \text{ A}$$

Luego de haber hallado los datos continuamos con los la ecuación 46 de la Impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$  arriba ya mencionada donde se halla que:

$$Z_{cc} = 0.01578 \Omega$$

Mediante la siguiente ecuación se calcula la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc} = 14.58 \text{ kA}$$

Luego hallamos el rango de los armónicos de corriente con la relación de la ecuación 50 ya mencionada en la parte superior.

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{14.58 \text{ kA}}{1004.09 \text{ A}} = 14.51$$

De la ecuación 50 nos da una relación de 14.51, entonces en la tabla 4 podemos ver que los valores de las armónicas de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$ , están en un rango de  $h < 11$  cuyo valor tendría que ser  $\leq 4\%$ .

En el cuadro 90 se muestra los valores representativos de las mediciones de las armónicas de corriente.

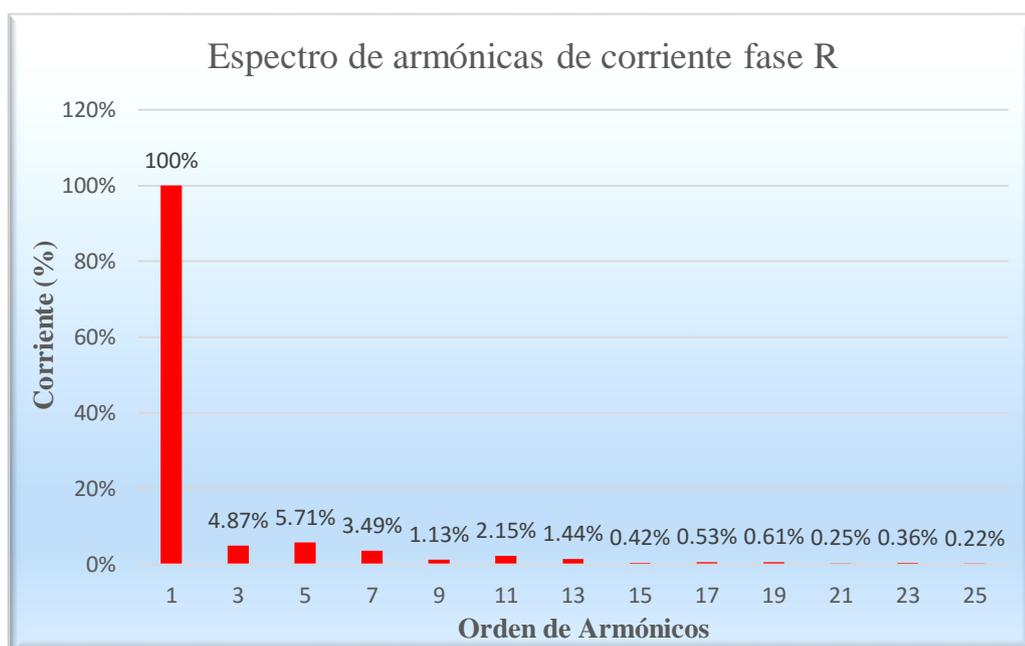
*Cuadro 90: Análisis de Armónicos de Corriente (%) S.E. 07.*

<b>Análisis de Armónicos de Corriente (%)</b>				
<b>Orden Armónico</b>	<b>I 1 (%)</b>	<b>I 2 (%)</b>	<b>I 3 (%)</b>	<b>IEEE 519 (%)</b>
<b>3</b>	4.87	4.33	4.80	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>5</b>	5.71	4.45	5.78	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>7</b>	3.49	2.50	2.97	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>9</b>	1.13	1.41	1.30	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>11</b>	2.15	1.62	2.26	<b><math>\leq 4.0</math></b>
<b>13</b>	1.44	0.88	0.83	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>15</b>	0.42	0.44	0.36	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>17</b>	0.53	0.56	0.37	<b><math>\leq 2.0</math></b>
<b>19</b>	0.61	0.68	0.31	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>21</b>	0.25	0.31	0.21	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>23</b>	0.36	0.31	0.28	<b><math>\leq 1.5</math></b>
<b>25</b>	0.22	0.29	0.21	<b><math>\leq 0.6</math></b>

*Fuente: Elaboración Propia*

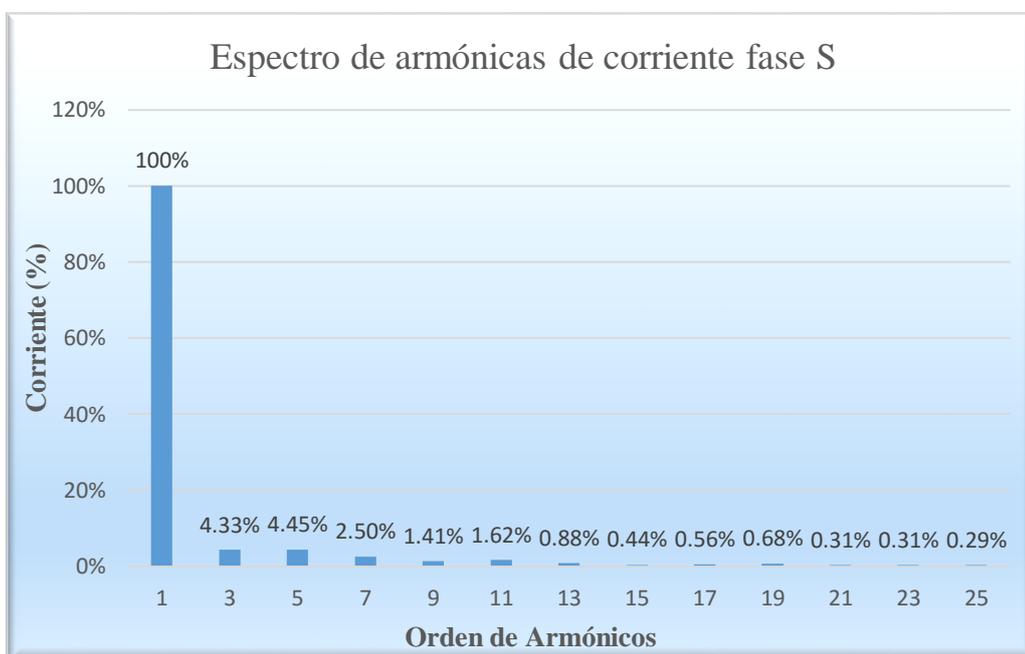
En los gráficos 90, 91 y 92 se muestra los espectros de armónicos de corriente desde la 3 hasta la 25 armónica.

Gráfico 90: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “R” S.E. 07.



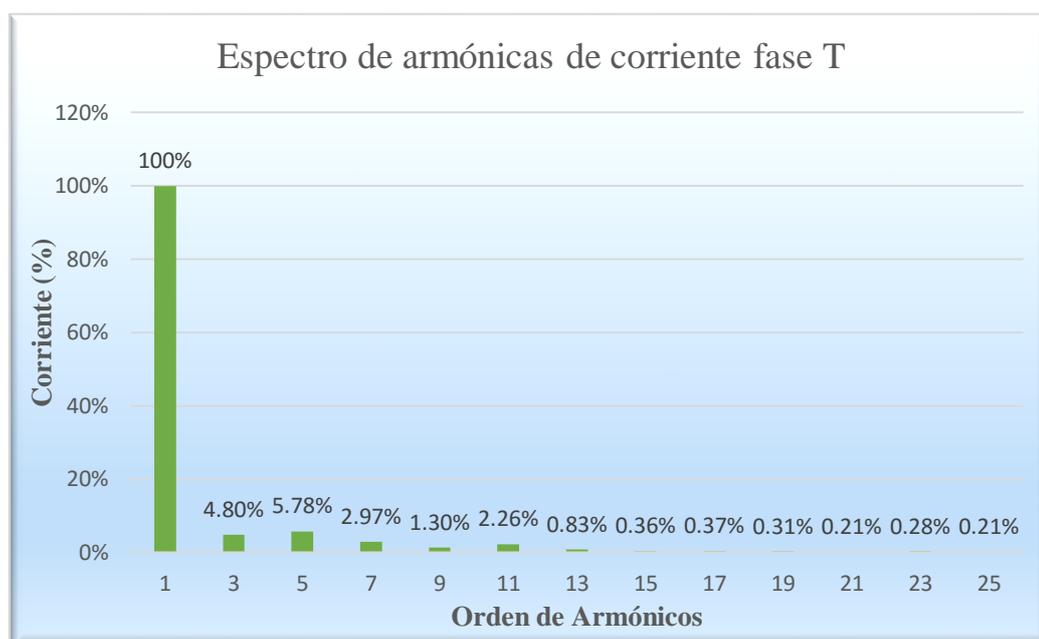
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 91: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “S” S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 92: Espectro de Armónicos de Corriente Fase “T” S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia.

De los gráficos 90, 91 y 92 se puede deducir que las armónicas de corriente que más prevalecen son la 3 y la 5, se podría mitigar el problema con filtros de armónicos que podría reducir y dar solución a problemas ocasionados por las mismas, además de solucionar problemas de energía reactiva.

**10. DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).**

En el gráfico 92 se muestra los valores obtenidos de la medición del total de la distorsión de la demanda (TDD); en el cuadro 91 se muestra los valores representativos.

En el gráfico 93 se puede observar que los valores TDD se encuentran en un rango elevado desde las 9:00 hasta las 18:00 horas, teniendo variaciones entre ese tiempo, esto a causa del uso de motores, cargas no lineales, entre otros equipos.

Gráfico 93: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 07.



Fuente: Elaboración Propia mediante el Software PowerView v2.0.

Cuadro 91: Distorsión Total de la Demanda (TDD) S.E. 07.

Medidas de tendencia	Análisis de la Distorsión Total de la Demanda TDD (%)		
	TDD I (L1)	TDD I (L2)	TDD I (L3)
descripción			
Valor máximo	8.50	9.10	10.31
Valor mínimo	0.73	0.89	1.01
Promedio	3.98	3.64	4.75

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro 91 se ve que los valores máximos están fuera del rango acorde a la norma IEEE 519, según esta norma las TDD(%) deben ser menores al 5%, se llega a este resultado utilizando la tabla 4.

### 3.6. PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS.

En este apartado determinaremos que indicador de calidad de energía eléctrica no está dentro de los niveles permisibles dentro de su respectiva norma.

### 3.6.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ACORDE A NORMA.

Es de importancia conocer las normas aplicadas a los diferentes parámetros eléctricos tales como (frecuencia, tensión, factor de potencia, flícker, niveles de armónicos, entre otros). Para llevar un control en la calidad del suministro y para así establecer las compensaciones por un mal servicio de suministro eléctrico.

En el cuadro 92 se detalla el resumen de las normas estudiadas.

*Cuadro 92: Evaluación de los Parámetros acorde a Norma.*

Aplicación	Norma	Descripción
Frecuencia	NTCSE	Las variaciones sostenidas Fk(%) en un intervalo de 15 min deben estar en un rango $\pm 6 \%$
Variación de voltaje	NTCSE	Para todos los puntos del circuito en lugares urbanos será de $\pm 5\%$
Interrupciones	NTCSE	N° de interrupciones en MT como máximo será 4 interrupciones/semestre. Duración de interrupciones en MT como máximo 7 horas/semestre.
Flícker	NTCSE	Índice de severidad flícker (Pst) para un intervalo de 10 min debe ser $\leq 1$
Factor de potencia	Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica para usuarios en MT. DGE-MEM	Si el $\cos \varphi$ es $< 0.96$ , se dice que la potencia reactiva consumida debe ser pagada. Pero si el $\cos \varphi$ es $\geq 0.96$ , la potencia reactiva no se paga.
Distorsión armónica del voltaje	NTCSE	$THD_v \leq 5\%$ en cada una de las fases.
Distorsión armónica de corriente	IEEE-519-2002	Depende del voltaje de corto circuito ( $V_{ccl}\%$ ) la relación entre $I_{sc}$ (corriente máxima de corto circuito) y $I_L$ (intensidad de línea).
Diseño de filtros de armónicos	IEEE Std 1531-2003	Utilizado para el diseño L-C, para el diseño es necesario conocer armónicos existentes en la red. Y establecer un factor de potencia deseado.
Comprobación del diseño de filtros armónicos	IEEE Std. 18-2002	$\frac{I_{total\ rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135 \%$
	IEEE Std. 1531-2003	$\frac{I_{C\ L-N\ total\ rms}}{I_{L-N\ pico\ sist}} * 100 \leq 120 \%$ $\frac{V_{C\ L-N\ total\ rms}}{V_{L-N\ rms\ sist}} * 100 \leq 110 \%$ $\frac{Q_{3\phi\ recalculada}}{Q_{eff}} * 100 \leq 135 \%$
Opciones tarifarias en MT	OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD	El usuario está en la capacidad de escoger la tarifa que mejor le convenga (MT2, MT3, MT4).
	OSINERGMIN N° 182-2009-OS/CD	

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.6.2. EVALUACIÓN POR SUBESTACIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA UNA – PUNO.**

En los cuadros siguientes se muestra los valores evaluados mediante las diferentes normas, el cual permite determinar un diagnóstico de cada uno de los parámetros eléctricos.

OJO: todos los datos mostrados a continuación en los cuadros 93, 94, 95, 96, 97 y 98 son medidas reales tomadas de la Subestaciones Eléctricas N° 01, 02, 03, 05, 06 y 07 del campus de la Universidad Nacional del Altiplano.

Cuadro 93: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 01.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 01					Diagnóstico final
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final
<b>Frecuencia</b>	60.00 Hz	0.00 %	± 0.6 %	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio
	U 12	231.68 V	0.73 %	El voltaje de salida del TM general está dentro de la NTCSE.	Satisfactorio
	U 23	230.60 V	0.26 %		
U 31	232.47 V	1.06 %			
<b>Intensidad</b>	I 12	369.42 A	Depende de la carga.	El TM general de 1600 A está diseñado para soportar dichas corrientes y también del conductor.	Satisfactorio
	I 23	311.32 A			
	I 31	228.79 A			
<b>Potencia Activa</b>	99.14 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	Se debe disminuir el consumo de la potencia reactiva.	Satisfactorio
<b>Potencia Reactiva</b>	106.34 kVAR				Evaluar
<b>Potencia Aparente</b>	149.00 kVA				Satisfactorio
<b>Factor de Potencia</b>	0.74		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 01 está a una eficiencia del 74%, debemos elevar el FP a 0.97	Insatisfactorio
<b>Energía Activa (mes)</b>	52,343.72 kW-h		Depende del consumo	Se debe disminuir el consumo de energía reactiva, ya que esta es facturada en el recibo.	Satisfactorio
	56,148.62 kVAR-h				Evaluar
	78,670.68 kVA-h				Satisfactorio
<b>Flicker (máximo)</b>	Pst 12	1.63	Promedio: 1.34	El índice de severidad por flicker está fuera de la norma, por lo cual es perjudicial para la salud.	Insatisfactorio
	Pst 23	0.94			
	Pst 31	1.44			
<b>Armónicos de Tensión</b>	THD U 12	3.10 %	Promedio: 3.03%	Todas las armónicas de tensión están dentro de la NTCSE.	Satisfactorio
	THD U 21	2.80 %			
	THD U 31	3.20 %			
<b>Armónicos de Corriente</b>	3ra armónica I1, I2, I3	Promedio: 5.14%	3ra: ≤ 4 % 5ta: ≤ 4%	Solo se encontró que la 3ra y la 5ta armónica no están dentro de la IEEE 519.	Insatisfactorio
	5.88%, 5.19%, 8.24%				
	5ta armónica I1, I2, I3				
	6.49%, 7.19%, 9.43%				
<b>Distorsión Total de la Demanda</b>	TDD I (L1)	4.34%	TDD ≤ 5%	No se encuentra dentro de la IEEE 519, la cual cambiara con la compensación reactiva.	Insatisfactorio
	TDD I (L2)	4.56%			
	TDD I (L3)	6.53%			

