

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE GENERAL:
**“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA RED DE BAJA
TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR #19597P, DEBIDO A LA
CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO
PARA ELECTROMOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA”**

AUTORES:

JUAN ALBERTO ARIAS GALÁN
CRISTIAN SANTIAGO PULLAGUARI ACARO

TUTOR:

ING. JORGE LUIS ROJAS ESPINOZA

CUENCA – ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Juan Alberto Arias Galán con documento de identificación N° 0106052103 y Cristian Santiago Pullaguari Acaro con documento de identificación N° 1105896995, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA RED DE BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR #19597P, DEBIDO A LA CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA ELECTROMOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2019



Juan Alberto Arias Galán
C.I.: 0106052103



Cristian Santiago Pullaguari Acaro
C.I.: 1105896995

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA RED DE BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR #19597P, DEBIDO A LA CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA ELECTROMOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, realizado Juan Alberto Arias Galán y Cristian Santiago Pullaguari Acaro, obteniendo el *Proyecto Técnico con Enfoque General*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2019



Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza
C.I: 0301575866

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Juan Alberto Arias Galán con documento de identificación N° 0106052103 y Cristian Santiago Pullaguari Acaro con documento de identificación N° 1105896995, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA RED DE BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR #19597P, DEBIDO A LA CONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA ELECTROMOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con Enfoque General*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, agosto del 2019



Juan Alberto Arias Galán
C.I.: 0106052103



Cristian Santiago Pullaguari Acaro
C.I.: 1105896995

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia en especial a mi mamá por haberme brindado su apoyo en todo momento y enseñarme a perseverar. Al Ing. Jorge Eduardo Reyes Bermeo que sin duda llegar hasta este momento no hubiese sido posible. A todos mis amigos y compañeros que me han colaborado en este camino. A Dios por haberme brindado salud y sabiduría para seguir adelante.

Juan Alberto Arias Galán

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia por el apoyo brindado en todo mi trayecto de formación profesional, especialmente a mis padres por ser el pilar fundamental para tener el impulso de seguir adelante que, con su apoyo, amor y su incondicionalidad se cumple mi meta más deseada. A todos mis amigos que formaron parte de todo el camino estudiantil, como un apoyo moral en esta etapa importante de mi vida.

Cristian Santiago Pullaguari Acaro

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional tanto económico y moral, para desarrollar este trabajo con éxito; pues hizo posible cumplir un sueño en nuestras vidas el hecho de ser un profesional.

Agradecer con gratitud al Ing. Jorge Rojas por ser el tutor de nuestro trabajo de titulación, brindándonos apoyo necesario para adquirir conocimientos que permitieron realizar el presente trabajo ordenado, conciso y de calidad.

De la misma manera agradecer a todo el personal tanto docente como administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca por ser parte de todo el proceso de nuestra formación profesional, al brindarnos ayuda en varias circunstancias presentes en nuestro proceso estudiantil y además con los conocimientos necesarios para ser profesionales de éxito.

Juan Alberto Arias Galán

Cristian Santiago Pullaguari Acaro

Resumen

El presente trabajo de titulación evalúa los índices de calidad de energía en la red de bajo voltaje del transformador trifásico #19597P en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, al estar conectado el sistema de generación fotovoltaico para electromovilidad. Para este propósito se realizaron mediciones en el tablero de distribución principal del transformador trifásico cuando el sistema fotovoltaico está conectado a la red de distribución de bajo voltaje, para luego comparar las mediciones con el sistema fotovoltaico desconectado.

En lo que se refiere a la toma de información se utilizó un analizador de redes que brinde una alta confiabilidad al momento de analizar los datos. En este caso se usó el analizador de redes y calidad de energía FLUKE 435, junto con el software Power Log classics para descargar los datos y mediante Excel se realizó la comparación de datos.

Con respecto a las mediciones de los parámetros eléctricos se consideró el tiempo de una semana cuando el sistema fotovoltaico está conectado a la red de bajo voltaje y una semana más con el SFV desconectado. El tiempo considerado de medición se seleccionó de acuerdo la regulación ARCONEL 005/18 (7 días), debido a que el comportamiento del sistema eléctrico es muy similar cada semana, al tener actividades muy comunes dentro de la Universidad. Una vez realizados las mediciones se compararon los parámetros eléctricos de ambos sistemas (con y sin SFV) para obtener en detalle el comportamiento de los parámetros de calidad de energía.

El análisis de los datos obtenidos en el periodo de medición se fundamentó en la regulación ARCONEL 005/18 *Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*, que entro en vigencia desde diciembre de 2018 y otras normas internacionales como la IEEE 1159-2009 *Practica recomendada para el monitoreo de la calidad de Energía eléctrica*, IEEE 519-2014 *Prácticas recomendadas y requisitos para el control de armónicos en Sistemas de energía eléctrica* y la IEC 6100-2-2 *Compatibilidad Electromagnética*, que complementan el análisis de la calidad de energía en redes de baja tensión.

Finalmente, se obtuvieron como resultado los índices de calidad de energía, concluyendo que los valores están dentro de los límites establecidos en las normas mencionadas, sin embargo, el sistema sufre afectaciones debido a la conexión de la generación fotovoltaica a la red. Dichas afectaciones se evidencian en parámetros como el factor de potencia, armónicos de corrientes y corrientes en fases; con porcentajes que merecen una atención y corrección para mejorar la calidad de energía y garantizar el perfecto funcionamiento del sistema eléctrico en la Universidad.

Abstract

The present work of titration evaluates the indexes of energy quality in the low voltage network of the three-phase transformer # 19597P at the Universidad Politécnica Salesiana headquarters Cuenca, when the photovoltaic generation system for electromobility is connected. For this purpose, measurements were made on the main distribution board of the three-phase transformer when the photovoltaic system is connected to the low-voltage distribution network, and then comparing the measurements with the disconnected photovoltaic system.

With regard to the collection of information, a network analyzer was used that provides high reliability when analyzing the data. In this case, the FLUKE 435 network and power quality analyzer was used, together with the Power Log classics software to download the data and through Excel the data comparison was performed.

With respect to the measurements of the electrical parameters, the time of one week was considered when the photovoltaic system is connected to the low voltage network and another week with the SFV disconnected. The time considered for measurement was selected according to ARCONEL regulation 005/18 (7 days), because the behavior of the electrical system is very similar every week, since it has very common activities within the University. Once the measurements were made, the electrical parameters of both systems (with and without SFV) were compared to obtain in detail the behavior of the energy quality parameters.

The analysis of the data obtained in the measurement period was based on the regulation ARCONEL 005/18 Quality of the distribution and commercialization service of electric energy, which entered into force since December 2018 and other international standards such as IEEE 1159-2009 Practice Recommended for monitoring the quality of electrical energy, IEEE 519-2014 Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems and IEC 6100-2-2 Electromagnetic Compatibility, which complement the analysis of the quality of energy in low voltage networks.

Finally, the energy quality indices were obtained; concluding that the values are within the limits established in the aforementioned standards, however, the system is affected due to the connection of the photovoltaic generation to the grid. These affectations are evidenced in parameters such as the power factor, harmonics of currents and currents in phases; with percentages that deserve attention and correction to improve energy quality and ensure the perfect operation of the electrical system at the University.

Índice General

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	I
CERTIFICACIÓN	II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	III
Dedicatoria.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Abstract.....	VIII
Índice General.....	IX
Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XV
Glosario	XVIII
Capítulo 1	1
1 Fundamentos Teóricos.....	1
1.1 Generación Distribuida.....	1
1.2 Aplicaciones de la Generación Distribuida.....	2
1.3 Tecnologías de Generación Distribuida.....	2
1.4 Tecnologías Fotovoltaicas.....	3
1.4.1 Conectada a la Red Eléctrica.....	3
1.5 Sistema Fotovoltaico	5
1.5.1 Celdas Solares	5
1.5.2 Inversores Estáticos de Potencia.....	7
1.6 Calidad de Energía Eléctrica.....	8
1.7 La Red Eléctrica Ideal.....	9
1.8 Tipos de Carga.....	10
1.8.1 Cargas Lineales.....	10
1.8.2 Cargas no Lineales.....	10
1.9 Normativa para Evaluar y Garantizar la Calidad de Energía.....	11
1.10 Estándar IEEE 1159-2009.....	11
1.10.1 Perturbaciones Transitorias.....	12

1.10.2	Variaciones de Corta Duración.	13
1.10.3	Variaciones de Larga Duración.	15
1.10.4	Desequilibrio de Tensión.	16
1.10.5	Distorsión de la Forma de Onda.	17
1.10.6	Fluctuación de Tensión (Flicker).	20
1.11	Regulación ARCONEL 005/18.	20
1.11.1	Nivel de Voltaje.	21
1.11.2	Flickers.	21
1.11.3	Distorsión Armónica de Voltaje.	21
1.11.4	Desequilibrio de Voltaje.	22
1.11.5	Distorsión de Corriente	22
1.11.6	Estándar IEEE 519-2014.	22
1.11.7	IEC 6100-2-2.	23
1.12	Efectos en la Calidad de Energía en la Red de Distribución y Baja Tensión Debido a la Generación Fotovoltaica.	23
Capítulo 2	25
2	Sistema de Generación Fotovoltaico para Electromovilidad en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.	25
2.1	Disposición de los Transformadores.	25
2.2	Disposición del Sistema Fotovoltaico.	27
Capítulo 3	31
3	Medición y Análisis de Datos.	31
3.1	Analizador de Redes 31	31
3.1.1	Partes del analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica Fluke 435.	31
3.1.2	Configuración del Equipo 32	32
3.1.3	Conexión del Equipo. 33	33
3.1.4	Registro de Datos 36	36
3.1.5	Descarga de Datos 38	38
3.2	Análisis de los Índices de Calidad de Energía. 39	39
3.2.1	Análisis con Sistema Fotovoltaico. 39	39
3.2.2	Análisis sin Sistema Fotovoltaico. 64	64
3.2.3	Comparativa Con y Sin el Sistema Fotovoltaico. 88	88

4	Resultados.....	107
5	Conclusiones y Recomendaciones.	109
	Bibliografía.....	110
	Anexos.....	114

Índice de Figuras

Figura 1-1	Configuración fotovoltaica conectada red.[12]	3
Figura 1-2	Sistema de conexión fotovoltaico con exceso de generación.[15]	4
Figura 1-3	Esquema de conexión fotovoltaica para comercializar energía a la red.[15] .	5
Figura 1-4	Configuración básica de un sistema fotovoltaico.[12].....	5
Figura 1-5	Tensiones compuestas en un sistema equilibrado.[28].....	9
Figura 1-6	Curva de comportamiento de una carga lineal.[30].....	10
Figura 1-7	Curva de comportamiento de una carga no lineal.[30].....	11
Figura 1-8	Perturbación transitorio impulsivo.[34].....	13
Figura 1-9	Perturbación transitorio oscilatorio.[33].....	13
Figura 1-10	Interrupción de corta duración.[35]	14
Figura 1-11	Representación de un hueco de tensión.[36]	15
Figura 1-12	Representación de un salto de tensión.[37]	15
Figura 1-13	Desequilibrio de tensión en un alimentador residencial.[38]	17
Figura 1-14	Forma de onda de corriente y espectro armónico para corriente de entrada variador de velocidad.[33].....	18
Figura 1-15	Cortes Intermitentes en un transformador.[45].....	19
Figura 1-16	Voltaje con ruido en una planta química.[45].....	19
Figura 1-17	Fluctuaciones de tención causadas por un horno de arco eléctrico.[46].....	20
Figura 2-1	Sistema eléctrico de media tensión en la UPS.....	25
Figura 2-2	Transformador trifásico de 200 KVA.....	26
Figura 2-3	Placa del transformador.	27
Figura 2-4	Diagrama de conexión del sistema solar fotovoltaico	27
Figura 2-5	Planta fotovoltaica.	28
Figura 2-6	Inversores Sunny Boy.....	29
Figura 2-7	Estación de carga.	29

Figura 3-1 Fluke 435.	32
Figura 3-2 Pantalla inicial del Fluke 435.	32
Figura 3-3 Ajuste de límites de acuerdo la ARCONEL 005/18.	33
Figura 3-4 Pines de conexión del Fluke 435.	33
Figura 3-5 Diagrama de conexión de las sondas del Fluke.	34
Figura 3-6 Sondas conectadas al neutro y tierra del tablero de conexiones eléctrico. ...	34
Figura 3-7 Conexión de las sondas en las barras del tablero.	35
Figura 3-8 Señales de voltaje.	35
Figura 3-9 Diagrama fasorial de voltaje.	36
Figura 3-10 Funciones del fluke 435.	36
Figura 3-11 Configuración del intervalo de registro de datos y periodo de medición. ...	37
Figura 3-12 Parámetros a ser guardar.	37
Figura 3-13 Registro de parámetros sobre calidad de energía.	38
Figura 3-14 Conexión con la PC y descarga de datos.	39
Figura 3-15 Niveles máximos de voltaje con SFV.	40
Figura 3-16 Niveles medios de voltaje con SFV.	40
Figura 3-17 Niveles mínimos de voltaje con SFV.	41
Figura 3-18 Flicker de corto plazo (Pst) con SFV.	42
Figura 3-19 Flicker de largo plazo (Plt) con SFV.	43
Figura 3-20 THD máximos de voltaje con SFV.	44
Figura 3-21 THD medios de voltaje en con SFV.	44
Figura 3-22 THD mínimos de voltaje con SFV.	45
Figura 3-23 Armónicos individuales de voltaje con SFV.	46
Figura 3-24 Desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo con SFV.	48
Figura 3-25 Niveles máximos de corriente con SFV.	49
Figura 3-26 Niveles medios de corriente con SFV.	49
Figura 3-27 Niveles mínimos de corriente con SFV.	50
Figura 3-28 Desequilibrio de corriente máximo, medio y mínimo con SFV.	51
Figura 3-29 THD máximo de corriente con SFV.	52
Figura 3-30 THD medio de corriente con SFV.	53
Figura 3-31 THD mínimo de corriente con SFV.	53
Figura 3-32 Armónicos individuales de corriente con SFV.	54

Figura 3-33 Factor de potencia máximo con SFV.....	56
Figura 3-34 Factor de potencia medio con SFV.....	56
Figura 3-35 Factor de potencia mínimo con SFV.	57
Figura 3-36 Potencia activa máxima con SFV.....	58
Figura 3-37 Potencia activa media con SFV.....	59
Figura 3-38 Potencia activa mínima con SFV.....	59
Figura 3-39 Potencia reactiva máxima con SFV.....	60
Figura 3-40 Potencia reactiva media con SFV.....	61
Figura 3-41 Potencia reactiva mínima con SFV.....	61
Figura 3-42 Potencia aparente máxima con SFV.....	62
Figura 3-43 Potencia aparente media con SFV.....	63
Figura 3-44 Potencia aparente mínima con SFV.....	63
Figura 3-45 Niveles máximos de voltaje sin SFV.....	65
Figura 3-46 Niveles medios de voltaje sin SFV.....	65
Figura 3-47 Niveles mínimos de voltaje sin SFV.....	66
Figura 3-48 Flicker de corto plazo (Pst) sin SFV.....	67
Figura 3-49 Flicker de largo plazo (Plt) sin SFV.....	68
Figura 3-50 THD máximos de voltaje sin SFV.....	69
Figura 3-51 THD medios de voltaje en sin SFV.....	69
Figura 3-52 THD mínimos de voltaje sin SFV.....	70
Figura 3-53 Armónicos individuales de voltaje sin SFV.....	71
Figura 3-54 Desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo sin SFV.....	73
Figura 3-55 Niveles máximos de corriente sin SFV.....	74
Figura 3-56 Niveles medios de corriente sin SFV.....	74
Figura 3-57 Niveles mínimos de corriente sin SFV.....	75
Figura 3-58 Desequilibrio de corriente máximo, medio y mínimo sin SFV.....	76
Figura 3-59 THD máximo de corriente sin SFV.....	77
Figura 3-60 THD medio de corriente sin SFV.....	77
Figura 3-61 THD mínimo de corriente sin SFV.....	78
Figura 3-62 Armónicos individuales de corriente sin SFV.....	79
Figura 3-63 Factor de potencia máximo sin SFV.....	80
Figura 3-64 Factor de potencia medio sin SFV.....	81

Figura 3-65 Factor de potencia mínimo sin SFV.	82
Figura 3-66 Potencia activa máxima sin SFV.	83
Figura 3-67 Potencia activa media sin SFV.	83
Figura 3-68 Potencia activa mínima sin SFV.	84
Figura 3-69 Potencia reactiva máxima sin SFV.	85
Figura 3-70 Potencia reactiva media sin SFV.	85
Figura 3-71 Potencia reactiva mínima sin SFV.	86
Figura 3-72 Potencia aparente máxima sin SFV.	87
Figura 3-73 Potencia aparente media sin SFV.	87
Figura 3-74 Potencia aparente mínima sin SFV.	88
Figura 3-75 Comparación del nivel máximo de voltaje.	89
Figura 3-76 Comparación del nivel medio de voltaje.	89
Figura 3-77 Comparación del nivel mínimo de voltaje.	90
Figura 3-78 Comparación del Pst.	90
Figura 3-79 Comparación del Plt.	91
Figura 3-80 Comparación del THD máximo de voltaje.	92
Figura 3-81 Comparación del THD medio del voltaje.	92
Figura 3-82 Comparación del THD mínimo de voltaje.	93
Figura 3-83 Comparación de los componentes armónicos individuales de voltaje.	93
Figura 3-84 Comparación del desequilibrio de voltaje.	94
Figura 3-85 Comparación de los niveles máximos de corriente.	94
Figura 3-86 Comparación de los niveles medios de corriente.	95
Figura 3-87 Comparación de los niveles mínimos de corriente.	95
Figura 3-88 Comparación del desequilibrio de corriente.	96
Figura 3-89 Comparación del THD máximo de corriente.	96
Figura 3-90 Comparación del THD medio de corriente.	97
Figura 3-91 Comparación del THD mínimo de corriente.	97
Figura 3-92 Comparación de armónicos individuales de corriente.	98
Figura 3-93 Comparación del Fp máximo.	99
Figura 3-94 Comparación del Fp medio.	100
Figura 3-95 Comparación del Fp mínimo.	101
Figura 3-96 Comparación de la potencia activa máxima.	101

Figura 3-97 Comparación de la potencia activa media.	102
Figura 3-98 Comparación de la potencia activa mínima.	102
Figura 3-99 Comparación de la potencia reactiva máxima.	103
Figura 3-100 Comparación de la potencia reactiva media.	103
Figura 3-101 Comparación de la potencia reactiva mínima.	104
Figura 3-102 Comparación de la potencia aparente máxima.	104
Figura 3-103 Comparación de la potencia aparente media.	105
Figura 3-104 Comparación de la potencia aparente mínima.	105
Figura 3-105 Comparación de potencias y Fp con SFV.	106
Figura 3-106 Comparación entre potencia y Fp sin SFV.	106

Índice de Tablas

Tabla 1 Rendimiento de los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos.	7
Tabla 2 Perturbaciones eléctricas.[33].	11
Tabla 3 Límites de variación de voltaje. [47].	21
Tabla 4 Límites máximos de distorsión armónica de voltaje (% del voltaje nominal). [47]	22
Tabla 5 Niveles máximos de distorsión armónica de corriente para sistemas de 120V a 69kV [47][48].	22
Tabla 6 Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en la red pública de baja tensión.	23
Tabla 7 Datos técnicos de la planta.	30
Tabla 8 Datos de los niveles máximos de voltaje fases-neutro con SFV.	40
Tabla 9 Datos de los niveles medios de voltaje fases-neutro con SFV.	41
Tabla 10 Datos de los niveles mínimos de voltaje fases-neutro con SFV.	41
Tabla 11 Resumen del cumplimiento de niveles de voltaje.	41
Tabla 12 Datos del Pst fases-neutro con SFV.	42
Tabla 13 Datos del Plt fases-neutro con SFV.	43
Tabla 14 Resumen del cumplimiento sobre perturbaciones de voltaje.	43
Tabla 15 Datos del THD máximos de voltaje fases-neutro con SFV.	44
Tabla 16 Datos del THD medios de voltaje fases-neutro con SFV.	45
Tabla 17 Datos del THD mínimos de voltaje fases-neutro con SFV.	45

Tabla 18 Resumen del cumplimiento sobre THD de voltaje.....	45
Tabla 19 Datos de los armónicos individuales de voltaje fases-neutro con SFV.....	46
Tabla 20 Datos del desequilibrio máximo, medio y mínimo de voltaje con SFV.....	48
Tabla 21 Resumen del cumplimiento sobre desequilibrio de voltaje.....	48
Tabla 22 Datos de los niveles máximos de corriente en fases y neutro con SFV.	49
Tabla 23 Datos de los niveles medios de corriente en fases y neutro con SFV.	50
Tabla 24 Datos de los niveles mínimos de corriente en fase y neutro con SFV.	50
Tabla 25 Datos del desequilibrio máximo medio y mínimo de corriente con SFV.	51
Tabla 26 Datos del THD máximos de corriente en fases con SFV.	52
Tabla 27 Datos del THD medio de corriente en fases con SFV.....	53
Tabla 28 Datos del THD mínimo de corriente en fases con SFV.	54
Tabla 29 Resumen del cumplimiento sobre distorsión armónica de corriente.....	54
Tabla 30 Datos de los armónicos individuales de corriente en fases con SFV.	55
Tabla 31 Datos del Fp máximo con SFV.	56
Tabla 32 Datos del Fp medios con SFV.....	57
Tabla 33 Datos del Fp mínimo con SFV.	57
Tabla 34 Resumen del cumplimiento sobre el factor de potencia.	57
Tabla 35 Datos de la potencia activa máxima con SFV.	58
Tabla 36 Datos de la potencia activa media con SFV.	59
Tabla 37 Datos de la potencia activa mínima con SFV.....	60
Tabla 38 Datos de la potencia reactiva máxima con SFV.	60
Tabla 39 Datos de la potencia reactiva media con SFV.	61
Tabla 40 Datos de la potencia reactiva mínima con SFV.....	62
Tabla 41 Datos de la potencia aparente máxima con SFV.....	62
Tabla 42 Datos de la potencia aparente media con SFV.	63
Tabla 43 Datos de la potencia aparente mínima con SFV.....	64
Tabla 44 Datos de los niveles máximos de voltaje fases-neutro sin SFV.	65
Tabla 45 Datos de los niveles medios de voltaje fases-neutro sin SFV.	66
Tabla 46 Datos de los niveles mínimos de voltaje fases-neutro sin SFV.....	66
Tabla 47 Resumen del cumplimiento de niveles de voltaje	66
Tabla 48 Datos del Pst fases-neutro sin SFV.	67
Tabla 49 Datos del Plt fases-neutro sin SFV.....	68

Tabla 50 Resumen del cumplimiento sobre perturbaciones de voltaje.	68
Tabla 51 Datos del THD máximos de voltaje fases-neutro sin SFV.	69
Tabla 52 Datos del THD medios de voltaje fases-neutro sin SFV.	70
Tabla 53 Datos del THD mínimos de voltaje fases-neutro sin SFV.	70
Tabla 54 Resumen del cumplimiento sobre THD de voltaje.	70
Tabla 55 Datos de los armónicos individuales de voltaje fases-neutro sin SFV.	71
Tabla 56 Datos del desequilibrio máximo, medio y mínimo de voltaje sin SFV.	73
Tabla 57 Resumen del cumplimiento sobre desequilibrio de voltaje.	73
Tabla 58 Datos de los niveles máximos de corriente en fases y neutro sin SFV.	74
Tabla 59 Datos de los niveles medios de corriente en fases y neutro sin SFV.	75
Tabla 60 Datos de los niveles mínimos de corriente en fase y neutro sin SFV.	75
Tabla 61 Datos del desequilibrio máximo medio y mínimo de corriente sin SFV.	76
Tabla 62 Datos del THD máximos de corriente en fases sin SFV.	77
Tabla 63 Datos del THD medio de corriente en fases sin SFV.	78
Tabla 64 Datos del THD mínimo de corriente en fases sin SFV.	78
Tabla 65 Resumen del cumplimiento sobre distorsión armónica de corriente.	78
Tabla 66 Datos de los armónicos individuales de corriente en fases sin SFV.	79
Tabla 67 Datos del Fp máximo sin SFV.	81
Tabla 68 Datos del Fp medios sin SFV.	81
Tabla 69 Datos del Fp mínimo sin SFV.	82
Tabla 70 Resumen del cumplimiento sobre el factor de potencia.	82
Tabla 71 Datos de la potencia activa máxima sin SFV.	83
Tabla 72 Datos de la potencia activa media sin SFV.	84
Tabla 73 Datos de la potencia activa mínima sin SFV.	84
Tabla 74 Datos de la potencia reactiva máxima sin SFV.	85
Tabla 75 Datos de la potencia reactiva media sin SFV.	86
Tabla 76 Datos de la potencia reactiva mínima sin SFV.	86
Tabla 77 Datos de la potencia aparente máxima sin SFV.	87
Tabla 78 Datos de la potencia aparente media sin SFV.	88
Tabla 79 Datos de la potencia aparente mínima sin SFV.	88

Glosario

CC Corriente continua.

CA. Corriente alterna.

Fp Factor de potencia.

GD Generación distribuida.

Hz Hertz.

IEEE Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

KVA Kilo-Volts-Amper.

PCC Punto de conexión común.

Pst variaciones de voltaje de corta duración

Plt variación de voltaje de larga duración

p.u. Por unidad.

SFV Sistema fotovoltaico.

THD Distorsión armónica total.

W Watts.

Capítulo 1

1 Fundamentos Teóricos

1.1 Generación Distribuida.

La Generación Distribuida es un aspecto de carácter eléctrico que va tomando fuerza a medida de las exigencias que tienen los sistemas eléctricos de potencia. Un tema que desde los inicios de venta de energía es decir desde la generación, distribución y consumo de la energía eléctrica se lo realizaba para satisfacer demanda del medio en el que se producía la energía. [1]

Debido al gran aumento de consumo eléctrico que se produce actualmente surge la GD para potenciar los sistemas y de alguna manera aportar con energía generada desde pequeños puntos del sistema eléctrico de potencia. [1]

La GD en general se la puede definir como generación eléctrica a pequeña escala lo más cercana al consumidor, a diferencia de las grandes generadoras de electricidad que se encuentran en lugares lejanos al consumo de la energía. Por lo tanto, la GD permite a pequeña escala conectar unidades de generación cercanas al consumidor que podrían estar conectadas a la red o asiladas a la misma. [2]

Diversas definiciones presentan autores y organismos sobre la GD como es el caso de Willis & Scott, Jekins et al, Ackerman, Distributed Generation Co-Ordinating Group, etc. Con varios puntos globales y detallados se tiene la definición de Ackerman como la más acertada donde delimita a la GD por aspectos tales como: propósito de la GD, capacidad, ubicación, tecnología, impacto ambiental, funcionamiento u operación, propiedad y penetración de la GD que en resumen sostiene que la GD es una fuente de potencia eléctrica que se puede conectar directamente a las redes o conectadas por medio de instalaciones directamente al consumidor. [3]

Aplicar la GD de tal forma que cubra mayor área del sistema eléctrico genera beneficios para ambas partes tanto para el consumidor y el suministrador del servicio. Las ventajas de las cuales se puede hacer énfasis son las siguientes:

- a) Incrementar confiabilidad del sistema
- b) Eficiencia en el uso de la energía
- c) Aplicar energías renovables en el medio
- d) Adaptación para condiciones del sitio del uso de la energía
- e) Liberar capacidad o carga del sistema eléctrico de potencia
- f) Regulación de tensión óptima
- g) Menor índice de fallas
- h) Reduce costos del suministro eléctrico [4]

1.2 Aplicaciones de la Generación Distribuida.

Varios ámbitos donde la generación distribuida muestra sus efectos positivos para el sistema eléctrico de potencia en el cual se aplique sus principios, los siguientes aspectos:

- a) Disminuir la demanda pico: La GD podría suministrar energía eléctrica en horas pico, debido a la variación del costo de la energía por la demanda de consumo y además la generación disponible en el momento que se la requiere. Por lo tanto, podría disminuir costos de energía eléctrica demandada.
- b) Zonas aisladas: Generalmente la GD es utilizada como fuente de energía debido a los impedimentos tanto económicos como técnicos para prestar el servicio eléctrico a través de la red. Es decir, enfrentará la energía generada de sectores alejados a la red integrando sistemas renovables que produzcan energía eléctrica para procesos básicos e indispensables para una calidad de vida mejor.
- c) Generación distribuida básica: Las empresas eléctricas poseen sistemas de GD para suministrar energía en el momento que el sistema requiera, debido a condiciones técnicas del momento de esta forma se reducen las pérdidas de potencia y se mejora la calidad del sistema eléctrico.
- d) Reserva: La GD actúa como respaldo en el momento preciso cuando el sistema eléctrico de potencia que provee el servicio tenga fallas y existan cortes de energía. Es decir, interviene para generar energía necesaria que permita continuar con procesos de cualquier carácter mientras se mantenga las interrupciones [3]

La inyección de GD en el sistema produce varios aspectos de mejora, tales como aumento de confiabilidad del sistema, disminuir tiempo de interrupciones y fallas, debido a la inserción de potencia al sistema de forma sostenible y eficiente desde varios puntos del sistema eléctrico.[5]

1.3 Tecnologías de Generación Distribuida.

La tecnología actualmente presenta distintos rangos de madurez, pues algunas están ya consolidadas en el mercado y otras están en una etapa de desarrollo. Varias de estas tecnologías pueden ser aplicadas para generar energía de forma distribuida a escalas pequeñas y medianas.

Los siguientes tipos de generación se presentan en distintos rangos de potencia acorde la tecnología usada, y ser distribuida de forma eficiente y segura.[6]

Tecnologías maduras

- Turbina de Gas
- Mini hidráulica (turbinas hidráulicas)
- Turbinas Eólicas
- Celdas Fotovoltaicas
- Ciclos combinados
- Sistema de Cogeneración (Calor + Electricidad)

Tecnologías Semi-maduras

- Sistemas de Biomasa
- Solar térmica

- Pila de Combustible
- Geotermia

Emergentes

- Marina (undimotriz, corriente motriz, etc.)
- Sistemas híbridos.[7][8]

1.4 Tecnologías Fotovoltaicas.

La energía solar presente sobre la superficie terrestre de tal forma, que se puede aprovechar toda esa energía al transformarla y ser aprovechada en la mayoría de actividades de producción y de desarrollo en la sociedad. Por tales razones, la energía solar puede ser objetivo de uso en zonas urbanas o rurales; es decir, en lugares donde la instalación fotovoltaica puede ser conectada a la red o aislada a la red (autónoma).

Uno de los factores que afectan si una estas tecnologías es aplicada o no de diferente forma, es el factor económico. Pues, cuando una ampliación de red eléctrica no es lo suficientemente factible implementar, por motivos que para la empresa de distribución no generará beneficios. Se efectúa una implementación de un sistema fotovoltaico aislado, y en caso de ser zonas cercanas a la red se opta por sistemas conectados a red que ayudaran en el sistema eléctrico en el cual fue implementado.[9]

1.4.1 Conectada a la Red Eléctrica.

Las conexiones a red de un sistema fotovoltaico se desarrollan en base a intercambio de energía con la red eléctrica del medio; pues mientras exista suficiente radiación solar para producir la energía que satisfaga la demanda, funcionará de forma convencional. Al existir un excedente de energía producida de forma solar se transmitirá automáticamente para carga de baterías en caso de que existan, o de lo contrario se inyectará a la red eléctrica existente en el sitio de aplicación de dicha tecnología. [10]

Inyectar energía a la red, es un proceso del cual se encarga el inversor. Dicho componente tiene la capacidad de transformar la corriente continua en alterna, de esta manera abastece a la demanda. La eficiencia de un sistema solar fotovoltaico depende en gran parte al inversor en lo que refiere a topología, operación y la capacidad para controlar el incremento en la conversión de energía solar en energía eléctrica. [11]



Figura 1-1 Configuración fotovoltaica conectada red.[12]

Para condiciones de conexión a red del sistema fotovoltaico, un objetivo clave para obtener una eficiencia máxima de generación radica en que el inversor trabaje en el punto de máxima potencia. Este parámetro se mantendrá óptimo con la ayuda de que el agrupamiento de paneles sea el adecuado en conjunto con la arquitectura del sistema.[13]

1.4.1.1 Topologías Fotovoltaicas Conectada a Red

El funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico conectado a red, depende de un análisis completo de las condiciones en las cuales se desenvuelve el sistema con el grupo de componentes que lo conforman. El análisis de la curva de carga en concordancia con la curva de radiación permite determinar modalidades de conexión en los sistemas fotovoltaicos.

Dos sistemas de conexiones para sistemas fotovoltaicos se describen acorde a la modalidad de conexión a red. El primer sistema de conexión determina que la energía generada se entrega a la carga, teniendo en cuenta que solo el excedente se inyectará a la red descrito de la Figura 1-2 ; por lo que necesita un solo medidor bidireccional que permitirá medir el flujo de la energía en cualquier dirección.[14][15]

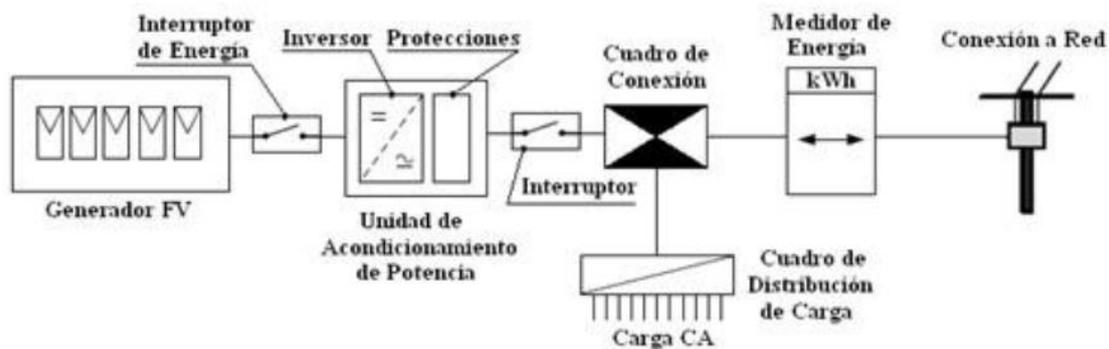


Figura 1-2 Sistema de conexión fotovoltaico con exceso de generación.[15]

En el segundo sistema de conexión la energía se inyecta directamente a la red en su totalidad, de esta forma el usuario se abastece de energía brindada por la empresa de distribución al precio establecido en la norma. Con la consideración de que la energía es vendida a la empresa de distribución establecida bajo un monto estipulado en las tarifas de pago por generación; dicho esquema de conexión se encuentra descrito en la Figura 1-3.[14][15]

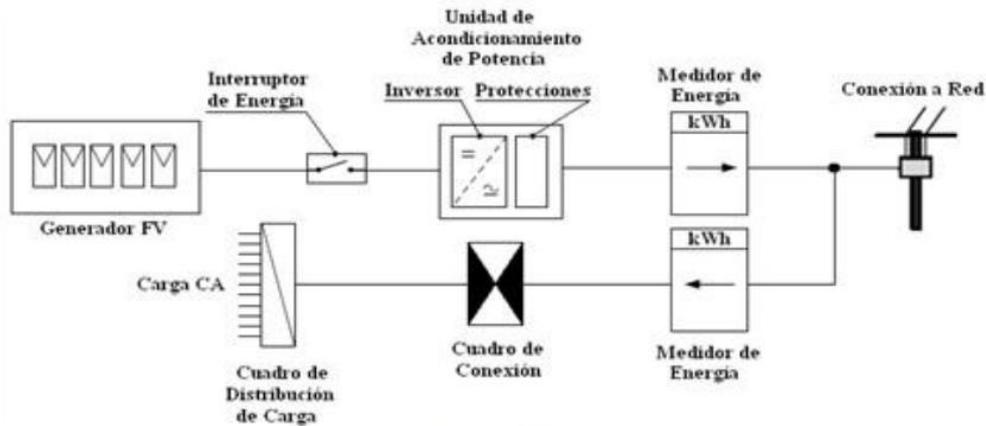


Figura 1-3 Esquema de conexión fotovoltaica para comercializar energía a la red.[15]

1.5 Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico tiene la capacidad de generar energía eléctrica aprovechando la energía solar; puede tener dos configuraciones de conexión entre los módulos solares, ya sea en serie si se desea aumentar la corriente o paralelo si se desea aumentar el voltaje.