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 94: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 02.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 02						
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final	
Frecuencia	60.00 Hz	0.00 %	$\pm 0.6 \%$	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio	
	U 12	232.70 V	1.16 %	$\pm 5 \%$	El voltaje de salida del TM general está dentro de la NTCSE.	Satisfactorio
	U 23	230.36 V	0.16 %			
U 31	233.61 V	1.55 %				
Intensidad	I 12	237.92 A		Depende de la carga.	Satisfactorio	
	I 23	258.67 A				
	I 31	235.20 A				
Potencia Activa	88.45 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	Se debe disminuir el consumo de la potencia reactiva.	Satisfactorio	
Potencia Reactiva	61.38 kVAR		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 02 está a una eficiencia del 87%, debemos elevar el FP a 0.97	Insatisfactorio	
Potencia Aparente	111.44 kVA					
Factor de Potencia	0.87					
Energía Activa (mes)	46,362.58 kW-h		Depende del consumo	Se debe disminuir el consumo de energía reactiva, ya que esta es facturada en el recibo.	Satisfactorio	
	30,005.80 kVAR-h					
	54,234.84 kVA-h					
Flicker (máximo)	Pst 12	0.25	Promedio: 0.25	$\leq 1$	Satisfactorio	
	Pst 23	0.25				
	Pst 31	0.25				
Armónicos de Tensión	THD U 12	2.20 %	Promedio: 2.17%	THD <sub>v</sub> $\leq 5\%$	Satisfactorio	
	THD U 21	2.40 %				
	THD U 31	1.90 %				
Armónicos de Corriente	3ra armónica I2 y I3	Promedio: 5.96%	TDD $\leq 5\%$	Solo se encontró que la 3ra, la 5ta y la 7ma armónica no están dentro de la IEEE 519.	Insatisfactorio	
	4.24% y 6.15%					
	5ta armónica I1, I2, I3					
	5.17%, 7.29%, 7.48%					
Distorsión Total de la Demanda	TDD I (L1)	5.13%	TDD $\leq 5\%$	No se encuentra dentro de la IEEE 519, la cual cambiara con la compensación reactiva.	Insatisfactorio	
	TDD I (L2)	5.97%				
	TDD I (L3)	6.78%				

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 95: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 03.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 03					Diagnóstico final	
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final	
Frecuencia	59.99 Hz	0.02 %	± 0.6 %	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio	
	U 12	231.91 V	0.82 %	± 5 %	El voltaje de salida del TM general está dentro de la normativa.	Satisfactorio
	U 23	230.59 V	0.26 %			
U 31	232.15 V	0.93 %				
Intensidad	I 12	504.32 A		Depende de la carga.	El TM general de 1250 A está diseñado para soportar dichas corrientes y también del conductor.	Satisfactorio
	I 23	504.47 A				
	I 31	458.29 A				
Potencia Activa	163.42 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	Se debe disminuir el consumo de la potencia reactiva.	Satisfactorio	
Potencia Reactiva	160.25 kVAR		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 03 está a una eficiencia del 77%, debemos elevar el FP a 0.97	Insatisfactorio	
Potencia Aparente	236.11 kVA					
Factor de Potencia	0.77					
Energía Activa (mes)	82,691.18 kW-h		Depende del consumo	Se debe disminuir el consumo de energía reactiva, ya que esta es facturada en el recibo.	Satisfactorio	
	81,087.38 kVAR-h					
	119,472.32 kVA-h					
Flicker (máximo)	Pst 12	0.30	Promedio: 0.30	El índice de severidad por flicker está dentro de la NTCSE, por lo cual no es perjudicial para la salud.	Satisfactorio	
	Pst 23	0.30				
	Pst 31	0.30				
Armónicos de Tensión	THD U 12	2.40 %	Promedio: 2.5%	THD <sub>v</sub> ≤ 5%	Satisfactorio	
	THD U 21	2.00 %				
	THD U 31	3.10 %				
Armónicos de Corriente	3ra armónica I1	4.58%	Promedio: 3.73%	Solo se encontró que la 3ra, la 5ta y la 7ma armónica no están dentro de la IEEE 519.	Insatisfactorio	
	5ta armónica I1, I2, I3	4.13%, 4.41%, 4.29%				
	TDD I (L1)	3.92%				
Distorsión Total de la Demanda	TDD I (L2)	3.71%	TDD ≤ 5%	Se encuentra dentro de la IEEE 519, la cual bajara más con la compensación reactiva.	Satisfactorio	
	TDD I (L3)	3.56%				

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 96: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 05.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 05						
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final	
Frecuencia	60.00 Hz	0.00 %	$\pm 0.6 \%$	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio	
	U 12	232.40 V	1.03 %	$\pm 5 \%$	El voltaje de salida del TM general está dentro de la normativa.	Satisfactorio
	U 23	231.11V	0.48 %			
U 31	232.41 V	1.04 %				
Intensidad	I 12	236.53 A		Depende de la carga.	Satisfactorio	
	I 23	187.92 A				
	I 31	198.68 A				
Potencia Activa	75.12 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	Se debe disminuir el consumo de la potencia reactiva.	Satisfactorio	
Potencia Reactiva	52.42 kVAR		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 05 está a una eficiencia del 83%, debemos elevar el FP a 0.97	Insatisfactorio	
Potencia Aparente	94.13 kVA					
Factor de Potencia	0.83					
Energía Activa (mes)	39,663.58 kW-h		Depende del consumo	Se debe disminuir el consumo de energía reactiva, ya que esta es facturada en el recibo.	Satisfactorio	
	Energía Reactiva (mes)					27,647.40 kVAR-h
	Energía Aparente (mes)					49,701.96 kVA-h
Flicker (máximo)	Pst 12	0.26	Promedio: 0.26	$\leq 1$	Satisfactorio	
	Pst 23	0.24				
	Pst 31	0.27				
Armónicos de Tensión	THD U 12	3.20 %	Promedio: 2.73%	$\text{THD}_v \leq 5\%$	Satisfactorio	
	THD U 21	3.00 %				
	THD U 31	2.00 %				
Armónicos de Corriente	3ra armónica I2 y I3		Promedio: 4.39%	Solo se encontró que la 3ra, la 5ta y la 13va armónica no están dentro de la IEEEE 519.	Insatisfactorio	
	5.33%, 4.54%					
	5ta armónica I1, I2, I3					
	4.36%, 8.48%, 5.78%					
Distorsión Total de la Demanda	TDD I (L1)	3.81%		$\text{TDD} \leq 5\%$	Satisfactorio	
	TDD I (L2)	4.60%				
	TDD I (L3)	4.77%				

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 97: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 06.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 06					Diagnóstico final
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final
Frecuencia	60.00 Hz	0.00 %	$\pm 0.6 \%$	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio
	U 12	232.93 V	1.26 %	El voltaje de salida del TM general está dentro de la normativa.	Satisfactorio
	U 23	231.49 V	0.64 %		
U 31	232.32 V	1.00 %			
Intensidad	I 12	319.69 A		Depende de la carga.	Satisfactorio
	I 23	258.72 A			
	I 31	247.31 A			
Potencia Activa	101.33 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	El consumo de la potencia reactiva está en un rango considerable por la carga capacitiva que género.	Satisfactorio
Potencia Reactiva	4.55 kVAR		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 06 está a una eficiencia del 0.96%, la cual es eficiente.	Satisfactorio
Potencia Aparente	107.68 kVA				Satisfactorio
Factor de Potencia	0.96				Satisfactorio
Energía Activa (mes)	53,503.34 kW-h		Depende del consumo	El consumo de energía reactiva es bajo, el cual es considerable.	Satisfactorio
	Energía Reactiva (mes)	923.34 kVAR-h			Satisfactorio
	Energía Aparente (mes)	56,854.16 kVA-h			Satisfactorio
Flicker (máximo)	Pst 12	0.43	Promedio: 0.42	El índice de severidad por flicker está dentro de la NTCSE, por lo cual no es perjudicial para la salud.	Satisfactorio
	Pst 23	0.40			
	Pst 31	0.43			
Armónicos de Tensión	THD U 12	2.40 %	Promedio: 2.47%	THD <sub>v</sub> ≤ 5%	Satisfactorio
	THD U 21	2.50 %			
	THD U 31	2.50 %			
Armónicos de Corriente	3ra armónica I1 y I2	Promedio: 8.25%	TDD ≤ 5%	Solo se encontró que la 3ra, la 5ta y la 7ma armónica no están dentro de la IEEEE 519.	Insatisfactorio
	6.09% y 7.20%				
	5ta armónica I1, I2, I3				
	8.36%, 8.04%, 7.39%				
Distorsión Total de la Demanda	TDD I (L1)	8.45%	TDD ≤ 5%	No se encuentra dentro de la IEEEE 519, la cual cambiara con una posible instalación de filtros.	Insatisfactorio
	TDD I (L2)	9.41%			
	TDD I (L3)	6.89%			

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 98: Diagnóstico de los Parámetros Eléctricos de la S.E. N° 07.

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 07						
Parámetro Evaluado	Dato medido Promedio diario	Rango y/o promedio	Rango normativo aceptable	observaciones	Diagnóstico final	
Frecuencia	60.00 Hz	0.00 %	$\pm 0.6 \%$	Esta dentro de la NTCSE	Satisfactorio	
	U 12	232.21 V	0.95 %	$\pm 5 \%$	El voltaje de salida del TM general está dentro de la normativa.	Satisfactorio
	U 23	230.20 V	0.09 %			
U 31	231.92 V	0.83 %				
Intensidad	I 12	369.60 A		Depende de la carga.	Satisfactorio	
	I 23	362.33 A				
	I 31	379.89 A				
Potencia Activa	131.41 kW		Depende del consumo y la eficiencia del sistema eléctrico.	El transformador trabaja en un estado capacitivo, por la cual no existe potencia reactiva.	Satisfactorio	
Potencia Reactiva (cap <sup>+</sup> )	59.35 kVAR		Para una optimización: $\cos \phi \geq 0.96$	La SE 07 está a una eficiencia del 91%, en sentido capacitivo.	Satisfactorio	
Potencia Aparente	145.20 kVA		Depende del consumo	El consumo de energía reactiva, es nula ya que se tiene energía reactiva capacitiva.	Satisfactorio	
Factor de Potencia	(cap <sup>+</sup> ) 0.91			El índice de severidad por flicker está dentro de la NTCSE, por lo cual no es perjudicial para la salud.	Satisfactorio	
Energía Activa (mes)	69,385.58 kW-h			Todas las armónicas de tensión están dentro de la NTCSE.	Satisfactorio	
Energía Reactiva (mes)	0.00 kVAR-h					
Energía Aparente (mes)	76,663.40 kVA-h					
Flicker (máximo)	Pst 12	0.24	Promedio: 0.24	$\leq 1$	Satisfactorio	
	Pst 23	0.24				
	Pst 31	0.24				
Armónicos de Tensión	THD U 12	2.40 %	Promedio: 2.40%	THD <sub>v</sub> $\leq 5\%$	Satisfactorio	
	THD U 21	2.50 %				
	THD U 31	2.30 %				
Armónicos de Corriente	3ra armónica L1, L2, L3			3ra: $\leq 4 \%$ 5ta: $\leq 4\%$	Insatisfactorio	
	4.87%, 4.33%, 4.80%					
	5ta armónica L1, L2, L3					
	5.71%, 4.45%, 5.78%					
Distorsión Total de la Demanda	TDD I (L1)	3.98%	Promedio: 4.12%	TDD $\leq 5\%$	Satisfactorio	
	TDD I (L2)	3.64%				
	TDD I (L3)	4.75%				

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.7. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO.

#### 3.7.1. TENDENCIA DE CONSUMO DE ENERGÍA.

Los datos que se muestran a continuación, son los proporcionados por la empresa concesionaria Electro Puno S.A.A., (Anexo 1) y el cuadro 99, se muestra la cuenta corriente con los siguientes resultados.

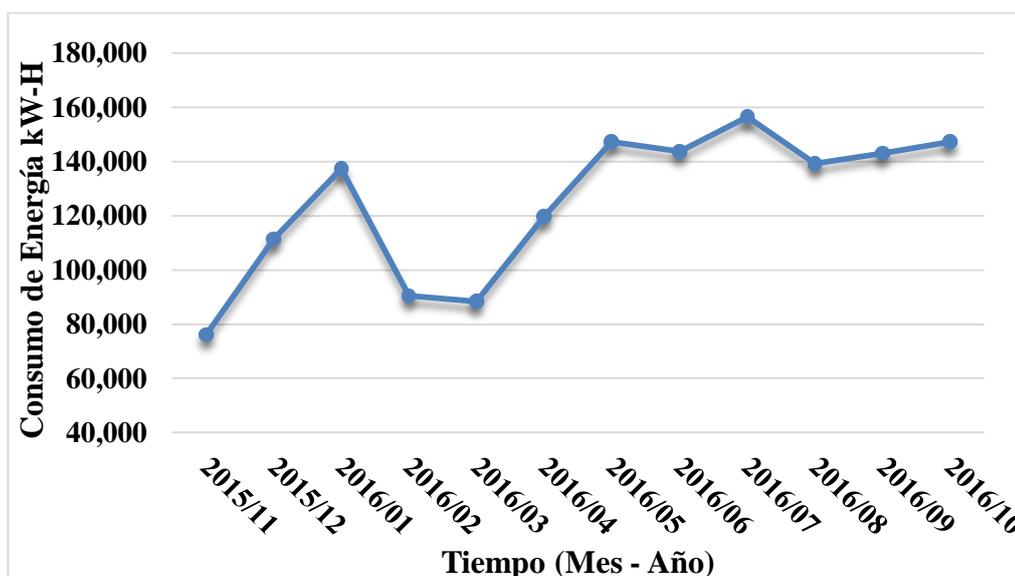
*Cuadro 99: Tendencia de Consumo de Energía.*

MES	Energía Activa Total (kW-H)	Energía Activa en Horas Punta (kW-H)	Energía Activa en Horas Fuera de Punta (kW-H)	Energía Reactiva (kVAR)	Energía Reactiva (kVAR) (S/.)	Monto Facturado Total (S/.)	Factor de Potencia (Cosφ)
2015/11	76,219.65	15,407.55	60,812.10	43,904.70	1,930.24	73,908.20	0.87
2015/12	111,534.30	18,134.55	93,399.75	68,447.70	1,504.46	52,346.60	0.85
2016/01	137,440.80	23,179.50	114,261.30	84,673.35	1,898.38	61,300.65	0.85
2016/02	90,536.40	18,134.55	72,401.85	49,222.35	966.29	44,945.30	0.88
2016/03	88,491.15	15,271.20	73,219.95	50,449.50	1,075.60	45,010.20	0.87
2016/04	119,715.30	20,861.55	98,853.75	69,947.55	1,473.63	52,394.45	0.86
2016/05	147,258.00	24,543.00	122,715.00	82,355.40	1,630.20	61,057.55	0.87
2016/06	143,712.90	24,815.70	118,897.20	81,537.30	1,640.68	61,326.15	0.87
2016/07	156,393.45	25,633.80	130,759.65	87,945.75	1,751.88	66,338.40	0.87
2016/08	139,295.16	24,024.87	115,270.29	76,246.92	1,471.37	63,600.85	0.88
2016/09	142,933.66	23,852.80	119,080.86	75,467.82	1,391.50	61,927.90	0.89
2016/10	147,255.82	24,891.65	122,364.17	76,439.86	1,400.22	65,623.40	0.89

*Fuente: Recibos Facturados Electro Puno S.A.A.*

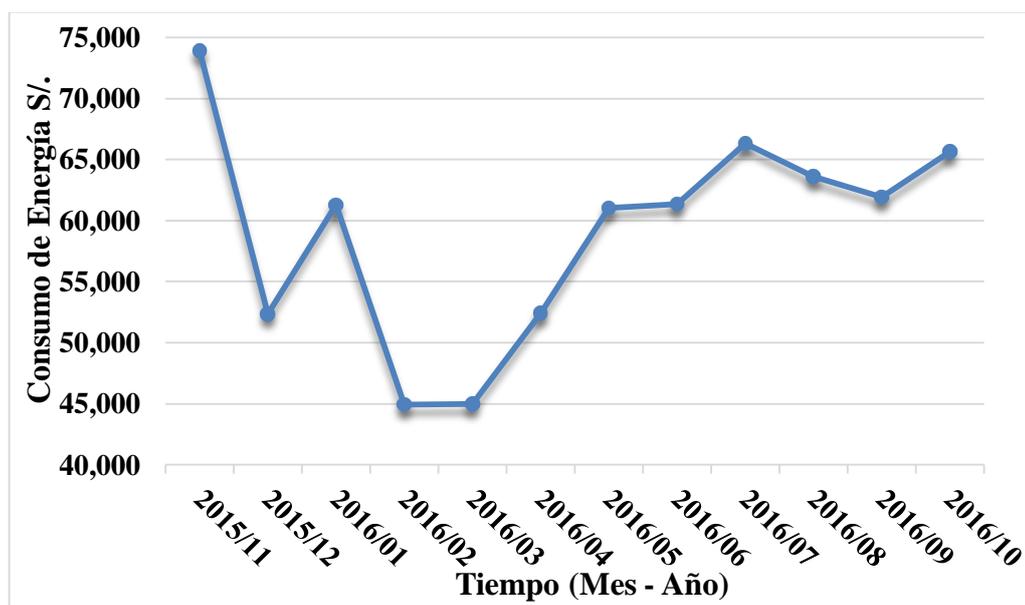
En los gráficos 94, 95, 96 y 97 se tiene la tendencia del consumo de energía del campus de la UNA – PUNO. En el cuadro 99, se muestra los valores representativos del consumo de energía.