La corriente y el voltaje de un módulo fotovoltaico no siempre tienen los valores que necesita la conexión en la que se aplicará este modo de generación renovable; por tal razón se menciona el hecho de conectar varios módulos en serie o paralelo según sea la necesidad eléctrica de conexión.

Los componentes básicos que conforman un sistema fotovoltaico estándar son: el panel fotovoltaico, regulador, batería, inversor y el consumo. Todo este conjunto de elementos permite transformar la energía solar en eléctrica.[16]

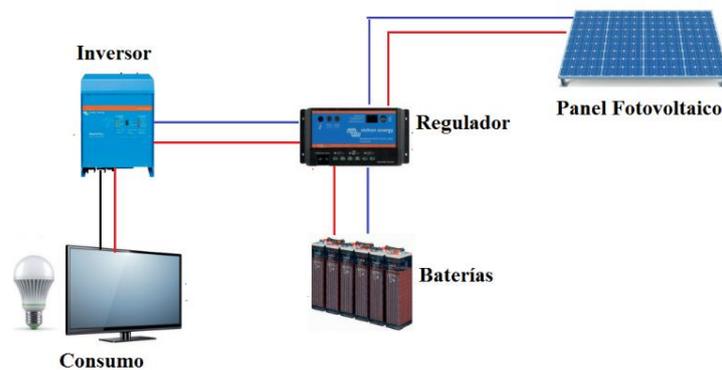


Figura 1-4 Configuración básica de un sistema fotovoltaico.[12]

1.5.1 Celdas Solares

El gran consumo de potencia que se genera debido a los avances tecnológicos, ha provocado la necesidad de buscar nuevas formas de generar energía eléctrica para suministrar demanda. Por las grandes ventajas que muestra la energía fotovoltaica tanto por el contraste económico como madurez tecnológica, este tipo de generación de energía renovable es aplicado para aprovechar la radiación solar.[6]

Pues para aprovechar la radiación solar se tiene las celdas solares con diferentes características de funcionamiento y construcción, su aplicación dependerá del medio donde se quiera aplicar la generación fotovoltaica como la ubicación de la misma. Un sistema ideal que aprovecha al máximo las características del medio donde se aplica la generación fotovoltaica es importante debido a la potencia que se puede generar gracias a un recurso ilimitado como lo es la radiación solar. [17]

1.5.1.1 Funcionamiento de las Celdas Solares

El principio básico utilizado para generar energía a raíz de la radiación solar es el efecto fotovoltaico, el cual se describe por convertir de forma directa los fotones que provienen de la luz.

Las celdas solares estas construidas con materiales semiconductores de los cuales se destacan los de mayor eficiencia para convertir la energía solar tales como: silicio, arseniuro de galio y sulfuro de cadmio.

El principio del efecto fotovoltaico se resume a la incidencia solar sobre un dispositivo de dos capas semiconductoras, una de tipo positiva y otra negativa, de esta forma se genera una diferencia de potencial entre ambas capas. Pues al momento de golpear de luz solar sobre el panel este genera que los electrones sean sacados de ambas capas, y al hacerlo generará una corriente eléctrica que será proporcional a la radiación que incide sobre el panel. Produciendo así energía eléctrica para alguna aplicación específica.

1.5.1.2 Arreglo de Módulos Fotovoltaicos

El arreglo de las celdas fotovoltaicas puede ser en serie o en paralelo, esto dependerá de las necesidades técnicas de la instalación. Teniendo en cuenta que al haber analizado la ubicación de los módulos fotovoltaicos tendremos un estimado de generación debido a la radiación solar existente del lugar; pero que puede ser mayor o menor acorde al área que se va a cubrir con los módulos fotovoltaicos. [18]

Los arreglos en serie o en paralelo de las celdas solares en un panel fotovoltaico dependen de que parámetro se desea incrementar, es decir se conectaran en serie para tener un voltaje adecuado o varias de estas en paralelo para incrementar la corriente con la finalidad de proveer la potencia necesaria al sistema fotovoltaico. [17][1]

Dada una conexión en serie un módulo fotovoltaico genera la misma corriente que la total de la fila y la tensión será igual a la suma de todas las tensiones en los terminales de cada uno de los módulos conectados a la fila. En caso de estar conectados paralelamente la tensión permanece igual y la corriente será la suma de todas las corrientes en los terminales de cada uno de los módulos.[19]

Para sistemas de conexión a red generalmente la conexión se la realiza en serie formando varias filas, teniendo en consideración que el valor máximo de voltaje de la fila sea menor al valor máximo de tensión nominal del inversor. Además, en caso de realizar alguna conexión en paralelo se considera adecuado cumplir con un determinado valor de voltaje en la salida de las filas.[20]

1.5.1.3 Tecnologías Usadas en la Fabricación de Módulos y su Rendimiento.

Las tecnologías usadas para la fabricación de celdas solares poseen diferentes rendimientos que varían acorde al costo y por ende a la clase de material usado para las celdas. Los módulos fotovoltaicos están formados por el conjunto de celdas solares encapsuladas para proteger el material del cual son elaboradas, conectadas eléctricamente y montadas en una estructura para que desempeñen su funcionamiento e interactúen con el medio. [21]

En base a datos técnicos los módulos son construidos para voltajes establecidos tales como: 6 V, 12 V, 24 V etc., que determinarán la tensión a la cual el sistema desarrollará su funcionamiento.

Los tipos de paneles se determinan de acuerdo a la tecnología con la cual se fabricaron sus celdas tales como:

- a) Arseniuro de Galio
- b) Sulfuro de Cadmio y Sulfuro de Cobre
- c) Bifaciales
- d) Silicio (monocristalino y policristalino)
- e) Silicio amorfo [22]

El rendimiento de las celdas fotovoltaicas procede del cociente entre la máxima potencia eléctrica que genera una celda y la potencia lumínica que incide sobre su superficie. Varios factores pueden afectar al rendimiento de una celda solar entre los cuales se tiene: mínima energía de fotones y pérdidas concernientes a recombinación, reflexión, contactos eléctricos además de las pérdidas producidas por resistencia serie.

Acorde al tipo de material se puede definir los siguientes rendimientos para una celda solar, como se muestra en la Tabla 1. [23]

Tabla 1 Rendimiento de los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos.

Tipo de material	Rendimiento		
	Máximo teórico (%)	Alcanzado en laboratorio (%)	En módulos convencionales (%)
Silicio Monocristalino	27	24,7	16
Silicio Policristalino	27	19.8	14
Arseniuro de Galio	29	25,7	20
Silicio Amorfo	25	13	8
Teluro de cadmio	28,5	16	8
Película de silicio	27	16,4	11

1.5.2 Inversores Estáticos de Potencia.

En un sistema fotovoltaico típico conectado a la red, el sistema fotovoltaico se conecta mediante un inversor conectado a la red. El inversor convierte a la corriente que llega del generador fotovoltaico a en CA y garantiza que la forma de la onda de salida coincida con el voltaje y la frecuencia de la red eléctrica. Se deben considerar muchos factores al

elegir un inversor, como el voltaje de entrada, la potencia nominal y la eficiencia de conversión de inversor.[24]

Los inversores normalmente se dimensionan de acuerdo con la potencia nominal del generador fotovoltaico. Además, suelen incluir el seguimiento del punto de máxima potencia para garantizar la adecuada inyección a la red eléctrica. Sin embargo, dado que el recurso solar no siempre es estable, la potencia de salida de los paneles FV tampoco siempre lo es. A niveles bajos de radiación solar, el generador fotovoltaico genera menos energía que su potencia nominal y, en consecuencia, el inversor funciona con una menor eficiencia. Por lo tanto, encontrar el tamaño óptimo de un inversor conectado a la red constituye un papel importante en el aumento de la energía total producida por el sistema fotovoltaico.[24]

Los inversores más comunes usados en las instalaciones fotovoltaicas son de tipo multinivel y de dos niveles.

Entre las topologías populares de los inversores multinivel, el convertidor CHB recibe una gran consideración debido que requiere un número menor de condensadores de enlace de CC que otras topologías. Para el inversor de puente H en cascada trifásico de cinco niveles, la cantidad de fuentes de CC aisladas requeridas es 6 y la cantidad de interruptores requeridos es 24. Recientemente, se usa un inversor de dos niveles en cascada (CTLI) para diversas aplicaciones, como STATCOM, sistema fotovoltaico conectado a la red, accionamientos de motor de inducción, etc. Requiere solo dos fuentes de CC aisladas que pueden ser de campo fotovoltaico, mientras que la topología de CHB convencional requiere 6 fuentes de CC aisladas. Además, el CTLI usa 12 interruptores en lugar de 24 en comparación con el inversor CHB convencional. El sistema fotovoltaico conectado a la red basado en CTLI es un sistema de una sola etapa en el que el seguimiento del punto máximo de potencia se logra mediante el control del inversor. El sistema fotovoltaico basado en CTLI utiliza un transformador en la salida del inversor para la conexión a la red. Por lo tanto, la matriz fotovoltaica de baja calificación se puede conectar a la red utilizando una relación adecuada de transformadores. También el sistema proporciona aislamiento entre la matriz fotovoltaica y la red. De esta forma, elimina el problema de generación de corriente de fuga y aumenta la seguridad. Por supuesto, la complejidad del control aumenta. [25]

1.6 Calidad de Energía Eléctrica.

En los sistemas eléctricos de potencia la calidad de energía está relacionada con las actividades del generador, las empresas de transmisión, distribución, el proveedor y la actividad del consumidor final de la energía eléctrica. Los grandes consumidores, como los industriales, pueden ir acompañados de perturbaciones relevantes en la red de suministro de energía eléctrica en forma de fluctuaciones de voltaje, caídas y subidas de tensión, desequilibrios que conllevan una reducción en la calidad de la energía suministrada a los demás usuarios en la red eléctrica.[26]

Un sistema eléctrico de potencia bajo condiciones ideales se espera que esté completamente balanceado, provea ondas de voltaje y corrientes puramente sinusoidales, con cierta amplitud y a una frecuencia específica y constante. Sin embargo, esto en la

vida real es casi imposible encontrar debido a que los sistemas eléctricos poseen elementos que de una u otra manera distorsionan la forma de onda sinusoidal en la red eléctrica, produciendo una pérdida en calidad de la energía.[27]

La mayoría de las distorsiones provienen de cargas y componentes no lineales y variantes en el tiempo, siendo los más comunes los convertidores de potencia, componentes de núcleo magnético, inversores de corriente y tensión, entre otros.[27]

La calidad de energía en la red está dada por indicadores primarios de los cuales son responsables la generación, el transporte y la distribución, siendo estos indicadores: variaciones de frecuencia en la fuente de alimentación, variaciones de voltaje, fallas de energía, sobretensiones temporales y transitorias. A su vez en la operación disruptiva de los consumidores tenemos indicadores secundarios como: armónicos, interarmónicos, fluctuaciones de voltaje, desequilibrios. [26]

1.7 La Red Eléctrica Ideal.

La red de alimentación está compuesta de tres conductores de fase R, S y T, y el conductor neutro N, se dice que la red es ideal cuando se encuentra perfectamente equilibrada, es decir cuando se cumplen las siguientes condiciones.

- Los generadores producen tensiones equilibradas. Las tres tensiones son de igual valor eficaz y existe entre cada par de ellas un desfase de 120° .
- Las tres corrientes i_R , i_S e i_T están equilibradas, teniendo igual valor eficaz y estando desfasadas 120° entre sí.
- Las impedancias forman un sistema equilibrado lo que conlleva que las tres impedancias tengan el mismo valor eficaz y el mismo factor de potencia. [28]

En la Figura 1-5 se muestra el desfase de tensión de cada fase respecto al neutro.

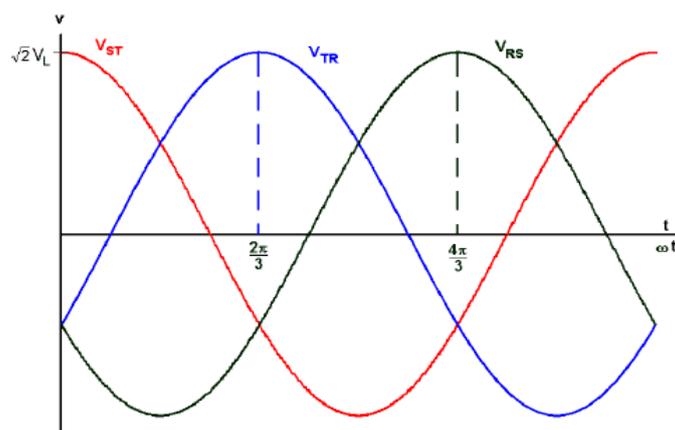


Figura 1-5 Tensiones compuestas en un sistema equilibrado.[28]

En lo cotidiano no hay una red ideal, debido a que los generadores y el sistema de distribución tiene una cierta impedancia, ocasionando caídas de tensión y pérdidas en el sistema. Así mismo las cargas eléctricas que se conectan al sistema generan transitorios provocando desequilibrios en la red.

1.8 Tipos de Carga.

De manera general se pueden describir dos tipos de carga en una red de alimentación: cargas lineales y cargas no lineales

1.8.1 Cargas Lineales.

Las cargas lineales son aquellas que conllevan elementos como resistencias y al ser alimentados por una tensión sinusoidal provocan una corriente sinusoidal de igual frecuencia, pudiendo haber un desfase entre la corriente de carga y la tensión que la produce mediante un factor constante dependiente de la frecuencia. La corriente puede incrementar y disminuir proporcionalmente al voltaje.[29]

En una resistencia con cierto valor de ohmios, la relación entre voltios y amperios es una línea recta como se ve en la Figura 1-6, obedeciendo la ley de Ohm $I=V/R$. donde m representa el ángulo con respecto al eje de voltaje.[30]

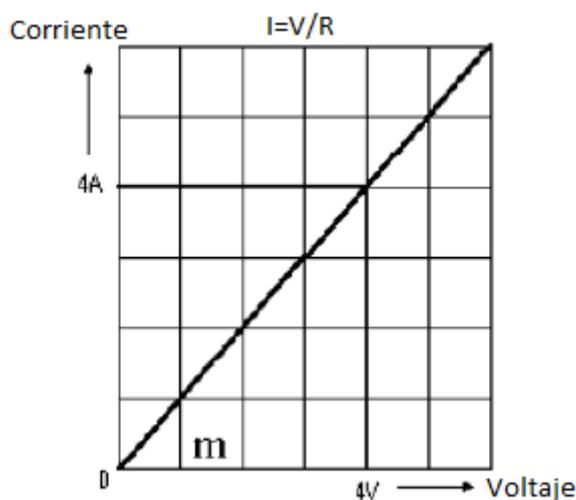


Figura 1-6 Curva de comportamiento de una carga lineal.[30]

1.8.2 Cargas no Lineales.

Hoy en día encontramos muchos ejemplos de cargas no lineales como compresores, televisores, aires acondicionados, computadoras, convertidores de electrónica de potencia etc.[31]

Todos estos dispositivos se convierten en fuentes de armónicos y considerados como uno de los problemas más relevantes en los sistemas de energía eléctrica. Los efectos de los armónicos en los sistemas de potencia aumentan el control de costos, el control de calidad y el consumo de electricidad disminuyendo la calidad de energía, provoca sobrecalentamiento de transformadores y cables de potencia, disparo de disyuntores y fusibles, sobrecarga de condensadores, señal de interferencia en equipos convertidores, interferencia con circuitos de telecomunicaciones y sistema de control de ondulación, mayores pérdidas de transmisión y corriente neutra excesiva en el cable neutro.[32]

Las cargas no lineales necesitan de CC, y al pasar por la impedancia del sistema provocan una caída de voltaje no senoidal, lo que conlleva una distorsión de voltaje en la carga. Las

cargas no lineales no tienen una relación proporcional entre voltaje y corriente como se ve en la Figura 1-7.[30]

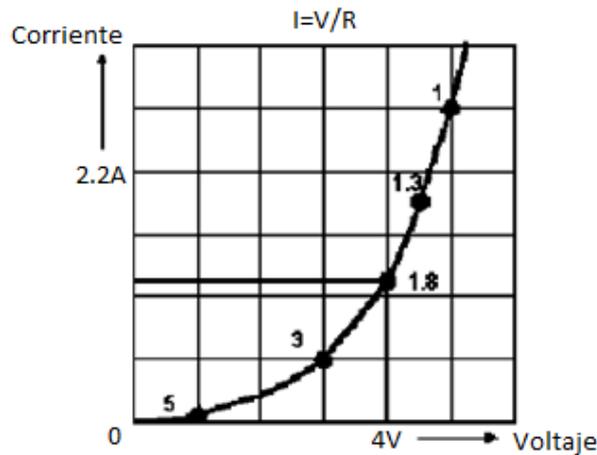


Figura 1-7 Curva de comportamiento de una carga no lineal.[30]

1.9 Normativa para Evaluar y Garantizar la Calidad de Energía.

Generalmente la normativa sobre calidad de energía se rige en dos formas:

- Normas internacionales desarrolladas con el apoyo de organizaciones nacionales de normalización pertenecientes a grupos internacionales como la ISO (*International Organization for Standardization*), IEC (*International Electrotechnical Commission*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).
- Normas Regionales desarrolladas por organismos de regulación pertenecientes a cada país.

1.10 Estándar IEEE 1159-2009.

La IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, por sus siglas en ingles) en su estándar 1159 llamado *Practica recomendada para el monitoreo de la calidad de Energía eléctrica* define a la calidad de energía como una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan a la corriente y la tensión en un momento dado y en una ubicación determinada del sistema de potencia. Proporcionando límites, técnicas de aplicación y la interpretación de los resultados obtenidos en el monitoreo de red.[33]

Los principales indicadores de calidad de energía establecidos por este estándar se las muestra en la Tabla 2 y se los definirá a continuación.

Tabla 2 Perturbaciones eléctricas.[33]

Categoría.	Duración Común	Magnitudes de Tensión Típicas
1. Perturbaciones Transitorias.		
1.1 Transitorios Impulsivos.	<0.5 ciclos	
1.2 Transitorios Oscilatorios.	<0.5 ciclos	0-8 p.u.
2. Perturbaciones de Corta Duración.		

2.1 Interrupciones.	0.5 ciclos - 1min	<0.1 p.u.
2.2 Huecos de Tensión (Dips).	0.5 ciclos - 1min	0.1-0.9 p.u.
2.3 Saltos de Tensión (Swell).	0.5 ciclos - 1min	1.1-1.4 p.u.
3. Perturbaciones de Larga Duración.		
3.1 Interrupción sostenida.	> 1min.	0.0 p.u
3.2 Subtensión	> 1min.	0.8-0.9 p.u.
3.3 Sobretensión	> 1min.	1.1-1.2 p.u.
4. Desequilibrio de Tensión	Estado Estable	0.5-2 %
5. Distorsión de Forma de Onda		
5.1 Armónicos	Estado Estable	0-20%
5.2 Cortes Intermitentes	Estado Estable	
5.3 Ruido	Estado Estable	0-1%
6. Fluctuaciones de tensión (Flicker)	Intermitente	0.1-7%

1.10.1 Perturbaciones Transitorias.

Los fenómenos asociados a las perturbaciones eléctricas han sido tratados desde hace años, debido a cargas no lineales las principales perturbaciones de tensión en la red de suministro son: impulsos transitorios, transitorios oscilantes, ruidos, muescas, sobretensión, hueco de tensión y distorsión armónica.[34]

Las perturbaciones transitorias en los sistemas eléctricos de potencia son fenómenos no deseados, pero de corta duración o momentáneos. En forma general se pueden clasificar en dos tipos, impulsivo y oscilatorio.

1.10.1.1 Transitorio Impulsivo.

Una perturbación transitoria impulsiva esta descrita por la IEEE como un cambio de frecuencia repentino de la condición nominal de voltaje, corriente o ambos, siendo unidireccional en la polaridad es decir positiva o negativa, se caracterizan por sus tiempos de subida y decadencia. Al ser transitorios estos se desvanecen con rapidez, como se ven en la Figura 1-8, generalmente siendo amortiguados por los propios elementos resistivos del circuito.[33]

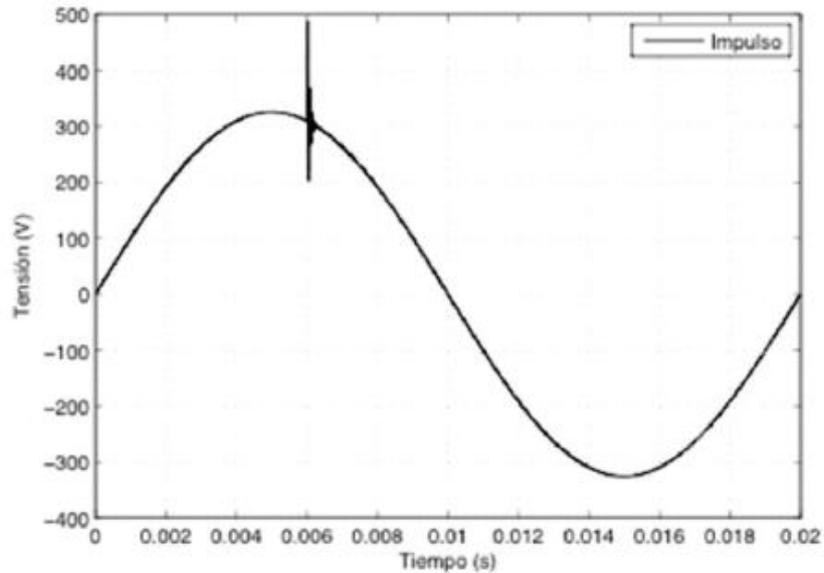


Figura 1-8 Perturbación transitorio impulsivo.[34]

1.10.1.2 Transitorio Oscilatorio.

Una perturbación transitoria oscilatoria se la puede apreciar en la Figura 1-9, siendo un cambio de frecuencia repentino que puede involucrar tensión, corriente o ambos parámetros, influyendo tanto los valores de polaridad positiva como negativa. Se describe por su duración, magnitud y contenido espectral.[33]

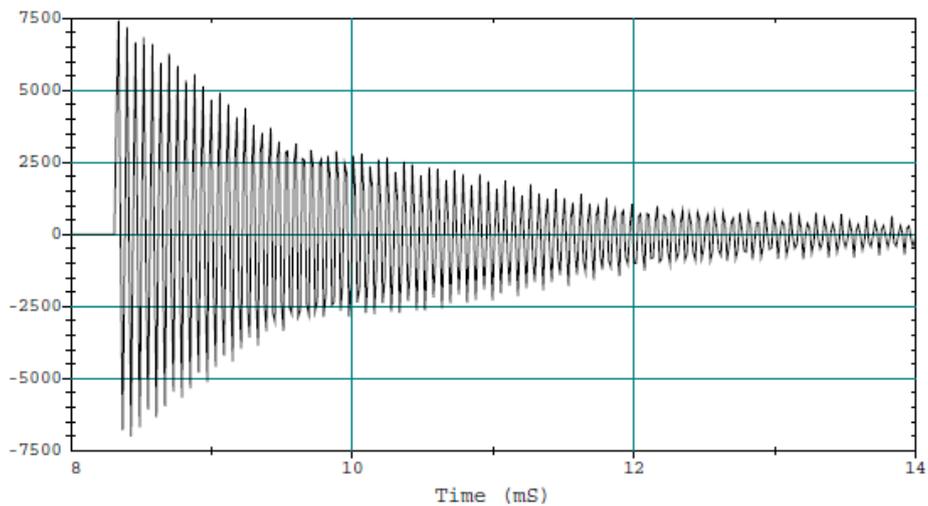


Figura 1-9 Perturbación transitorio oscilatorio.[33]

1.10.2 Variaciones de Corta Duración.

Estas variaciones son generalmente causadas por fallas en el sistema, energización de grandes cargas con necesidad de corrientes altas para su arranque, o conexiones sueltas en cables de alimentación. Dependiendo de donde se produzca la falla y a su vez las condiciones de la red, se pueden dar aumentos temporales de tensión (Swells), huecos de tensión (Dips), y en el peor de los casos una pérdida total de tensión (Interrupción).[33]

1.10.2.1 Interrupciones.

Uno de los problemas más comunes que afecta negativamente a la calidad de la energía es la interrupción a corto plazo de la tensión principal. Una interrupción se da cuando la tensión de alimentación o la corriente de carga decaen a menos de 0.1 p.u. durante un periodo de tiempo que no supere a 1 minuto, un ejemplo de esto lo tenemos en la Figura 1-10. La duración de la interrupción dependerá de la capacidad de volver a cerrar el dispositivo de protección. Normalmente se deben a fallas en la red o mal funcionamiento del sistema de control siendo los más sensibles a estas perturbaciones los equipos electrónicos, como las computadoras, pudiendo causar en ellas pérdidas de información o mal interpretaciones de órdenes.[35]

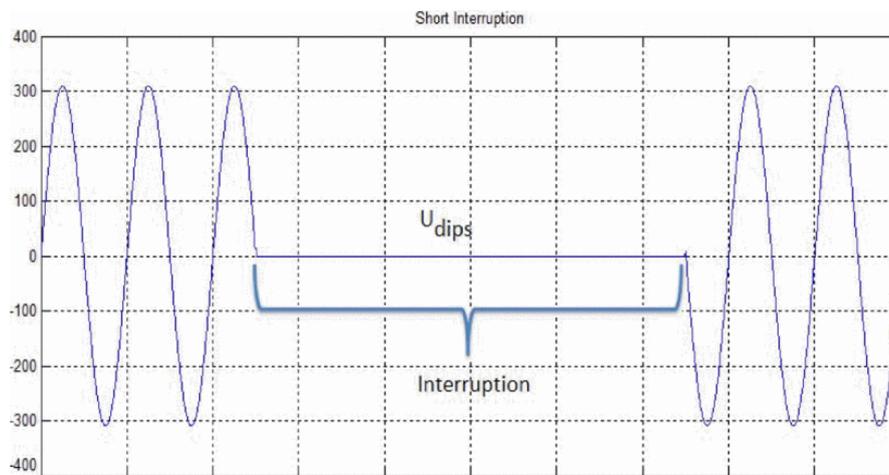


Figura 1-10 Interrupción de corta duración.[35]

1.10.2.2 Huecos de Tensión (Dips).

También denominados hundimientos pueden ser causados por cambios de carga con gran tamaño, arranque de motores asíncronos o arranque de motores de inducción que pueden tener de seis a diez veces su corriente a plena carga al iniciar su funcionamiento, definiéndolos como una reducción en la magnitud de la tensión rms entre 0.1 p.u y 0.9 p.u en duraciones de 0.5 ciclos a un minuto.[36]

Los aspectos que caracterizan a los huecos de tensión son dos: 1) la reducción en la magnitud de la tensión rms (profundidad) y 2) la duración de la reducción de voltaje, representados en la Figura 1-11.

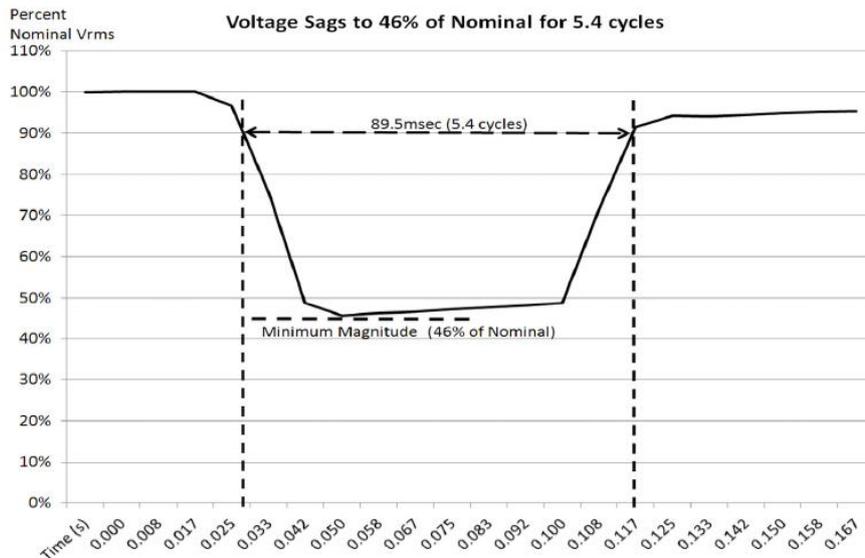


Figura 1-11 Representación de un hueco de tensión.[36]

1.10.2.3 Salto de Tensión (Swell).

Los saltos de tensión en las redes no son tan comunes, pero se dan cuando hay una desconexión de una carga grande o también al conectar un banco de capacitores robusto, elevando la tensión rms por encima de 1.1 p.u en duraciones de 0.5 ciclos de un minuto.

Los saltos de voltaje pueden ocurrir entre los conductores de fase o también entre los conductores de fase y de protección. Las fallas a tierra cortas también pueden provocar un aumento de voltaje entre la fase y los conductores neutros. De acuerdo con los requisitos de esta norma, el aumento de voltaje se considera una interferencia electromagnética, cuya intensidad está determinada por el voltaje y la duración.[37]

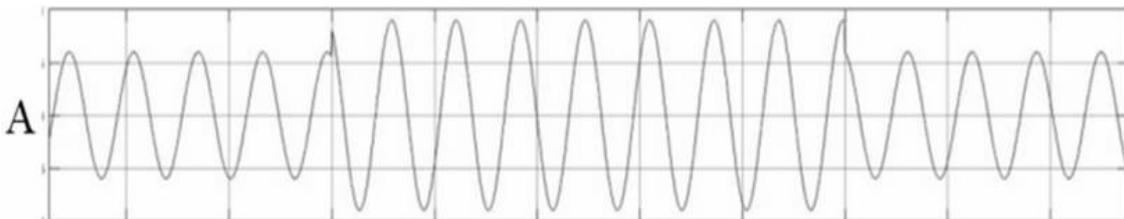


Figura 1-12 Representación de un salto de tensión.[37]

1.10.3 Variaciones de Larga Duración.

Este tipo de variaciones abarcan desviaciones rms a frecuencia fundamental por lapsos mayores a un minuto, pudiendo ser sobretensiones o subtensiones, dependiendo de las causas que lo provoquen, generalmente siendo esta, debido a variaciones de carga en el sistema y operaciones de conmutación.[38]

1.10.3.1 Interrupción Sostenida.

La interrupción sostenida no se refiere a un corte total de la energía, sino más bien al estado de un componente que ha dejado de funcionar correctamente. Este tipo de interrupciones pueden ser pequeñas como de 1/2 ciclo. Además, el uso del término interrupción desde la perspectiva del monitoreo en la calidad de energía no se relaciona

con la confiabilidad u otras estadísticas de continuidad en el servicio. Se considera una perturbación como una interrupción sostenida cuando la tensión de alimentación del sistema disminuye a menos del 10% del valor nominal en un lapso mayor a un minuto. Siendo por lo general necesario la intervención manual para que el sistema vuelva a la normalidad.[39]

1.10.3.2 Subtensión.

Las subtensiones en un sistema eléctrico de potencia corresponden a un decaimiento de la tensión rms menor al 0.9 p.u durante un periodo mayor aun minuto. Este tipo de eventos se dan con la conexión de una gran carga, o la desconexión de un banco de capacitores pudiendo llevar al sistema a una caída de tensión hasta que el equipo regulador actué y vulva a valores de tolerancia.[33]

1.10.3.3 Sobretensión.

El problema de sobretensión significa que la tensión en un circuito o parte de ella se eleva por encima de su límite específico, siendo las principales causas de daños en las redes eléctricas los accidentes externos como rayos e internos como: 1) sobretensiones de conmutación y 2) sobretensiones temporales causadas por falla de línea a tierra o la desconexión de cargas importante en condiciones de estado estable. La situación se vuelve más grave al tratarse de sistemas de distribución ya que estos poseen amplias áreas, y generalmente consisten en líneas cortas con diferentes resistencias e inductancias, una gran cantidad de nodos, muchos transformadores de distribución y miles de cargas de usuarios finales.[40]

Se la describe como un aumento rms de tensión mayor a 1.1 p.u, con una duración que sobrepase un minuto.

1.10.4 Desequilibrio de Tensión.

Las caídas y los desequilibrios de tensión que se producen en los sistemas de energía se consideran como los principales problemas en términos de calidad de la energía. Los desequilibrios de voltaje en un sistema polifásico se dan cuando valores de línea y/o los ángulos de fase entre voltajes de línea no son los mismos. La principal razón de los desequilibrios de tensión son las cargas monofásicas, cuya potencia no es igual. Igualmente, los fallos del sistema de alimentación, las líneas aéreas que no se trasponen y los reguladores de voltaje en mal funcionamiento conllevan desequilibrios de voltaje.[41]

La razón de la componente de secuencia negativa o cero a la componente positiva, puede ser usado para especificar en qué tanto por ciento se encuentra desbalanceado el sistema. La Figura 1-13 muestra el desequilibrio de un alimentador residencial en un periodo semanal.[38]

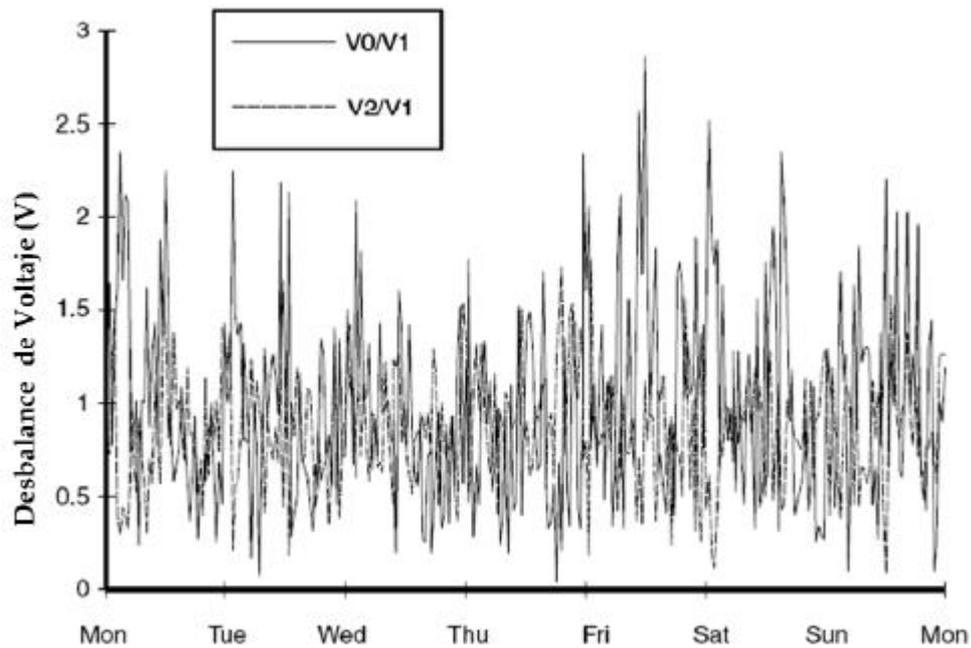


Figura 1-13 Desequilibrio de tensión en un alimentador residencial.[38]

1.10.5 Distorsión de la Forma de Onda.

Al referirse a calidad de energía se incluyen todos los aspectos de los eventos del sistema que se desvían de la operación normal, siendo las distorsiones en la forma de onda las que mayor impacto tienen en la red eléctrica. La corriente de la red se distorsionó, es decir, se desvía de la forma de onda sinusoidal ideal.[42]

La distorsión de forma de onda está definida como una desviación de estado estacionario a partir de una sinusoidal de frecuencia ideal caracterizado principalmente por el contenido espectral de la desviación.[33]

Las distorsiones de forma de onda típicas son:

- Armónicos
- Cortes Intermitentes
- Ruidos (Noise)
- Fluctuaciones de tensión (Flicker)

1.10.5.1 Armónicos.

Desde que se conectó el primer generador de CA a la red, hace más de 100 años, los sistemas eléctricos han experimentado armónicos. Las fuentes de distorsión, la interacción entre ellas y la propagación de la distorsión en el sistema de energía han sido estudiados ampliamente en los últimos años.[42]

Los armónicos son voltajes o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (50 Hz o 60 Hz). Las distorsiones armónicas son causadas generalmente por los equipos con voltajes o corrientes no lineales.[33]

Las cargas no lineales monofásicas más comunes son rectificadores, fuentes de alimentación conmutadas y balastos de iluminación electrónica. Las corrientes y voltajes armónicos producidos por estas cargas monofásicas, son armónicos de secuencia cero de tercer orden, es decir, el tercer armónico y sus múltiplos impares -3° , 9° , 15° , 21° , etc., con fasores desplazados por cero grados. Estas corrientes armónicas de secuencia cero, de tercer orden, actúan como una fuente primaria de corrientes neutrales excesivas, ya que no se cancelan, sino que se suman aritméticamente en el bus neutro.[43]

Algunos de los efectos de los armónicos sobre la calidad de la energía son:

- Crear interferencia electromagnética en el bobinado del motor.
- Reducción del factor de potencia.
- Sobre calentamiento de transformadores y equipos rotativos.
- Sobre calentamiento de cables.
- Falso disparo de cortacircuitos y fusibles etc.[44]

Es común usar la distorsión armónica total (THD), como una medida de la magnitud de la distorsión armónica, que representa el espectro armónico completo con magnitudes y ángulos de fase de cada componente armónico individual. La Figura 1-14 se ilustra la forma de onda y el espectro armónico para una corriente de entrada de un variador de velocidad.[33]

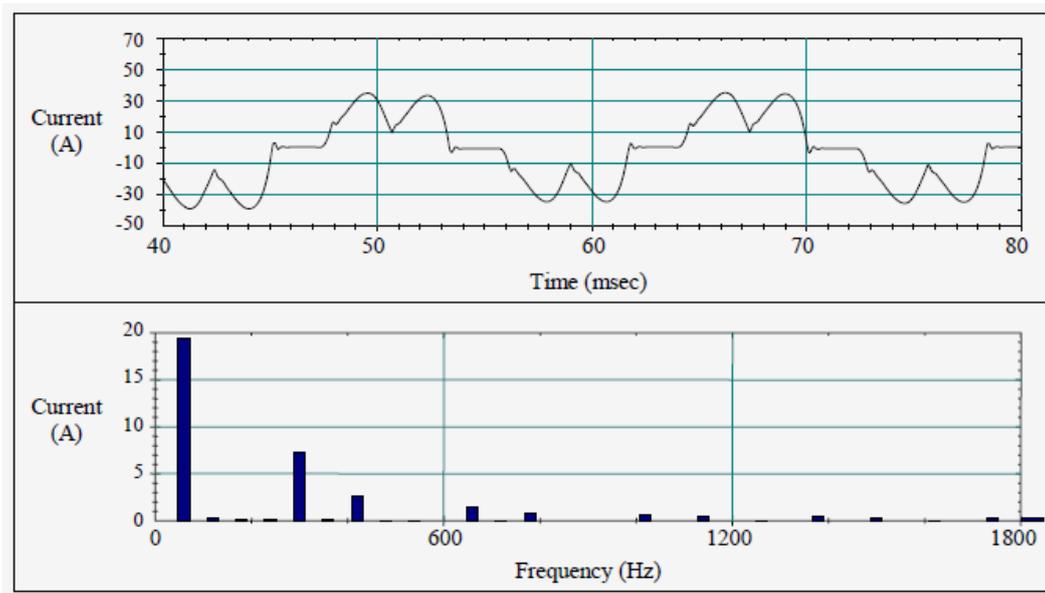


Figura 1-14 Forma de onda de corriente y espectro armónico para corriente de entrada variador de velocidad.[33]

1.10.5.2 Cortes Intermitentes.

Los cortes intermitentes de conmutación son perturbaciones de voltaje que se encuentran en las redes industriales. Son perturbaciones de voltaje periódicas causadas por el funcionamiento normal de los dispositivos de electrónica de potencia cuando la corriente se cambia de una fase a otra. Durante este período, hay un cortocircuito momentáneo entre dos fases. La gravedad de la muesca en cualquier punto en el sistema es determinada por la inductancia de la fuente y la inductancia de aislamiento entre el convertidor, la

magnitud de la corriente, y el punto que se monitoriza. Las componentes de frecuencia asociados a los cortes intermitentes pueden ser muy elevadas y no ser detectados rápidamente por los equipos de medición convencional.[33][45]

En la Figura 1-15 se muestran los cortes intermitentes en un transformador de alimentación con motores CC en pleno funcionamiento.

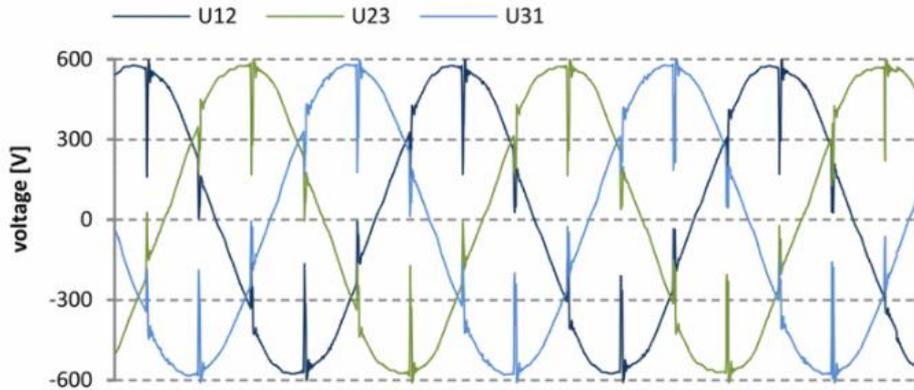


Figura 1-15 Cortes Intermitentes en un transformador.[45]

1.10.5.3 Ruido.

Los problemas de ruido son a menudo provocados por conexiones a tierra inadecuadas. Su rango de frecuencia y el nivel de magnitud de ruido está dada por la fuente que lo produce y las características del sistema. El ruido afecta principalmente microordenadores y controladores programables. Fundamentalmente el ruido en un sistema eléctrico de potencia consiste en cualquier distorsión no deseada de la señal de potencia que no puede ser clasificada como armónico o una distorsión transitoria, más bien clasificada como una señal eléctrica de contenido espectral con banda ancha, inferior a 200 kHz que se encuentra superpuesta a la tensión del sistema de alimentación (Figura 1-16) o de corriente en los conductores de fase. Pudiéndose en ciertas ocasiones también encontrar en el conductor neutro o de señales.

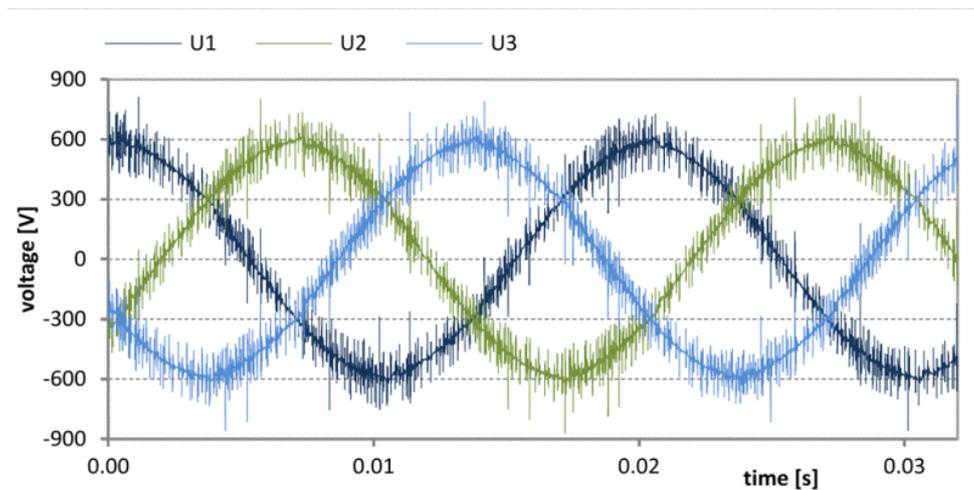


Figura 1-16 Voltaje con ruido en una planta química.[45]

1.10.6 Fluctuación de Tensión (Flicker).

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la envolvente de voltaje o una serie de cambios de voltaje al azar. Las fluctuaciones en el voltaje del sistema pueden resultar en cambios que se pueden ver en la iluminación de lámparas eléctricas.

Toda carga que posea variaciones cíclicas significativas, especialmente en el componente reactivo, puede causar fluctuaciones de tensión que corresponden a un fenómeno electromagnético, esto causa los denominados “Flicker” que son los parpadeos en la iluminación eléctrica.

La frecuencia de estas fluctuaciones de tensión es mucho menor que la frecuencia de suministro de 50 Hz o 60 Hz. generalmente no sobrepasan los rangos de tensión especificados de 0,95 p.u a 1,05 p.u. Sin embargo, pueden ocurrir con bastante frecuencia y magnitud para causar la irritación visual a las personas que observan los cambios de iluminación.[46]

En la Figura 1-17 se aprecia las fluctuaciones de tensión en un horno de arco eléctrico.

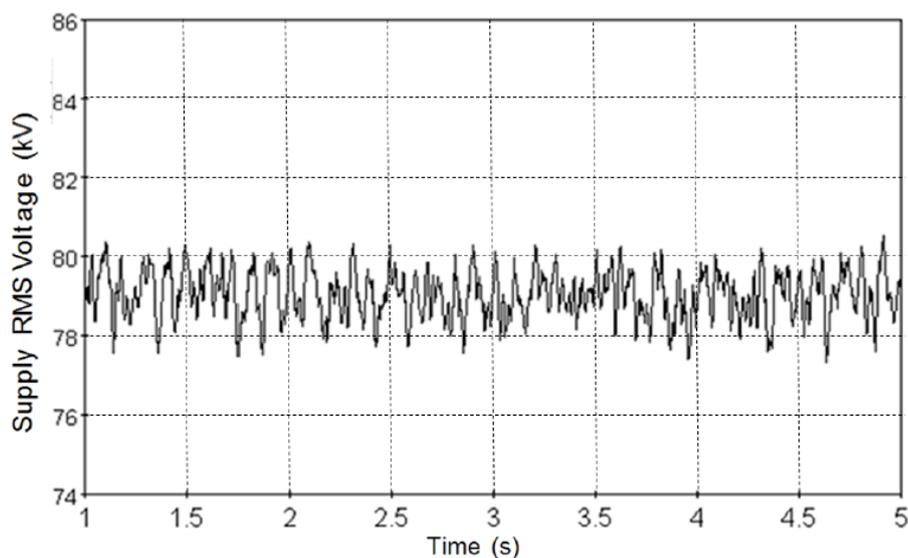


Figura 1-17 Fluctuaciones de tensión causadas por un horno de arco eléctrico.[46]

1.11 Regulación ARCONEL 005/18.

Esta regulación lleva el nombre de *Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*, teniendo como objetivo establecer índices, indicadores y límites de calidad tanto para la distribución como para la comercialización de energía eléctrica, así mismo, define procedimientos de medida, registro y evaluación a ser cumplidos.[47]

Esta regulación establece que la calidad del producto se evaluara mediante los siguientes indicadores.

- a) Nivel de voltaje
- b) Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)
- c) Distorsión armónica de voltaje

d) Desequilibrio de voltaje

El periodo de evaluación para estos indicadores será de 7 días continuos en intervalos de medición de 10 minutos para la toma de datos.

La calidad de la energía será buena cuando el 95% o más de los registros en el periodo de medición, de al menos 7 días, se encuentren dentro de los límites establecidos para cada indicador.

1.11.1 Nivel de Voltaje.

La comprobación de la calidad del nivel de voltaje se la realiza mediante los siguientes indicadores:

V_k : Voltaje promedio suministrado en el punto k de las medidas registradas cada 3 segundos durante un periodo de 10 minutos.

V_N : Volteje nominal en el punto k.

ΔV_k : Variación de voltaje suministrado respecto al valor nominal en el punto k.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%]$$

Esta variación de voltaje no debe exceder los valores de la Tabla 3.

Tabla 3 Límites de variación de voltaje. [47]

Nivel de voltaje	Rango Admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo2)	±5.0%
Medio Voltaje	±6.0%
Bajo Voltaje	±8.0%

1.11.2 Flickers.

Las perturbaciones rápidas de voltaje (Flickers) se evaluarán conforme a la norma IEC 61000-4-15 mediante la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo (P_{st}).

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

Siendo $P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} los niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

El valor límite para P_{st} no debe superar a la unidad en el punto de medición.

1.11.3 Distorsión Armónica de Voltaje

Con respecto a la distorsión de voltaje, se evalúa la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje (THD) teniendo como límites máximos los expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4 Límites máximos de distorsión armónica de voltaje (% del voltaje nominal). [47]

Nivel de voltaje	Armónicos Individuales (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

1.11.4 Desequilibrio de Voltaje.

El límite para el desequilibrio de voltaje en el punto de medición será del 2% para cualquier nivel de voltaje.

El valor mínimo del factor de potencia es de 0.92 y la frecuencia en la red no deberá tener una variación superior a $\pm 1\%$ de la fundamental (60 Hz).

1.11.5 Distorsión de Corriente

De igual manera la regulación dispone que el aspecto de calidad evaluado al consumidor se efectuará conforme a la distorsión armónica de corriente. Tomando datos de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total (TDD) y sin sobrepasar los límites presentes en la Tabla 5.[47]

Tabla 5 Niveles máximos de distorsión armónica de corriente para sistemas de 120V a 69kV [47][48].

Nivel Máximo de armónicos impares ^a (% de la corriente máxima de demanda)						
I _{cc} /I _L	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h < 50	TDD
< 20 ^b	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

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

^b Todos los quipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de la I_{cc}/I_L

Siendo I_{cc} corriente máxima de corto circuito en PCC; y, I_L corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60 Hz).

1.11.6 Estándar IEEE 519-2014.

Este estándar IEEE denominado *Prácticas recomendadas y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica*, da a conocer las ondas de voltaje y corriente que pueden existir en un sistema eléctrico, estableciendo los objetivos de distorsión para el diseñador en sistemas de energía con cargas no lineales.

Proporciona las limitaciones de distorsión de tensión armónica en estado estable en condiciones del "peor caso" para reducir los posibles efectos negativos de los equipos del

usuario y del sistema. A su vez establece la calidad de potencia que se debe proporcionar en el PCC.

La regulación nacional ARCONEL 005/18 hace referencia a este estándar estableciendo los límites que se ven en la Tabla 4 y Tabla 5.

Los límites de este estándar son tanto para los propietarios del sistema u operadores y usuarios, ya que los usuarios son responsables de la generación de armónicos de corriente que fluyen por el sistema del operador, lo que se deriva en armónicos de voltaje en la tensión suministrada los demás usuarios. Siendo la distorsión de tensión total producida por las distorsiones de corriente de todos los usuarios y la impedancia del sistema.

Sin embargo, se pueden encontrar condiciones transitorias que excedan estos límites. En cualquier caso, los valores límite dados son recomendaciones y no deben considerarse vinculantes en todos los casos. [48]

1.11.7 IEC 6100-2-2.

Esta norma internacional denominada *Compatibilidad Electromagnética*, establece los niveles para perturbaciones conducidas a frecuencias de 50 y 60 Hz con voltajes nominales de 240 y 415 V. respectivamente, en redes de suministro público de baja tensión.

Los niveles establecidos están definidos empíricamente para reducir el número de demanda con mala operación a niveles aceptables. La Tabla 6 da a conocer los niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en redes de baja tensión.

Tabla 6 Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en la red pública de baja tensión.

Armónicos Impares				Armónicos Pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3		Orden h	Voltaje armónico (%)
Orden h	Voltaje armónico (%)	Orden h	Voltaje armónico (%)		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.2
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	0.2+1.3*25/h				
Se considera que el THD de la demanda de alimentación los componentes armónicos mayores a 40th son menores al 8%.					

1.12 Efectos en la Calidad de Energía en la Red de Distribución y Baja Tensión Debido a la Generación Fotovoltaica.

Según algunos estudios se prevé que la demanda de energía eléctrica aumentará cerca de un 41% en todo el mundo para el año 2035, lo que ha generado un gran interés en la

investigación en el campo de la generación distribuida en especial la fotovoltaica y su conexión a las redes de distribución existentes. Conforme el desarrollo de la generación de energía solar va aumentando se ha convertido en un desafío para las empresas de energía, operadores de sistema de transmisión y distribución. Esto se debe a que todavía no se entiende completamente el impacto a nivel de transmisión y distribución. Uno de los problemas es la regulación de tensión, que en lineamientos y estándares técnicos se propone un límite no inferior a 0,9, ya sea adelantado o retrasado. [49]

Es verdad que los paneles fotovoltaicos reducen las pérdidas de energía y proporcionan energía limpia, pero también pueden afectar negativamente a la red de distribución de baja y media tensión en términos del perfil de voltaje, pues en días en donde los niveles de radiación solar son elevados pueden ocurrir sobretensiones y conflictos operacionales con dispositivos existentes para el control de tensión, tales como: reguladores de tensión, transformadores con cambio de tap bajo carga y bancos de condensadores conmutados. [50]

El desequilibrio de voltaje es uno de los problemas comunes de calidad de la energía que podrían ser causados por la distribución desigual de las cargas monofásicas, los devanados de transformadores asimétricos o las líneas de transmisión. Este desequilibrio puede afectar el funcionamiento de los motores de inducción trifásicos y causar la reducción de la vida útil de los transformadores. Es ahí en donde entran los operadores del sistema, que intentan distribuir las cargas de manera uniforme entre las tres fases de los alimentadores de distribución para minimizar el índice desequilibrio de voltaje. La generación fotovoltaica monofásica conectada al inversor da lugar a la tensión de una fase en el punto de conexión común que, en consecuencia, puede empeorar considerablemente el índice del desequilibrio. Por esta razón, los desequilibrios de la red generan muchos problemas, como la distorsión de la corriente de salida del inversor, el aumento de los componentes de secuencia negativa de tensión en la salida del inversor, la fluctuación de baja frecuencia de la potencia de inyección, etc. Además, puede afectar el funcionamiento seguro y estable de las cargas locales conectadas con el punto de conexión común. [51]

La integración de energía solar fotovoltaica a la red deteriora progresivamente la calidad de abastecimiento eléctrico en diferentes aspectos. Los problemas típicos por la energía solar fotovoltaica relacionada con la calidad de la energía se pueden identificar como un aumento del nivel de armónicos, desequilibrio de tensión, deterioro del factor de potencia y regulación de tensión en las redes de distribución. Las técnicas electrónicas de potencia utilizadas en la energía solar fotovoltaica en la inversión de CC a CA causan una distorsión armónica que es difícil de evitar. Además, la cuestión armónica se agrava por la presencia de cargas no lineales en las proximidades de las instalaciones solares haciendo que el factor de desequilibrio de la tensión /corriente en el punto de acoplamiento común pueda aumentar significativamente. [52]

La salida del transformador de medida se conecta a una celda modular de media tensión y una caja de derivación, de la cual salen tres líneas subterráneas hacia distintos edificios.

La primera línea llega hasta el transformador número 21462P de 150 KVA encargado de alimentar las cargas del rectorado, la biblioteca, el edificio de la carrera de Ingeniería Automotriz y sus laboratorios.

La segunda línea se conecta al transformador número 5925P de 112.5 KVA que suministra de servicio eléctrico a las cargas en el sector de la cancha sintética, la de hierba y la de cemento.

La tercera línea llega a otra caja de derivación ubicada en la parte baja del edificio del Centro de Cómputo, que a su vez se deriva en tres líneas más (cuarta, quinta, sexta).

La cuarta línea está conectada al transformador número 1860P de 300 KVA encargado de las cargas pertenecientes al edificio Cornelio Merchán.

La quinta línea está conectada al transformador número 15194P de 60 KVA encargado únicamente del Data Center de la Universidad.

La sexta línea llega hasta el transformador mostrado en la Figura 2-2 con número 19597P de 200 KVA que alimenta las instalaciones de los edificios Guillermo Mensi, Mario Rizzini, oratorio, coliseo, iglesia, patio de comidas, los jardines entre otros. Es en este transformador donde se encuentra conectado el sistema de generación fotovoltaica que en conformidad a lo que genere en horas del día, alimenta a las cargas mencionadas anteriormente o a su vez pueden ser abastecidas mediante la empresa eléctrica. Todo el diagrama de conexiones se lo puede apreciar en el anexo A.



Figura 2-2 Transformador trifásico de 200 KVA.

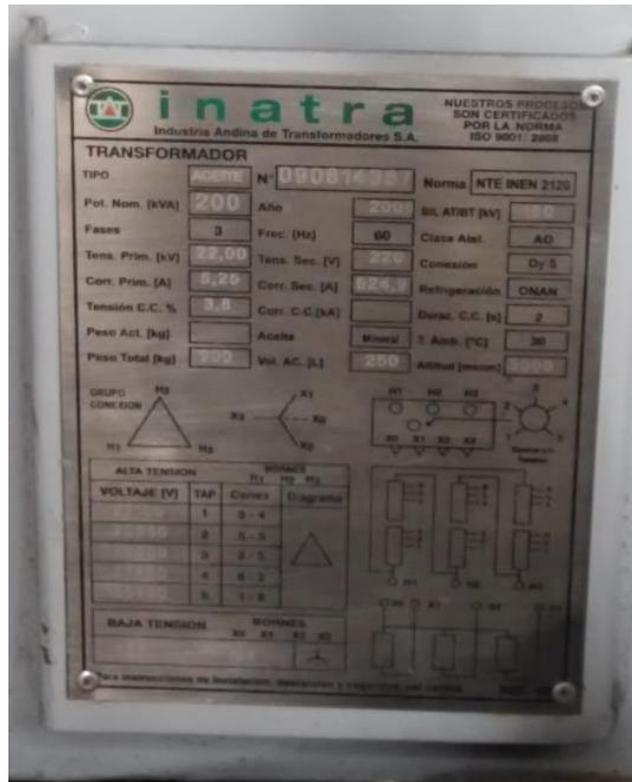


Figura 2-3 Placa del transformador.

2.2 Disposición del Sistema Fotovoltaico.

El Sistema de Generación Fotovoltaica tiene una capacidad instalada de 12,6 kWp en un área de 73m² y se basa en el siguiente esquema de conexión mostrado en la Figura 2-4.

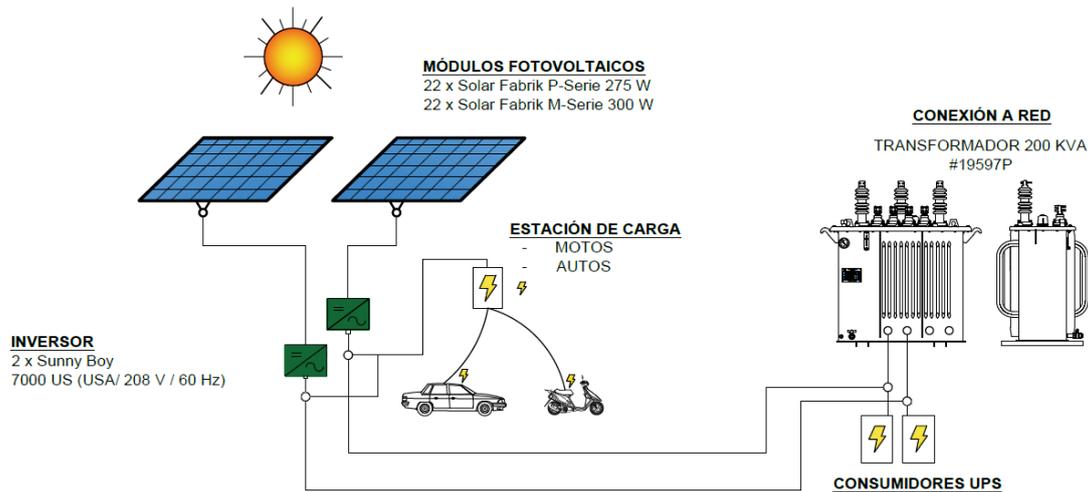


Figura 2-4 Diagrama de conexión del sistema solar fotovoltaico

El sistema de generación solar se encuentra ubicado en los techos que conforman una de las tribunas del estadio Valeriano Gavinnelli a un costado del estacionamiento, dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Dicho sistema tiene la característica de estar conectado a la red eléctrica y, además sirve como estación de carga para vehículos o motos de carácter eléctrico de la misma manera aporta con

energía para consumir dentro de la Universidad. El cableado del mismo se lo puede ver en el anexo B.

Es posible destacar los 4 componentes principales de la instalación fotovoltaica:

1) Planta Solar.

Se ubica en el techo que cubre la tribuna del estadio mostrado en la Figura 2-5 y se conforma de dos tipos de módulos solares, de esta manera se intenta explorar las diferencias en generación de energía.

Tipo y cantidad de módulos solares que conforman el sistema fotovoltaico:

- 22 x Solar Fabrik P-Serie 275 W
- 22 x Solar Fabrik M-Serie 300 W

Los datos técnicos de estos paneles se encuentran en los anexos C y D.



Figura 2-5 Planta fotovoltaica.

2) Inversor.

El sistema solar genera corriente continua, por tal razón necesita de dos inversores (Figura 2-6), para que la energía sea utilizada como fuente de alimentación alterna tanto para la electromovilidad como para uso en la Universidad.

Tipo y cantidad de inversores:

- 2 x Sunny Boy 7000 Us (USA / 208 V / 60 Hz)

Para conocer más acerca del inversor se puede revisar el anexo E.



Figura 2-6 Inversores Sunny Boy.

3) Estación de Carga.

La carga puede ser para vehículos o motos (Figura 2-7), dado que la conexión eléctrica es a la red y se la puede utilizar en todo momento. Se ubica junto al estacionamiento muy cercana a la planta solar.

Tipo de estación

- Mennekes AMTRON Xtra

Datos adicionales de la estación de carga se encuentran en el anexo F.



Figura 2-7 Estación de carga.

4) Electromovilidad.

El uso del sistema solar está orientado para carga de motos y autos eléctricos, los cuales los provee la Universidad. El uso de energía renovables en el país con el pasar del tiempo toma impacto en el medio, por tal razón es que al ser instalado este sistema dentro de la Universidad se usa además con fines de investigación y de enseñanza sobre las nuevas tecnologías renovables.

La planta fotovoltaica consta de los siguientes datos técnicos de funcionamiento, y la generación de energía anual de todo el sistema que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Datos técnicos de la planta.

Datos técnicos de la planta	
Orientación	Noreste 45°
Inclinación	5°
Ratio de Rendimiento	82.7 %
Generación Anual	20.759 kWp
Rendimiento Especifico	1.641 kWh / kWp
Emisiones Evitadas	12.451 kg/año

Capítulo 3

3 Medición y Análisis de Datos.

En este capítulo se darán a conocer los datos obtenidos para el estudio de calidad de energía eléctrica tomados de la cabina de transformación dentro del establecimiento (Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca) en un periodo de dos semanas, datos medidos con la conexión del sistema fotovoltaico al punto de conexión común de bajo voltaje durante la primera semana y sin el sistema fotovoltaico durante la segunda semana.

Lo obtenido durante el periodo de medición se lo contrastará con las normativas vigentes antes mencionadas para comprobar si los parámetros que definen a la calidad de energía se encuentran dentro de valores permitidos, no obstante, el análisis presenta algunos parámetros adicionales debido a la factibilidad del equipo de medición para el almacenamiento de datos.

Además, se dará una breve descripción del equipo analizador de redes usado para las mediciones, así como su configuración inicial y partes que lo conforman.

3.1 Analizador de Redes

Los analizadores de redes son instrumentos multifuncionales capaces de medir con gran precisión un conjunto completo de datos para comprobar sistemas de distribución eléctrica. Algunos presentan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica tales como formas de onda de voltaje, corriente, potencia, gráficas fasoriales, histogramas de armónicos, entre otros.

Para cada una de las mediciones obtenidas se usó el analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica Fluke 435, capaz de almacenar todos los datos requeridos por las normativas que hacen referencia al tema.

3.1.1 Partes del analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica Fluke 435

El FLUKE 435 mostrado en la Figura 3-1, es un equipo que posee muchas funciones capaces de medir por completo todos los parámetros del sistema eléctrico como voltaje, corriente, frecuencia, potencia, energía, armónicos, desequilibrios, flickers, corrientes de arranque, etc.

Registra eventos como caídas de tensión, subidas de tensión, transitorios, interrupciones entre otras. Todo eso en función de los límites establecidos por el usuario.



Figura 3-1 Fluke 435.

El analizador viene equipado de los siguientes componentes para la toma de datos:

1. Un juego de 5 cables de prueba de 2.5 metros.
2. Un juego de 5 pinzas de cocodrilo.
3. Un juego de 4 pinzas amperimétricas de AC flexibles 3000^a modelo I4300flex-4pk
4. Un cargador de batería y adaptador de red.
5. Un cable óptico USB.

3.1.2 Configuración del Equipo

La configuración inicial arranca en la pantalla principal del Fluke 435 mostrada en la Figura 3-2, en donde se procede a ingresar primeramente fecha y hora, seguido de la configuración del sistema al que se quiere conectar el equipo, frecuencia del sistema, voltaje nominal y por último los límites que por defecto vienen establecidos por la norma EN50160.

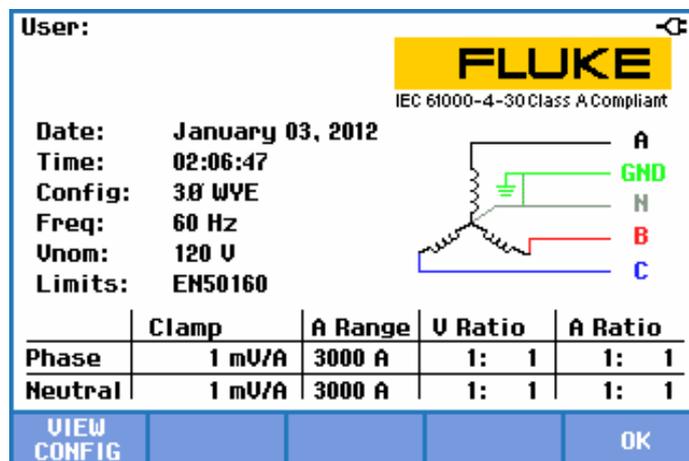


Figura 3-2 Pantalla inicial del Fluke 435.

Al entrar en la configuración de los límites se establece la variación de voltaje admitida, el porcentual de la distorsión total armónica, las variaciones de voltaje de larga duración, el valor de tensión al cual se considera como huecos y picos, el porcentual admitido de desequilibrio de voltaje y de frecuencia.

Cuando existan valores que excedan los límites establecidos se registrará un evento y el equipo procederá a guardarlo.

Los límites fueron modificados levemente de acuerdo a norma del ARCONEL 005/18 quedando como se aprecia en la Figura 3-3.

SETUP LIMITS		FLUKE 435 U02.10	
ADJUST LIMITS			
Active Limits: ED.....		*	03/21/19 11:50:29
LIMITS SUMMARY:			
RMS	> 110.4 U < 129.6 U	95.0%	of time
THD	< 8%	95.0%	of time
Pit	< 1	95.0%	of time
Dip	< 108U	20/week	
Swell	> 132U	20/week	
	< 2%	95.0%	of time
Hz	> 59.4 < 60.6	99.5%	of time
RECALL	SAVE	EDIT	VIEW
			BACK

Figura 3-3 Ajuste de límites de acuerdo la ARCONEL 005/18.

Una vez configurados los límites el Fluke 435 se encuentra listo para registrar datos.

3.1.3 Conexión del Equipo

En la parte superior del Fluke 435 mostrada en la Figura 3-4, se encuentran los puertos de conexión de cada uno de las sondas tanto de tensión como las de corriente debidamente señalizadas para cada fase y tierra, además del puerto para cargar el equipo.