Gráfico 94: Tendencia del Consumo de Energía (kW-H).



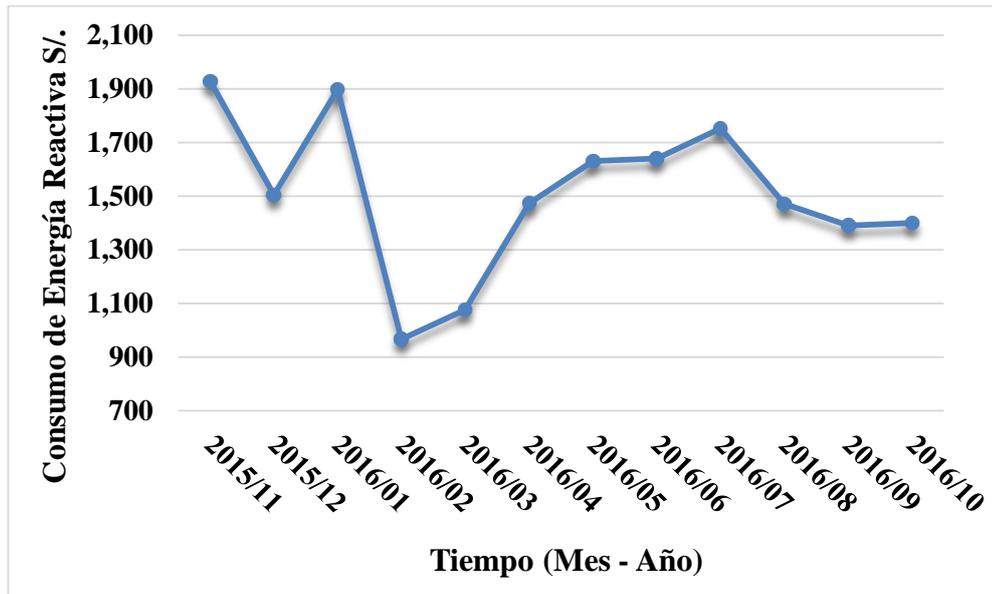
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 95: Tendencia del Consumo de Energía (S/.).



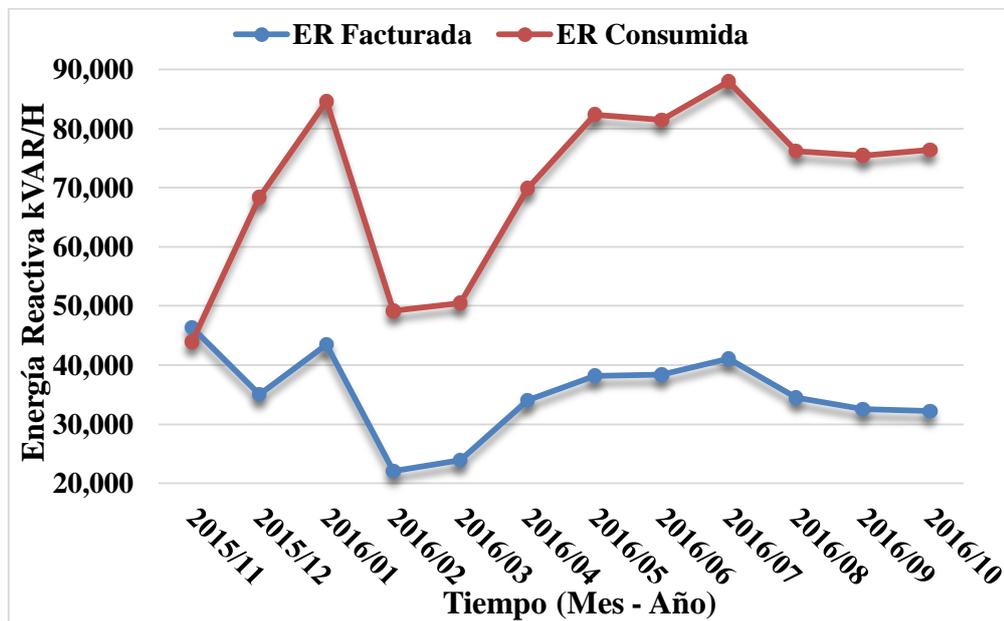
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 96: Tendencia del Consumo de Energía Reactiva (S/.).



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 97: Tendencia del Consumo de Energía Reactiva Facturada y Consumida (kVARH).



Fuente: Elaboración Propia.

Si el consumo de energía reactiva excede el 30% de la energía activa total mensual, la facturación se efectuará sobre el exceso de la energía reactiva, por lo cual en el cuadro 99, la energía reactiva supera el 30% y es motivo por el cual se factura y se paga

el monto excedente, ya sea en horas punta (HP) o bien en horas fuera de punta (HFP), en el gráfico 97 se muestra la energía reactiva consumida y facturada y se puede observar la diferencia del 30%.

*Cuadro 100: Valores Representativos del Consumo de Energía Anual.*

Valores de tendencia	Energía Activa Total (kW-H)	Energía Activa en Horas Punta (kW-H)	Energía Activa en Horas Fuera de Punta (kW-H)	Energía Reactiva (kVAR)	Energía Reactiva (kVAR) (S/.)	VALOR COSTO S/.
<b>Valores Máximos</b>	156,393.45	25,633.80	130,759.65	46,399.91	1,930.24	73,908.20
<b>Valores Mínimos</b>	76,219.65	13,635.00	60,812.10	22,061.43	966.29	44,945.30
<b>∑ Total Anual</b>	1'500,786.59	258,750.72	1'242,035.87	846,638.20	18,134.45	709,779.65
<b>Promedio Tot. Anual</b>	125,065.55	20,624.51	102,168.73	35,367.15	1,511.20	59,148.30

*Fuente: Elaboración Propia.*

En el cuadro 100 se puede apreciar que el consumo de energía activa total, en un promedio de 12 meses (un año) es de 125,065.55 kW-H, lo cual representaría en costo S/. 59,148.30, la energía activa en horas punta y horas fuera de punta (kW-H) se multiplican por factores, por los cuales también se paga y se factura conjuntamente con la energía consumida.

En el gráfico 95 de consumo de energía, vemos que la tendencia es de una subida ligera, donde los valores máximos alcanzados son en los meses de noviembre, Julio y octubre.

En el gráfico 96 se puede apreciar las tendencias de consumo en soles en un año, variando los montos desde S/. 1,500.00 hasta S/. 2,000.00 por mes facturado.

En el gráfico 97 se aprecia la tendencia de energía reactiva facturada y consumida.

Cuadro 101: Valores Representativos del Precio Unitario de Energía.

<b>PRECIO UNITARIO DE ENERGÍA EN SOLES (S/.)</b>		
<b>CONCEPTO</b>	<b>PROMEDIO UN AÑO</b>	<b>UNIDADES</b>
ENERGÍA ACTIVA	0.1939	Soles/kW.H
ENERGÍA REACTIVA	0.0428	Soles/kVARH
POTENCIA POR DISTRIBUIDORA	19.7975	Soles/kW
POTENCIA POR GENERADORA	24.5650	Soles/kW

*Fuente: Elaboración Propia.*

En el cuadro 101, El costo promedio del precio unitario cobrado mensualmente es de S/. 44.5992, dicho monto es variable ya que se rige depende al pliego tarifario que se publica cada 1 o 4 de cada mes en el diario de más circulación regional (en nuestro caso se publica en el diario correo), dichos precios unitarios se multiplican por el consumido y el resultado es el valor facturado en soles, el cual es remitido en su recibo al cliente.

### **3.7.2. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA FACTURADO EN EL RECIBO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (noviembre 2015 – octubre 2016).**

Para determinar el análisis del factor de potencia del suministro eléctrico, se debe de contar con la información del consumo de energía activa y reactiva del mes.

En nuestro caso se nos factura por consumo de energía reactiva, por tal motivo nos indicaría que el suministro eléctrico tiene un factor de potencia menor a 0.96, ya que un valor inferior al mencionado influye en el costo de la energía reactiva.

Para poder determinar el factor de potencia facturada podremos utilizar la siguiente expresión:

EA leída mes: Energía Activa leída mes

ER leída mes: Energía Reactiva leída mes

Cos: Coseno

Tan<sup>-1</sup>: Tangente Inversa.

FP: Factor de Potencia.

$$FP = \text{Cos} \left( \tan^{-1} \left( \frac{ER \text{ leida mes}}{EA \text{ leida mes}} \right) \right) \tag{42}$$

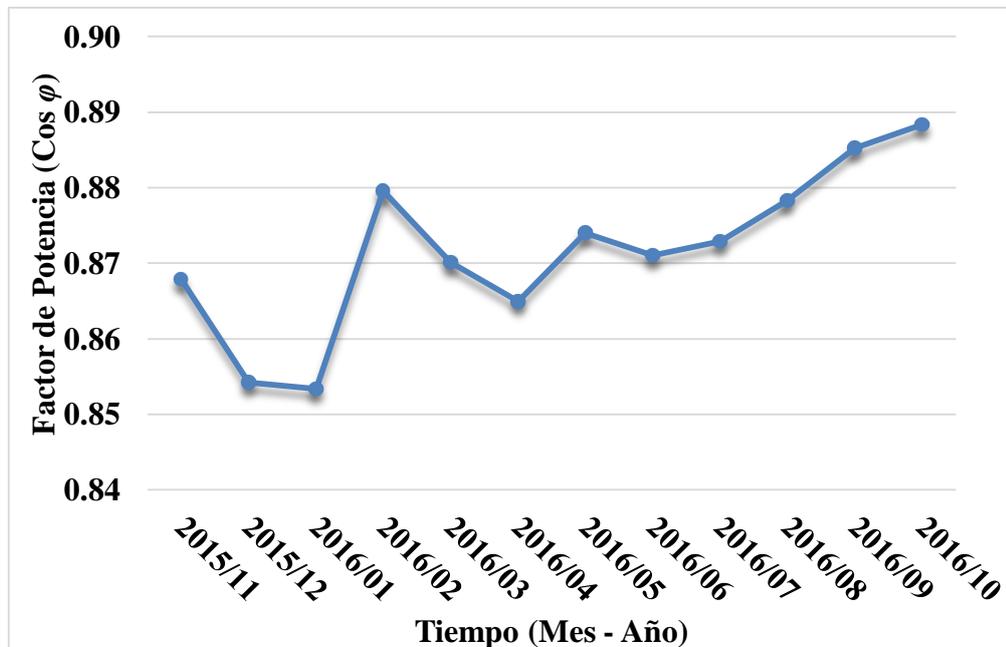
De acuerdo al guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica a usuario en media tensión, la concesionaria le factura el cargo por energía reactiva, cuando el cálculo del factor de potencia es menor a 0.96.

$$FP < 0.96$$

Para mejorar el factor de potencia, se debe instalar condensadores o filtros, con el objetivo de generar dentro de la planta la propia energía reactiva, las características de un banco de condensadores del tipo automático, este conecta o desconecta condensadores de acuerdo a la potencia reactiva requerida por la instalación.

El gráfico 98 demuestra la tendencia del factor de potencia mensual y anual.

Gráfico 98: Tendencia del Factor de Potencia (Cosφ).



Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 102: Análisis Aproximado de la Energía Consumida Total Mensual Medida.

Subestaciones Eléctricas.	Análisis de la Energía Consumida Total Mensual		
	kW-h Total	kVAR -h Total	kVA-h Total
S.E. N° 01	52,343.72	56,148.62	78,670.68
S.E. N° 02	46,362.58	30,005.80	54,234.84
S.E. N° 03	82,691.18	81,087.38	119,472.32
S.E. N° 04	----	----	----
S.E. N° 05	39,663.58	27,647.40	49,701.96
S.E. N° 06	53,503.34	923.34	56,854.16
S.E. N° 07	69,385.58	0.00	76,663.40
<b>Total Mensual</b>	343,949.98	195,812.54	435,597.36
<b>Total Anual</b>	3'439,499.80	1'958,125.40	4'355,973.60

*Fuente: Elaboración Propia.*

En el cuadro 102 se muestra el análisis del consumo de energía total aproximado de un mes, medido en las subestaciones eléctricas, este cuadro sale a partir de la medición de 24 horas, haciendo una proyección a un mes y luego a un año, como se muestra.

La parte de interés nuestro es la energía reactiva total en un mes, ya que existiría un consumo elevado y se estaría pagando, para evitar estos costos se da soluciones mediante compensación de filtros.

## CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 4.1. DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA UNA – PUNO.

*Cuadro 103: Resumen General del Suministro Eléctrico.*

<b>Resumen General del suministro eléctrico</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
1	Frecuencia.	60 Hz
2	Voltaje.	231.83 V
3	Potencia Activa.	658.87 kW
4	Potencia Reactiva.	384.94 kVAR
5	Potencia Aparente.	843.56 kVA
6	Factor de Potencia.	0.84 inductivo
7	Energía Activa.	343,949.98 kW-h
8	Energía Reactiva.	195,812.54 kWAR-h
9	Energía Aparente.	435,597.36 kVA-h
10	Flícker.	0.46 Pst
11	Armónicos de Tensión.	THDv = 2.49 %
12	Armónicos de Corriente.	3ra, 5ta y 7ma
13	Distorsión Total de la Demanda.	TDD = 5.27 %

*Fuente: Elaboración Propia.*

Del cuadro 103 se puede ver que los valores de la frecuencia, voltaje y el flicker están dentro de la NTCSE, por lo cual se puede decir que hay un buen suministro.

Del cuadro 103 se puede ver que hay un consumo elevado de la potencia reactiva, además esto conlleva al consumo de la energía reactiva, lo cual está reflejada en el recibo de consumo eléctrico. Se debe bajar el consumo de potencia reactiva.

Del cuadro 103 se puede determinar que el valor de las armónicas de tensión es de THDv 2.49% estando estas por debajo de THDv 5%. En cambio se ve la existencia de armónicas de corriente de orden 3, 5 y 7; las cuales producen recalentamiento de conductores y equipos, provocando que disminuya la vida útil de estos.

Del cuadro 103 se puede ver que la distorsión total de la demanda es 5.27% la cual está por encima del 5% acuerdo a norma. Para ello se debe implementar filtros para armónicos.

#### **4.1.1. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DISEÑO DE COMPENSACIÓN REACTIVA.**

Es necesario hacer un estudio minucioso, en este caso se debe hacer un diseño de compensación reactiva considerando la existencia de armónicos de corriente, ya que si no se toma en cuenta a los armónicos, estos pueden dañar como también deteriorar la vida útil del banco de capacitores, provocando calentamiento en estos y propagando la existencia de más armónicos de corriente. Por ello el tipo de diseño será la de filtros pasivos paralelo resonante - LC, ya que estos tienen capacitores para mejorar en factor de potencia y también la mitigación de armónicos en la red.