Figura 3-4 Pines de conexión del Fluke 435.

En la pantalla principal la tecla de función F1 permite acceder a una pantalla que muestra detalladamente cómo conectar las sondas de tensión y corriente al sistema de alimentación que se va a examinar (Figura 3-5).

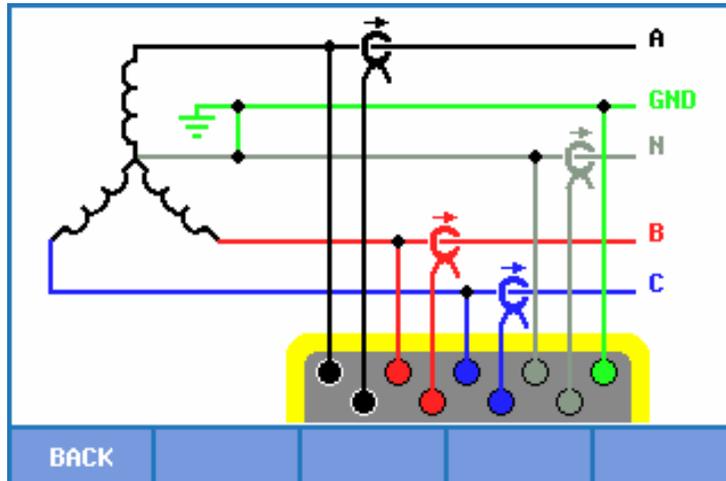


Figura 3-5 Diagrama de conexión de las sondas del Fluke.

Basado en este diagrama se conectó el analizador de red en el cuadro de conexiones perteneciente al transformador 19597P empezando por las sondas que van al neutro y tierra como se ve en la Figura 3-6.

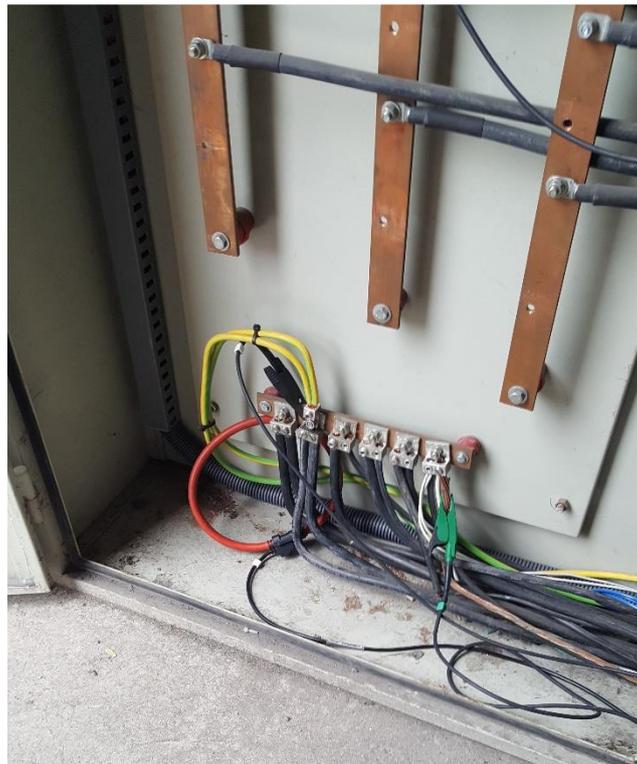


Figura 3-6 Sondas conectadas al neutro y tierra del tablero de conexiones eléctrico.

Seguidamente se conectaron las sondas de tensión y corriente en las fases R, S y T del tablero como se aprecia en la Figura 3-7.

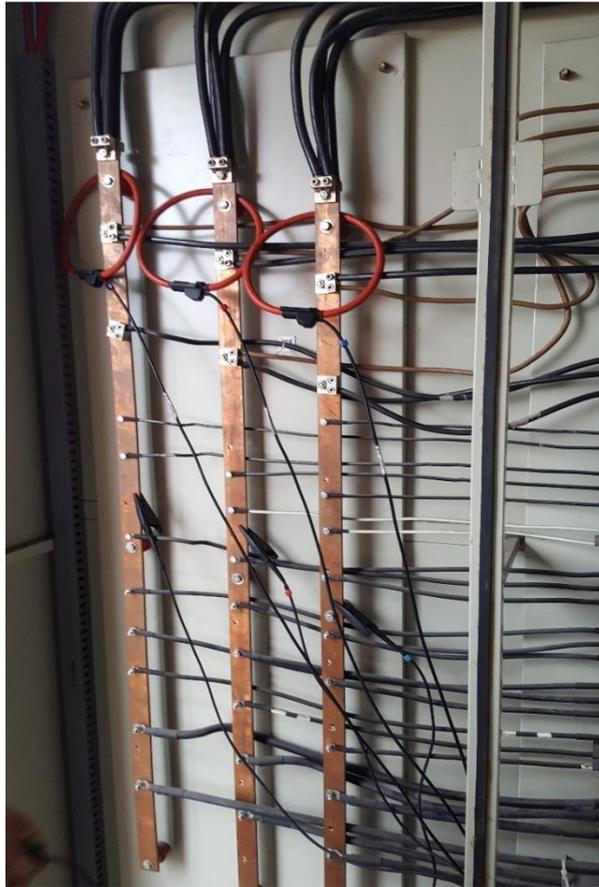


Figura 3-7 Conexión de las sondas en las barras del tablero.

Al terminar la conexión de las sondas se oprime la tecla “SCOPE” del Fluke, esto sirve para comprobar que las conexiones se hallan realizado correctamente ya sea verificando las ondas en el osciloscopio como se ven en la Figura 3-8 o mediante el diagrama de vectorial (Figura 3-9) en donde las tensiones de fase y las corrientes A (L1), B (L2) y C (L3) deben aparecer en secuencia del sentido de agujas del reloj.

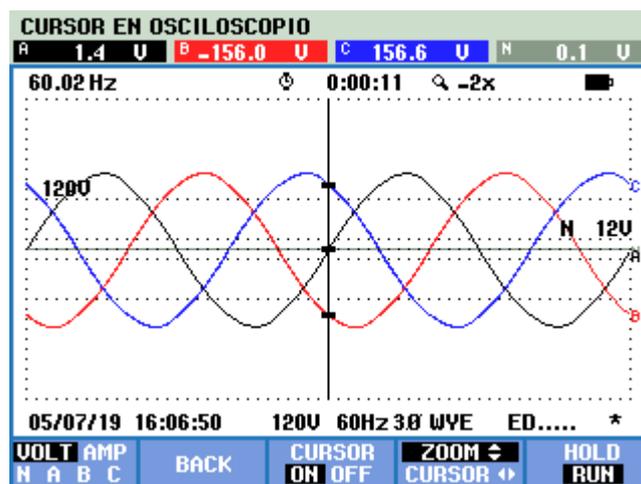


Figura 3-8 Señales de voltaje.

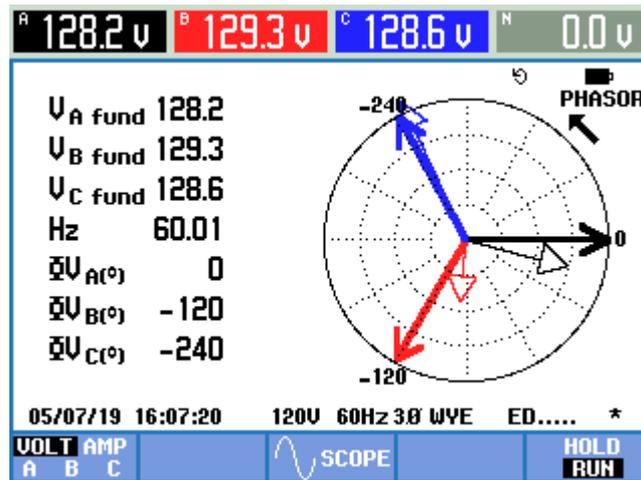


Figura 3-9 Diagrama fasorial de voltaje.

3.1.4 Registro de Datos

Dentro del menú de funciones del Fluke mostrado en la Figura 3-10, se encuentra la opción “Registrador” la cual es una función que permite almacenar varias lecturas de alta resolución. Las lecturas se observan durante intervalos de tiempo ajustables. Al final del intervalo se almacenan en la memoria los valores mínimo, máximo y medio de todas las lecturas y se inicia el siguiente intervalo de observación. El proceso es continuo durante todo el período de observación.

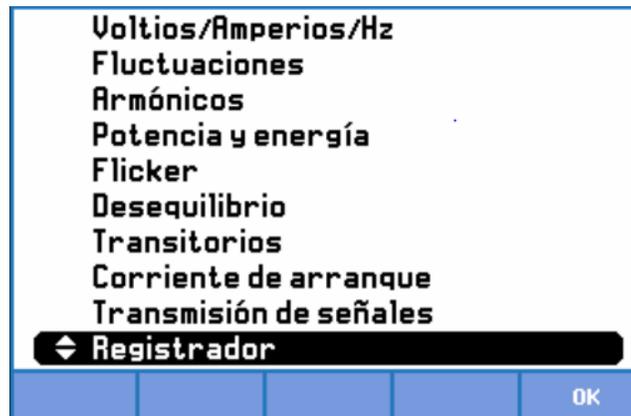


Figura 3-10 Funciones del fluke 435.

Dentro de la función registrador se ajusta el intervalo de medición y el tiempo que se va a tomar las lecturas (Figura 3-11). Las normativas de Calidad de Energía exigen que se tome a intervalos de 10 minutos durante un periodo de 7 días continuos.



Figura 3-11 Configuración del intervalo de registro de datos y periodo de medición.

Al presionar la tecla F1 “SETUP READINGS” dentro de la función registrador se accede a los parámetros que se van a registrar (Figura 3-12), pudiendo añadir los que se desee y desechar los que no sean necesarios.



Figura 3-12 Parámetros a ser guardar.

Una vez seleccionados los parámetros que se van a grabar se presiona la opción OK seguido de START y el proceso iniciara como se ve la Figura 3-13. Es necesario conectar el cargador de baterías para que no se interrumpa la grabación.



Figura 3-13 Registro de parámetros sobre calidad de energía.

3.1.5 Descarga de Datos

El Fluke 435 está equipado con un puerto óptico RS-232 que permite establecer la comunicación con un PC (Figura 3-14). Para la conexión con el puerto USB del PC, se suministra un cable óptico de comunicación modelo OC4USB que en conjunto con el software Power Log Classics puede cargar los datos de forma de onda y las pantallas con un formato de mapa de bits en el PC.

Una vez iniciado, el software busca los puertos del PC para detectar al que está conectado el analizador y así descargar los datos almacenados. Una de las funciones del programa es permitir guardar los datos en un block de notas para así poder importarlos a Excel y tener un mejor análisis.

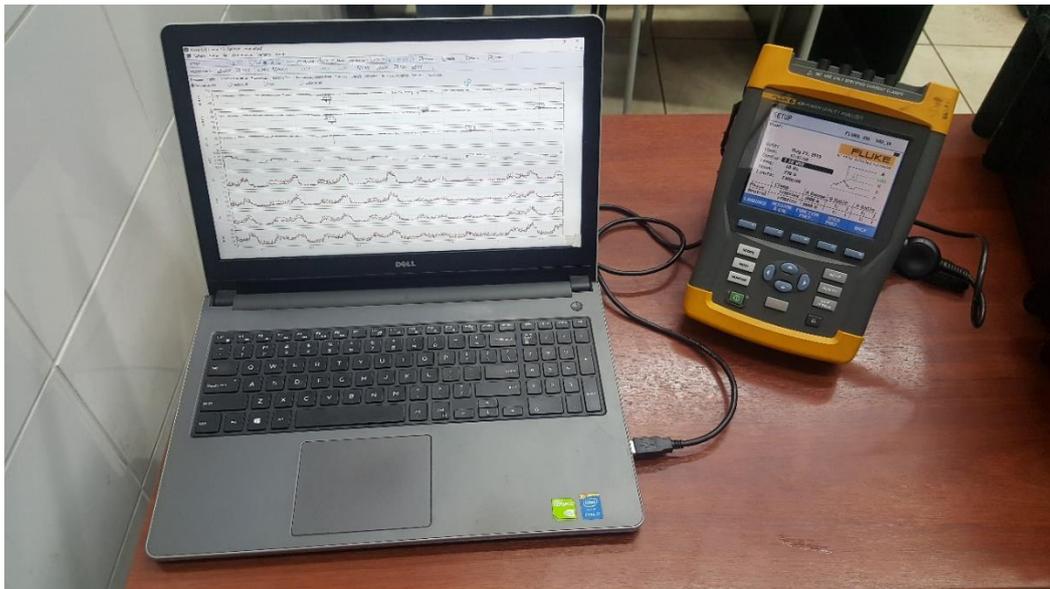


Figura 3-14 Conexión con la PC y descarga de datos.

3.2 Análisis de los Índices de Calidad de Energía.

3.2.1 Análisis con Sistema Fotovoltaico.

En esta sección se analizarán los datos registrados durante la primera semana de medición correspondiente desde el 23 de abril hasta el 30 de abril del 2019, teniendo 1.008 registros con un total de 1'825.281 datos.

El análisis se lo realiza de acuerdo a lo establecido en la regulación del ARCONEL 005/18 correspondiente a calidad de energía y para valores no especificados en esta regulación se tomarán normativas internacionales como la IEEE Std. 1159 y IEC 61000-2-2.

Los valores pertenecientes al porcentaje de cumplimiento estipulados en varias tablas del análisis con el sistema fotovoltaico en conexión, hacen referencia a que tanto por ciento de todos los registros se encuentran dentro de los límites establecidos. Teniendo que ser un mínimo de 95% del total de datos para que la calidad de energía sea considerada como buena de acuerdo a la norma.

3.2.1.1 Niveles de voltaje.

La Figura 3-15 y Figura 3-16 representan los niveles de voltaje máximos y medios respectivamente registrados en todo el periodo de medición, Se observan que los valores de cada fase se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ARCONEL 005/18, la cual nos indica que no debe exceder el $\pm 8\%$ (137.16-116.84V) de la tensión fundamental (127 V).

La Figura 3-17 representa los niveles de voltaje mínimos, donde en un determinado momento existe una violación del valor límite inferior por parte de las 3 fases.

En la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 se ven algunos de los datos estadísticos obtenidos en el registro, la norma del ARCONEL establece que para que la calidad de energía sea buena el 95% o más de los datos del nivel de voltaje se encuentren dentro del rango admisible.

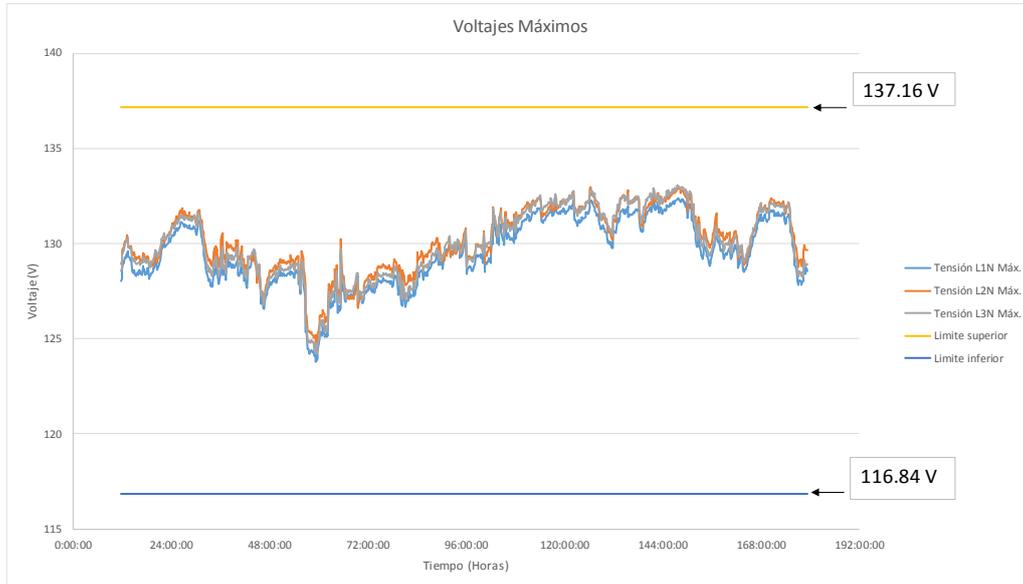


Figura 3-15 Niveles máximos de voltaje con SFV.

Tabla 8 Datos de los niveles máximos de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	132,39	132,95	133,07
Valor mínimo	123,8	124,71	124,21
Media	129,527	130,145	129,997
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

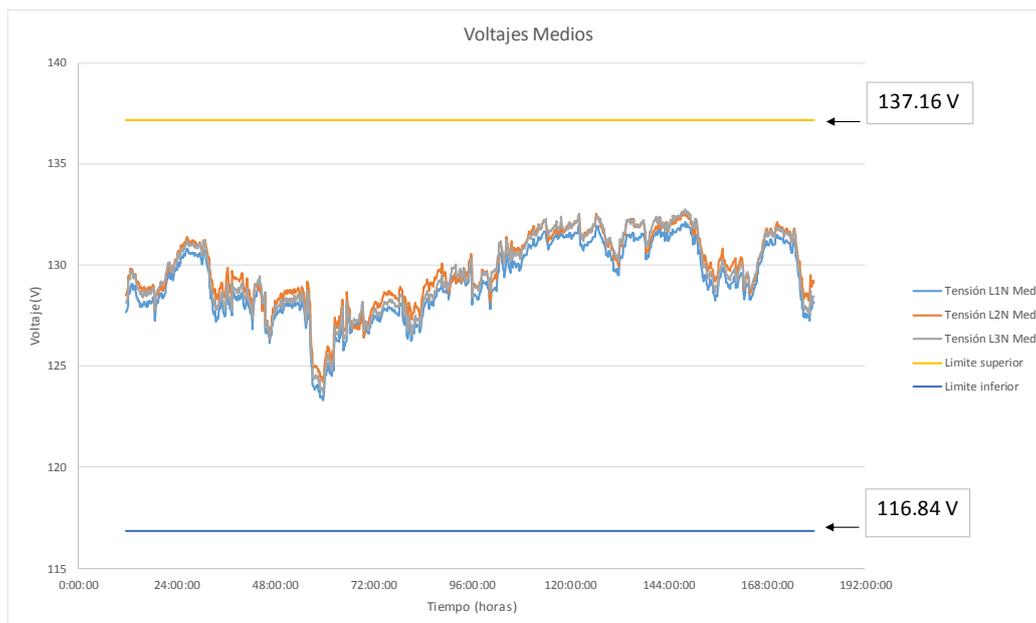


Figura 3-16 Niveles medios de voltaje con SFV.

Tabla 9 Datos de los niveles medios de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	132,13	132,6	132,75
Valor mínimo	123,32	124,22	123,7
Media	129,161	129,771	129,614
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

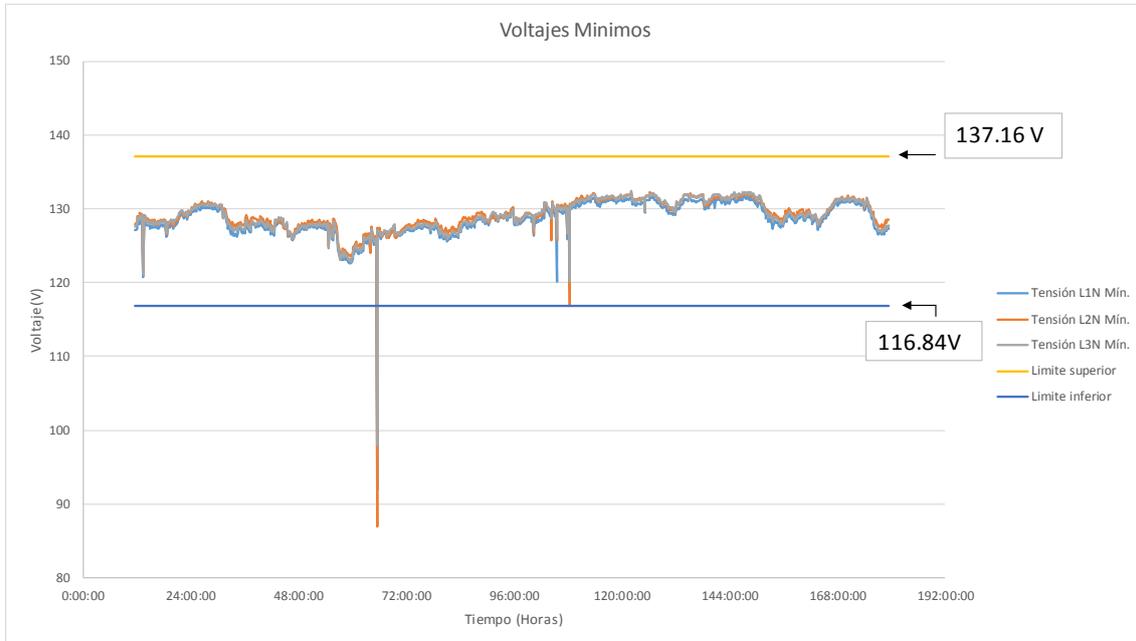


Figura 3-17 Niveles mínimos de voltaje con SFV.

Tabla 10 Datos de los niveles mínimos de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	131,75	132,23	132,36
Valor mínimo	91,93	86,89	97,91
Media	128,597	129,2	129,066
Porcentaje de cumplimiento	99,9 %	99,9%	99,9%

En resumen, si los niveles de voltaje cumplen con las normas establecidas se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 Resumen del cumplimiento de niveles de voltaje.

¿Cumple con la norma?	Niveles máximos	Niveles medios	Niveles mínimos
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.1.2 Perturbaciones de voltaje.

La Figura 3-18 representa los flicker de corto plazo (Pst), siendo el límite establecido la unidad. Se observa que es sobrepasado por todas las fases en determinados momentos. Los valores máximos registrados se los aprecia en la Tabla 12 conjuntamente con otros datos estadísticos.

La normativa establece que la calidad de energía es buena si el 95% o más de los valores registrados es menor al límite establecido. Como se ve en la Tabla 12 los valores se encuentran por debajo de este valor.

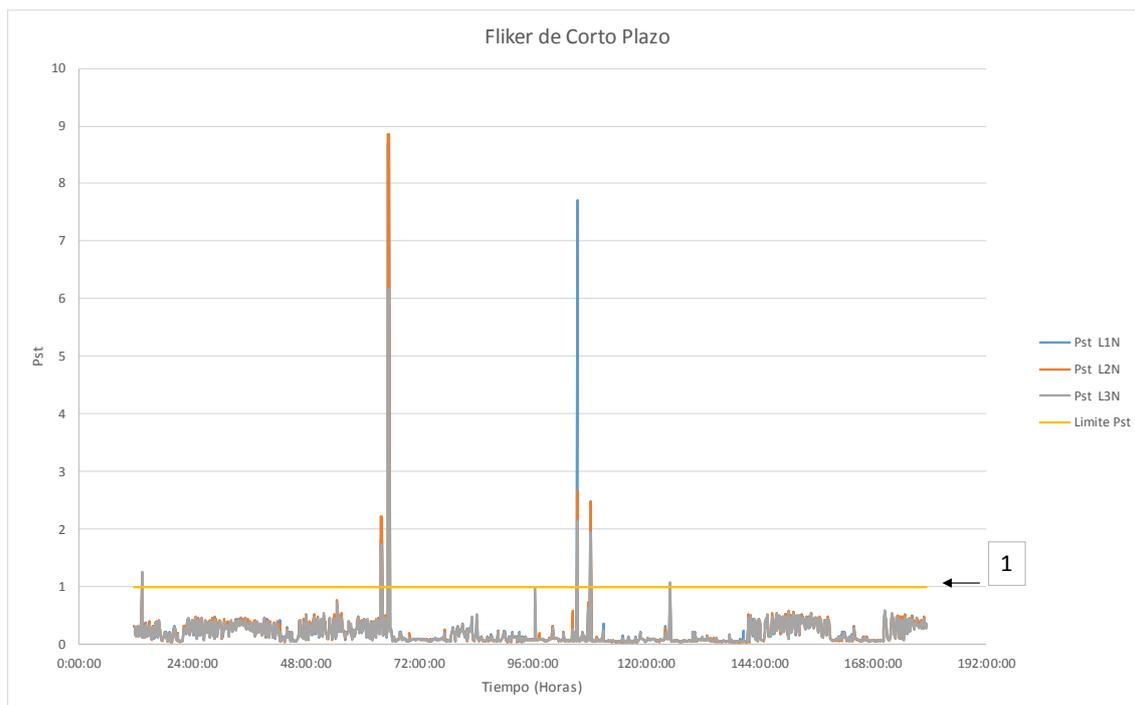


Figura 3-18 Flicker de corto plazo (Pst) con SFV.

Tabla 12 Datos del Pst fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	8,695	8,848	6,157
Valor mínimo	0,035	0,032	0,037
Media	0,214533	0,213397	0,201777
Porcentaje de cumplimiento	99,31%	99,31%	99,21%

La Figura 3-19 representa los flicker de largo plazo (Plt), siendo el límite establecido la unidad. Se observa que las fases 1 y 2 son las que más veces registran un traspaso del límite mientras que la fase 3 solo una vez.

Los valores máximos registrados se aprecian en la Tabla 13 conjuntamente con más datos estadísticos. De igual manera el 95% de los datos se encuentra por debajo del valor establecido en la norma para considerar que la calidad de energía es buena.

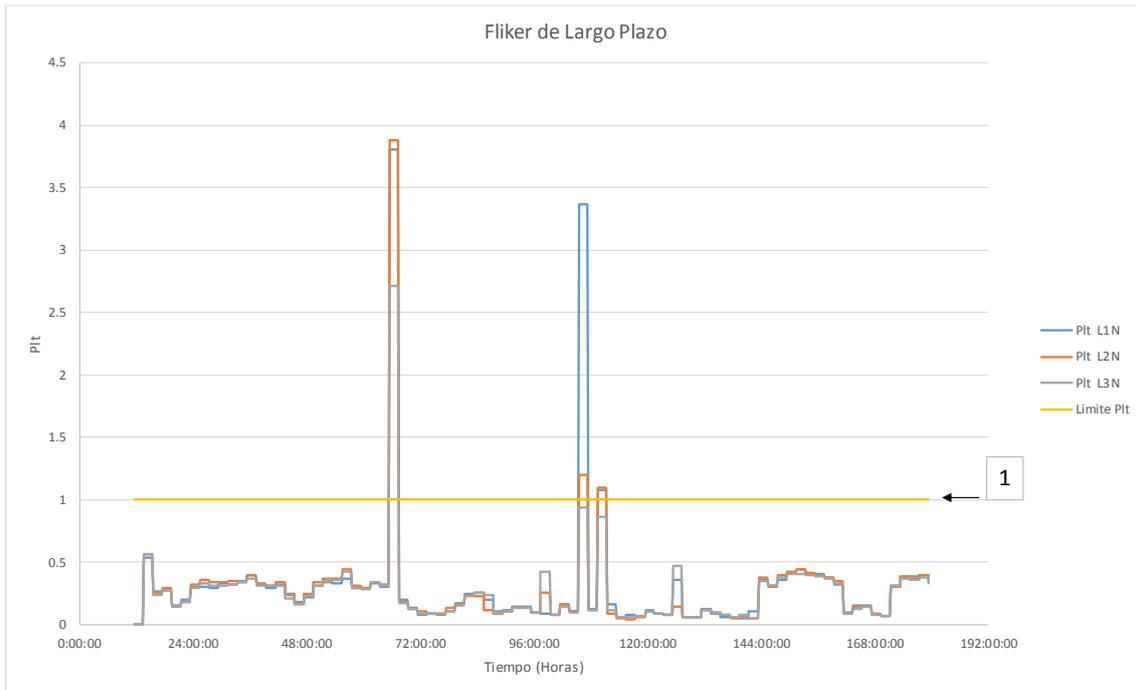


Figura 3-19 Fliker de largo plazo (Plt) con SFV.

Tabla 13 Datos del Plt fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	3,81	3,886	2,71
Valor mínimo	0	0	0
Media	0,308023	0,285154	0,265296
Porcentaje de cumplimiento	96,43%	96,43%	98,81%

En resumen, si las perturbaciones de voltaje cumplen con las normas establecidas se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 Resumen del cumplimiento sobre perturbaciones de voltaje.

¿Cumple con la norma?	Pst	Plt
Arconel 005/18	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-

3.2.1.3 Distorsión armónica de voltaje.

La Figura 3-20, Figura 3-21 y Figura 3-22 representan la evolución temporal de la distorsión armónica de voltaje (THD) máxima, media y mínima respectivamente, como se puede observar los valores de cada fase se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma, no debe exceder el 8%.

La normativa establece que la calidad de energía es buena si el 95% o más de los valores registrados de distorsión armónica total de voltaje es menor al límite máximo establecido. En la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17 se muestran los datos estadísticos de los valores

máximos, medios y mínimos respectivamente, todos se encuentran por debajo del límite máximo.

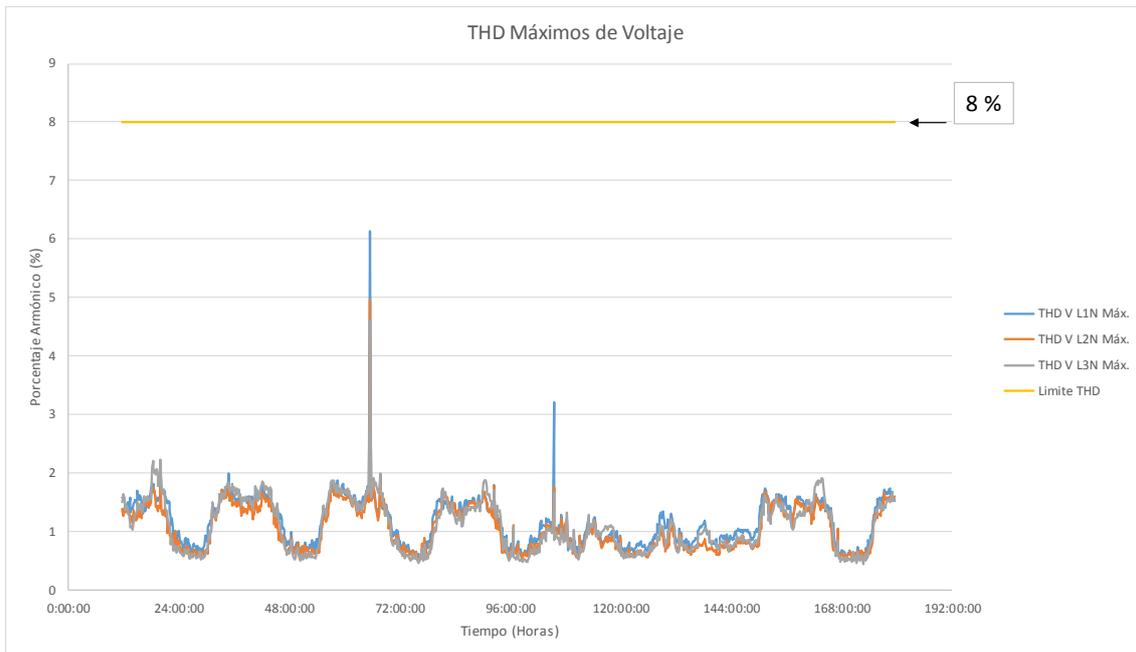


Figura 3-20 THD máximos de voltaje con SFV.

Tabla 15 Datos del THD máximos de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	6,14	4,95	4,6
Valor mínimo	0,5	0,53	0,44
Media	1,15776	1,04884	1,08175
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

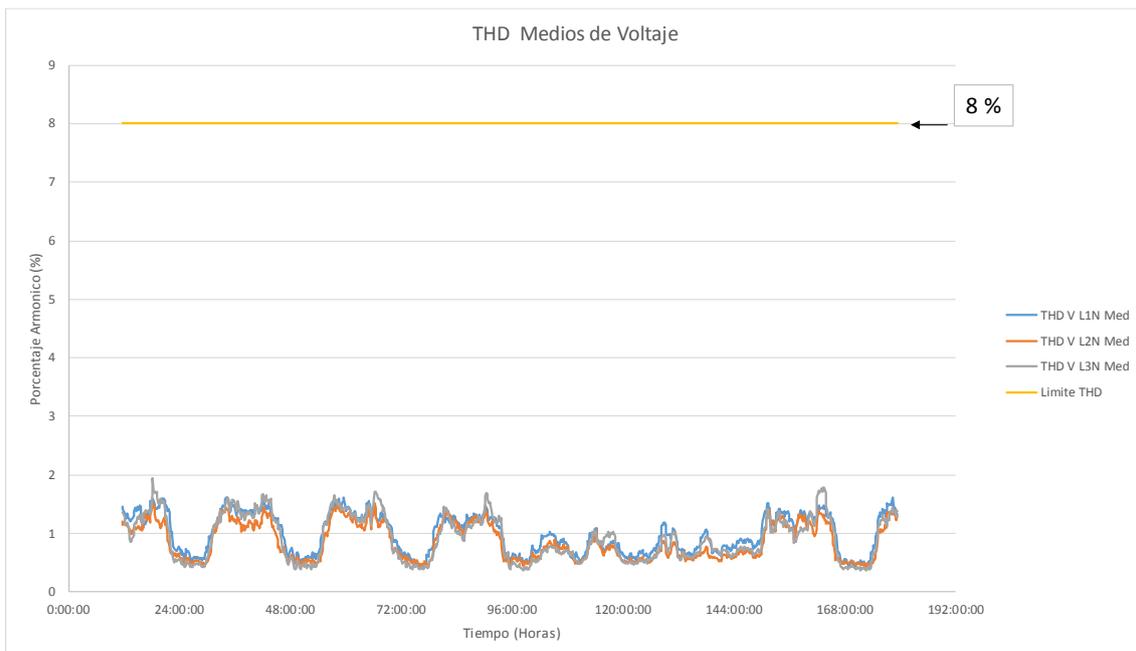


Figura 3-21 THD medios de voltaje en con SFV.

Tabla 16 Datos del THD medios de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	1,63	1,53	1,95
Valor mínimo	0,41	0,42	0,36
Media	0,986319	0,858155	0,909484
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

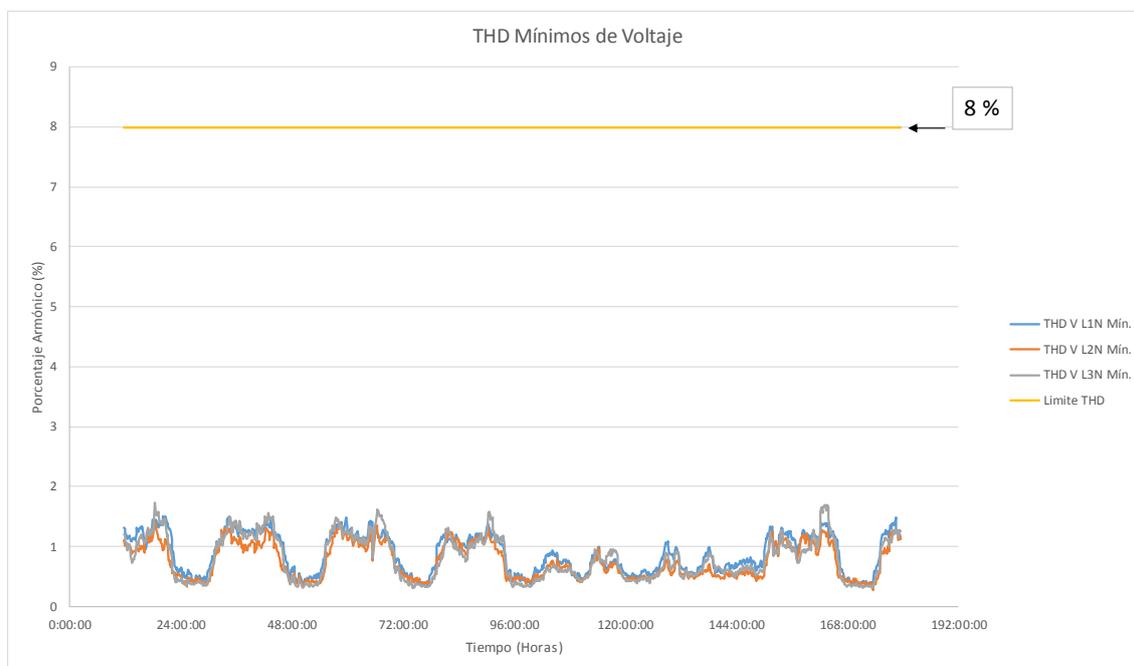


Figura 3-22 THD mínimos de voltaje con SFV.

Tabla 17 Datos del THD mínimos de voltaje fases-neutro con SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	1,5	1,41	1,73
Valor mínimo	0,32	0,27	0,3
Media	0,874494	0,753869	0,801667
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

En resumen, si la distorsión armónica de voltaje cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18 Resumen del cumplimiento sobre THD de voltaje.

¿Cumple con la norma?	THD máximos	THD medios	THD mínimos
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.1.4 Armónicos individuales de voltaje.

La Figura 3-23 representa los armónicos individuales de voltaje, en la que se ve que los armónicos de cada fase se encuentran por debajo de los límites establecidos tanto por la ARCONEL como por la norma IEC 6100-2-2. En la Tabla 19 están los valores de las componentes armónicas de cada fase.

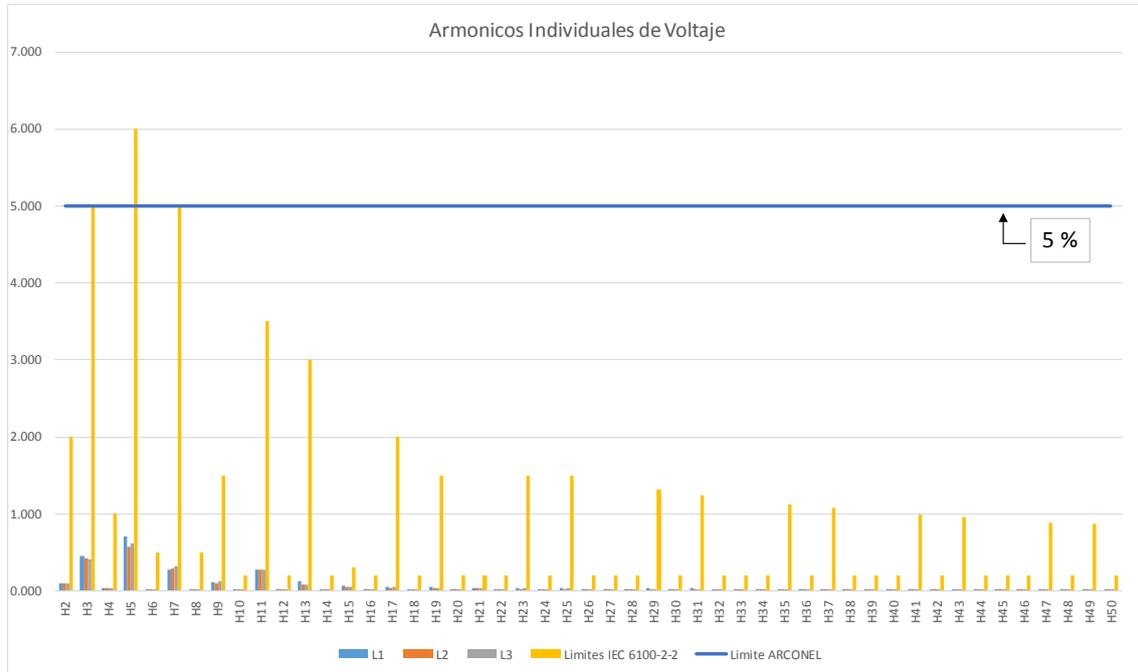


Figura 3-23 Armónicos individuales de voltaje con SFV.

Tabla 19 Datos de los armónicos individuales de voltaje fases-neutro con SFV.

Componente Armónica	L1	L2	L3	NG	Límites IEC 6100-2-2	Límites ARCONEL	Cumplen con las normas?
H2	0,1000	0,0939	0,0992	10,8103	2	5	SI
H3	0,4562	0,4225	0,4119	67,3436	5	5	SI
H4	0,0411	0,0350	0,0402	8,2139	1	5	SI
H5	0,7132	0,5718	0,6097	15,9674	6	5	SI
H6	0,0234	0,0221	0,0225	8,3171	0,5	5	SI
H7	0,2671	0,2902	0,3135	11,1623	5	5	SI
H8	0,0177	0,0154	0,0169	8,2085	0,5	5	SI
H9	0,1173	0,0915	0,1301	14,7447	1,5	5	SI
H10	0,0148	0,0117	0,0132	8,1733	0,2	5	SI
H11	0,2739	0,2710	0,2746	10,4229	3,5	5	SI
H12	0,0101	0,0100	0,0101	8,2705	0,2	5	SI
H13	0,1210	0,0854	0,0799	10,2170	3	5	SI
H14	0,0100	0,0100	0,0100	8,1574	0,2	5	SI
H15	0,0704	0,0509	0,0480	11,7553	0,3	5	SI
H16	0,0100	0,0100	0,0100	8,1509	0,2	5	SI
H17	0,0548	0,0388	0,0474	10,6738	2	5	SI
H18	0,0100	0,0099	0,0100	8,2453	0,2	5	SI

H19	0,0483	0,0410	0,0424	8,9218	1,5	5	SI
H20	0,0100	0,0096	0,0100	8,1371	0,2	5	SI
H21	0,0344	0,0361	0,0335	9,3947	0,2	5	SI
H22	0,0101	0,0096	0,0101	8,0985	0,2	5	SI
H23	0,0340	0,0267	0,0322	9,5753	1,5	5	SI
H24	0,0100	0,0083	0,0100	8,1555	0,2	5	SI
H25	0,0308	0,0263	0,0327	8,6286	1,5	5	SI
H26	0,0100	0,0061	0,0098	8,2791	0,2	5	SI
H27	0,0261	0,0242	0,0266	9,6034	0,2	5	SI
H28	0,0100	0,0082	0,0099	8,4712	0,2	5	SI
H29	0,0330	0,0247	0,0272	9,4511	1,3	5	SI
H30	0,0099	0,0074	0,0096	8,5415	0,2	5	SI
H31	0,0322	0,0258	0,0280	8,8541	1,2	5	SI
H32	0,0073	0,0067	0,0079	8,2614	0,2	5	SI
H33	0,0223	0,0196	0,0238	8,7994	0,2	5	SI
H34	0,0062	0,0051	0,0069	8,2509	0,2	5	SI
H35	0,0259	0,0226	0,0198	8,8941	1,1	5	SI
H36	0,0054	0,0061	0,0072	8,3223	0,2	5	SI
H37	0,0200	0,0186	0,0191	8,5091	1,1	5	SI
H38	0,0025	0,0035	0,0033	8,3815	0,2	5	SI
H39	0,0217	0,0213	0,0195	8,8954	0,2	5	SI
H40	0,0026	0,0024	0,0035	8,3565	0,2	5	SI
H41	0,0171	0,0162	0,0147	8,7377	1,0	5	SI
H42	0,0032	0,0023	0,0037	8,4699	0,2	5	SI
H43	0,0177	0,0140	0,0140	8,6300	1,0	5	SI
H44	0,0018	0,0015	0,0025	8,4734	0,2	5	SI
H45	0,0172	0,0153	0,0170	8,8485	0,2	5	SI
H46	0,0043	0,0027	0,0041	8,5166	0,2	5	SI
H47	0,0144	0,0122	0,0131	8,7607	1	5	SI
H48	0,0044	0,0020	0,0041	8,5873	0,2	5	SI
H49	0,0132	0,0162	0,0129	8,8843	0,9	5	SI
H50	0,0002	0,0005	0,0003	6,3510	0,2	5	SI

3.2.1.5 Desequilibrio de voltaje.

La Figura 3-24 representa el desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo registrados, se puede ver que los valores máximos sobrepasan el límite dado del 2% en ciertos momentos, llegando hasta un máximo de desequilibrio del 19,85%.

Algunos otros datos estadísticos se encuentran en la Tabla 20. De igual manera la calidad de energía es buena si el 95% de los datos registrados del desequilibrio de voltaje no sobrepasan el valor máximo permitido.

De acuerdo a lo mencionado el desequilibrio se encuentra dentro de los límites.

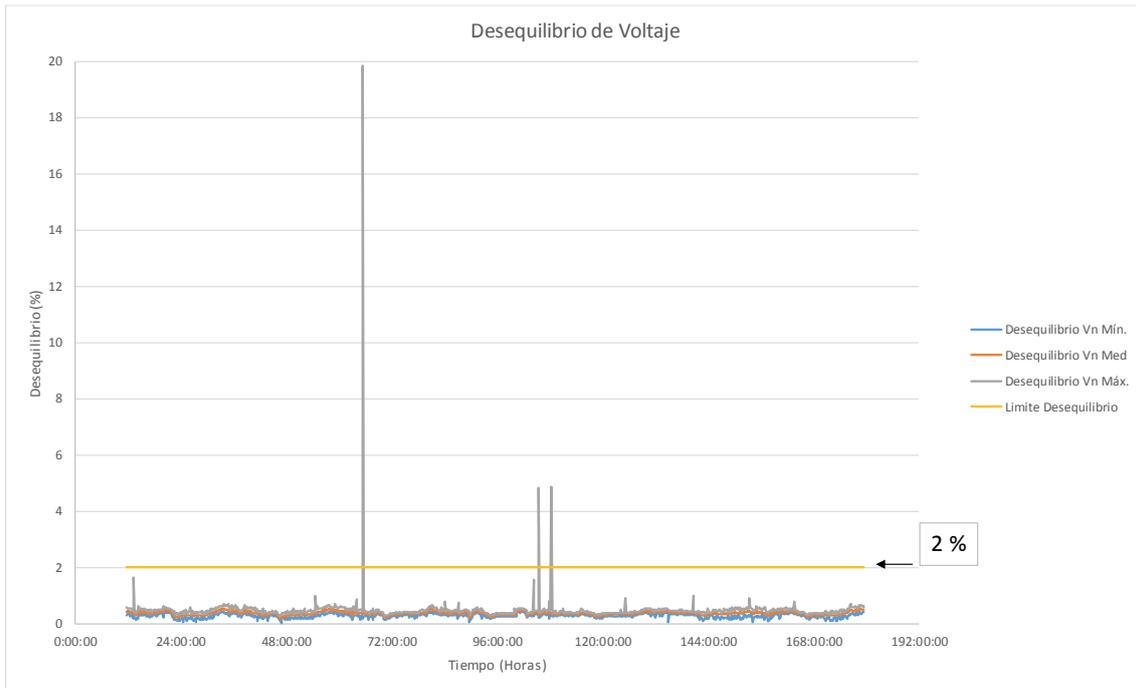


Figura 3-24 Desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo con SFV.

Tabla 20 Datos del desequilibrio máximo, medio y mínimo de voltaje con SFV.

	Desequilibrio Máximo	Desequilibrio Medio	Desequilibrio Mínimo
Valor máximo	19,85 %	0,54 %	0,46 %
Valor mínimo	0,26 %	0,18 %	0,02 %
Media	0,485407 %	0,359792 %	0,266845 %
Porcentaje de cumplimiento	99,70%	100%	100%

En resumen, si el desequilibrio de voltaje cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 21

Tabla 21 Resumen del cumplimiento sobre desequilibrio de voltaje.

¿Cumple con la norma?	Desequilibrio máximo	Desequilibrio medio	THD mínimo
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.1.6 Nivel de corriente.

La Figura 3-25, Figura 3-26 y Figura 3-27 representan los niveles de corriente máximos medios y mínimos registrados respectivamente en todas las fases y el neutro del sistema, aunque no son un requisito que sostienen las normas de calidad de energía es importante analizar cuál es la corriente en cada fase y la corriente máxima en el sistema, ya que con esto se evalúa cual es la distorsión armónica de corriente posteriormente.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos ver que existe una gran cantidad de corriente en el neutro del sistema, registrando un promedio máximo 32,5A, medio de 24,8A y mínimo de 20,77A lo que significa que el sistema se encuentra desequilibrado. Más datos estadísticos se los presentan en las Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

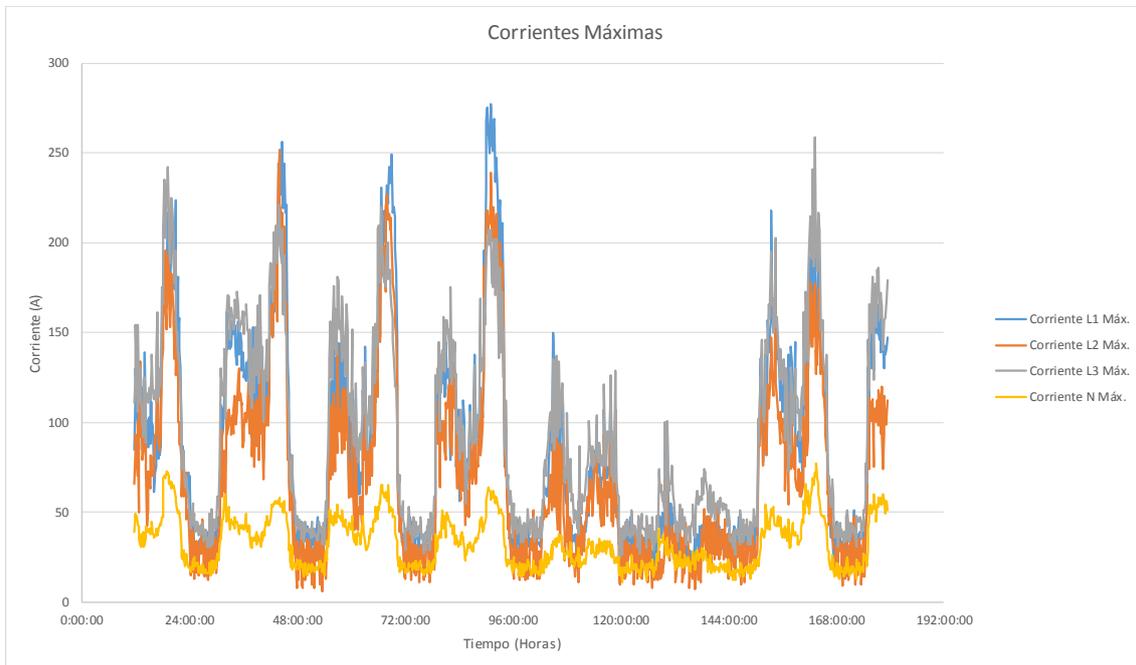


Figura 3-25 Niveles máximos de corriente con SFV.

Tabla 22 Datos de los niveles máximos de corriente en fases y neutro con SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	277	251	259	77
Valor mínimo	14	6	25	11
Media	86,2619	70,256	94,6964	32,5833

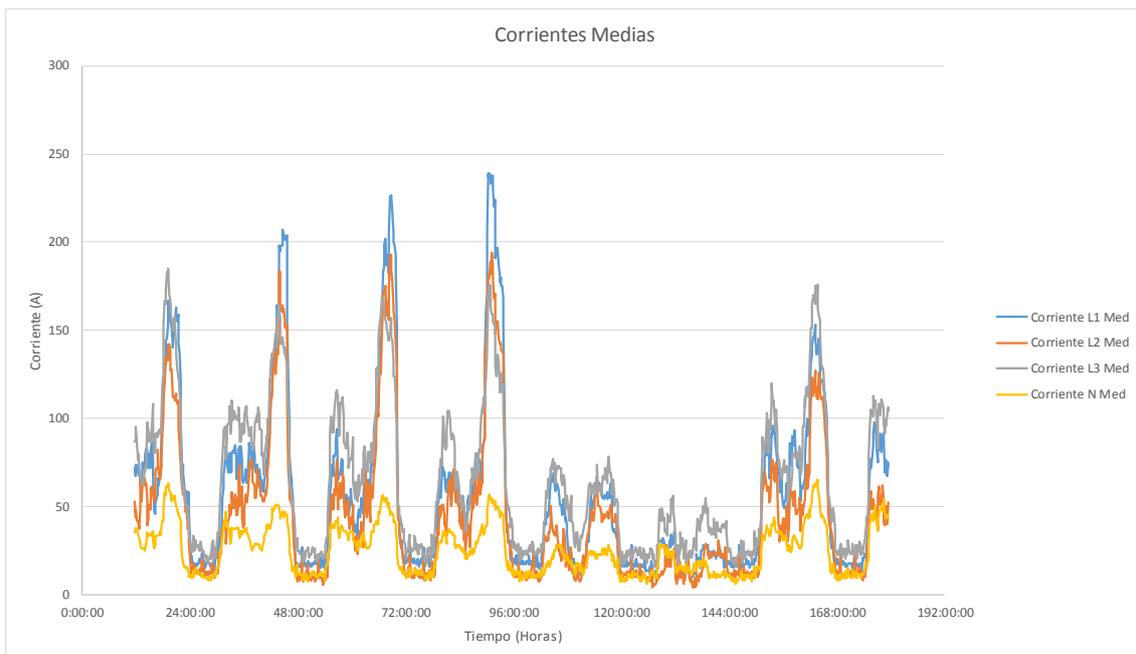


Figura 3-26 Niveles medios de corriente con SFV.

Tabla 23 Datos de los niveles medios de corriente en fases y neutro con SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	239	194	185	65
Valor mínimo	10	4	14	6
Media	57,1617	44,7649	64,9325	24,8532

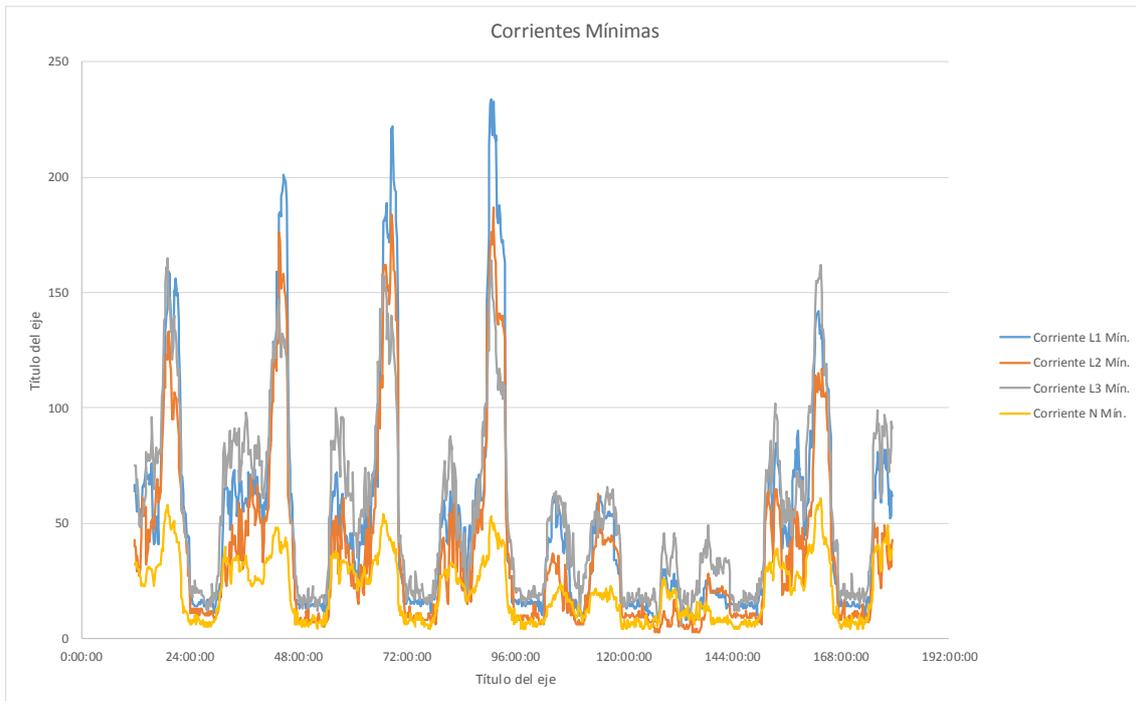


Figura 3-27 Niveles mínimos de corriente con SFV.

Tabla 24 Datos de los niveles mínimos de corriente en fase y neutro con SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	234	187	165	61
Valor mínimo	7	3	6	4
Media	50,128	38,003	54,3135	20,7758

3.2.1.7 Desequilibrio de corriente.

La Figura 3-28 representa el desequilibrio de corriente máximo medio y mínimo en el sistema, de acuerdo al valor límite de desequilibrio de tensión (2%) establecido en la norma del ARCONEL corresponde un límite para el desequilibrio de corriente del 40%. El procedimiento del cálculo para la determinación de desbalance máximo de corriente se lo realiza en [53].

Como se puede observar el sistema se encuentra muy desbalanceado superando en gran parte el valor límite, esto lo corroboran los datos estadísticos presentes en la Tabla 25.

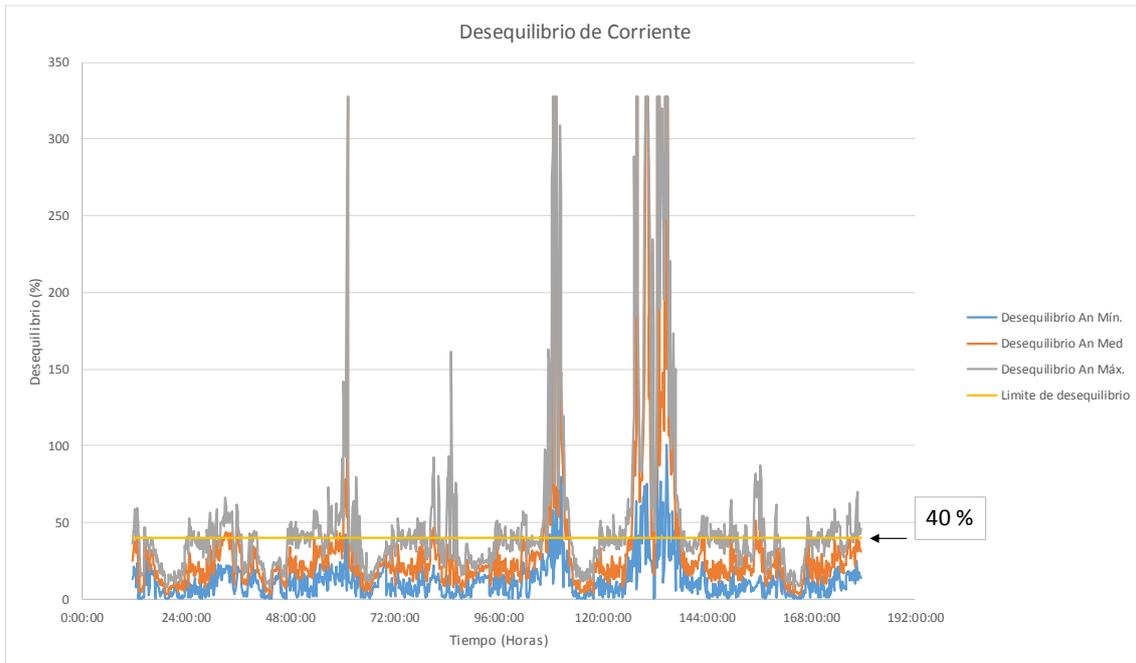


Figura 3-28 Desequilibrio de corriente máximo, medio y mínimo con SFV.

Tabla 25 Datos del desequilibrio máximo medio y mínimo de corriente con SFV.

	Desequilibrio Máximo	Desequilibrio Medio	Desequilibrio Mínimo
Valor máximo	327,67 %	327,67 %	100,89 %
Valor mínimo	6,4 %	2,32 %	0,01 %
Media	50,3554 %	32,0865 %	11,7519 %
Porcentaje de cumplimiento	56,25%	87,004 %	96,63%

3.2.1.8 Distorsión armónica de corriente.

La Figura 3-29, Figura 3-30 y Figura 3-31 representan las distorsiones de corriente máxima, media y mínima respectivamente durante el periodo de medición.

Los límites pertenecientes a la distorsión armónica de corriente dependen de I_{cc}/I_L en la Tabla 5 siendo I_{cc} corriente máxima de corto circuito en PCC; y, I_L corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60Hz) en el tiempo de monitoreo, por lo que es necesario calcular I_{cc} mediante la siguiente fórmula:

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{V_{cc}}{100} * V_s}$$

Donde

S: Potencia del transformador en KVA.

V_{cc}: Tensión porcentual de cortocircuito del transformador.

V_s: Tensión secundaria del transformador.

I_{ccs}: corriente de cortocircuito secundaria en KVA

Al remplazar los datos de la placa del trafo en la formula anterior se obtiene.

$$I_{ccs} = \frac{200.000}{\sqrt{3} * \frac{3,8}{100} * 220}$$

$$I_{ccs} = 13.812,21 \text{ kA}$$

Para encontrar el valor I_l se calculó un promedio de los datos registrados de corrientes máximas en las líneas y a cada uno de estos datos se los dividió para I_{cc} dando como resultado un valor máximo de 637,48. Este valor nos ubica en la cuarta fila de la Tabla 5 para la selección de valores límites.

En todas las gráficas existe una distorsión porcentual armónica por encima del valor límite (15%), siendo más pronunciada y con mucha mayor variación en la fase 2 del transformador.

Algunos de los datos estadísticos pertenecientes a cada fase del trafo se encuentran en la Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28, en las cuales el valor máximo de distorsión registrado corresponde a 327,67% en la fase 2.

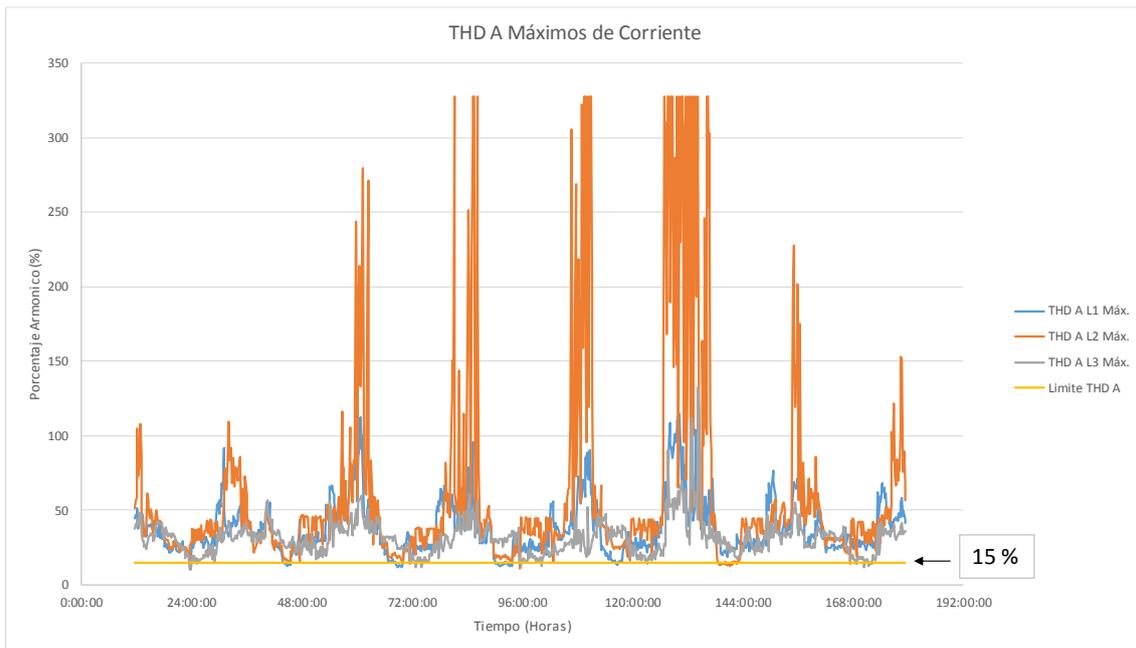


Figura 3-29 THD máximo de corriente con SFV.

Tabla 26 Datos del THD máximos de corriente en fases con SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	114,64	327,67	132,64
Valor mínimo	11,79	10,83	9,81
Media	37,6096	61,5966	31,3154
Porcentaje de cumplimiento	4,76%	2,38%	2.48%

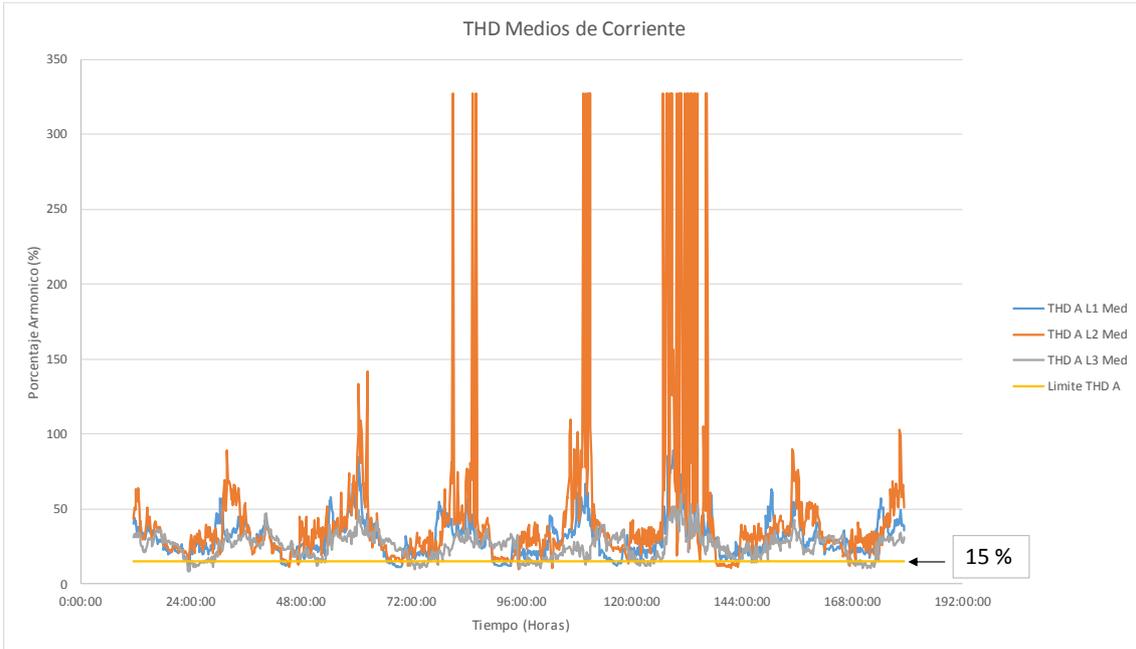


Figura 3-30 THD medio de corriente con SFV.

Tabla 27 Datos del THD medio de corriente en fases con SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	89,54	327,67	60,16
Valor mínimo	11,09	9,96	8,55
Media	30,6180	45,0358	25,0411
Porcentaje de cumplimiento	7,14%	4,96%	14,09%

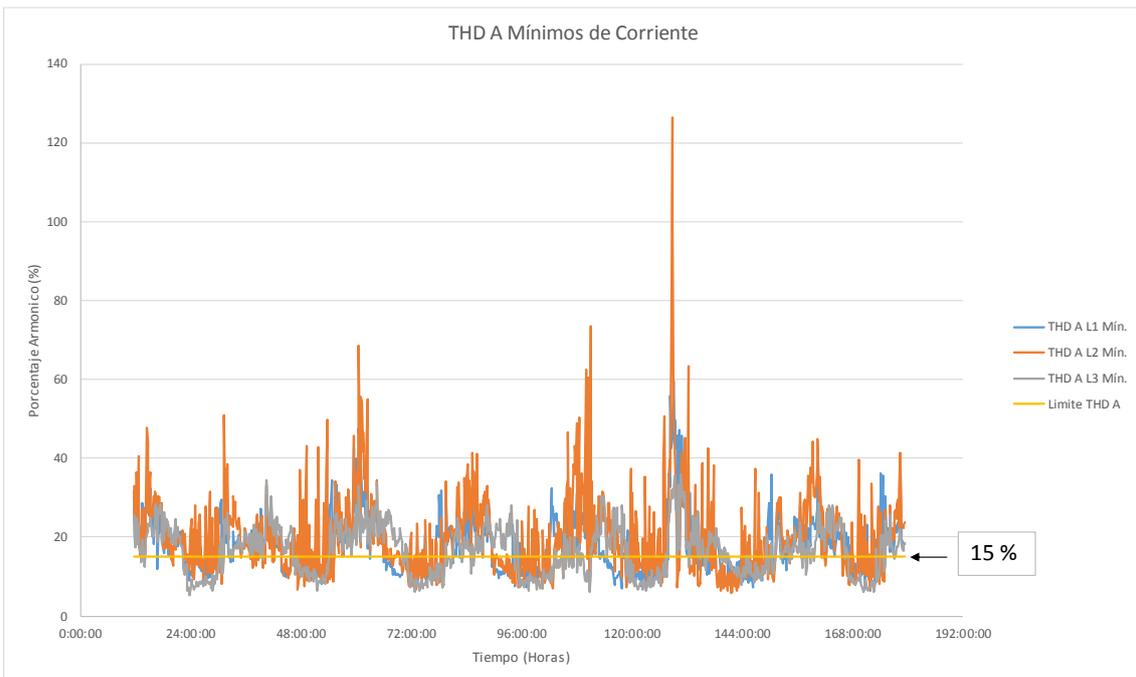


Figura 3-31 THD mínimo de corriente con SFV.