#### **4.2. DISEÑO DE FILTRO DE ARMÓNICOS.**

Como se pudo apreciar anteriormente en el CAP II, y del estudio realizado al diagnóstico de los parámetros eléctricos del campus de la Universidad Nacional del Altiplano en el CAP III, se pudo concluir que la deficiencia en calidad de energía es la de compensación reactiva y de armónicos de corriente especificando de orden 5° y 7°.

##### **4.2.1. DISEÑO DE FILTROS PASIVOS.**

Al realizar en análisis completo y de las condiciones y requerimientos del sistema de potencia del campus de la Universidad Nacional del altiplano y de las 6 subestaciones eléctricas operativas con las que cuenta, se ve la necesidad de utilizar filtros pasivos paralelo – resonante para los armónicos de orden 5° y 7°, en todas las subestaciones ya mencionadas.

Para elaborar un diseño más conciso se usará la guía para la aplicación y especificación de filtro de armónicos, esta Norma viene a ser la IEEE std 1531-2003<sup>20</sup> el cual nos permite realizar un diseño correcto de filtros pasivos paralelo LC– resonante.

Cuando se introduce filtros en un sistema en el cual no existe un banco de capacitores, se considera un diseño que corrija el factor de potencia bajo ( $\cos\phi \downarrow$ ), debido a la presencia de cargas no lineales. Considerando esto el diseño del banco de capacitores es de la siguiente manera:

- Cálculo de la potencia aparente:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (20)$$

- De los valores P y Q obtenemos el factor de potencia:

$$Fp = \frac{P}{S} \quad (21)$$

- La corrección del factor de potencia se debe encontrar en un rango adecuado de 0.96 a 1 (los valores fuera de este rango causan penalizaciones por parte de la empresa distribuidora), calcularemos la Potencia reactiva del banco del filtro:

$$Q_{eff} = P * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (51)$$

De donde:

$\phi$  = ángulo del factor de potencia actual

$\phi_1$  = ángulo del factor de potencia deseado

- Con la potencia reactiva efectiva se obtiene la reactancia efectiva:

<sup>20</sup> Norma IEEE 1531-2003: Guía para la aplicación y especificación de filtros de armónicos.

$$X_{eff} = \frac{V_{LL}^2}{Q_{eff}} \quad (52)$$

- Una vez identificado el armónico de corriente el cual se quiere filtrar, se considera un porcentaje menor al de la frecuencia de sintonía tal como lo sugiere la IEEE std 1531-2003, con ello evitar futuros problemas con resonancia con frecuencias cercanas por el aumento o disminución de la carga. Para este proyecto de investigación (titulación), tomaremos un valor del 3% por debajo de la frecuencia de sintonía.
- La capacitancia del filtro a frecuencia de 60Hz, se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$X_c = \frac{(h * 0.97)^2}{(h * 0.97)^2 - 1} * X_{eff} \quad (53)$$

- El capacitor:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (54)$$

- la inductancia del filtro a frecuencia de 60Hz y el inductor se obtiene de las siguientes ecuaciones:

$$X_L = \frac{X_c}{(h*0.97)^2} \quad (55)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (56)$$

El filtro debe operar de manera adecuada, por lo cual se debe tomar en cuenta las consideraciones de la norma IEEE std 18-2002<sup>21</sup> que establece límites para el correcto funcionamiento de capacitores.

- El valor eficaz de la corriente  $I_{total\ rms}$  en el filtro no debe sobrepasar el 135% de la corriente fundamental  $I_{fund}$ :

<sup>21</sup> Norma IEEE std 18-2002: Estándar para Condensadores de Potencia Shunt.

$$I_{fund} = \frac{\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{(X_C - X_L)} \quad (57)$$

Las corrientes armónicas  $I_h$  inyectadas por la carga no lineal en porcentaje de la fundamental (datos de mediciones), ayuda al cálculo de la corriente total rms mediante la siguiente ecuación:

$$I_h = \%I_{fund} \quad (58)$$

$$I_{total\ rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2} \quad (59)$$

La verificación de la norma se da mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{I_{total\ rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135 \% \quad (60)$$

El valor de voltaje pico del filtro  $V_{C-L-N\ total\ pico}$  no debe superar el 120% del voltaje pico del sistema  $V_{C-L-N\ pico\ sistema}$

$$V_{C-L-N\ total\ pico} = \sqrt{2} * (V_C + V_C(h)) \quad (61)$$

$$V_C = I_{fund} * X_C \quad (62)$$

$$V_C(h) = \sum_h^n (I(h) * \frac{X_C}{h}) \quad (63)$$

$$V_{L-N\ pico\ sist} = \sqrt{2} * \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (64)$$

La verificación de la norma se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{I_{C\ L-N\ total\ rms}}{I_{L-N\ pico\ sist}} * 100 \leq 120 \% \quad (65)$$

El valor eficaz del voltaje del filtro  $V_{C\ L-N\ total\ rms}$  no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema  $V_{L-N\ rms\ sist}$

$$V_{C L-N total rms} = \sqrt{V_c(h)^2 + \dots + V_c(n)^2} \quad (66)$$

$$V_{L-N rms sist} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (67)$$

La verificación de la norma se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{C L-N total rms}}{V_{L-N rms sist}} * 100 \leq 110 \% \quad (68)$$

El valor de la potencia reactiva recalculada no debe sobrepasar el valor de la potencia reactiva efectiva.

$$Q_{3\phi recalculada} = 3 * \frac{V_{C L-N total rms}^2}{X_C} \quad (69)$$

La verificación de la norma se realizará por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_{3\phi recalculada}}{Q_{eff}} * 100 \leq 135 \% \quad (70)$$

- El último factor a evaluar es el calentamiento del dieléctrico en el capacitor del filtro:

$$|3 * \sum_h (V(h) * I(h))| \leq 1.35 * Q_{3\phi recalculada} \quad (71)$$

Si todos los datos obtenidos están dentro de una margen sustancial, se dice que el diseño elaborado es satisfactorio.

Como el camino del espectro armónico sigue bajas impedancias y para las cuestiones de diseño no es necesario dimensionar una resistencia (R). Tomando en cuenta que la impedancia Z sigue la ecuación 71 se justifica esta consideración.

$$Z = R + j(hX_L - \frac{X_C}{h}) \quad (72)$$

A frecuencia fundamental h (orden de armónico) es igual a 1, la ecuación característica de Z ecuación 72, pero existe presencia de espectro de armónico h será:

$$h = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (73)$$

Remplazando h y R igual a cero en la ecuación 72 se tiene:

$$Z = 0 + j(X_C/X_L * X_L - X_C/\sqrt{X_C/X_L})$$

$$Z = 0 + j(\sqrt{X_C/X_L} - \sqrt{X_C * X_L}) \quad (74)$$

$$Z = 0 + j(0) = 0\Omega$$

Idealmente Z toma un valor de cero, pero en la realidad eso no sucede ya que la inductancia L cuenta con su propia  $R_L \ll Z_{sistema}$

#### 4.2.1.1. DISEÑO DE FILTRO DE LA 5<sup>ta</sup> ARMÓNICA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 01 EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN.

La carga generadora de armónicas de la Subestación Eléctrica N° 01 tiene una potencia nominal de 400 kVA, con un factor de potencia  $fp_1$  de 0.74 inductivo y potencia activa de 99.14 kW.

Cálculo del filtro de la Quinta armónica de acuerdo a la norma IEEE Std 1531-2003

El filtro será diseñado para un factor de potencia:  $FP_2 = 0.97$

Siguiendo el proceso del numeral 4.3.1, ecuaciones 51 a la 71, en base a la Norma IEEE 1531-2003 se tiene:

- potencia reactiva del banco del filtro:

$$Q_{eff} = P * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

$$Q_{eff} = 99.14 * (\tan(\cos^{-1}(0.74)) - \tan(\cos^{-1}(0.97)))$$

$$Q_{eff} = 65.26 \text{ kVAR}$$

- reactancia efectiva del filtro:

$$X_{eff} = \frac{V_{LL}^2}{Q_{eff}}$$

$$X_{eff} = \frac{230 \text{ V}^2}{65.26 \text{ KVAR}}; X_{eff} = 0.81 \text{ ohm}$$

- capacitancia del filtro a una frecuencia de 60 Hz:

$$X_c = \frac{(h * 0.97)^2}{(h * 0.97)^2 - 1} * X_{eff}$$

$$X_c = \frac{(5 * 0.97)^2}{(5 * 0.97)^2 - 1} * 0.81; X_c = 0.847 \text{ ohm}$$

- el valor del capacitor será:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 0.847}; C = 3.13 \text{ mf}$$

- inductancia del filtro a una frecuencia de 60Hz:

$$X_L = \frac{0.847}{(5 * 0.97)^2}; X_L = 0.036 \text{ ohm}$$

- el valor del inductor será:

$$L = \frac{0.036}{2\pi * 60}; L = 0.095 \text{ mHz}$$

La comprobación de los parámetros se realiza en base a las normas IEEE Std. 18-2002 e IEEE Std. 1531-2003, mediante las siguientes ecuaciones 57 a 71:

- El valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar el 135% de la corriente fundamental:

$$I_{fund} = \frac{\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{(X_C - X_L)}$$

$$I_{fund} = \frac{\frac{230 V}{\sqrt{3}}}{(0.847 \Omega - 0.0360 \Omega)} = 163.82 A$$

$$I_h = \% * I_{fund}$$

$$I_{5\%} = 7.70 = \frac{I_{5\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_5 = \frac{7.70 * 163.82}{100} = 12.62 A.$$

$$I_{7\%} = 3.75 = \frac{I_{7\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_7 = \frac{3.75 * 163.82}{100} = 6.14 A.$$

$$I_{9\%} = 1.39 = \frac{I_{9\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_9 = \frac{1.39 * 163.82}{100} = 2.27 A.$$

$$I_{11\%} = 2.76 = \frac{I_{3\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_3 = \frac{2.76 * 163.82}{100} = 4.53 A.$$

$$I_{total rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{total rms} = \sqrt{163.82^2 + 12.62^2 + 6.14^2 + 2.27^2 + 4.53^2} = 164.50 A.$$

La verificación de la norma:

$$\frac{I_{total rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135 \%$$

$$\frac{164.50 A}{163.82 A} * 100 \leq 135 \%$$

$$100.41 \leq 135 \% \quad \therefore SI CUMPLE$$

El valor de voltaje pico del filtro no debe superar el 120% del voltaje pico del sistema

$$V_C = I_{fund} * X_C$$

$$V_C = 163.82 A * 0.847 \Omega = 138.68 V$$

$$V_C(h) = \sum_h^n (I(h) * \frac{X_C}{h})$$

$$V_C(h) = V(3) + V(5) + V(7) + V(9)$$

$$V_C(h) = \left( I(5) * \frac{0.847 \Omega}{5} \right) + \left( I(7) * \frac{0.847 \Omega}{7} \right) + \left( I(9) * \frac{0.847 \Omega}{9} \right) + \left( I(11) * \frac{0.847 \Omega}{11} \right)$$

$$V_C(h) = \left( 12.62 * \frac{0.847 \Omega}{5} \right) + \left( 6.14 * \frac{0.847 \Omega}{7} \right) + \left( 2.27 * \frac{0.847 \Omega}{9} \right) + \left( 4.53 * \frac{0.847 \Omega}{11} \right)$$

$$V_C(h) = (2.14) + (0.74) + (0.21) + (0.35)$$

$$V_C(h) = 3.44 V$$

$$V_{C-L-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} * (V_C + V_C(h))$$

$$V_{C-L-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} * (138.68 + 3.44) = 200.99 V$$

$$V_{L-N \text{ pico sist}} = \sqrt{2} * \frac{230}{\sqrt{3}} = 187.79 V$$

Verificación de la norma:

$$\frac{V_{C-L-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico sist}}} * 100 \leq 120 \%$$

$$\frac{200.99 V}{187.79 V} * 100 \leq 120 \%$$

$$107.3 \leq 120 \% \quad \therefore SI \ CUMPLE$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema

$$V_{C\ L-N\ total\ rms} = \sqrt{V_c^2 + V_c(5)^2 + V_c(7)^2 + V_c(9)^2 + V_c(11)^2}$$

$$V_{C\ L-N\ total\ rms} = \sqrt{(138.68)^2 + (2.14)^2 + (0.74)^2 + (0.21)^2 + (0.35)^2}$$

$$V_{C\ L-N\ total\ rms} = 138.70\ V$$

$$V_{L-N\ rms\ sist} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132.79\ V$$

Verificación de la norma:

$$\frac{V_{C\ L-N\ total\ rms}}{V_{L-N\ rms\ sist}} * 100 \leq 110 \%$$

$$\frac{138.70\ V}{132.79\ V} * 100 \leq 110 \%$$

$$104.45 \leq 110 \% \quad \therefore SI \ CUMPLE$$

El valor de la potencia reactiva recalculada no debe sobrepasar el valor de la potencia reactiva efectiva.

$$Q_{3\phi\ recalculada} = 3 * \frac{V_{C\ L-N\ total\ rms}^2}{X_c}$$

$$Q_{3\phi\ recalculada} = 3 * \frac{138.70\ V^2}{0.847\ \Omega} = 68.18\ KVAR$$

Verificación de la norma:

$$\frac{Q_{3\phi \text{ recalculada}}}{Q_{eff}} * 100 \leq 135 \%$$

$$\frac{68.18 \text{ KVAR}}{65.26 \text{ KVAR}} * 100 \leq 135 \%$$

$$104.46 \leq 135 \% \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

- El último factor a evaluar es el calentamiento del dieléctrico en el capacitor del filtro:

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| \leq 1.35 * Q_{3\phi \text{ recalculada}}$$

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| = \left| 3 * (V(1) * I(1)) + (V(5) * I(5)) + (V(7) * I(7)) + (V(9) * I(9)) + (V(11) * I(11)) \right|$$

$$= \left| 3 * ((138.70V * 163.82A) + (2.14V * 12.62A) + (0.74V * 6.14A) + (0.21V * 2.27A) + (0.35V * 4.53A)) \right|$$

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| = 68.26 \text{ KVAR}$$

$$68.26 \text{ KVAR} \leq 1.35 * 68.18 \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

$$68.26 \text{ KVAR} \leq 92.04 \text{ KVAR} \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

El diseño del Filtro es el mostrado en la figura 28 que se muestra a continuación con los valores hallados en el procedimiento anterior.

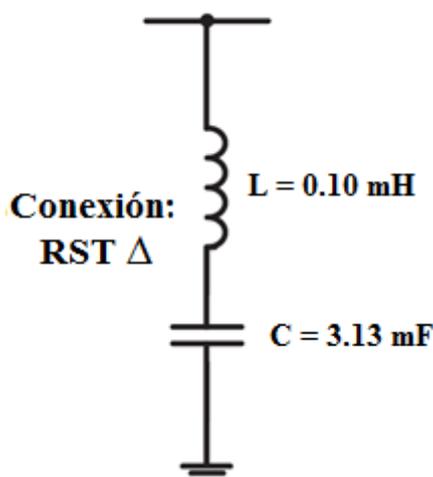
**FILTRO 5<sup>ta</sup> ARMÓNICA**

Figura 28: Diseño del filtro para la 5<sup>ta</sup> Armónica.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.1.2. DISEÑO DE FILTRO DE LA 7<sup>ma</sup> ARMÓNICA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 02 EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN.