Tabla 28 Datos del THD mínimo de corriente en fases con SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	59,67	126,55	35,83
Valor mínimo	6,5	5,77	5,22
Media	17,5853	20,1354	16,4174
Porcentaje de cumplimiento	41,96%	36,61%	41,27%

En resumen, si la distorsión armónica de corriente cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 29

Tabla 29 Resumen del cumplimiento sobre distorsión armónica de corriente.

¿Cumple con la norma?	THD máximos	THD medios	THD mínimos
Arconel 005/18	NO	NO	NO
IEEE 519	NO	NO	NO
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.1.9 Armónicos individuales de corriente.

La Figura 3-32 representa los armónicos individuales de corriente en el sistema.

Los valores superan el límite de la norma en los armónicos impares H3 y H5, mientras que los demás armónicos se encuentran por debajo de los límites, todos los valores registrados de cada línea y el neutro se presentan en la Tabla 30.

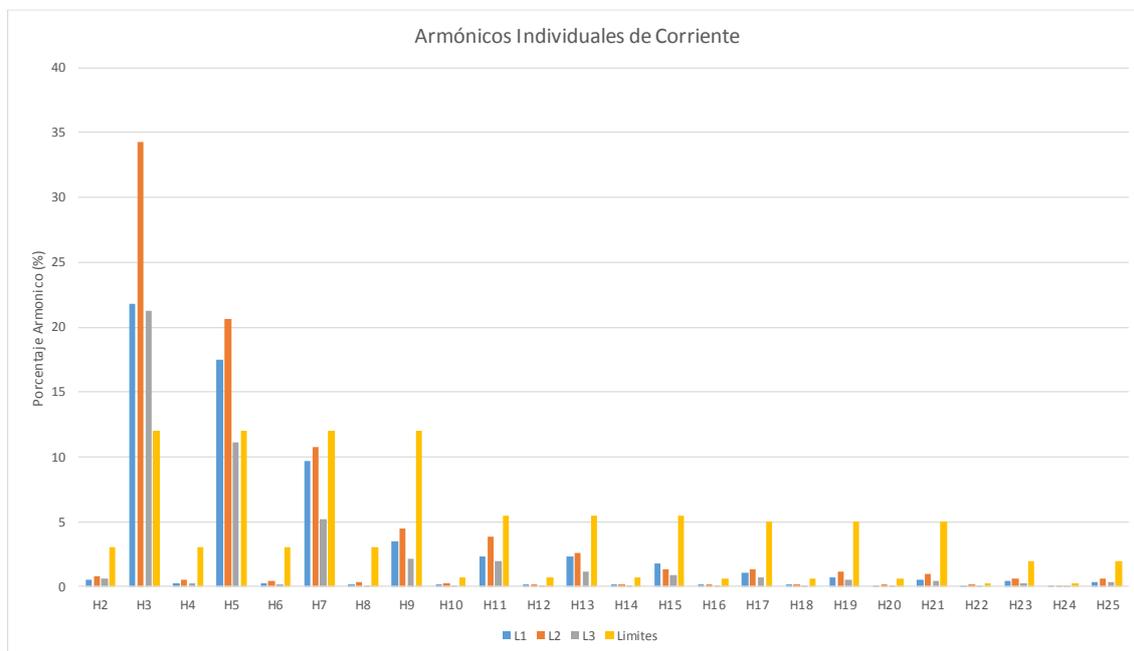


Figura 3-32 Armónicos individuales de corriente con SFV.

Tabla 30 Datos de los armónicos individuales de corriente en fases con SFV.

Componente Armónica	L1	L2	L3	NG	Limites Arconel 005/18 e IEEE 519	¿Cumplen con las normas?
H2	0,521448	0,795754	0,632192	1,827163	3	SI
H3	21,75701	34,25085	21,28039	152,5173	12	NO
H4	0,276359	0,516548	0,226151	0,859812	3	SI
H5	17,47378	20,66467	11,0866	16,18818	12	NO
H6	0,246607	0,394802	0,145685	0,526935	3	SI
H7	9,667589	10,77539	5,188452	9,078393	12	SI
H8	0,189206	0,312718	0,114782	0,36245	3	SI
H9	3,487768	4,487133	2,157073	13,36276	12	SI
H10	0,134335	0,231974	0,091915	0,288056	0,66	SI
H11	2,315139	3,848433	1,958214	4,075952	5,5	SI
H12	0,15504	0,164484	0,078194	0,250903	0,66	SI
H13	2,364117	2,552212	1,134732	2,613462	5,5	SI
H14	0,187371	0,172034	0,070089	0,264871	0,66	SI
H15	1,777956	1,318532	0,863998	4,196071	5,5	SI
H16	0,156438	0,171716	0,064583	0,200169	0,6	SI
H17	1,107599	1,291627	0,68998	1,769593	5	SI
H18	0,128661	0,155159	0,065635	0,267798	0,6	SI
H19	0,729583	1,165655	0,55247	1,211339	5	SI
H20	0,113413	0,129266	0,061845	0,239881	0,6	SI
H21	0,515913	0,983204	0,405952	2,079603	5	SI
H22	0,112063	0,126488	0,05627	0,177976	0,24	SI
H23	0,462421	0,595129	0,293968	1,145823	2	SI
H24	0,077123	0,096498	0,04244	0,171468	0,24	SI
H25	0,366687	0,578403	0,310813	0,893105	2	SI

3.2.1.10 Factor de potencia.

La Figura 3-33, Figura 3-34 y Figura 3-35 representan el factor de potencia máximo medio y mínimo respectivamente, registrados durante toda la semana de cada fase y total. El Fp ideal es 1 y como se puede observar tiene un límite de descenso de hasta 0,92 pero en todos los registrados este valor ha sido violado, siendo más crítico en los valores mínimos registrado, donde se observa que posee muchos más datos por debajo del límite.

Los valores mínimos a los que ha llegado el factor de potencia en cada caso se los ve en la Tabla 31, Tabla 32 y Tabla 33.

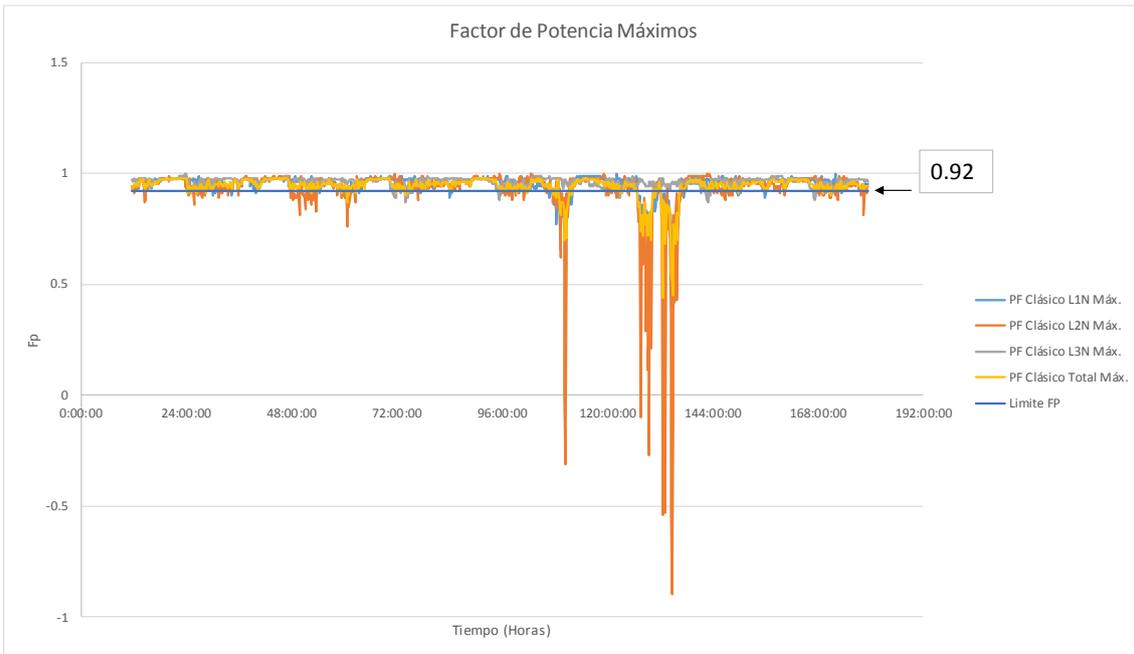


Figura 3-33 Factor de potencia máximo con SFV.

Tabla 31 Datos del Fp máximo con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	1	1	1	0,98
Valor mínimo	0,39	-0,9	0,87	0,44
Media	0,949415	0,928819	0,960744	0,94066
Porcentaje de cumplimiento	89,48%	81,25%	97,02%	90,97%

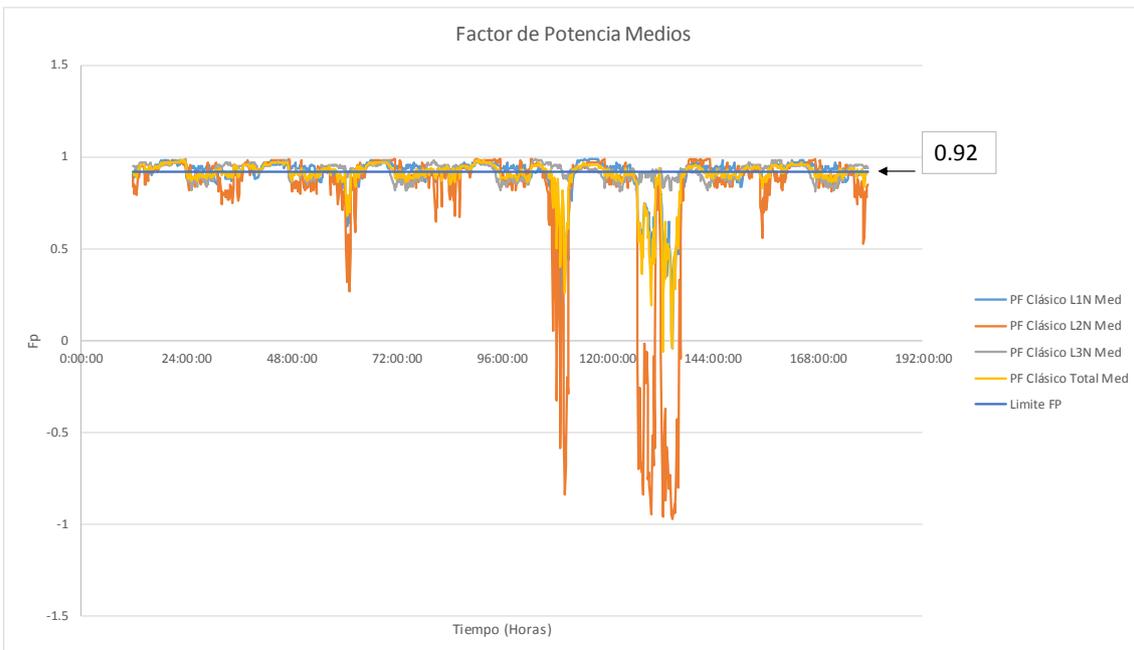


Figura 3-34 Factor de potencia medio con SFV.

Tabla 32 Datos del Fp medios con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	0,99	0,99	0,99	0,98
Valor mínimo	-0,04	-0,97	0,81	-0,06
Media	0,903244	0,807857	0,923423	0,895099
Porcentaje de cumplimiento	69,74%	47,91%	63,29%	54.66%

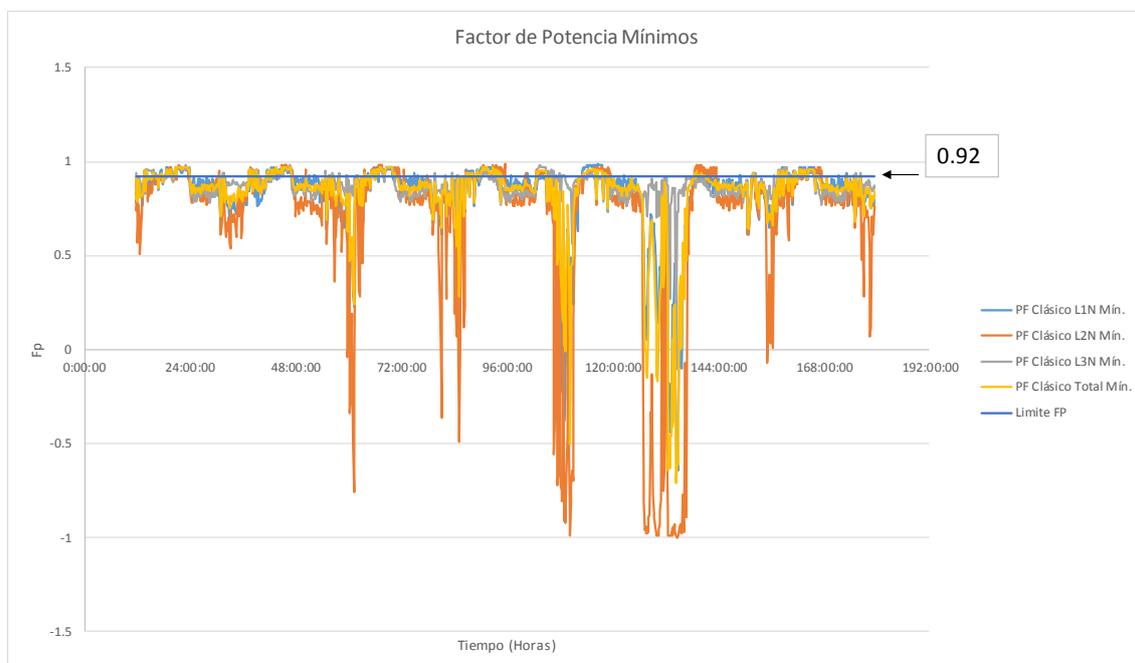


Figura 3-35 Factor de potencia mínimo con SFV.

Tabla 33 Datos del Fp mínimo con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	0,99	0,99	0,98	0,97
Valor mínimo	-0,64	-1	-0,11	-0,71
Media	0,82	0,685377	0,871657	0,821419
Porcentaje de cumplimiento	28,87%	27,08%	27,98%	29,46%

En resumen, si el factor de potencia cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34 Resumen del cumplimiento sobre el factor de potencia.

¿Cumple con la norma?	Fp máximo	Fp medios	Fp mínimos
Arconel 005/18	NO	NO	NO
IEEE 1159	NO	NO	NO
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.1.11 Potencia Activa.

Como datos adicionales a lo que respecta a la calidad de energía se ha podido registrar la potencia activa máxima, media y mínima durante el periodo de medición, teniendo los datos estadísticos presentados en la Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37.

La Figura 3-36, Figura 3-37 y Figura 3-38 representan la potencia máxima media y mínima respectivamente registradas en cada fase y total de toda la semana.

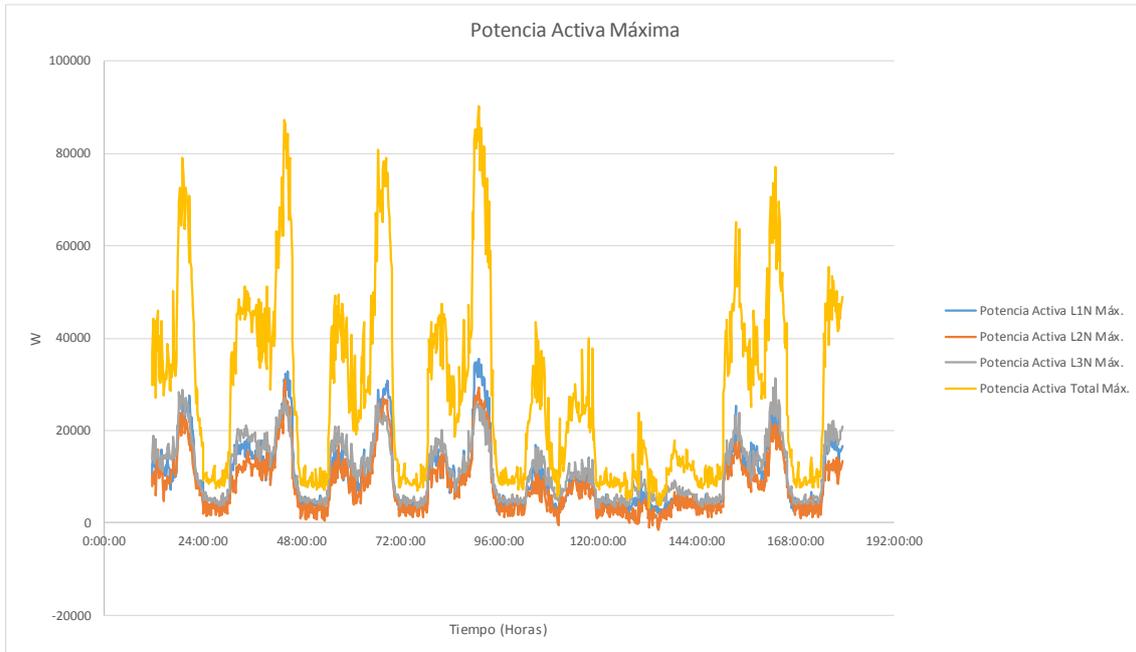


Figura 3-36 Potencia activa máxima con SFV.

Tabla 35 Datos de la potencia activa máxima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	35.500 W	31.100 W	31.400 W	90.200 W
Valor mínimo	1.000 W	-1.500 W	3.300 W	3.100 W
Media	1.0255,9 W	8.388,1 W	1,1423,8 W	2.8200,8 W

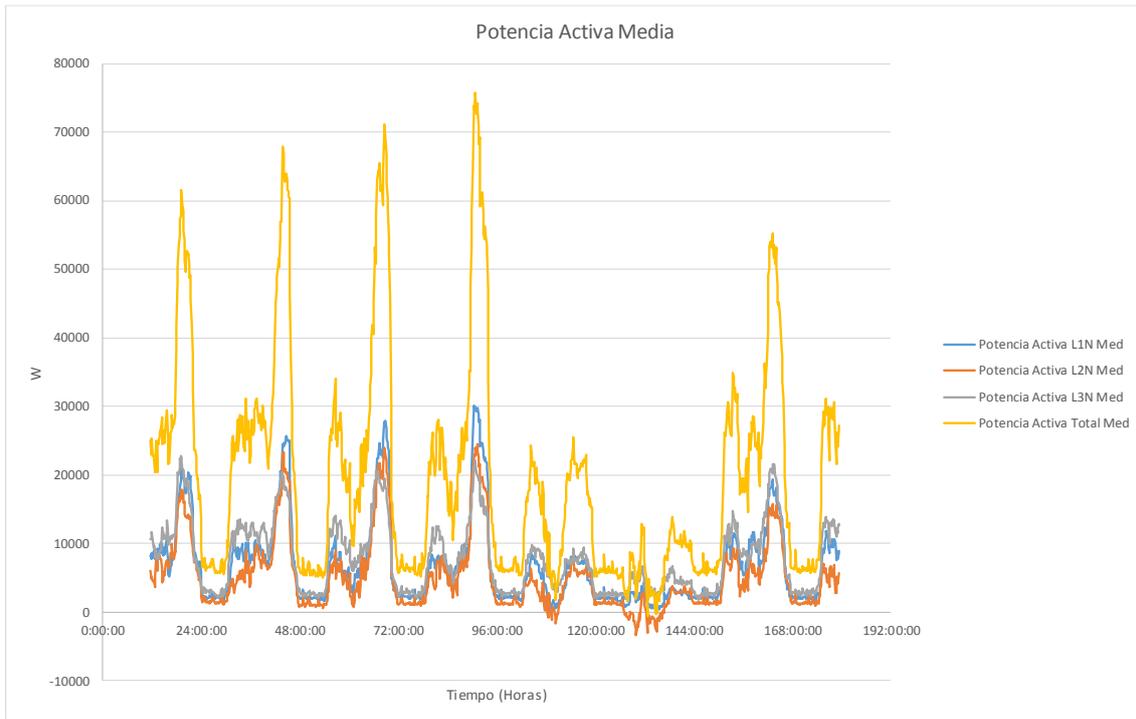


Figura 3-37 Potencia activa media con SFV.

Tabla 36 Datos de la potencia activa media con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	30.100 W	24.500 W	22.800 W	75.800 W
Valor mínimo	-100 W	-3400 W	1600 W	-600 W
Media	6.839,58 W	5.194,84 W	7.852,78 W	19.885,9 W

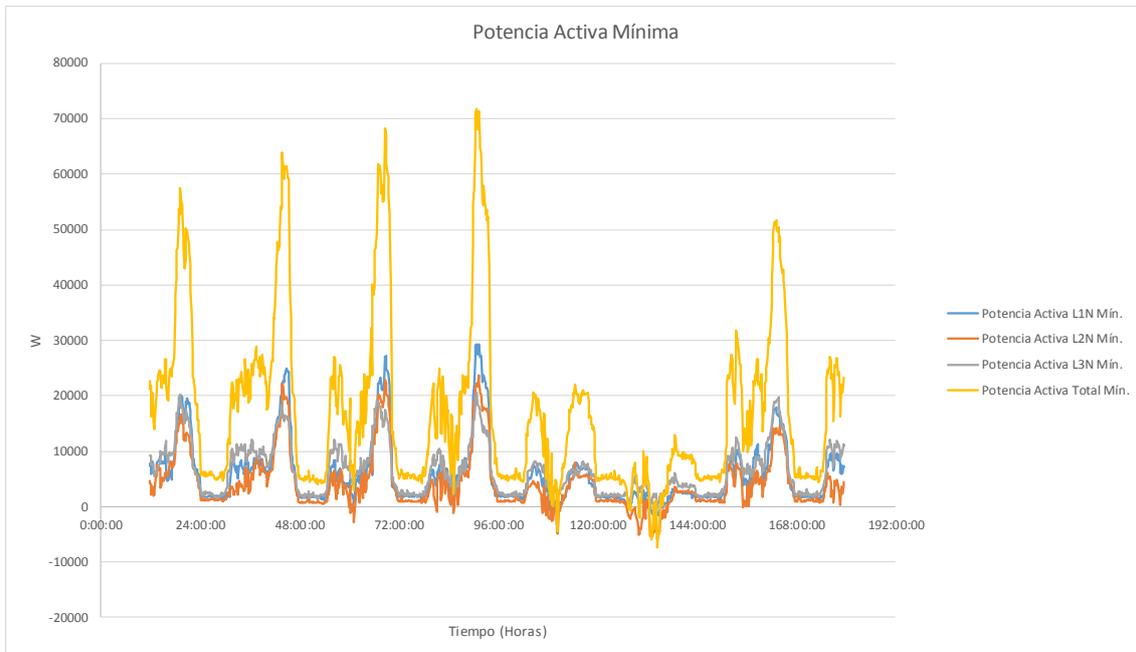


Figura 3-38 Potencia activa mínima con SFV.

Tabla 37 Datos de la potencia activa mínima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	29.300 W	23.600 W	20.600 W	71.700 W
Valor mínimo	-1.600W	-5.800 W	-200 W	-7.300 W
Media	5.911,81 W	4.196,33 W	6.558,43 W	17.203,1 W

3.2.1.12 Potencia Reactiva.

De igual forma adicionalmente se registró la potencia reactiva máxima media y mínima durante toda la semana, obteniendo los datos presentados en la Tabla 38, Tabla 39, Tabla 40 respectivamente. Se las representadas en la Figura 3-39, Figura 3-40, y Figura 3-41.

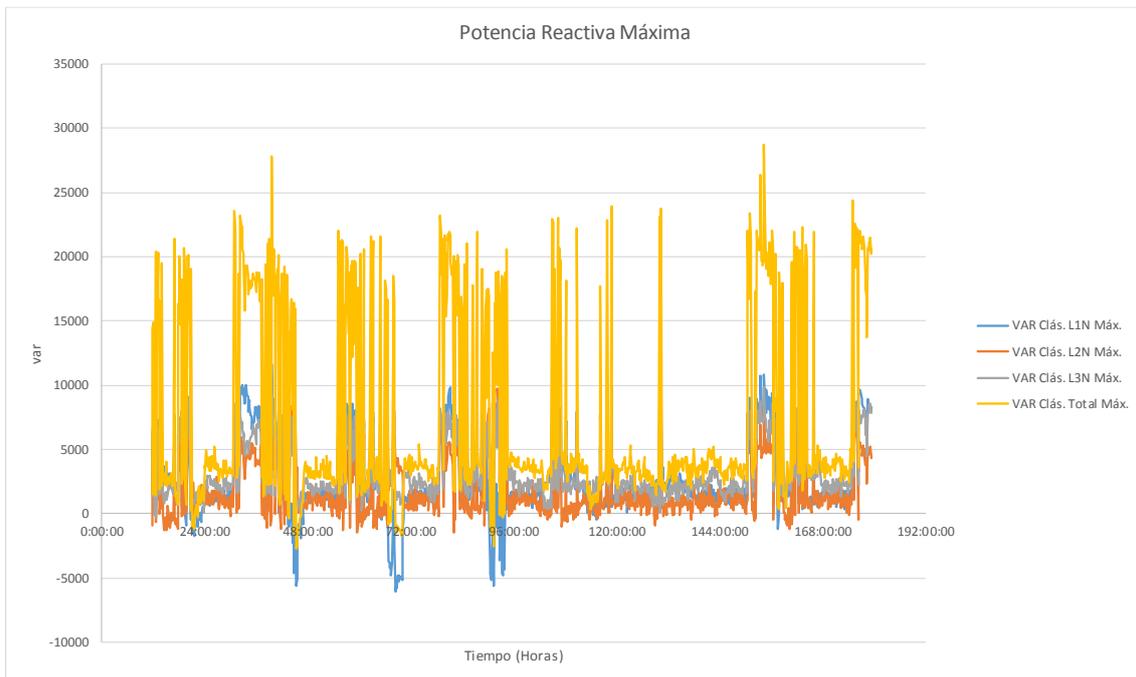


Figura 3-39 Potencia reactiva máxima con SFV.

Tabla 38 Datos de la potencia reactiva máxima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	11.600 var	9.700 var	9.900 var	28.700 var
Valor mínimo	-6.100 var	-1.500 var	-300 var	-2.700 var
Media	2.747,02 var	2.037,6 var	3.365,28 var	7.219,35 var

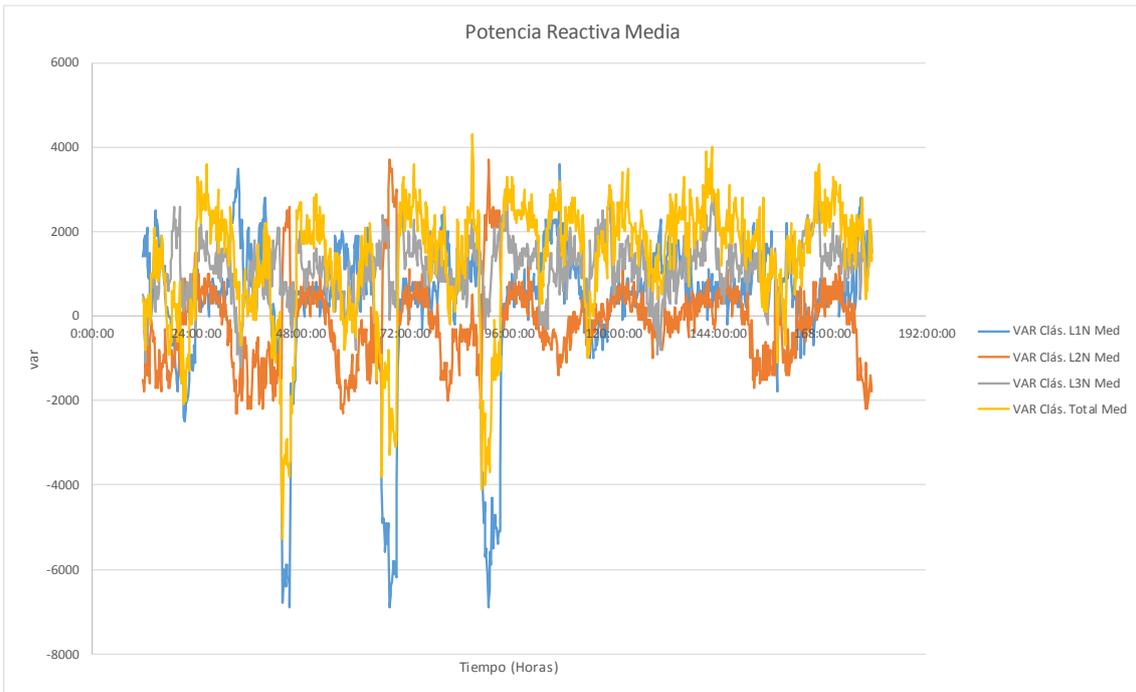


Figura 3-40 Potencia reactiva media con SFV.

Tabla 39 Datos de la potencia reactiva media con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	3.600 var	3.700 var	3.200 var	4.300 var
Valor mínimo	-6.900 var	-2.300 var	-1.200 var	-5.300 var
Media	325,099 var	-142,163 var	1137,9 var	1323,81 var

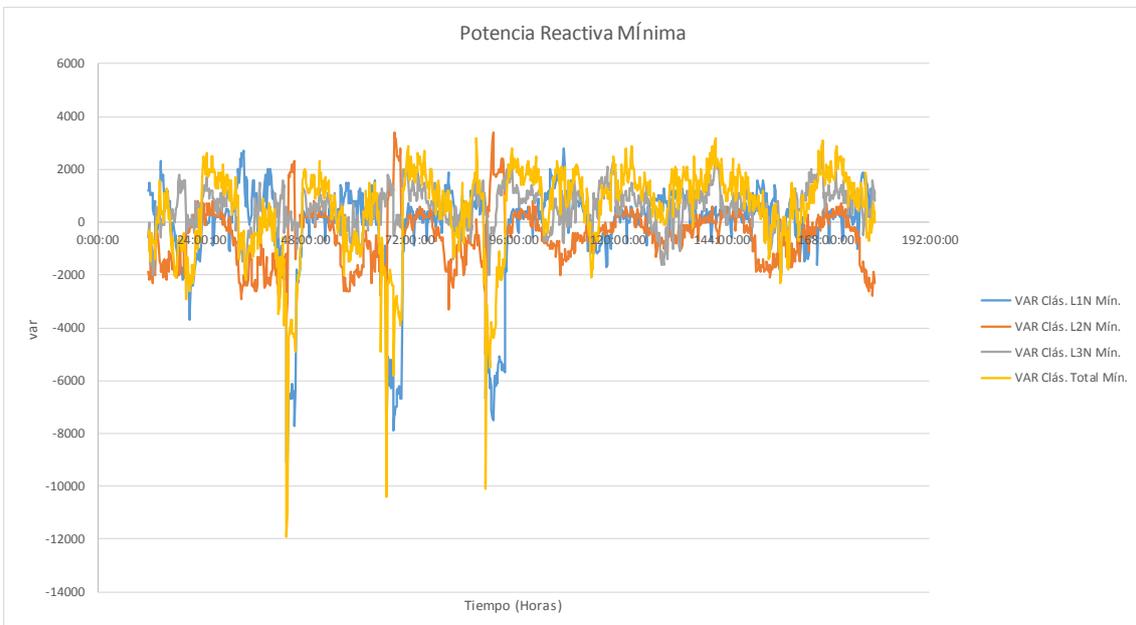


Figura 3-41 Potencia reactiva mínima con SFV.

Tabla 40 Datos de la potencia reactiva mínima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	2.800 var	3.400 var	3.000 var	3.200 var
Valor mínimo	-9.100 var	-5.000 var	-2.200 var	-11.900 var
Media	-163,194 var	-539,385 var	545,238 var	445,933 var

3.2.1.13 Potencia Aparente.

Así mismo, la potencia aparente máxima media y mínima registrados en esta semana están presentes en la Figura 3-42, Figura 3-43 y Figura 3-44 respectivamente. Algunos de los datos importantes pertenecientes a estas graficas se los encuentra en la Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 43.

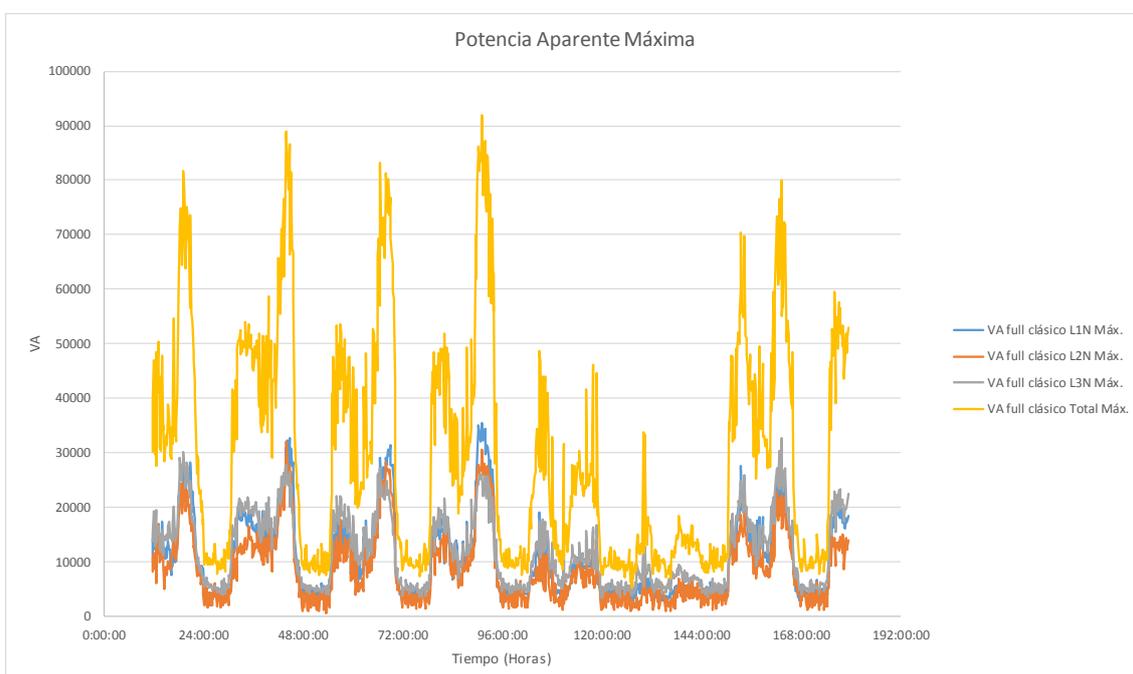


Figura 3-42 Potencia aparente máxima con SFV.

Tabla 41 Datos de la potencia aparente máxima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	35.500 VA	32.000 VA	32.600 VA	91.900 VA
Valor mínimo	1.700 VA	600 VA	3.300 VA	5.300 VA
Media	10846,1 VA	8829,37 VA	11947,1 VA	29696,2 VA

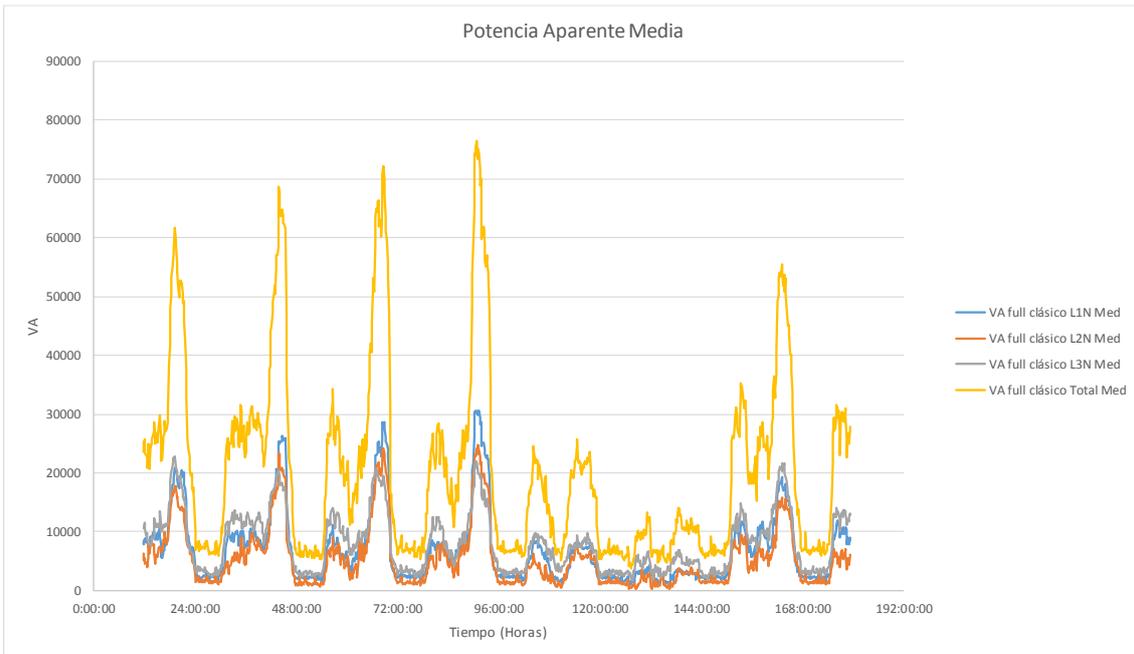


Figura 3-43 Potencia aparente media con SFV.

Tabla 42 Datos de la potencia aparente media con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	30.600 VA	24.700 VA	22.900 VA	76.500 VA
Valor mínimo	1.000 VA	200 VA	1.600 VA	3.800 VA
Media	7022,22 VA	5434,82 VA	8029,76 VA	20489,6 VA

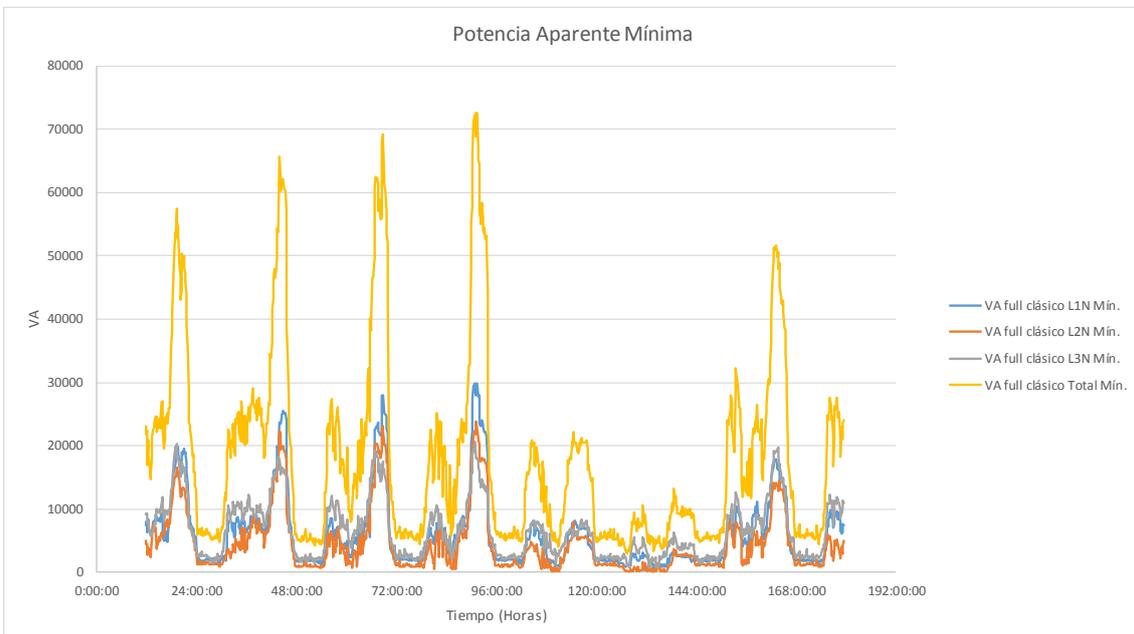


Figura 3-44 Potencia aparente mínima con SFV.

Tabla 43 Datos de la potencia aparente mínima con SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	29.900 VA	23.800 VA	20.600 VA	72.500 VA
Valor mínimo	700 VA	0 VA	600 VA	2.900 VA
Media	6124,01 VA	4534,42 VA	6683,73 VA	17940,7 VA

3.2.2 Análisis sin Sistema Fotovoltaico.

Para el siguiente análisis se procede al igual que la primera semana, con la particularidad que en esta sección los datos medidos serán con la desconexión del sistema fotovoltaico. De esta manera se podría apreciar los cambios en las distintas graficas de los parámetros medidos; pues el análisis será individualmente, ya que en la Sección 4.2.3 será la comparación de las dos situaciones para las cuales fue evaluado el sistema eléctrico.

La segunda semana sin el aporte fotovoltaico es comprendida entre el 30 de abril del 2019 hasta el 7 de mayo del 2019 con un total de registros equivalente a 1.008 registros con un total de 1'825.281 datos.

El análisis total de calidad de energía se basa de la misma manera entre los estándares Arconel 005/18 y para valores no especificados en esta regulación se tomarán normativas internacionales como la IEEE Std. 1159 y IEC 61000-2-2.

De igual manera los valores pertenecientes al porcentaje de cumplimiento estipulados en varias tablas del análisis con el sistema fotovoltaico en desconexión, hacen referencia a que tanto por ciento de todos los registros se encuentran dentro de los límites establecidos. Teniendo que ser un mínimo de 95% del total de datos para que la calidad de energía sea considerada como buena de acuerdo a la norma.

3.2.2.1 Niveles de voltaje

La Figura 3-45 y Figura 3-46, representan los niveles de voltaje máximos y medios respectivamente registrados en todo el periodo de medición, como se puede observar los valores de cada fase se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma, la cual nos indica que no deben exceder el $\pm 8\%$ (137,16-116,84V) de la tensión fundamental (127 V).

La Figura 3-47 representa los niveles de voltaje mínimos, en la cual se ve que existe en dos eventos determinados al momento de la violación del valor límite inferior establecido por parte de las 3 fases.

En la Tabla 44, Tabla 45 y Tabla 46 se ven algunos de los datos estadísticos obtenidos en el registro, la norma del ARCONEL establece que para que la calidad de energía sea buena el 95% o más de los datos del nivel de voltaje se encuentre dentro del rango admisible. Como se observa los valores obtenidos cumplen con la norma.

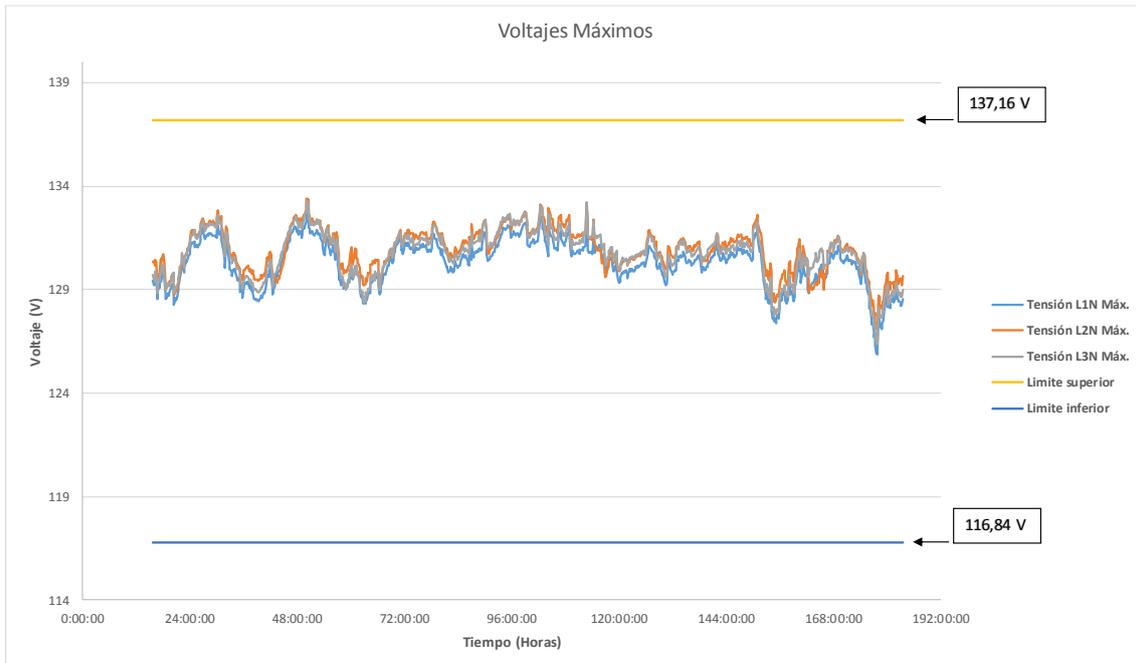


Figura 3-45 Niveles máximos de voltaje sin SFV.

Tabla 44 Datos de los niveles máximos de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	132,91	133,42	133,27
Valor mínimo	125,89	127,04	126,37
Media	130,29	130,909	130,736
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

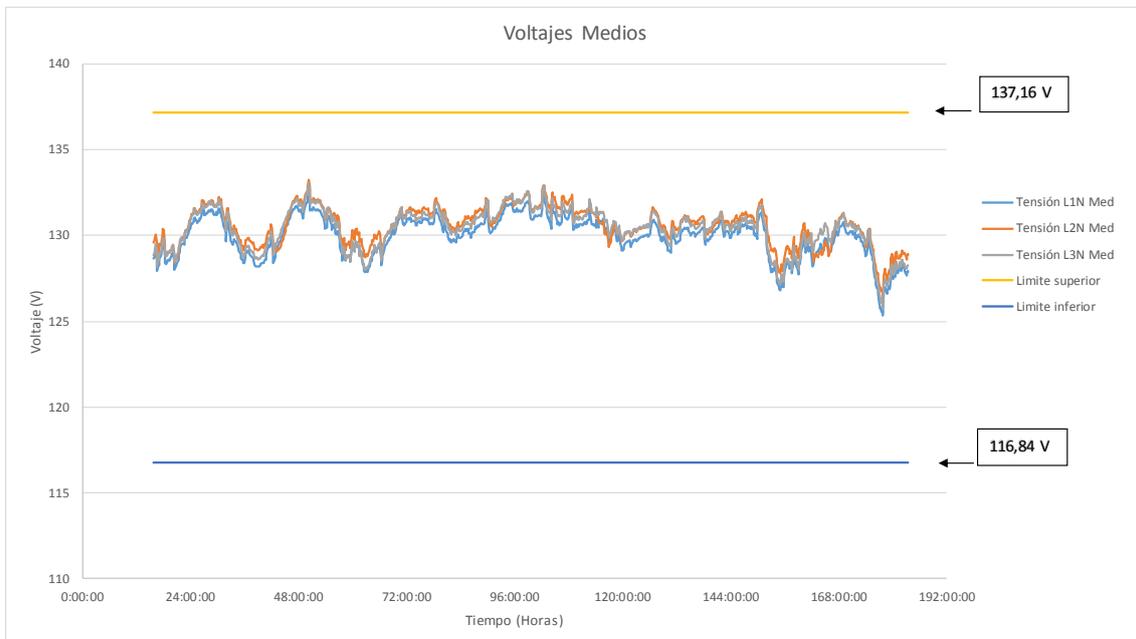


Figura 3-46 Niveles medios de voltaje sin SFV.

Tabla 45 Datos de los niveles medios de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	132,64	133,24	133,07
Valor mínimo	125,35	126,37	125,75
Media	129,95	130,564	130,389
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

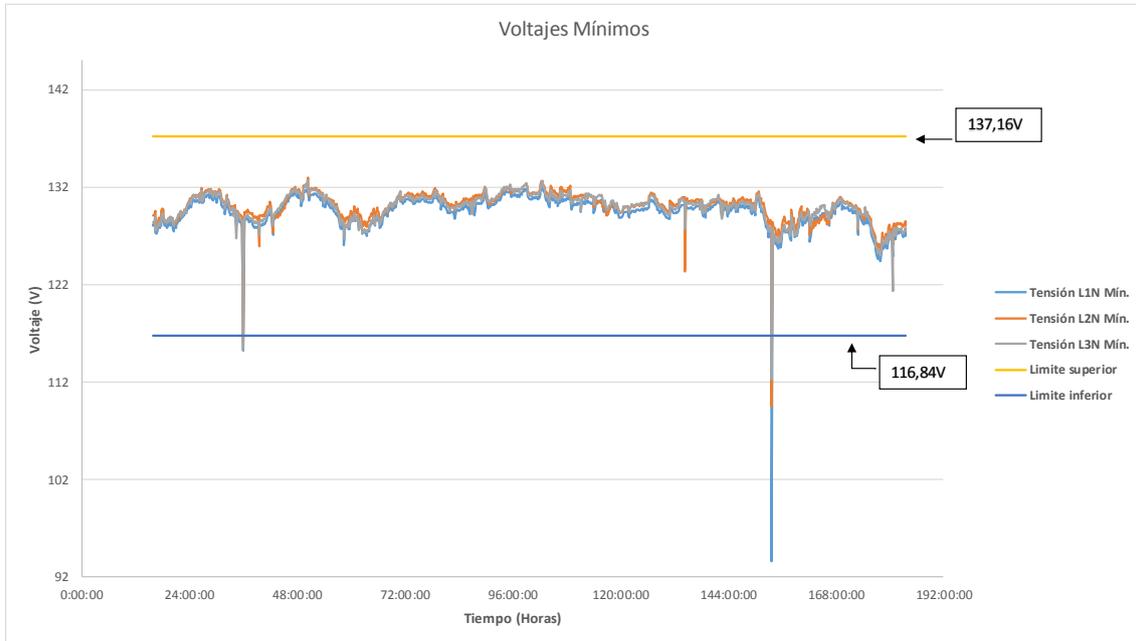


Figura 3-47 Niveles mínimos de voltaje sin SFV.

Tabla 46 Datos de los niveles mínimos de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	132,39	133,01	132,8
Valor mínimo	93,56	109,51	112,27
Media	129,44	130,066	129,89
Porcentaje de cumplimiento	99,8%	99,8%	99,8%

En resumen, si los niveles de voltaje cumplen con las normas establecidas se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47 Resumen del cumplimiento de niveles de voltaje

¿Cumple con la norma?	Niveles máximos	Niveles medios	Niveles mínimos
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.2.2 Perturbaciones de voltaje

La Figura 3-48 representa los flicker de corto plazo (Pst), siendo el límite establecido la unidad y como se puede observar es sobrepasado por todas las fases en determinados momentos; cabe recalcar que en uno de los puntos se tuvo un valor elevado considerable, mucho mayor que en los otros momentos de medición. Los valores máximos registrados se los aprecia en la Tabla 48 conjuntamente con otros datos estadísticos.

La normativa establece que la calidad de energía es buena si el 95% o más de los valores registrados es menor al límite establecido (1). Como se ve en la Tabla 48 los valores se encuentran dentro del rango establecido por la norma.

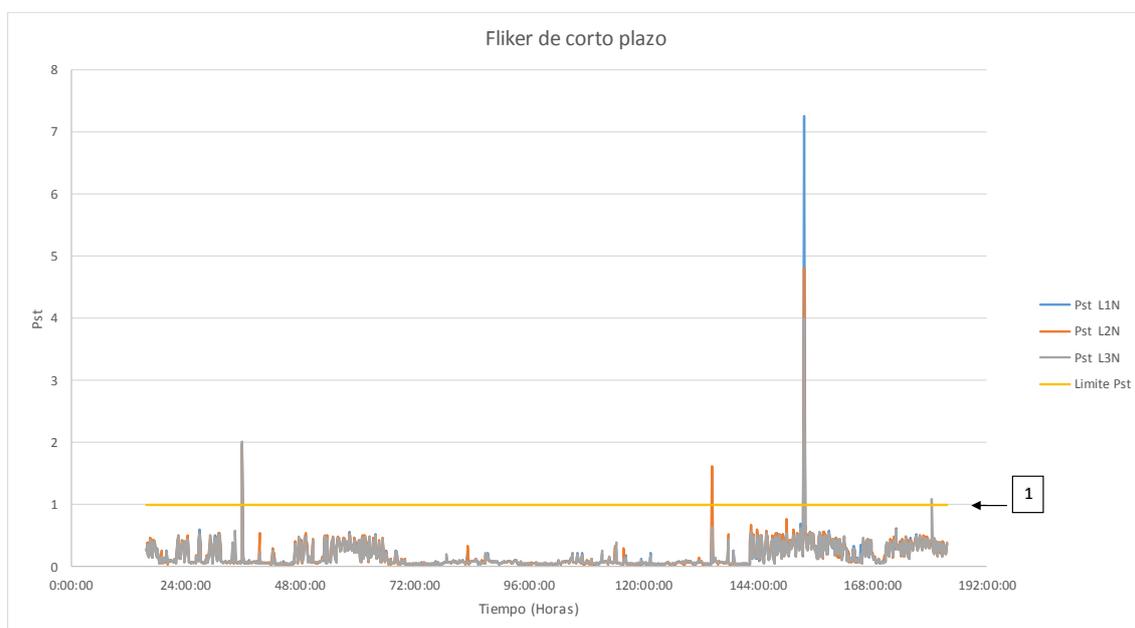


Figura 3-48 Flicker de corto plazo (Pst) sin SFV.

Tabla 48 Datos del Pst fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	7,259	4,813	3,996
Valor mínimo	0,035	0,03	0,035
Media	0,1712	0,1726	0,1671
Porcentaje de cumplimiento	99,8%	99,7%	99,7%

La Figura 3-49 representa los flicker de largo plazo (Plt), siendo el límite establecido la unidad. Como se puede observar existe un sobrepaso de las tres fases en cierto punto con varios valores medidos; teniendo en cuenta que la fase 1 tiene un mayor sobrepaso, consecuentemente le sigue en el sobrepaso la fase 2 y por último la fase 3.

Los valores máximos registrados se aprecian en la Tabla 49 conjuntamente con más datos estadísticos. De igual manera el 95% de los datos se encuentra por debajo del valor establecido en la norma para considerar que la calidad de energía es buena.

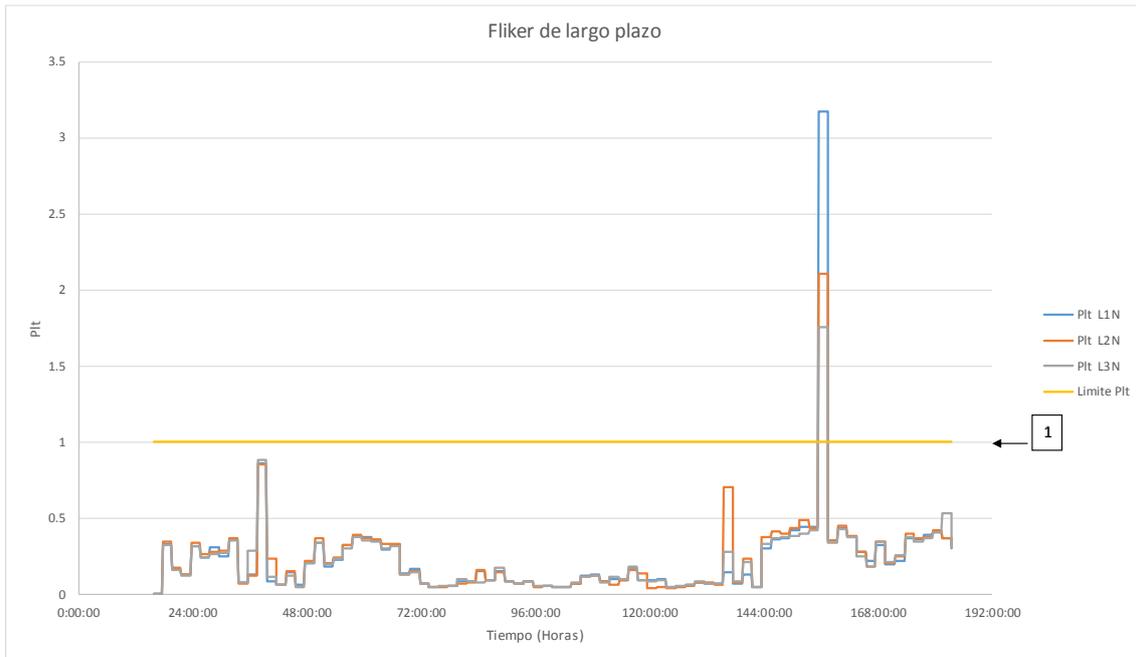


Figura 3-49 Fliker de largo plazo (PIt) sin SFV.

Tabla 49 Datos del PIt fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	3,174	2,11	1,757
Valor mínimo	0	0	0
Media	0,2341	0,2344	0,2210
Porcentaje de cumplimiento	98,81%	98,81%	98,81%

En resumen, si las perturbaciones de voltaje cumplen con las normas establecidas se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50 Resumen del cumplimiento sobre perturbaciones de voltaje.

¿Cumple con la norma?	Pst	PIt
Arconel 005/18	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-

3.2.2.3 Distorsión Armónica de Voltaje

La Figura 3-50, Figura 3-51 y Figura 3-52 representan la evolución temporal de la distorsión armónica de voltaje (THD) máxima, media y mínima respectivamente, es posible apreciar que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma, la cual nos indica que no debe exceder el 8%.

La normativa establece que la calidad de energía es buena si el 95% o más de los valores registrados de distorsión armónica total de voltaje es menor al límite máximo establecido Como se ve en la Tabla 51, Tabla 52 y Tabla 53 donde se muestran los datos estadísticos

de los valores máximos, medios y mínimos respectivamente, todos se encuentran por debajo del límite máximo.

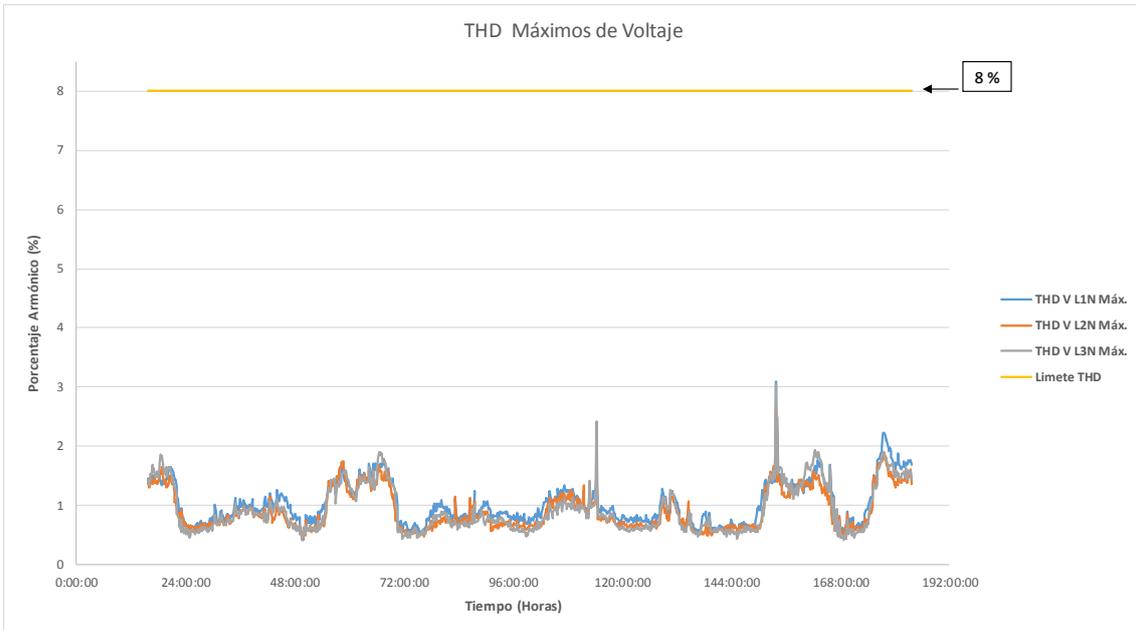


Figura 3-50 THD máximos de voltaje sin SFV.

Tabla 51 Datos del THD máximos de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	3,1	2,63	3,06
Valor mínimo	0,41	0,42	0,42
Media	1,021	0,91	0,922
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

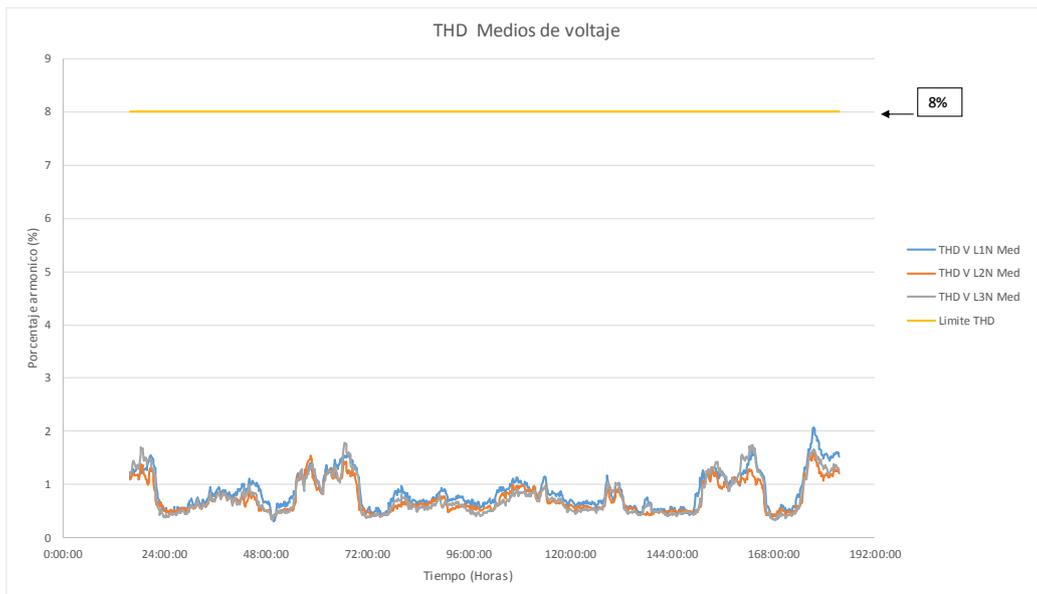


Figura 3-51 THD medios de voltaje en sin SFV.

Tabla 52 Datos del THD medios de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	2,08	1,65	1,78
Valor mínimo	0,31	0,35	0,33
Media	0,872	0,753	0,778
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

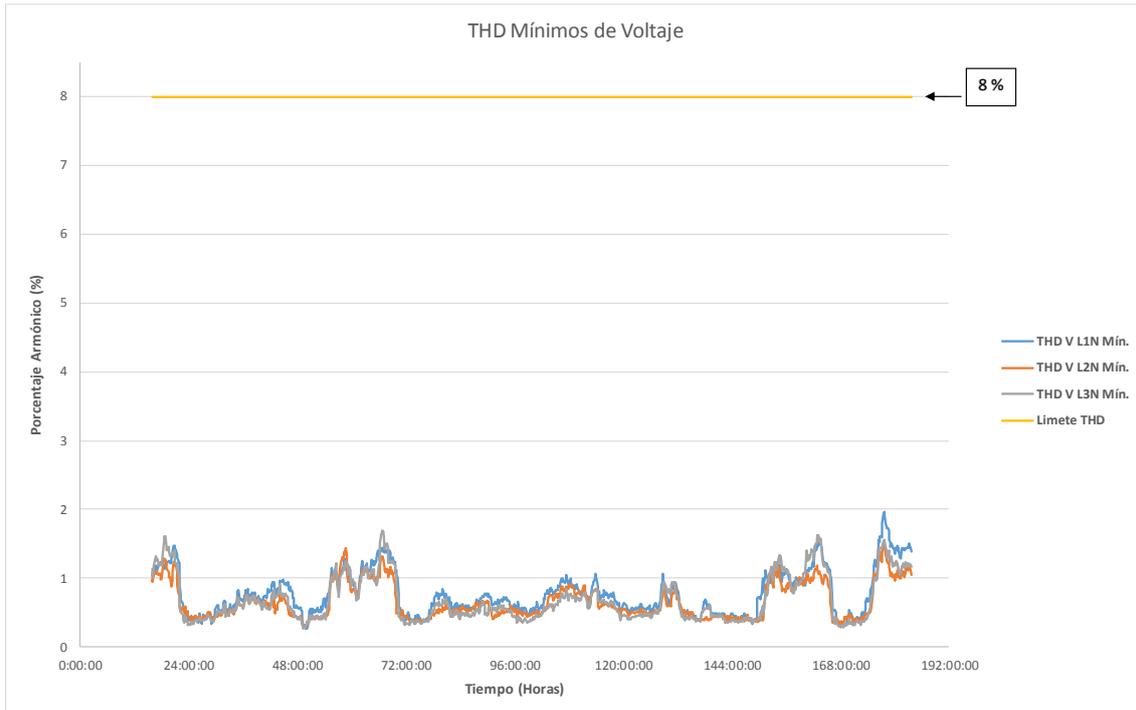


Figura 3-52 THD mínimos de voltaje sin SFV.

Tabla 53 Datos del THD mínimos de voltaje fases-neutro sin SFV.

	L1N	L2N	L3N
Valor máximo	1,96	1,54	1,7
Valor mínimo	0,27	0,3	0,27
Media	0,768	0,661	0,684
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%	100%

En resumen, si la distorsión armónica de voltaje cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 54.

Tabla 54 Resumen del cumplimiento sobre THD de voltaje.

¿Cumple con la norma?	THD máximos	THD medios	THD mínimos
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.2.4 Armónicos individuales de voltaje

La Figura 3-53 representan los armónicos individuales de voltaje, en la que se ve que los armónicos de cada fase se encuentran por debajo de los límites establecidos tanto por la ARCONEL como por la norma IEC 6100-2-2. En la Tabla 55 están los valores de las componentes armónicas de cada fase.

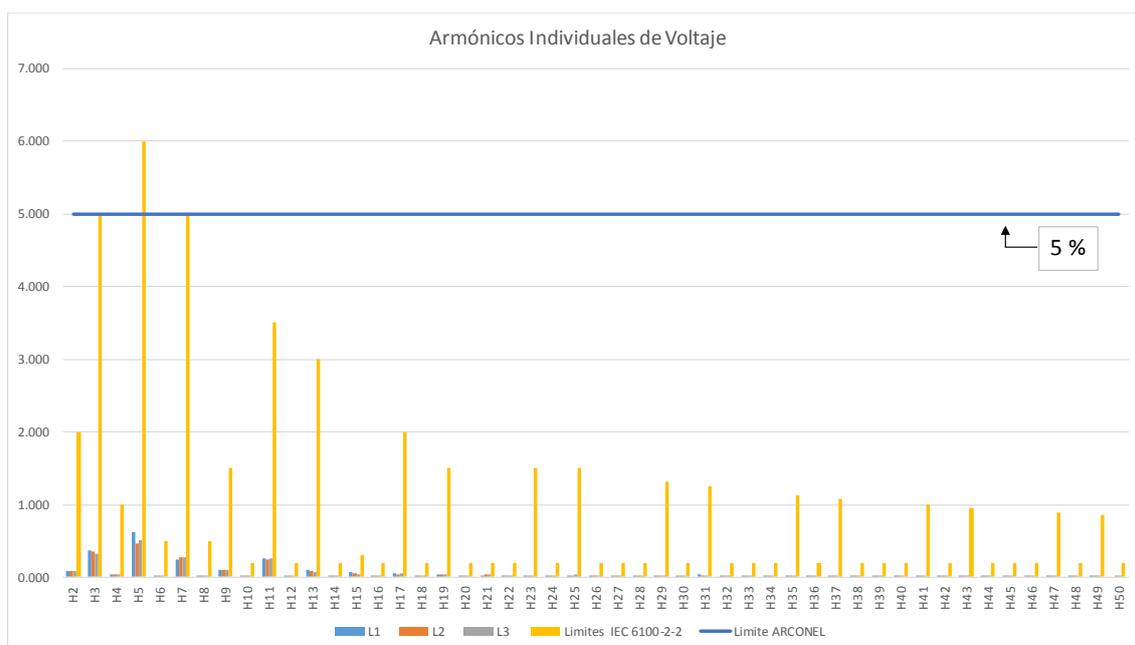


Figura 3-53 Armónicos individuales de voltaje sin SFV.

Tabla 55 Datos de los armónicos individuales de voltaje fases-neutro sin SFV.