La carga generadora de armónicas de la Subestación Eléctrica N° 02 tiene una potencia nominal de 320 kVA, con un factor de potencia  $fp_1$  de 0.87 inductivo y potencia activa de 88.45 kW

Cálculo del filtro de Séptima armónica de acuerdo a la norma IEEE Std 1531-2003

El filtro será diseñado para un factor de potencia:  $FP_2 = 0.97$

Siguiendo el proceso del numeral 4.3.1, ecuaciones 51 a la 71, en base a la Norma IEEE 1531-2003 se tiene:

- potencia reactiva del banco del filtro:

$$Q_{eff} = P * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

$$Q_{eff} = 88.45 * (\tan(\cos^{-1}(0.87)) - \tan(\cos^{-1}(0.97)))$$

$$Q_{eff} = 27.96 \text{ kVAR}$$

- reactancia efectiva del filtro:

$$X_{eff} = \frac{V_{LL}^2}{Q_{eff}}$$

$$X_{eff} = \frac{230 V^2}{27.96 KVAR}; X_{eff} = 1.89 \text{ ohm}$$

- capacitancia del filtro a una frecuencia de 60 Hz:

$$X_c = \frac{(h * 0.97)^2}{(h * 0.97)^2 - 1} * X_{eff}$$

$$X_c = \frac{(7 * 0.97)^2}{(7 * 0.97)^2 - 1} * 1.89; X_c = 1.934 \text{ ohm}$$

- el valor del capacitor será:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 1.934}; C = 1.37 \text{ mf}$$

- inductancia del filtro a una frecuencia de 60Hz:

$$X_L = \frac{1.934}{(7 * 0.97)^2}; X_L = 0.0419 \text{ ohm}$$

- el valor del inductor será:

$$L = \frac{0.0419}{2\pi * 60}; L = 0.11 \text{ mHz}$$

La comprobación de los parámetros se realiza en base a las normas IEEE Std. 18-2002 e IEEE Std. 1531-2003, mediante las siguientes ecuaciones 57 a 71:

- El valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar el 135% de la corriente fundamental:

$$I_{fund} = \frac{\frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{(X_C - X_L)}$$

$$I_{fund} = \frac{\frac{230 V}{\sqrt{3}}}{(1.934 \Omega - 0.0419 \Omega)} = 70.18 A$$

$$I_h = \% * I_{fund}$$

$$I_{5\%} = 6.83 = \frac{I_{5\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_5 = \frac{6.83 * 70.18}{100} = 4.79 A.$$

$$I_{7\%} = 4.99 = \frac{I_{7\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_7 = \frac{4.99 * 70.18}{100} = 3.50 A.$$

$$I_{9\%} = 1.48 = \frac{I_{9\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_9 = \frac{1.48 * 70.18}{100} = 1.04 A.$$

$$I_{9\%} = 2.22 = \frac{I_{11\%}}{I_{fund}} * 100 ; I_{11} = \frac{2.22 * 70.18}{100} = 1.56 A.$$

$$I_{total rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{total rms} = \sqrt{70.18^2 + 4.79^2 + 3.50^2 + 1.04^2 + 1.56^2} = 70.46 A.$$

La verificación de la norma:

$$\frac{I_{total rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135 \%$$

$$\frac{70.46 A}{70.18 A} * 100 \leq 135 \%$$

$$100.39 \leq 135 \% \quad \therefore SI CUMPLE$$

El valor de voltaje pico del filtro no debe superar el 120% del voltaje pico del sistema

$$V_C = I_{fund} * X_C$$

$$V_C = 70.18 A * 1.934 \Omega = 135.73 V$$

$$V_C(h) = \sum_h^n (I(h) * \frac{X_C}{h})$$

$$V_C(h) = V(3) + V(5) + V(7) + V(9)$$

$$V_C(h) = \left( I(5) * \frac{1.934 \Omega}{5} \right) + \left( I(7) * \frac{1.934 \Omega}{7} \right) + \left( I(9) * \frac{1.934 \Omega}{9} \right) + \left( I(11) * \frac{1.934 \Omega}{11} \right)$$

$$V_C(h) = \left( 4.79 * \frac{1.934 \Omega}{5} \right) + \left( 3.50 * \frac{1.934 \Omega}{7} \right) + \left( 1.04 * \frac{1.934 \Omega}{9} \right) + \left( 1.56 * \frac{1.934 \Omega}{11} \right)$$

$$V_C(h) = (1.85) + (0.97) + (0.22) + (0.27)$$

$$V_C(h) = 3.32 V$$

$$V_{C-L-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} * (V_C + V_C(h))$$

$$V_{C-L-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} * (135.73 + 3.32) = 196.65 V$$

$$V_{L-N \text{ pico sist}} = \sqrt{2} * \frac{230}{\sqrt{3}} = 187.79 V$$

Verificación de la norma:

$$\frac{V_{C-L-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico sist}}} * 100 \leq 120 \%$$

$$\frac{196.65 V}{187.79 V} * 100 \leq 120 \%$$

$$104.71 \leq 120 \% \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema

$$V_{C L-N \text{ total rms}} = \sqrt{V_c^2 + V_c(3)^2 + V_c(5)^2 + V_c(7)^2 + V_c(9)^2}$$

$$V_{C L-N \text{ total rms}} = \sqrt{(135.73)^2 + (1.85)^2 + (0.97)^2 + (0.22)^2 + (0.27)^2}$$

$$V_{C L-N \text{ total rms}} = 135.75 \text{ V}$$

$$V_{L-N \text{ rms sist}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132.79 \text{ V}$$

Verificación de la norma:

$$\frac{V_{C L-N \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms sist}}} * 100 \leq 110 \%$$

$$\frac{135.75 \text{ V}}{132.79 \text{ V}} * 100 \leq 110 \%$$

$$102.23 \leq 110 \% \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

El valor de la potencia reactiva recalculada no debe sobrepasar el valor de la potencia reactiva efectiva.

$$Q_{3\phi \text{ recalculada}} = 3 * \frac{V_{C L-N \text{ total rms}}^2}{X_C}$$

$$Q_{3\phi \text{ recalculada}} = 3 * \frac{135.75 \text{ V}^2}{1.934 \Omega} = 28.58 \text{ KVAR}$$

Verificación de la norma:

$$\frac{Q_{3\phi \text{ recalculada}}}{Q_{eff}} * 100 \leq 135 \%$$

$$\frac{28.58 \text{ KVAR}}{27.96 \text{ KVAR}} * 100 \leq 135 \%$$

$$102.24 \leq 135 \% \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

- El último factor a evaluar es el calentamiento del dieléctrico en el capacitor del filtro:

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| \leq 1.35 * Q_{3\phi \text{ recalculada}}$$

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| = |3 * (V(1) * I(1)) + (V(5) * I(5)) + (V(7) * I(7)) + (V(9) * I(9)) + (V(11) * I(11))|$$

$$= |3 * ((135.75V * 70.18A) + (1.85V * 4.79A) + (0.97V * 3.50A) + (0.22V * 1.04A) + (0.27V * 1.56A))|$$

$$\left| 3 * \sum_h (V(h) * I(h)) \right| = 28.62 \text{ KVAR}$$

$$28.62 \text{ KVAR} \leq 1.35 * 28.58 \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

$$28.62 \text{ KVAR} \leq 38.59 \text{ KVAR} \quad \therefore \text{SI CUMPLE}$$

El diseño del Filtro es el mostrado en la figura 29 que se muestra a continuación con los valores hallados en el procedimiento anterior.

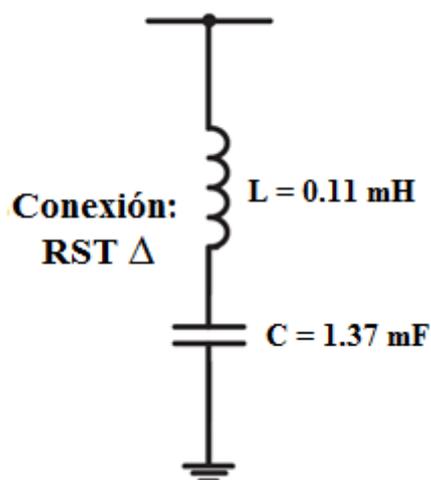
**FILTRO 7<sup>ma</sup> ARMÓNICA**

Figura 29: Diseño del Filtro para la 7<sup>ma</sup> Armónica.

Fuente: Elaboración Propia.

Los diseños mostrados para las Armónicas 5<sup>°</sup> y 7<sup>°</sup>, son los mismos para 9<sup>°</sup>, 11<sup>°</sup>, 13<sup>°</sup> o las siguientes, ya que para poder calcularlas se debe seguir los pasos mencionados, en nuestro caso se diseñó para todas las Subestaciones de la Universidad Nacional del Altiplano, dichos cálculos se mostrarán en cuadros en el Anexo 3.

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

### (ITM)

Es de importancia el diseño de la capacidad del interruptor termomagnético y de la sección del conductor, esto para garantizar un buen funcionamiento.

$$I_n = \sqrt{3} * \omega * C * U_n \quad (75)$$

Donde:

In: Intensidad nominal (Amperios)

$\omega$ : Frecuencia angular ( $2\pi f$ )

C: capacitor (faradios)

U: Voltaje (Voltios)

Una vez obtenida la corriente nominal se puede diseñar el termomagnético como se muestra en el cuadro 104 de resumen.

*Cuadro 104: Termomagnéticos.*

N° S.E.	In (Intensidad de diseño)	ITM para filtro 5ta armónica	ITM para filtro 7ta armónica	ITM para filtro 13va armónica
S.E. 01	469.5 A	500 A		
S.E. 02	201 A y 205 A	230 A	230 A	
S.E. 03	681.02 A	700 A		
S.E. 05	228 A y 237 A	230 A		250 A
S.E. 06	30 A y 31.5 A	32 A	32 A	
S.E. 07	39 A	40 A		

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Cuadro 105: características del condensador para la 5ta armónica de corriente a implementar.*

Ítem	DESCRIPCIÓN	
1	Tipo de Condensador	Condensador Tipo FMLF (LIFASA)
2	Tensiones Nominales	230/460 V
3	Potencia	74 kVAR
4	Frecuencia	50-60 Hz
5	Dieléctrico	Polipropileno
6	Resistencia Descarga	Integradas
7	Pérdidas Dieléctricas	≤ 0.2 W/kVAR
8	Pérdidas Totales	≤ 0.4 W/kVAR
9	Sobretensión Max.	1.1 Un
10	Sobrecorriente Max.	1.3 In
11	Nivel de Aislamiento	3/15 kV
12	Tolerancia de Potencia	-5/+10%

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Cuadro 106: Características de la reactancia para la 5ta armónica de corriente a implementar*

Ítem	DESCRIPCIÓN	
1	Tipo de Reactancia	Reactancia Tipo INA (LIFASA)
2	Tensión Nominal	230/ 440 V
3	Frecuencia	50 Hz – 60 Hz
4	Tensión Nominal de los Condensadores	260/460 V
5	Tipo de Filtro	Baja Sintonización
6	Frecuencia Resonancia	189 Hz (7%)
7	Tolerancia Inductancia	± 3%
8	Máxima Sobre Carga de Armónicos	0.35 In
9	Nivel de Aislamiento	4 kV
10	Conexión	PLATINA DE ALUMINIO

Fuente: catálogo LIFASA (Reactive Power Solutions), 2014.

### **4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL FILTRO DE ARMÓNICOS.**

Se sabe que todos los proyectos que se elaboran deben ser rentables económicamente (privado) o debe generar un beneficio a la comunidad (público) ahora para tener en cuenta lo beneficioso de un proyecto se debe realizar una evaluación económica del mismo.

Cabe mencionar que se va a realizar una evaluación económica asumiendo que la universidad Nacional del Altiplano lo realizará con fondos propios sin la necesidad de realizar algún tipo de préstamo.

Antes de proceder a elaborar una evaluación económica es necesario determinar lo siguiente:

- El horizonte de proyección.
- Costo de la inversión.
- Beneficios de la elaboración del proyecto.

#### **4.3.1. HORIZONTE DE PROYECCIÓN.**

El horizonte estimado en el proyecto será de 15 años. Se ha asumido este tiempo debido a que es el tiempo de vida útil que se asumen todos los componentes eléctricos de los bancos de condensadores y/o Filtros.

#### **4.3.2. COSTO DE LA INVERSIÓN.**

En el cuadro 107 se detalla el valor compensado por cada subestación.

Cuadro 107: Valores de compensación por Subestación Eléctrica.

N° de subestación	N° Filtros de armónicos LC	kVAR Compensados / Subestación	Costo Unitario / Condensador	Costo Unitario / Reactancia	Costo total S/.
SE 01	1	74 kVAR	S/. 3,597.63	S/. 3,071.2	6,668.83
SE 02	2	31 kVAR	S/. 3,693.81	S/. 3,978.60	7,672.41
SE 03	1	98 kVAR	S/. 4,232.49	S/. 3,455.10	7,687.59
SE 04	--	--	--	--	--
SE 05	2	31 kVAR	S/. 3,693.81	S/. 3,978.60	7,672.41
SE 06	2	10 kVAR	S/. 2,270.17	S/. 2,233.60	4,503.77
SE 07	1	10 kVAR	S/. 1,135.08	S/. 1,116.8	2,251.88
<b>Total, de Inversión inicial S/.</b>					<b>36,456.89</b>

Fuente: Elaboración Propia

Se asume que para este trabajo por ser calificado y por no estar dentro de las actividades del área de mantenimiento lo realizará una contratista.

#### 4.3.3. BENEFICIO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

Con la compensación reactiva se tiene una disminución de la potencia reactiva y una mejora del factor de potencia  $\cos\phi$ ; con ello se optimiza el consumo de energía siendo más eficiente. También la reducción del costo monetario del recibo de energía.

Con ello se tiene un ahorro por cada 15 años de S/. 272,016.75

En el cuadro 108 se muestra el beneficio del ahorro monetario por año:

Cuadro 108: Beneficios de la Elaboración del Proyecto.

Beneficios	Ahorro en S/. por año	Ahorro en S/. por mes
Mejora del suministro de energía eléctrica	S/. 18,134.45	S/. 1,511.20

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Una vez determinado el horizonte, el costo de inversión inicial y los beneficios se procedió a realizar una perspectiva de evaluación económica. Para ello se utilizó una tasa de interés igual al 11%. Los indicadores se muestran en el cuadro 106.

#### 4.3.4.1. PERIODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN (PR)

La fórmula que se utilizó para el cálculo de recuperó de la inversión es la siguiente:

$$PR = \frac{I_0}{BN} \quad (76)$$

Donde:

PR: periodo de recuperó de la inversión en meses

$I_0$ : inversión inicial

BN: beneficio neto generado por el proyecto en cada mes

En nuestro caso la inversión inicial vendría a ser S/. 36,456.89 y el beneficio neto generado por el proyecto en cada mes es S/. 1,511.20; el valor obtenido es el siguiente:

$$PR = 24.12 \text{ meses} \approx 2.01 \text{ años}$$

PR vendría a ser un recuperó de la inversión en 24.12 meses, equivalente a 2.01 años

Una vez evaluado el proyecto observa que el VAN es positivo, el TIR es mayor a la tasa de interés y el tiempo de retorno es de aproximadamente 2.01 años, motivo por el cual se cataloga al proyecto como factible.

#### 4.3.4.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

Como primer punto se debe escoger las variables con las que se evaluará la sensibilidad. Para este caso se ha considerado las siguientes variables: la inversión inicial y el ahorro que se tendría por mes. Ambas variables serán evaluadas para las siguientes variaciones: 0%, +5% y +10%.

#### 4.3.4.1.1. APLICACIÓN DEL VAN.

El VAN deberá ser mayor a cero. Esto quiere decir que se va a tener ganancia. En el caso que el VAN sea negativo quiere decir que no se va a tener ganancia, antes bien se va a tener pérdida

$$VAN = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+r)} + \dots + \frac{FC_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} \quad (77)$$

$n$ : Vida útil

$n - 1$ : Año de operación

$r$ : Tasa de descuento

FC: Flujo de caja

*Cuadro 109: Aplicación del VAN.*

TIPO DE INTERÉS	0%	5%	10%
VAN	S/. 235.55	S/. 151.77	S/. 101.47

*Fuente: Elaboración Propia.*

En el cuadro 109 se ve que todas las variables o tipos de intereses evaluadas nos dan un VAN positivo, El VAN también nos permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre estas opciones. Los tres serían rentables, pero escogemos el tipo de interés del 0% pues nos brinda una mayor ganancia adicional.

#### 4.3.4.1.2. APLICACIÓN DEL TIR.

El TIR deberá ser mayor a la tasa de interés con el que se ha calculado el VAN. Esto quiere decir que la realización de la inversión en el proyecto es más rentable que ahorrar en el banco la inversión inicial con una tasa de interés igual a la utilizada en el cálculo del VAN.

$$0 = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)} + \dots + \frac{FC_{n-1}}{(1+TIR)^{n-1}} \quad (78)$$

$n$ : Vida útil

$n - 1$ : Año de operación

FC: Flujo de caja

TIR: tasa interna de retorno

$$TIR = 50\%$$

Analizando la aplicación del TIR y el VAN se puede ver que el proyecto es poco sensible a los cambios, además presenta un VAN positivo y un TIR mayor a la tasa de interés.

#### 4.3.5. CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Los resultados de los indicadores se muestran en el cuadro 110.

*Cuadro 110 Evaluación Económica.*

Indicadores	Valor
VAN (miles de S/.)	235.55
TIR	50%
Tiempo de retorno (años)	2.01

*Fuente: Elaboración Propia.*

Una vez evaluado el proyecto observa que el VAN es positivo, el TIR es mayor a la tasa de interés del 11% y el tiempo de retorno es de aproximadamente 2.01 años, motivo por el cual se cataloga al proyecto como factible. Ver Anexo 5. (N. Sapag C. & R. Sapag C., 2008)

### CONCLUSIONES

**Primero:** Al realizar las pruebas de medición mediante el analizador de redes PowerQ4 Plus, se obtuvieron los resultados mostrados en el capítulo III, el cual se estudió y analizó por subestación eléctrica. Respecto a la frecuencia medida se podría decir que se encuentra correcta, sin embargo el voltaje suministrado por los transformadores dentro del campus de la UNA – PUNO se encuentra con 231.83V, el cual está en el límite del  $\pm 5\%$  permitido por la NTCSE, esto puede provocar un deterioro de los equipos, El único déficit de la medición realizada es el factor de potencia, en especial la S.E. 01, con un factor de potencia de 0.74; el mayor consumo de energía reactiva se ve reflejada en la S.E. 03 con un valor de 81,037.38 kVAR-h. Considerándose el 41.41% de consumo total de energía reactiva; la alternativa de solución para optimizar costos sería realizar una compensación con filtros, por motivos que existen también armónicos de corriente, En el siguiente cuadro se detalla las características generales medidas en las subestaciones eléctricas.

Resumen General del suministro eléctrico		
Ítem	Descripción	Valor Total
1	Frecuencia.	60 Hz
2	Voltaje.	231.83 V
3	Potencia Activa.	658.87 kW
4	Potencia Reactiva.	384.94 kVAR
5	Potencia Aparente.	843.56 kVA
6	Factor de Potencia.	0.84 inductivo
7	Energía Activa.	343,949.98 kW-h
8	Energía Reactiva.	195,812.54 kVAR-h
9	Energía Aparente.	435,597.36 kVA-h
10	Flícker.	0.46 Pst
11	Armónicos de Tensión.	THD <sub>v</sub> = 2.49 %
12	Armónicos de Corriente.	3ra, 5ta y 7ma
13	Distorsión Total de la Demanda.	TDD = 5.27 %

**Segundo:** Se podría indicar que la Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad de Puno Sociedad Anónima Abierta (Electro Puno S.A.A.), brinda un buen servicio, respecto a frecuencia y voltaje, ya que cumple con los parámetros mencionados por la NTCSE.

<b>Análisis General de datos Obtenidos de S.E. UNA - PUNO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Según NTCSE</b>
Frecuencia.	60 Hz	± 0.6% hasta 1 Hz intempestivos.
Voltaje.	231.83 V	± 5% del Voltaje Nominal.

**Tercero:** Al estudiar los armónicos de tensión y/o corriente (espectro de armónicos), se pudo observar que los armónicos de tensión tienen un THDv de 2.49% por debajo del 5% de acuerdo a la NTCSE. Sin embargo se detalla la existencia de armónicas de corriente de orden 3°, 5° y 7° con una distorsión total de la demanda TDD de 5.27%, este dato está por encima del rango permitido de acuerdo a la norma IEE 519-2002. Estos armónicos producen recalentamiento en las máquinas y transformadores tal es el caso de la S.E. 03, la cual también esta sobrecargada. Se diseñó filtros acorde al estudio de presencia de armónicos del tipo Filtros Pasivos - LC resonante acorde a la norma IEE Std. 1531-2003. También se elaboró un estudio económico involucrando gastos de consumo de energía reactiva con una inversión de S/. 36,456.89 con un horizonte de 15 años y un tiempo de recupero de 2.01 años.

## SUGERENCIAS.

**Primero:** Se recomienda que a futuro se realicen estudios más complejos y precisos considerando las cargas del centro de convenciones (edificio universitario de 15 pisos) y del estadio Universitario, evaluando las cargas y haciendo un diagnóstico más completo.

**Segundo:** Se sugiere hacer mantenimientos correctivo, predictivo y preventivo de las subestaciones eléctricas, ya que desde el año 2013 fecha en que entraron en operación, no se hizo ningún tipo de mantenimiento hasta la fecha, esto con el fin de evitar fallas en las subestaciones y redes eléctricas al interior de la Universidad Nacional del Altiplano.

**Tercero:** Se sugiere que el voltaje nominal de los transformadores funcione a 220v, y no como se está utilizando en la actualidad 230v, ya que la NTCSE indica los rangos  $\pm 5\%$  son para tensión nominal de 220v, que sería desde 209v hasta 231v como máximo, esto con motivos de que los equipos, máquinas u otros no se deterioren en corto tiempo.

**Cuarto:** Se sugiere que las autoridades universitarias tomen en cuenta este proyecto de tesis como muestra sobre la energía reactiva que se consume y la propagación de armónicos de corriente con las que cuenta las Subestaciones Eléctricas, esto con el fin de hacer un proyecto para la compensación en base a filtros de armónicos la cual cumple la tarea de hacer compensación reactiva, y así poder evitar costos por dicho compensador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asea Brown Boveri S.A. (29 de 09 de 2011). *Corrección del Factor de Potencia y Filtrado de Armónicos en las Instalaciones Eléctricas*:  
<http://www.abb.com/abblibrary/DownloadCenter/default.aspx?CategoryID=9AAC124466&View=Result&DocumentKind=Technical+publication&SortBy=Title&ExpandAllResults=True>
- Collantes Veliz, R. S. (2010). *Análisis de Mejora de la Confiabilidad de los Sistemas de Distribución Eléctrica de Alta Densidad de Carga, Trabajo de Grado, Ingeniería Mecánica Eléctrica*, Lima-Perú.
- Coyla Apaza, F. B., & Coacalla Larico, W. (2014). *Optimización del Balance Energético del Hospital III ESSALUD - PUNO*. Trabajo de Grado, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Puno.
- De la Fuente Rojo, C., & Garcia Asensio, S. (2004). *Electrotecnia*. Madrid - España: International Thomson Editores Spain (4ta Edición).
- Dirección General de Electricidad. (2011). *Guía de Orientación para la Selección de la Tarifa Eléctrica para Usuarios en Media Tensión*. Lima.
- Enriquez Harper, G. (1999). *El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Fiestas Farfan, B. (2011). *Ahorro Energetico en el Sistema Eléctrico de la Universidad de Piura - Campus Piura, Trabajo de Maestría, Ingeniería Mecánica Eléctrica Piura*.
- Gutierrez Torres, J. L. (2014). <http://datateca.unad.edu.co/>. Obtenido de Electronica Básica:  
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/243006/Contenidos/Circuitos\\_con\\_diodos/index.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/243006/Contenidos/Circuitos_con_diodos/index.html)
- IEEE - 519. (1992). *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electronicos*. Obtenido de [http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/352/Control\\_de\\_Armonicos\\_IEEE\\_519-1992\\_en\\_Espa%C3%B1ol.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/352/Control_de_Armonicos_IEEE_519-1992_en_Espa%C3%B1ol.pdf)
- IEEE - Power System Engineering Committee. (1992). *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System Analysis*.
- IEEE Power Engineering Society. (2003). *Std 1531. Guide for Application and Specification of Filters*.
- Gomezcoello, M. H., & Gomezcoello, D. (2010). *Análisis de la Calidad de Energía Eléctrica en el Nuevo Campus de la Universidad Politecnica Salesiana, Trabajo de Grado, Ingeniería Eléctrica*, Guayaquil – Ecuador.

- MEM. Dirección General de Electricidad D.S. N° 020- 97-EM. (1997). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos D.S. N° 020- 97-EM*. Lima.
- METREL. (2011). *PowerQ4 y Power Q4 Plus MI 2592 Y MI 2792 Manual de Funcionamiento*. Eslovenia: Metrel.
- Ministerio de Energía y Minas. (Enero de 2011). *www.minem.gob.pe*. Obtenido de [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe): <http://docplayer.es/2609788-Guia-de-orientacion-para-la-seleccion-de-la-tarifa-elctrica-para-usuarios-en-media-tension.html>
- N. Sapag Chain, N., & R. Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos "5ta Edición"*. MC Graw-Hill.
- Navarro Mendez, G. V. (2013). *Análisis de Armónicos en las Unidades de Generación de las Centrales HidroEléctricas Illuchi 1 e Illuchi 2 de Elepco S.A., Trabajo de Grado, Ingeniería Eléctrica, Quito – Ecuador*.
- OSINERGMIN N° 206-2013-OS/CD. (2013). *Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final*. Lima.
- Rela, A. (2010). *Electricidad y electronica*. Buenos Aires Argentina: Anselmo L. Morvillo S.A.
- Representaciones Eléctricas Aguilar S.A. (2008). *Distorsión Armónica*. Obtenido de REASA POWER QUALITY: <http://www.reasa.com.mx/pdf/FTREA00410-Distorsion-amonica.pdf>
- RTR Energia. (2012). *Los Armónicos y la Calidad de Energía Eléctrica*. Obtenido de [http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos\\_2012.pdf](http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf)
- Sanchez, B. (2004). Armónicos en Instalaciones Eléctricas (Utilización) . 25.
- Santana Chiriboga, J. D., & Zambrano Orellana, J. (2013). *Estudio y Análisis de la Calidad de Energía del Cuarto Eléctrico Servicios Generales Holcim Planta Guayaquil*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- Sauce Martinez, D. A., & Taxis Villagran, J. L. (2008). *Factores que Afectan la Calidad de Energía y su Solución*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Sauce Martinez, D. A., & Taxis Villagran, J. L. (2008). *Factores que Afectan la Calidad de la Energía y su Solución*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
- Senamhi. (12 de 2016). *Senamhi Dirección Zonal Puno*. Obtenido de Senamhi Dirección Zonal Puno: <http://puno.senamhi.gob.pe/web/hb.php?p=2034>
- Serra, J. (2009). *Guía Técnica de Eficiencia Energética Eléctrica*. España: CIRCUTOR S.A.

- Ticona Perez, J. W., & Pacohuanaco Maquera, U. (2011). *Análisis de Armónicos en sistemas Eléctricos de la Región Puno - Ananea - Rinconada 22.9 kV*. Trabajo de Grado, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Puno.
- Transmisiones Eléctricas . (10 de Julio de 2015). *Transmisiones Eléctricas* . Obtenido de Transmisiones Eléctricas :  
<https://transmisionelectrica.wordpress.com/2015/07/10/armonicos-en-sistemas-de-distribucion-electrica/>
- U-Cursos. (2013). <https://www.u-cursos.cl/ingeniería>. Obtenido de <https://www.u-cursos.cl/ingeniería>: [https://www.u-cursos.cl/ingeniería/2011/2/EL5203/1/material\\_docente/bajar?id](https://www.u-cursos.cl/ingeniería/2011/2/EL5203/1/material_docente/bajar?id)
- Zapata Azarcoya, M. A. (2003). *Filtro Activo Serie Híbrido Operando como Compensado de Perturbaciones de Tensión o de Corriente*. Cuernavaca, Morelos Mexico: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Zapata Oyarzun, Y. C. (2010). *Análisis Electronico de las Soluciones que Existen en Calidad de Energía Eléctrica y Eficiencia Energetica, Trabajo de Grado*, Valdivia - Chile.

**ANEXOS:**

Anexo 1: Factura de Consumo de Energía Eléctrica

**RECIBO N° 27 - 37342**

Para Consultas su número de Cliente es

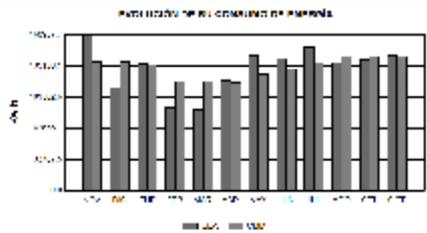
**001-0063673**

MES FACTURADO:	<b>Octubre-2016</b>
TOTAL:	<b>65,623.40</b>
VENCIMIENTO:	<b>17 nov 2016</b>
EMISIÓN:	<b>01 nov 2016</b>

<b>NOMBRE</b> UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	<b>MEDIDORES DE ENERGIA</b>	<b>FECHAS DE LECTURA</b>
<b>DIRECCION PREDIO</b> AV. SESQUICENTENARIO SN	<b>SISTEMA</b> TRIFASICO	<b>ANTERIOR</b> 28/09/2016
<b>DIRECCION ENTREGA</b> AV. EJERCITO N° 329	<b>MEDICION EN:</b> Aerea	<b>ACTUAL</b> 28/10/2016
<b>R.U.C.</b> 20145496170 <b>SUMINISTRO</b> 001-0063673 <b>ruta 4-11-13-02-101152</b>	<b>MEDIDOR</b> 02799508	<b>LECTURA</b> LECTURA CORRECTA
<b>LOCALIDAD</b> PUNO <b>PROVINCIA</b> PUNO	<b>CONEXION</b> CS.2	
<b>TARIFA</b> MT4 <b>POTENCIA CONTRATADA (Kw)</b> 250.00 <b>NIVEL DE TENSION (V)</b> 10 Kv		

CONCEPTO	ANTERIOR	ACTUAL	DIFERENCIA	FACTOR	CONSUMO	CONSUMOS A CUENTA	FACTURADO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL S/
ENERGIA	992.689	1,100.687	107.998	1,363.500	147,255.27	0.55	147,255.82	KW.h	0.1967	28,955.2
ENERGIA REACTIVA	564.869	620.930	56.062	1,363.500	76,440.54		32,263.11	kvarh	0.0434	1,400.22
POTENCIA POR GENERADORA		0.371		1,363.500	516.70		516.70	KW	19.9400	10,303.0
POTENCIA POR GENERADORA		0.371		1,363.500	506.27		506.27	KW	22.5400	11,421.4

SU CONSUMO PROMEDIO DIARIO FUE: S/ 1,736.33



FECHA	CONSUMO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
01/10/2016	100.00	0.1967	19.67
02/10/2016	100.00	0.1967	19.67
03/10/2016	100.00	0.1967	19.67
04/10/2016	100.00	0.1967	19.67
05/10/2016	100.00	0.1967	19.67
06/10/2016	100.00	0.1967	19.67
07/10/2016	100.00	0.1967	19.67
08/10/2016	100.00	0.1967	19.67
09/10/2016	100.00	0.1967	19.67
10/10/2016	100.00	0.1967	19.67
11/10/2016	100.00	0.1967	19.67
12/10/2016	100.00	0.1967	19.67
13/10/2016	100.00	0.1967	19.67
14/10/2016	100.00	0.1967	19.67
15/10/2016	100.00	0.1967	19.67
16/10/2016	100.00	0.1967	19.67
17/10/2016	100.00	0.1967	19.67
18/10/2016	100.00	0.1967	19.67
19/10/2016	100.00	0.1967	19.67
20/10/2016	100.00	0.1967	19.67
21/10/2016	100.00	0.1967	19.67
22/10/2016	100.00	0.1967	19.67
23/10/2016	100.00	0.1967	19.67
24/10/2016	100.00	0.1967	19.67
25/10/2016	100.00	0.1967	19.67
26/10/2016	100.00	0.1967	19.67
27/10/2016	100.00	0.1967	19.67
28/10/2016	100.00	0.1967	19.67
29/10/2016	100.00	0.1967	19.67
30/10/2016	100.00	0.1967	19.67
31/10/2016	100.00	0.1967	19.67

**TOTAL ENERGIA** 52,089.89

ALUMBRADO PUBLICO	1,410.00
CARGO FIJO	6.46
INTERESES COMPENSATORIOS	226.26
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION	21.91

**SUB TOTAL** 53,754.52

**IGV 18%** 9,675.81

CARGO POR AVANZAMIENTO DE LA SEGURIDAD ENERGETICA - CAGE	1,017.60
INTERES MORATORIO	3.28
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL	1,163.32
REDONDEO DEL MES	-0.04
REDONDEO MES ANTERIOR	0.01

**DUPLICADO**

**OTROS CONCEPTOS** 2,193.07

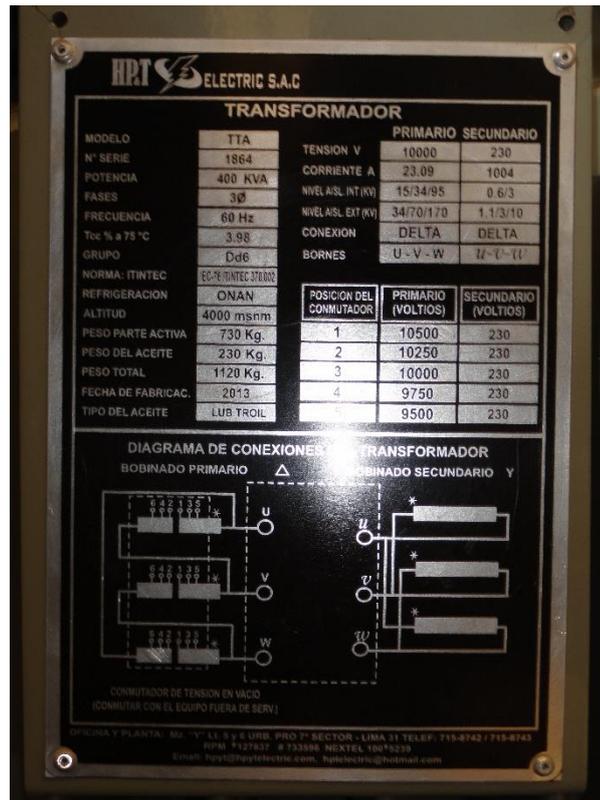
**ULTIMO DIA DE PAGO** 17 nov 2016

**SON: SESENTA Y CINCO MIL SEISCIENTOS VEINTITRES CON 40/100 SOLES** **TOTAL S/ 65,623.40**

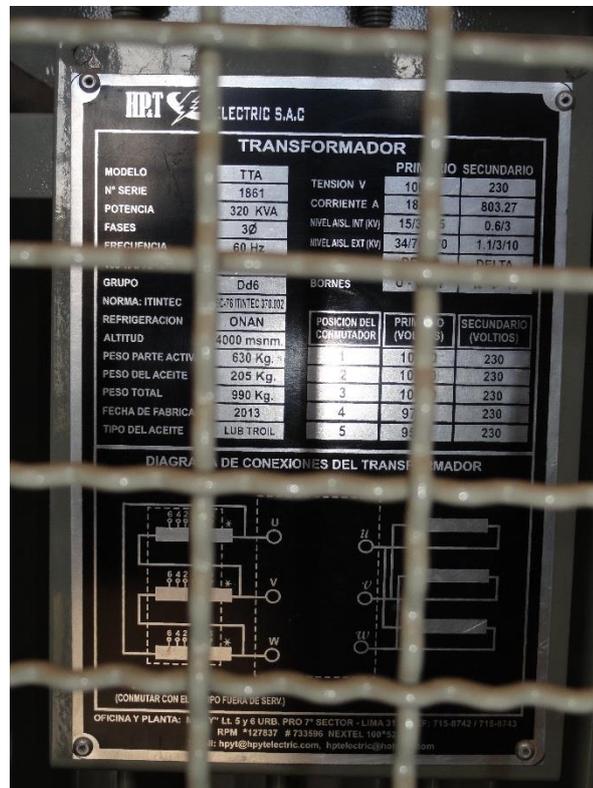
PAGUE SOLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO

<b>LOCALIDAD</b> PUNO	<b>001-0063673</b>	<b>E#]J!!(+~1]</b>
<b>Puno -33</b>	<b>4-11-13-02-101152</b>	
<b>NOMBRE</b> UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		
<b>DIRECCION</b> AV. SESQUICENTENARIO SN	<b>SON SESENTA Y CINCO MIL SEISCIENTOS VEINTITRES CON 40/100 SOLES</b>	
<b>SUMINISTRO</b>	<b>RECIBO N°</b>	<b>MES FACTURADO</b>
	27 - 37342	Octubre-2016
		<b>EMISION</b>
		01 nov 2016
		<b>VENCIMIENTO</b>
		17 nov 2016
		<b>TOTAL S/</b>
		65,623.40

Anexo 2: Placas Características de los Transformadores.



1. La Primera figura Mostrada representa a las Subestaciones Eléctricas: 01 y 07.



2. La Segunda Figura Mostrada representa a las Subestaciones Eléctricas: 02 y 03.

**HPT ELECTRIC S.A.C**

**TRANSFORMADOR**

		PRIMARIO SECUNDARIO		
MODELO	TTA	TENSION V	10000	230
N° SERIE	1859	CORRIENTE A	11.55	502.04
POTENCIA	200 KVA	NIVEL AISL. INT (KV)	15/34/95	0.6/3
FASES	3Ø	NIVEL AISL. EXT (KV)	34/70/170	1.1/3/10
FRECUENCIA	60 Hz	CONEXION	DELTA	DELTA
Tcc % a 75 °C	3.68	BORNES	U - V - W	U' - V' - W'
GRUPO	Dd6			
NORMA: ITINTEC	IEC-76 ITINTEC 370.002			
REFRIGERACION	ONAN	POSICION DEL CONMUTADOR	PRIMARIO (VOLTIOS)	SECUNDARIO (VOLTIOS)
ALTITUD	4000 msnm	1	10500	230
PESO PARTE ACTIVA	445 Kg.	2	10250	230
PESO DEL ACEITE	145 Kg.	3	10000	230
PESO TOTAL	690 Kg.	4	9750	230
FECHA DE FABRICAC.	2013	5	9500	230
TIPO DEL ACEITE	LUB TROIL			

**DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TRANSFORMADOR**

BOBINADO PRIMARIO  $\Delta$  BOBINADO SECUNDARIO Y

CONMUTADOR DE TENSION EN VACIO  
(CONMUTAR CON EL EQUIPO FUERA DE SERV.)

OFICINA Y PLANTA: Mz. "Y" Lt. 5 y 6 URB. PRO 7° SECTOR - LIMA 31 TELEF: 715-8742 / 715-8743  
RPM \*127837 # 735596 NEXTEL 100\*5239  
Email: hpyt@hpytelectric.com, hptelectric@hotmail.com

3. La tercera Figura Mostrada representa a las Subestaciones Eléctricas: 04, 05 y 06.

Anexo 3: Diseño de Filtros de Armónicos.

DISEÑO DE FILTROS			DISEÑO DE FILTROS		
S.E. N° 01	"FASE RST"	Unidades	S.E. N° 02	"FASE RST"	Unidades
Armónicos	5	7	Armónicos	5	7
Qeff	65.26	65.26 kVAR	Qeff	27.96	27.96 kVAR
Xeff	0.81	0.81 ohm	Xeff	1.89	1.89 ohm
Xc	0.85	0.83 ohm	Xc	1.98	1.93 ohm
C	3.13	3.20 mf	C	1.34	1.37 mf
XL	0.04	0.02 ohm	XL	0.08	0.04 ohm
L	0.10	0.05 mH	L	0.22	0.11 mH
Ifund	163.82	163.82 A	Ifund	70.18	70.18 A
Itotal rms	164.50	164.50 A	Itotal rms	70.46	70.46 A
Verif. IEEE 1531	100.41	100.41 ≤135%	Verif. IEEE 1531	100.39	100.39 ≤135%
Vc	138.68	135.73 V	Vc	138.68	135.73 V
Vc(h)	3.44	3.37 V	Vc(h)	3.39	3.32 V
Vc L-N tot pico	200.99	196.72 V	Vc L-N tot pico	200.92	196.65 V
V L-N pico Sit	187.79	187.79 V	V L-N pico Sit	187.79	187.79 V
Verif. IEEE 1531	107.03	104.75 ≤120%	Verif. IEEE 1531	106.99	104.71 ≤120%
Vc L-N tot rms	138.70	135.75 V	Vc L-N tot rms	138.70	135.75 V
Vc L-N rms Sist	132.79	132.79 V	Vc L-N rms Sist	132.79	132.79 V
Verif. IEEE 1531	104.45	102.23 ≤110%	Verif. IEEE 1531	104.45	102.23 ≤110%
Q3 recalculado	68.18	66.73 kVAR	Q3 recalculado	29.21	28.58 kVAR
Verif. IEEE 1531	104.46	102.24 ≤135%	Verif. IEEE 1531	104.46	102.24 ≤135%
Cal Die Cap Filtro	68.26	66.81 kVAR	Cal Die Cap Filtro	29.24	28.62 kVAR
Verif. IEEE 1531	68.26 ≤ 92.04	66.81 ≤ 90.08 kVAR	Verif. IEEE 1531	29.24 ≤ 39.43	28.62 ≤ 38.59 kVAR
Valores Generales tomados en Cuenta.			Valores Generales tomados en Cuenta.		
Armónicos	5	I5=7.70%	Armónicos	5 y 7	I5=6.83%
Fp1	0.74	I7=3.75%	Fp1	0.87	I7=4.99%
Poten Activa kW	99.14	I9=1.39%	Poten Activa kW	88.45	I9=1.48%
Tensión Nominal	230	I11=2.76%	Tensión Nominal	230	I11=2.22%
Fp2	0.97	Deseado	Fp2	0.97	Deseado
Frecuencia de Sintonia 3%			Frecuencia de Sintonia 3%		
291.00		Armónicos	291.00		Armónicos
407.40		5 armonica	407.40		5 armonica
		7 armonica			7 armonica

DISEÑO DE FILTROS			
S.E. N° 03	"FASE RST"		Unidades
Armónicos	5	7	
Qeff	94.46	94.46	kVAR
Xeff	0.56	0.56	ohm
Xc	0.58	0.57	ohm
C	4.54	4.63	mf
XL	0.02	0.01	ohm
L	0.07	0.03	mH
Ifund	237.10	237.10	A
Itotal rms	237.49	237.49	A
Verif. IEEE 1531	100.16	100.16	≤135%
Vc	138.68	135.73	V
Vc(h)	2.23	2.18	V
Vc L-N tot pico	199.28	195.03	V
V L-N pico Sit	187.79	187.79	V
Verif. IEEE 1531	106.11	103.86	≤120%
Vc L-N tot rms	138.69	135.74	V
Vc L-N rms Sist	132.79	132.79	V
Verif. IEEE 1531	104.44	102.22	≤110%
Q3 recalculado	98.66	96.56	kVAR
Verif. IEEE 1531	104.44	102.22	≤135%
Cal Die Cap Filtro	98.70	96.60	kVAR
Verif. IEEE 1531	98.70 ≤ 133.18	96.60 ≤ 130.35	kVAR
Valores Generales tomados en Cuenta.			
Armónicos	5	15=4.28%	≤ 4.0
Fp1	0.77	17=2.99%	≤ 4.0
Poten Activa kW	163.42	19=1.41%	≤ 4.0
Tensión Nominal	230	111=1.82%	≤ 4.0
Fp2	0.97		Deseado
Frecuencia de Sintonia 3%			
	291.00		Armónicos
	407.40		5 armonica
			7 armonica

DISEÑO DE FILTROS				
S.E. N° 05	"FASE RST"		Unidades	
Armónicos	5	11	13	
Qeff	31.65	31.65	31.65	kVAR
Xeff	1.67	1.67	1.67	ohm
Xc	1.75	1.69	1.68	ohm
C	1.52	1.57	1.58	mf
XL	0.07	0.01	0.01	ohm
L	0.20	0.04	0.03	mH
Ifund	79.46	79.46	79.46	A
Itotal rms	79.74	79.74	79.74	A
Verif. IEEE 1531	100.36	100.36	100.36	≤135%
Vc	138.68	133.96	133.63	V
Vc(h)	3.15	3.04	3.03	V
Vc L-N tot pico	200.58	193.75	193.27	V
V L-N pico Sit	187.79	187.79	187.79	V
Verif. IEEE 1531	106.81	103.17	102.91	≤120%
Vc L-N tot rms	138.70	133.98	133.64	V
Vc L-N rms Sist	132.79	132.79	132.79	V
Verif. IEEE 1531	104.45	100.89	100.64	≤110%
Q3 recalculado	33.06	31.94	31.86	kVAR
Verif. IEEE 1531	104.45	100.90	100.65	≤135%
Cal Die Cap Filtro	33.09	31.97	31.89	kVAR
Verif. IEEE 1531	33.09 ≤ 44.64	31.97 ≤ 43.12	31.89 ≤ 43.01	kVAR
Valores Generales tomados en Cuenta.				
Armónicos		5 y 13	15=6.21%	≤ 4.0
Fp1		0.83	17=3.38%	≤ 4.0
Poten Activa kW		75.12	111=3.84%	≤ 4.0
Tensión Nominal		230	113=2.55%	≤ 2.0
Fp2		0.97		Deseado
Frecuencia de Sintonia 3%				
	291.00		Armónicos	
	640.20		5 armonica	
	756.60		11 armonica	
			13 armonica	

DISEÑO DE FILTROS			
S.E. N° 06	"FASE RST"		Unidades
	5	7	
Armónicos			
Qeff	4.16	4.16	kVAR
Xeff	12.72	12.72	ohm
Xc	13.28	13.00	ohm
C	0.20	0.20	mf
XL	0.56	0.28	ohm
L	1.50	0.75	mH
Ifund	10.44	10.44	A
Itotal rms	10.49	10.49	A
Verif. IEEE 1531	100.46	100.46	≤135%
Vc	138.68	135.73	V
Vc(h)	3.67	3.59	V
Vc L-N tot pico	201.32	197.03	V
V L-N pico Sit	187.79	187.79	V
Verif. IEEE 1531	107.20	104.92	≤120%
Vc L-N tot rms	138.70	135.75	V
Vc L-N rms Sist	132.79	132.79	V
Verif. IEEE 1531	104.45	102.23	≤110%
Q3 recalculado	4.34	4.25	kVAR
Verif. IEEE 1531	104.47	102.24	≤135%
Cal Die Cap Filtro	4.35	4.26	kVAR
Verif. IEEE 1531	4.35≤5.87	4.26≤5.74	kVAR
Valores Generales tomados en Cuenta.			
Armónicos	5 y 7	15=7.93%	≤ 4.0
Fp1	0.96	17=4.65%	≤ 4.0
Poten Activa kW	101.33	19=1.85%	≤ 4.0
Tensión Nominal	230	111=2.10%	≤ 4.0
Fp2	0.97		Deseado
Frecuencia de Sintonia 3%			
	291.00		Armónicos
	407.40		5 armonica
			7 armonica

DISEÑO DE FILTROS			
S.E. N° 07	"FASE RST"		Unidades
	5	7	
Armónicos			
Qeff	5.39	5.39	kVAR
Xeff	9.81	9.81	ohm
Xc	10.24	10.03	ohm
C	0.26	0.26	mf
XL	0.44	0.22	ohm
L	1.16	0.58	mH
Ifund	13.54	13.54	A
Itotal rms	13.57	13.57	A
Verif. IEEE 1531	100.21	100.21	≤135%
Vc	138.68	135.73	V
Vc(h)	2.52	2.46	V
Vc L-N tot pico	199.69	195.43	V
V L-N pico Sit	187.79	187.79	V
Verif. IEEE 1531	106.33	104.07	≤120%
Vc L-N tot rms	138.69	135.74	V
Vc L-N rms Sist	132.79	132.79	V
Verif. IEEE 1531	104.44	102.22	≤110%
Q3 recalculado	5.63	5.51	kVAR
Verif. IEEE 1531	104.45	102.23	≤135%
Cal Die Cap Filtro	5.64	5.52	kVAR
Verif. IEEE 1531	5.64≤7.61	5.52≤7.44	kVAR
Valores Generales tomados en Cuenta.			
Armónicos	5	15=5.31%	≤ 4.0
Fp1	0.96	17=2.99%	≤ 4.0
Poten Activa kW	131.41	19=1.28%	≤ 4.0
Tensión Nominal	230	111=2.01%	≤ 4.0
Fp2	0.97		Deseado
Frecuencia de Sintonia 3%			
	291.00		Armónicos
	407.40		5 armonica
			7 armonica

Anexo 4: Evaluación Económica.

**ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO DE INVERSIÓN ECONÓMICA**

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
EGRESOS											
1 INVERSIÓN INICIAL (MILES DE S/.)	-36456.89										
TOTAL DE EGRESOS											
INGRESOS											
1 AHORRO EN SUMINISTRO DE ENERGÍA REACTIVA (MILES DE SOLES)	0	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5
UTILIDADES2 NETAS (MILES DE SOLES)	-36456.89	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5

AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
--------	--------	--------	--------	--------

INDICADORES	
VAN neto (miles de S/.)	235.55
TIR	50%
Tiempo de retorno	2.01

18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5
18134.5	18134.5	18134.5	18134.5	18134.5

Anexo 5: Costo de Filtros de Armónicos.

Anexo 5: Costo de Reactancia

TARIFA DE PRECIOS 2014

**INA/INR** REACTANCIA PARA BATERÍA ESTÁNDAR  
REACTOR FOR STANDARD CAPACITOR BANK

5 ... 100 kvar

DESCRIPCIÓN/DESCRIPTION

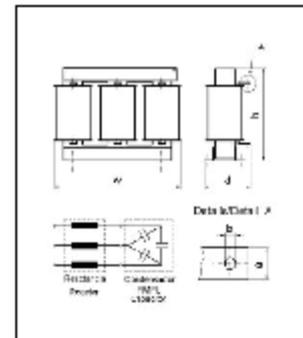
Las reactancias INA/INR están diseñadas para trabajar en redes con un alto grado de contaminación armónica, de manera que permitan un servicio seguro y fiable de los equipos de corrección del factor de potencia. Las reactancias se conectan en serie con los condensadores formando un circuito resonante desintonizado convenientemente, de forma que el conjunto presente una impedancia inductiva para las frecuencias de todos los armónicos existentes en la instalación. Estas reactancias están especialmente diseñadas para trabajar con los condensadores FMLF.

INA/INR reactors are designed to work in supply systems with a high level of harmonic distortion in such a way that they allow a safe and reliable service of the power factor correction equipments. Reactors are connected in series with power capacitors, forming a resonant circuit conveniently detuned, so that, the whole unit has an inductive impedance at the frequencies of all harmonics in the installation. These reactors are specially designed to work in series with FMLF capacitors.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS/TECHNICAL CHARACTERISTICS

- Tensión nominal red/ Rated voltages of the main..... 230 / 440 V
- Frecuencia/Frequency..... 50 Hz - 60 Hz
- Tensión nominal de los condensadores/ ..... 260 / 460 V  
Rated voltages of the capacitors
- Tipo de filtro/Filter type ..... Baja sintonización/Low tuning
- Frecuencia resonancia/Resonance frequency ..... 189 Hz (7%)
- Tolerancia inductancia/Inductance tolerance ..... ± 3%
- Máxima sobrecarga de armónicos/ ..... 0.35 I<sub>n</sub>  
Maximum harmonics overload
- Construcción/Construction..... INA: Aluminio/Aluminium  
INR: Cobre/Copper
- Protección térmica/Thermal protección..... Por termostato/By thermostat
- Nivel de aislamiento/Insulation level ..... 4 kV
- Conexión/Connexion..... INA: Platina de Aluminio/  
Aluminium Bus Bar  
INR: Bornes/Terminal block
- Grado de protección/Degree of protection ..... INA:IP00/INR: IP 20
- Categoría de temperatura/..... Clase F (155°C)  
Category of temperature
- Instalación/Installation ..... Interior/Indoor
- Normas/Standards..... IEC 60076-6, EN 60076-6



Referencia Code	Filtro/Filter		Dimensiones/Dimension (mm)					Peso Weight (mm)	Pérdidas Losses W	Ref. condncnador Capacitor Code FMLF	Precio Price (€)
	Q <sub>n</sub> (kvar)	U <sub>n</sub> (V)	h	w	d	a	b				
INR40057	5	400	165	155	92	---	---	6	5	FMLF4606	280
INR40107	10	400	190	180	102	---	---	9	10	FMLF4612	320
INR40157	15	400	190	180	112	---	---	10	25	FMLF4618	335
INA40207	20	400	174	260	124	20	8	14	76	FMLF4625	445
INA40257	25	400	174	260	124	20	8	14	90	FMLF4631	460
INA40307	30	400	231	290	124	20	8	19	120	FMLF4637	570
INA40407	40	400	231	293	124	20	8	20	145	FMLF4649	585
INA40507	50	400	233	310	144	25	10	27	185	FMLF4661	675
INA40607	60	400	260	305	146	25	10	31	205	FMLF4674	760
INA40807	80	400	280	335	155	35	12	38	235	FMLF4698	880
INA40997	100	400	300	338	170	35	12	50	250	2 x FMLF4661	990

Otras tensiones y frecuencias bajo pedido / Other voltages and frequencies on request.

www.lifasa.com

Anexo 6: Características del condensador.

Anexo 6: Características de Condensador

TARIFA DE PRECIOS 2014

**FMLF** CONDENSADOR PARA PROTECCIÓN DE ARMÓNICOS  
CAPACITOR FOR HARMONIC PROTECTION

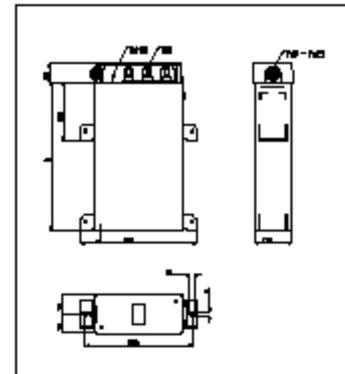
Filtros de Protección / Protection Filters



**DESCRIPCIÓN/DESCRIPTION**

Estos condensadores LIFASA están diseñados para ser conectados en serie con reactancias INR o INA, y así formar un filtro de Armónicos sintonizado a una frecuencia de 189 Hz (inferior al primer armónico presente en la red). Las potencias nominales de los filtros indicadas en la tabla, se obtienen al ser conectados a las reactancias. Los condensadores FMLF están desarrollados teniendo en cuenta que, al conectarlos a las reactancias, su tensión de trabajo es mayor que la tensión de la red. Los valores de la inductancia de las reactancias INR y INA y los valores de capacidad de los condensadores FMLF están calculadas para asegurar que, cuando se conecten en serie, la potencia reactiva entregada por el filtro es la indicada en la placa de características.

These LIFASA capacitors are designed to be connected in series with INR or INA reactors, in order to build up low tuning ( $f_r = 189$  Hz) Harmonic Protection Filters (Capacitor rated powers indicated in the table, are achieved when connected to the reactors). FMLF capacitors have been specially developed taking into account that, when connected to the reactors, they work at a voltage higher than the supply voltage. Inductance value of INR and INA reactors and capacitance value of FMLF capacitors are specially calculated to ensure that, when connected in series, the reactive power of the filter is as given on the name plate.



**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS/TECHNICAL CHARACTERISTICS**

- Tensión nominal/Rated voltage ..... 230 / 440V
- Frecuencia/Frequency ..... 50 Hz - 60 Hz
- Dieléctrico/Dielectric ..... Polipropileno/Polypropylene
- Resistencia descarga/Discharge resistors ..... Integradas/Fitted
- Pérdidas dieléctricas/Dielectric losses .....  $\leq 0.2$  W/kvar
- Pérdidas totales/Total losses .....  $\leq 0.4$  W/kvar
- Sobretensión max./Max. Overvoltage .....  $1.1 U_n$
- Sobrecorriente max./Max. Overcurrent .....  $1.3 I_n$
- Nivel de aislamiento/Insulation level ..... 3/15 kV
- Tolerancia de potencia/Power tolerance ..... -5/+10%
- Gama climática/Climatic range ..... -40/ D (55 °C)
- Bornes/Terminals ..... M10
- Color/Colour ..... RAL7035
- Normas/Standards ..... IEC60831, EN 60831

www.lifasa.com

Anexo 7: Costo de Condensadores.

Anexo 7: Costo de condensador

TARIFA DE PRECIOS 2014

**FMLF** CONDENSADOR PARA PROTECCIÓN DE ARMÓNICOS  
CAPACITOR FOR HARMONIC PROTECTION

Filtros de Protección / Protection Filters

400/460V 50-60Hz 7%										
Referencia Code	$Q_n$ (kvar) 460V	$I_n$ (A) 460V	Caja Box h (mm)	Peso Weight (kg)	Filtro/Filtr $Q_n$ (kvar) 440V	Filtro/Filtr $I_n$ (A) 440V	Filtro/Filtr $Q_n$ (kvar) 400V	Filtro/Filtr $I_n$ (A) 400V	Reactancia Reactor	Precio Price (€)
FMLF4612	12	15,4	270	3,5	12,1	16	10	14,4	INR40107	325,24
FMLF4618	18	23,2	270	3,5	18,2	24	15	21,7	INR40157	413,44
FMLF4625	25	31	270	4,2	24	32	20	28,9	INA40207	468,56
FMLF4631	31	38,6	270	5,0	30,3	40	25	36,1	INA40257	529,20
FMLF4637	37	46,3	270	5,0	36	48	30	43,3	INA40307	628,43
FMLF4649	49	61,7	460	6,8	48	64	40	57,7	INA40407	733,16
FMLF4661	61	77,2	460	8,2	60	79	50	72,2	INA40507	865,46
FMLF4674	74	92,6	460	9,0	73	95	60	86,6	INA40607	1.030,84
FMLF4698	98	124	550	10,9	97	127	80	115,5	INA40807	1.212,75

690/790V 50-60Hz 7%									
Referencia Code	Filtro Filtr $Q_n$ (kvar)	Filtro Filtr $I_n$ (A)	Red Network $U_n$ (V)	Condensador Capacitors $U_n$ (V)	Caja Box h (mm)	Peso Weight (kg)	Reactancia Reactor	Precio Price (€)	
FMLF7906	5	4,2	690	790	270	2,8	INR69057		
FMLF7912	10	8,4	690	790	270	3,5	INR69107		
FMLF7915	12,5	10,5	690	790	270	3,5	INA69127		
FMLF7918	15	12,6	690	790	270	3,5	INA69157		
FMLF7924	20	16,7	690	790	270	4,2	INA69207		
FMLF7930	25	20,9	690	790	270	5,0	INA69257		
FMLF7937	30	25,1	690	790	270	5,0	INA69307	Consultar/ On request	
FMLF7943	35	29,3	690	790	460	6,8	INA69357		
FMLF7946	37,5	31,4	690	790	460	6,8	INA69377		
FMLF7949	40	33,5	690	790	460	6,8	INA69407		
FMLF7961	50	41,8	690	790	460	8,2	INA69507		
FMLF7973	60	50,2	690	790	460	9,0	INA69607		
FMLF7985	70	58,6	690	790	550	10,2	INA69707		
FMLF7991	75	62,8	690	790	550	10,9	INA69757		
FMLF7998	80	66,9	690	790	550	10,9	INA69807		

415/480V 50-60Hz 7%									
Referencia Code	Filtro Filtr $Q_n$ (kvar)	Filtro Filtr $I_n$ (A)	Red Network $U_n$ (V)	Condensador Capacitors $U_n$ (V)	Caja Box h (mm)	Peso Weight (kg)	Reactancia Reactor	Precio Price (€)	
FMLF4806	5	7,0	415	480	270	3,5	INR41057		
FMLF4812	10	13,9	415	480	270	3,5	INR41107		
FMLF4816	12,5	17,4	415	480	270	4,2	INA41127		
FMLF4819	15	20,9	415	480	270	4,2	INA41157		
FMLF4825	20	27,8	415	480	270	5,0	INA41207		
FMLF4831	25	34,8	415	480	460	6,8	INA41257		
FMLF4837	30	41,7	415	480	460	6,8	INA41307	Consultar/ On request	
FMLF4844	35	48,7	415	480	460	7,5	INA41357		
FMLF4847	37,5	52,2	415	480	460	7,5	INA41377		
FMLF4850	40	55,6	415	480	460	7,5	INA41407		
FMLF4862	50	69,6	415	480	460	9,0	INA41507		
FMLF4875	60	83,5	415	480	550	10,2	INA41607		
FMLF4887	70	97,4	415	480	650	12,2	INA41707		
FMLF4893	75	104,3	415	480	650	13,0	INA41757		
FMLF4899	80	111,3	415	480	650	13,0	INA41807		

Otras composiciones, tensiones y frecuencias, consultar/Other ratings, voltages and frequencies available on request.

Anexo 8: Características Técnicas y de Equipamiento del Sistema de la UNA – PUNO.

**PMI SISTEMA DE MEDICIÓN EN MEDIA TENSIÓN TRANSFORMIX.**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
<b>01</b>	<b>SISTEMA DE MEDICIÓN EN MEDIA TENSIÓN TRAFOMIX</b>	
1.01	Potencia de transformación de tensión	2x50 VA
1.02	Tensión del primario	10 KV
1.03	Tensión del secundario	0,22 KV
1.04	Potencia de transformación de corriente	2x30 VA
1.05	Corriente del Primario	90-150 A
1.06	Corriente del secundario	5 A
1.07	Grupo de conexión	Delta abierto
1.08	Clase de precisión	0,2
1.09	Nivel de aislamiento en el lado AT	24/50/125 KV
1.10	Nivel de aislamiento en el lado BT	1,1 /3 KV
1.11	Relación de transformación	10/0,22 kV; 90-150/5 A
1.12	Frecuencia	60 HZ
<b>02</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
2.01	Enfriamiento	ONAN
2.02	Nivel de aislamiento interior primario	5,5/34/95 kV.
2.03	BIL exterior	150 kV
2.04	Altura de operación	4000 msnm
2.05	Montaje	Intemperie
2.06	Servicio	Continuo
2.07	Normas de fabricación	ITENTEC 370.002
2.08	Transformador de corriente	IEC Pub60044-1
2.09	Transformador de tensión	IEC Pub60044-2
2.10	Capacidad de sobrecarga	IEC Pub60354
2.11	Aceites aislantes	IEC Pub60296

**RED PRIMARIA**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
01	Tensión nominal	10 kV
02	Sistema	Subterráneo y Aéreo
03	Distribución	Trifásico
04	Sección Conductor	70 y 50 mm <sup>2</sup>
05	Longitud de red	1,656 km, conductor N2SXY
06	Disposición	Triangular
07	Soporte	Postes de C°A°C° de 13/400
08	Aisladores	Aisladores polimérico tipo PIN 15 kV.
09	Ferretería	Ferretería galvanizada en caliente.
10	Factor de potencia	0,85
11	Altitud	3825 m.s.n.m.
12	Seccionadores	Tipo cut-out, 15 kV, 100 A, 150 kV BIL
13	Pararrayos	Unipolar de óxido de zinc 12 kV, 10 kA, 150 kV BIL.

**SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	Tipo	Caseta
2	Ubicación	Dentro de paredes y techos de concreto y ladrillo, con acceso.
3	Potencia Nominal	200, 320 y 400 kVA.
4	Relación de transformación	10±2 x 2,5% /0,22 kV
5	Regulación en 10kV	±2 x 2,5%.
6	Grupo de Conexión	Dd6.
7	Frecuencia	60Hz.
8	Numero de Fases	3
9	Enfriamiento	ONAN.
10	Altura de instalación	3825 m.s.n.m.
11	Nivel de aislamiento Primario	150 kV.
12	Nivel de aislamiento Secundario	0,6/2,5kV.
13	Montaje	Interior.
14	Servicio	Continuo
15	N° de bornes lado primario	3
16	N° de bornes lado secundario	3
17	Una celda de llegada	Tipo autosoportado, metálica, la cual alojará a un seccionador de potencia tripolar.
18	Una celda de Transformación	Tipo autosoportado, fabricado con plancha y ángulos metálicos.
19	Un tablero de Distribución.	Tipo autosoportado, fabricado con plancha y ángulos metálicos equipado con interruptores termomagnéticos.

*Anexo 9: Fotos de la Toma de Datos en las Subestaciones Eléctricas.*