Componente Armónica	L1	L2	L3	NG	Límites IEC 6100-2-2	Límites ARCONEL	Cumplen con las normas?
H2	0,0904	0,0835	0,0894	10,3626	2	5	SI
H3	0,3617	0,3558	0,3265	63,3377	5	5	SI
H4	0,0386	0,0327	0,0380	7,9928	1	5	SI
H5	0,6275	0,4716	0,5128	15,9347	6	5	SI
H6	0,0217	0,0212	0,0211	8,1124	0,5	5	SI
H7	0,2459	0,2756	0,2748	12,1871	5	5	SI
H8	0,0152	0,0127	0,0143	8,0973	0,5	5	SI
H9	0,1012	0,0989	0,1027	19,3665	1,5	5	SI
H10	0,0123	0,0108	0,0113	8,0501	0,2	5	SI
H11	0,2667	0,2470	0,2587	10,6276	3,5	5	SI
H12	0,0100	0,0100	0,0100	8,1319	0,2	5	SI
H13	0,1030	0,0801	0,0746	10,8078	3	5	SI
H14	0,0100	0,0100	0,0100	8,0226	0,2	5	SI
H15	0,0629	0,0492	0,0449	14,5194	0,3	5	SI

H16	0,0100	0,0098	0,0100	8,0456	0,2	5	SI
H17	0,0524	0,0373	0,0465	10,6235	2	5	SI
H18	0,0100	0,0096	0,0100	8,2220	0,2	5	SI
H19	0,0440	0,0376	0,0427	9,8021	1,5	5	SI
H20	0,0100	0,0091	0,0100	8,0595	0,2	5	SI
H21	0,0282	0,0361	0,0343	10,8162	0,2	5	SI
H22	0,0100	0,0088	0,0102	7,9739	0,2	5	SI
H23	0,0285	0,0232	0,0294	9,4299	1,5	5	SI
H24	0,0100	0,0059	0,0100	8,0503	0,2	5	SI
H25	0,0258	0,0233	0,0340	8,8977	1,5	5	SI
H26	0,0099	0,0034	0,0092	8,1870	0,2	5	SI
H27	0,0265	0,0215	0,0262	10,4936	0,2	5	SI
H28	0,0099	0,0067	0,0096	8,0309	0,2	5	SI
H29	0,0261	0,0200	0,0226	8,9699	1,3	5	SI
H30	0,0097	0,0057	0,0084	8,3965	0,2	5	SI
H31	0,0315	0,0201	0,0237	9,5563	1,2	5	SI
H32	0,0046	0,0037	0,0061	8,4869	0,2	5	SI
H33	0,0208	0,0207	0,0249	9,4824	0,2	5	SI
H34	0,0040	0,0035	0,0049	8,1236	0,2	5	SI
H35	0,0258	0,0247	0,0162	8,8150	1,1	5	SI
H36	0,0037	0,0046	0,0050	8,1988	0,2	5	SI
H37	0,0154	0,0155	0,0156	8,6338	1,1	5	SI
H38	0,0008	0,0023	0,0016	8,2674	0,2	5	SI
H39	0,0218	0,0224	0,0180	9,2476	0,2	5	SI
H40	0,0007	0,0012	0,0017	8,2395	0,2	5	SI
H41	0,0151	0,0138	0,0155	8,6957	1,0	5	SI
H42	0,0013	0,0006	0,0019	8,3782	0,2	5	SI
H43	0,0136	0,0124	0,0132	8,6957	1,0	5	SI
H44	0,0007	0,0002	0,0006	8,3827	0,2	5	SI
H45	0,0171	0,0149	0,0175	9,1950	0,2	5	SI
H46	0,0030	0,0003	0,0028	8,4056	0,2	5	SI
H47	0,0134	0,0103	0,0134	8,7862	1	5	SI
H48	0,0023	0,0002	0,0022	8,4764	0,2	5	SI
H49	0,0118	0,0133	0,0134	9,1675	0,9	5	SI
H50	0,0000	0,0001	0,0002	6,2651	0,2	5	SI

3.2.2.5 Desequilibrio de Voltaje

La Figura 3-54 representa el desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo registrados, se puede ver que los valores máximos sobrepasan el límite dado del 2% en ciertos momentos, llegando hasta un máximo de desequilibrio del 11,99 %.

Algunos otros datos estadísticos se encuentran en la Tabla 56. De igual manera la calidad de energía es buena si el 95% de los datos registrados del desequilibrio de voltaje, no sobrepasa el valor máximo permitido.

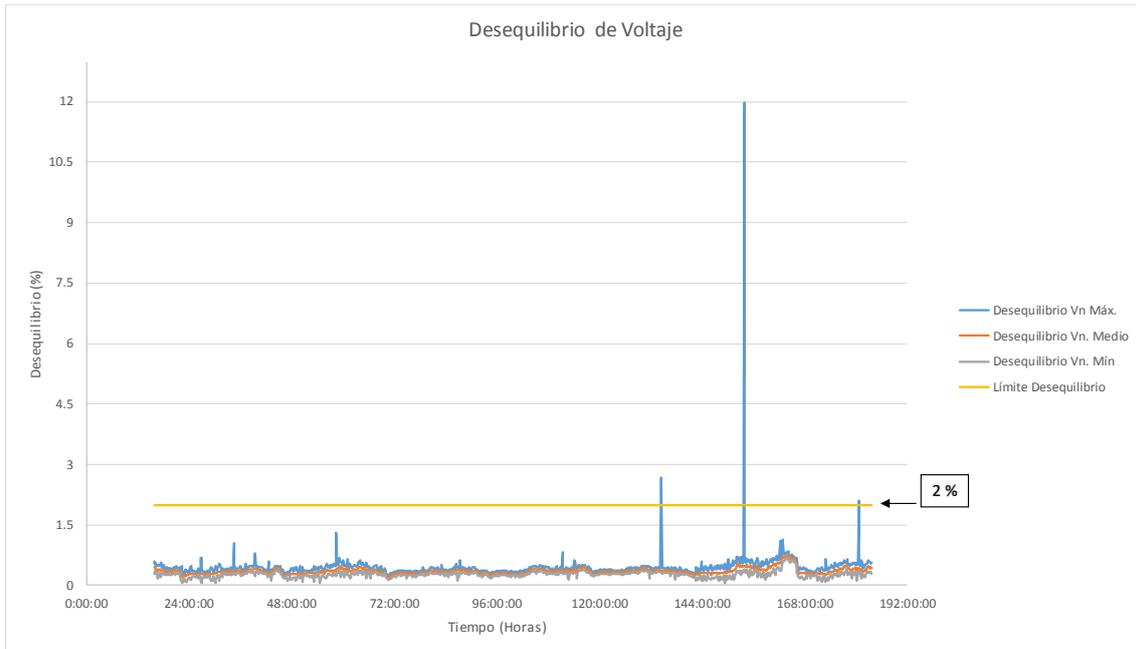


Figura 3-54 Desequilibrio de voltaje máximo, medio y mínimo sin SFV.

Tabla 56 Datos del desequilibrio máximo, medio y mínimo de voltaje sin SFV.

	Desequilibrio Máximo	Desequilibrio Medio	Desequilibrio Mínimo
Valor máximo	11,99 %	0,78%	0,69%
Valor mínimo	0,24 %	0,19%	0,05%
Media	0,457 %	0,354 %	0,0269%
Porcentaje de cumplimiento	99,7%	100%	100%

En resumen, si el desequilibrio de voltaje cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 57.

Tabla 57 Resumen del cumplimiento sobre desequilibrio de voltaje.

¿Cumple con la norma?	Desequilibrio máximo	Desequilibrio medio	THD mínimo
Arconel 005/18	SI	SI	SI
IEEE 1159	SI	SI	SI
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.2.6 Niveles de corriente

La Figura 3-55 Figura 3-56 y Figura 3-57 representan los niveles de corriente máximos medios y mínimos registrados respectivamente en todas las fases y el neutro del sistema.

De acuerdo a los datos obtenidos podemos ver que existe una gran cantidad de corriente en el neutro del sistema, registrando un promedio máximo 28,83 A, medio de 20,94 A y

mínimo de 16,59 A, lo que significa que el sistema se encuentra desequilibrado. Más datos estadísticos se los presenta en la Tabla 58, Tabla 59 y Tabla 60.

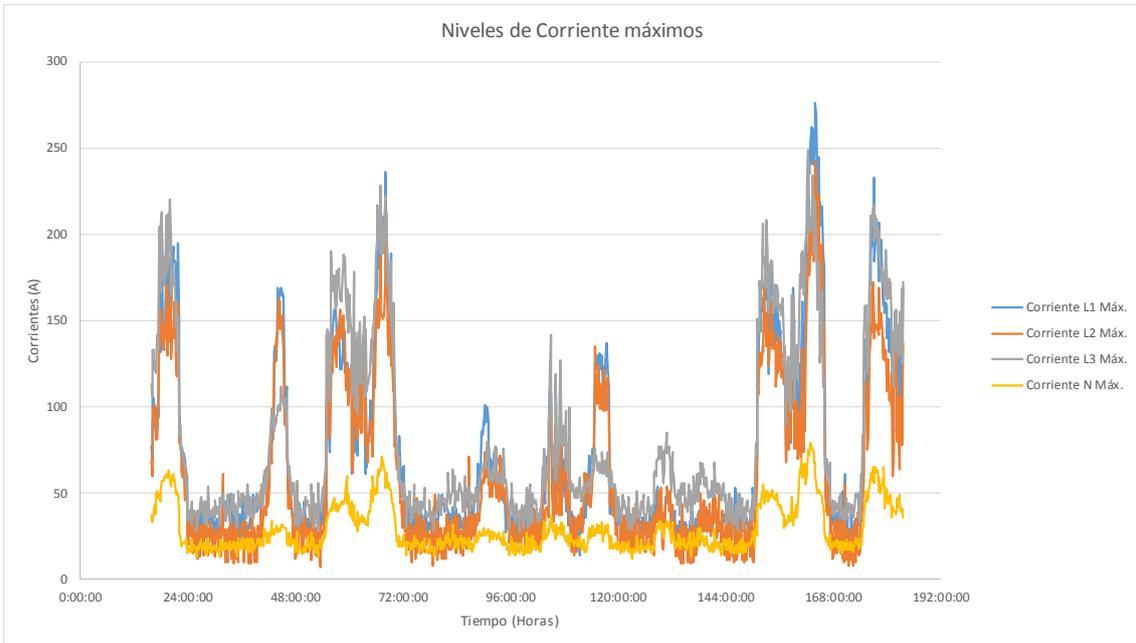


Figura 3-55 Niveles máximos de corriente sin SFV.

Tabla 58 Datos de los niveles máximos de corriente en fases y neutro sin SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	276	243	249	79
Valor mínimo	14	7	27	12
Media	73,468	61,14	81,39	28,83

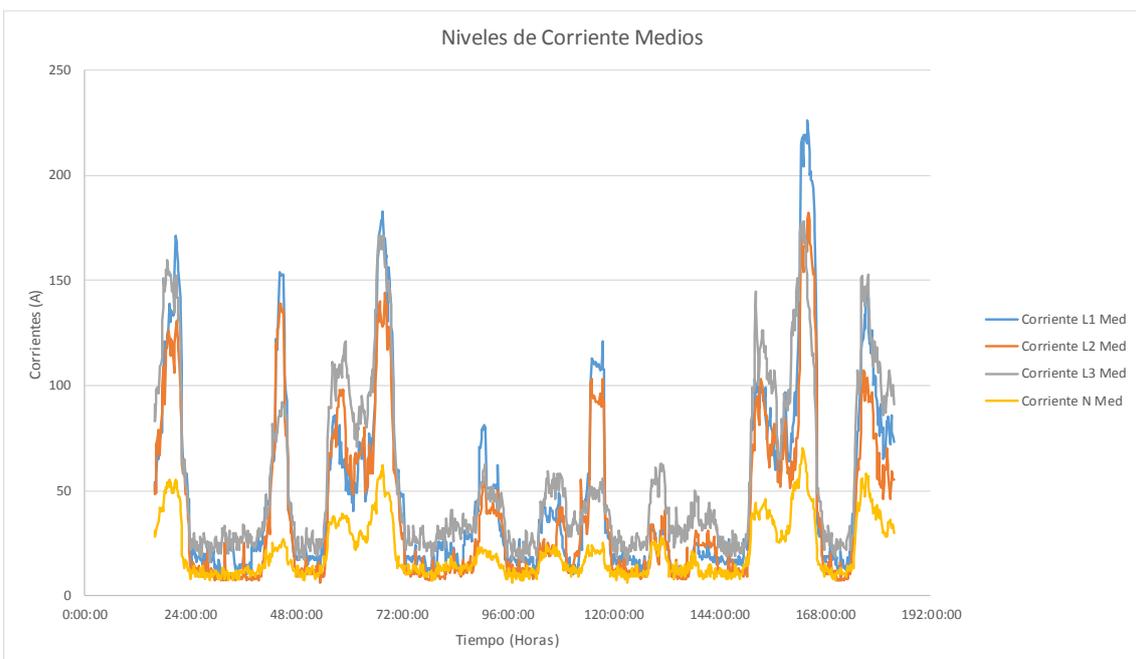


Figura 3-56 Niveles medios de corriente sin SFV.

Tabla 59 Datos de los niveles medios de corriente en fases y neutro sin SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	226	182	178	70
Valor mínimo	9	6	15	6
Media	48,61	40,48	56,42	20,94

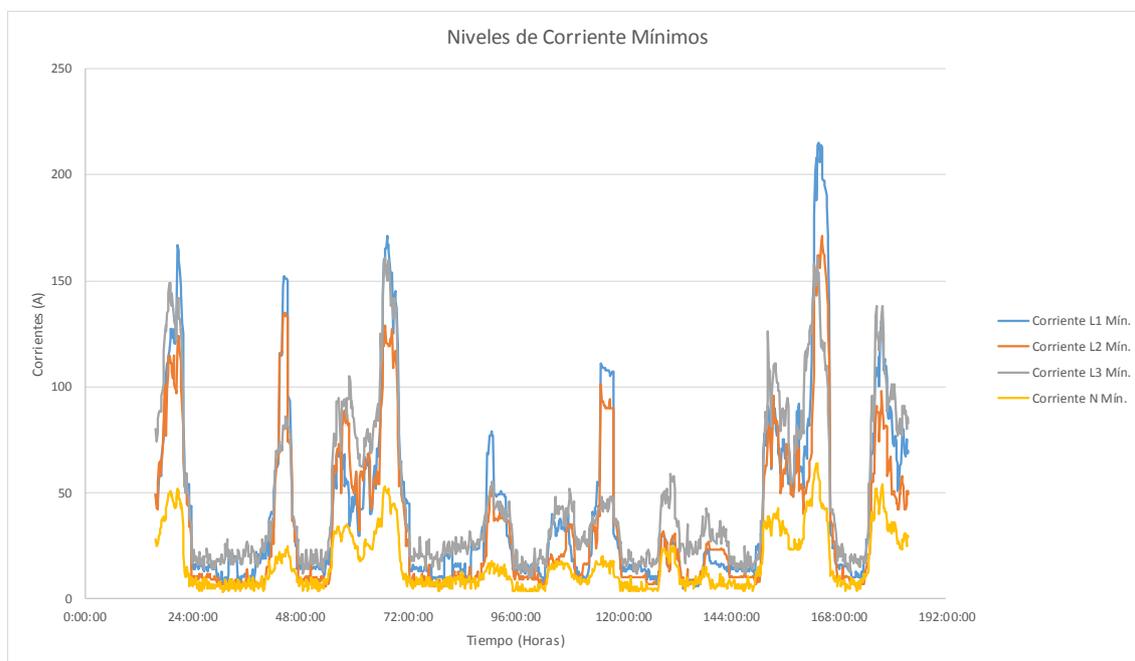


Figura 3-57 Niveles mínimos de corriente sin SFV.

Tabla 60 Datos de los niveles mínimos de corriente en fase y neutro sin SFV.

	L1	L2	L3	N
Valor máximo	215	171.6	161	64
Valor mínimo	5	6	10	3
Media	42,81	35,47	47,755	16,59

3.2.2.7 Desequilibrio de corriente

La Figura 3-58 representa el desequilibrio de corriente máximo, medio y mínimo en el sistema, de acuerdo a al valor límite de desequilibrio de tensión (2%) establecido en la norma del ARCONEL corresponde un límite para el desequilibrio de corriente del 40%.

Como se puede observar el sistema se encuentra desbalanceado la mayor parte del tiempo por encima del límite establecido para una buena calidad de energía. Es posible detallar que el desequilibrio sobrepasa el límite con más porcentaje en la Fase 1 y Fase 2, esto lo corroboran los datos estadísticos presentes en la Tabla 61.

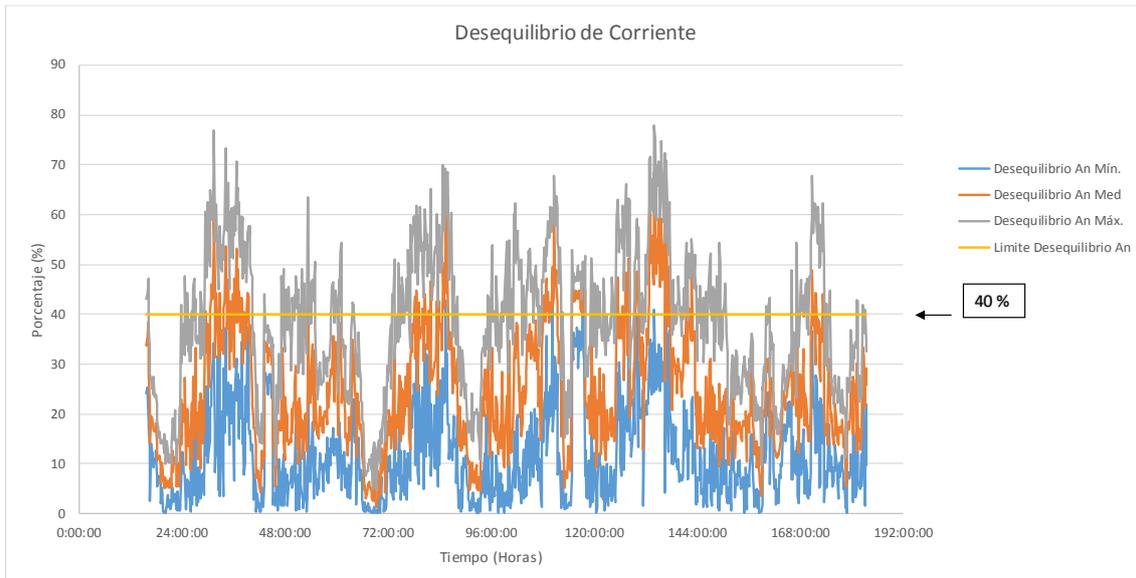


Figura 3-58 Desequilibrio de corriente máximo, medio y mínimo sin SFV.

Tabla 61 Datos del desequilibrio máximo medio y mínimo de corriente sin SFV.

	Desequilibrio Máximo	Desequilibrio Medio	Desequilibrio Mínimo
Valor máximo	77,83 %	68,38 %	44,23 %
Valor mínimo	4,61 %	1,38 %	0,02 %
Media	38,76 %	24,8 %	11,676 %
Porcentaje de cumplimiento	99,50%	86,41 %	52,08 %

3.2.2.8 Distorsión armónica de corriente

La Figura 3-59, Figura 3-60 y Figura 3-61 representan las distorsiones armónicas de corriente máxima, media y mínima respectivamente durante la segunda semana de registro de datos.

Verificando las gráficas se ve que en cada una existe una distorsión muy por encima del valor límite, esto se lo puede corroborar en la Tabla 62, Tabla 63 y Tabla 64 en donde se encuentra un valor máximo registrado de 86,38% en la fase 2 y un valor mínimo de 4% en la fase 1.

La mayoría de datos registrados están por encima del valor límite (15%), con la consideración de que en las tres fases la distorsión es parecida con valores similares. El porcentaje de cumplimiento se encuentra estipulado en la Tabla 62, Tabla 63, Tabla 64.

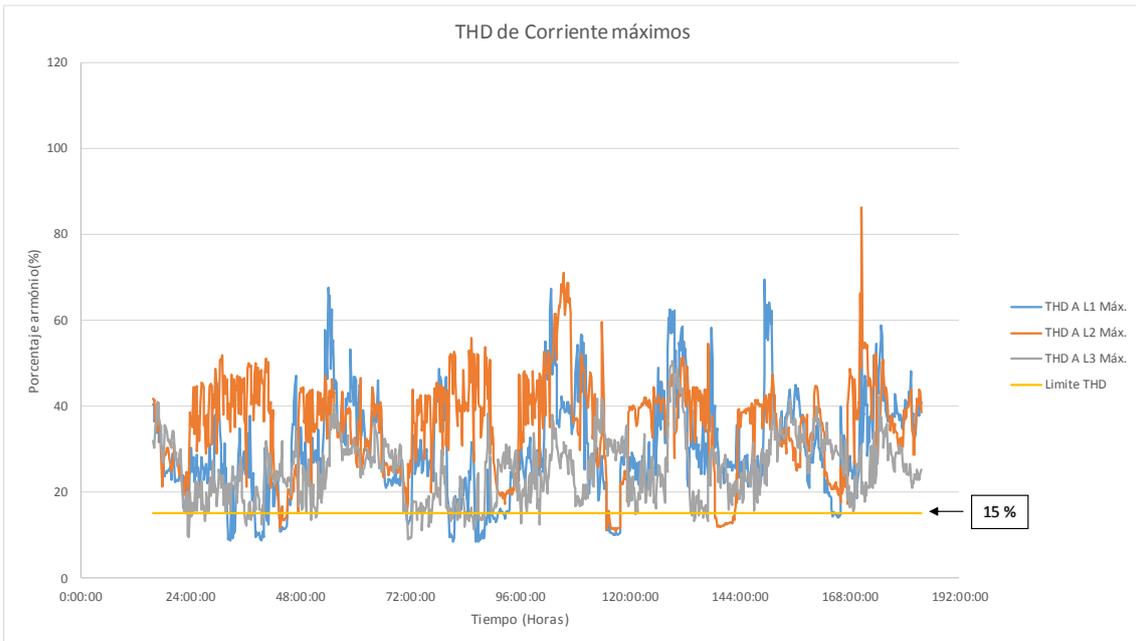


Figura 3-59 THD máximo de corriente sin SFV.

Tabla 62 Datos del THD máximos de corriente en fases sin SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	69,44	86,38	50,48
Valor mínimo	8,37	10,79	8,91
Media	29,912	35,814	25,115
Porcentaje de cumplimiento	10,22%	5,36%	6,85%

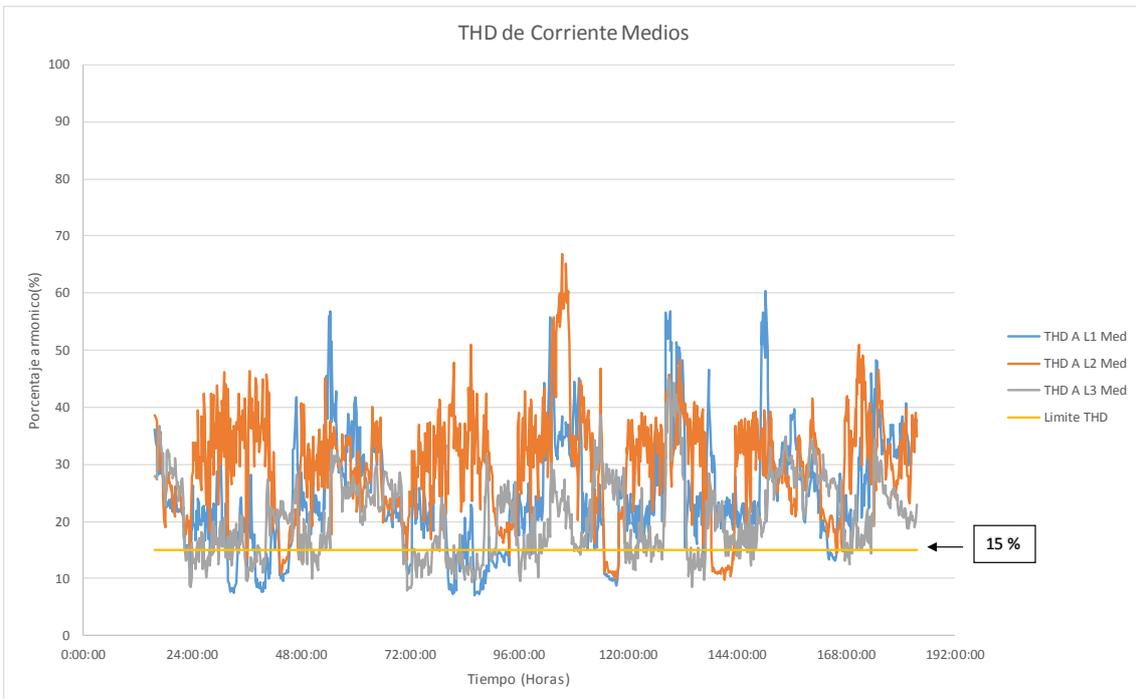


Figura 3-60 THD medio de corriente sin SFV.

Tabla 63 Datos del THD medio de corriente en fases sin SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	60,33	66,77	45,02
Valor mínimo	7,17	9,74	7,97
Media	24,462	29,937	20,600
Porcentaje de cumplimiento	16,57%	6,84%	25,69%

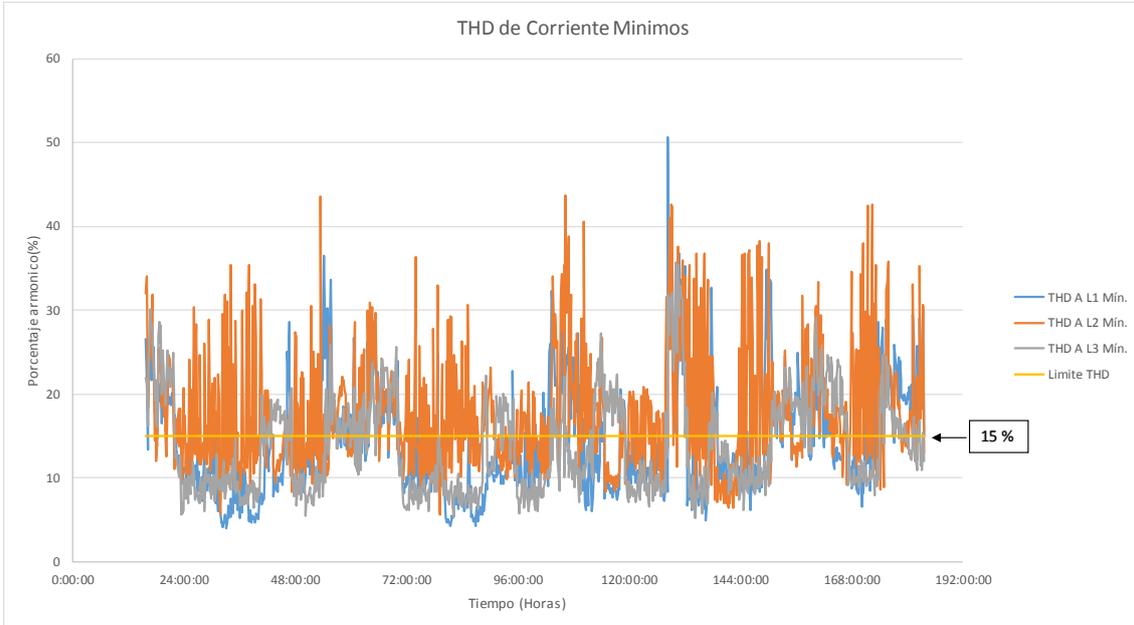


Figura 3-61 THD mínimo de corriente sin SFV.

Tabla 64 Datos del THD mínimo de corriente en fases sin SFV.

	L1	L2	L3
Valor máximo	50,67	43,67	35,77
Valor mínimo	4	5,7	5,29
Media	14,094	17,8848	13,7255
Porcentaje de cumplimiento	62,60%	42,86%	61,90%

En resumen, si la distorsión armónica de corriente cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 65.

Tabla 65 Resumen del cumplimiento sobre distorsión armónica de corriente.

¿Cumple con la norma?	THD máximos	THD medios	THD mínimos
Arconel 005/18	NO	NO	NO
IEEE 519	NO	NO	NO
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.2.9 Armónicos individuales de corriente

Los armónicos individuales de corriente se presentan en la Figura 3-62, donde se aprecia que existe una violación del límite de la norma en los armónicos de orden impares H3 y

H5. Los demás armónicos individuales tanto pares como impares se encuentran por debajo de los límites.

En H3 llega a un valor de 24,12% la fase 2, siendo el mayor porcentaje armónico registrado de las fases. Todos los valores registrados se los encuentra en la Tabla 66.

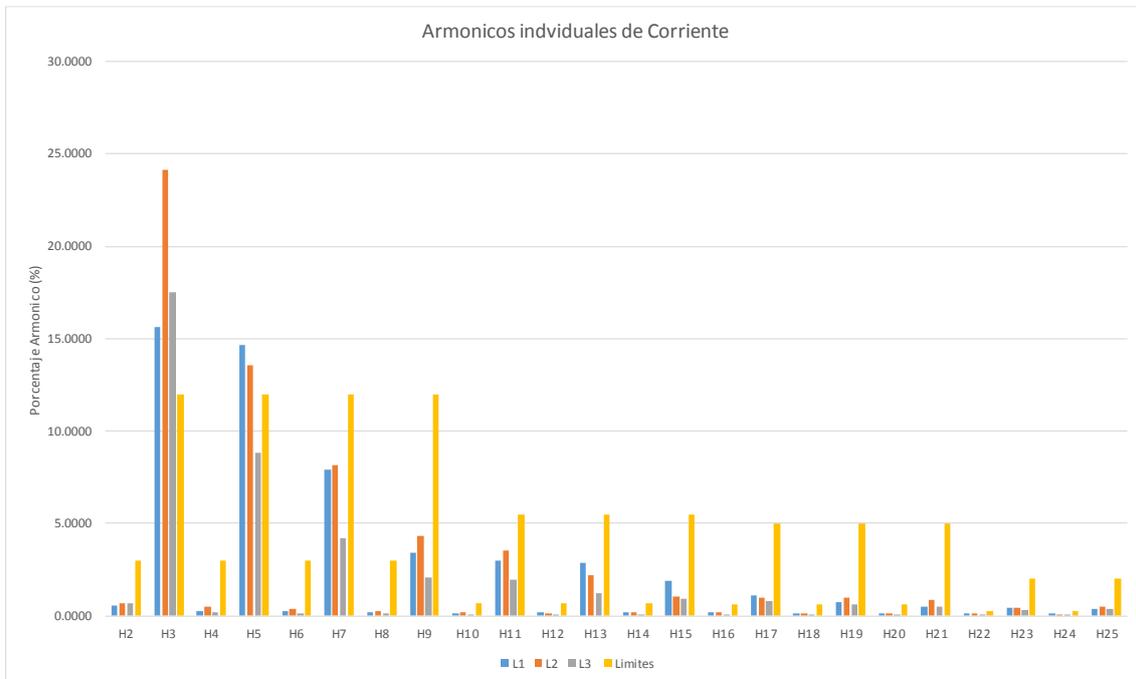


Figura 3-62 Armónicos individuales de corriente sin SFV.

Tabla 66 Datos de los armónicos individuales de corriente en fases sin SFV.

	L1	L2	L3	NG	Límites Arconel 005/18 e IEEE 519	¿Cumplen con las normas?
H2	0,5664	0,6774	0,6777	1,6492	3	SI
H3	15,6320	24,1211	17,5238	108,8990	12	NO
H4	0,2566	0,4731	0,2078	0,6949	3	SI
H5	14,6790	13,5458	8,8397	11,2346	12	NO
H6	0,2579	0,3640	0,1297	0,5070	3	SI
H7	7,9108	8,1352	4,2099	8,1314	12	SI
H8	0,2095	0,2673	0,1018	0,3110	3	SI
H9	3,4140	4,2923	2,0391	9,8436	12	SI
H10	0,1538	0,1861	0,0804	0,2488	0,66	SI
H11	2,9627	3,5366	1,9463	3,4550	5,5	SI
H12	0,1739	0,1307	0,0677	0,2125	0,66	SI
H13	2,8441	2,2135	1,2363	2,4712	5,5	SI
H14	0,2064	0,1538	0,0666	0,2376	0,66	SI
H15	1,9055	1,0449	0,9015	3,9502	5,5	SI
H16	0,1728	0,1608	0,0631	0,1713	0,6	SI

H17	1,1098	0,9796	0,7714	1,3415	5	SI
H18	0,1431	0,1475	0,0661	0,2569	0,6	SI
H19	0,7329	0,9591	0,6301	0,9737	5	SI
H20	0,1361	0,1242	0,0595	0,2299	0,6	SI
H21	0,4958	0,8401	0,4586	2,0265	5	SI
H22	0,1401	0,1091	0,0555	0,1767	0,24	SI
H23	0,4182	0,4262	0,2800	0,8706	2	SI
H24	0,0977	0,0838	0,0432	0,1821	0,24	SI
H25	0,3849	0,5073	0,3685	0,8217	2	SI

3.2.2.10 Factor de potencia

La Figura 3-63, Figura 3-64 y Figura 3-65 representan el factor de potencia máximo medio y mínimo respectivamente, registrados durante toda la semana de cada fase y total. El Fp ideal es 1 y como se puede observar tiene un límite de descenso de hasta 0,92 pero en todos los registrados este valor ha sido violado, siendo más crítico en los valores mínimos registrados, donde se observa que posee muchos más datos por debajo del límite.

Por lo tanto las Tabla 67

Tabla 68 y Tabla 69 muestran el porcentaje de cumplimiento acorde al límite de descenso de 0,92; que para considerarse un factor de potencia óptimo el 95 % de los valores registrados deben estar por encima del valor límite.

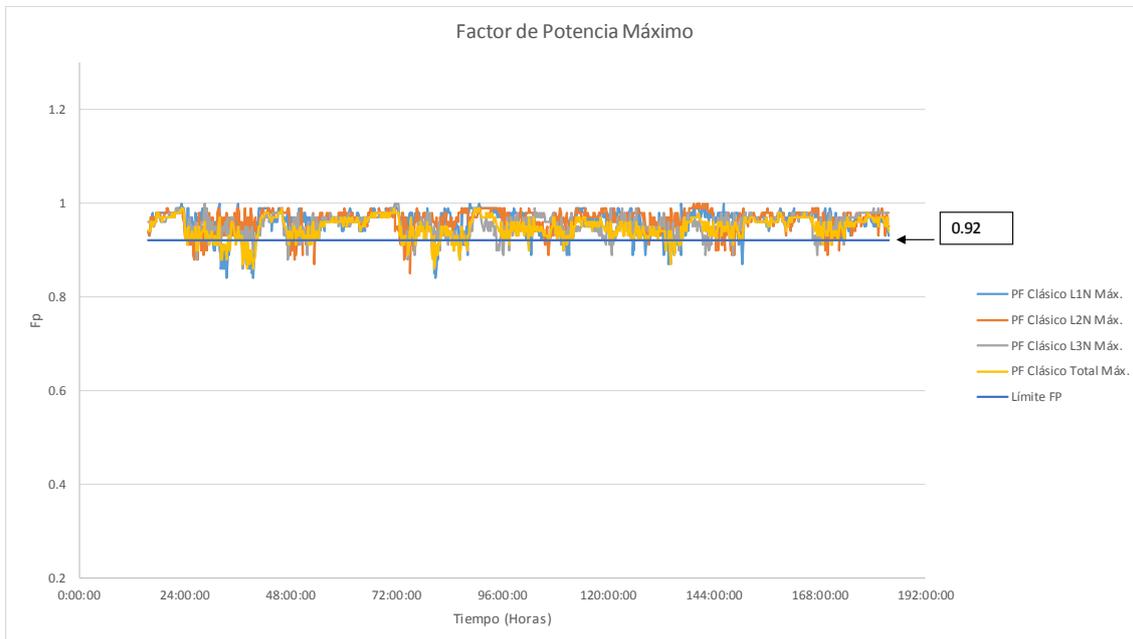


Figura 3-63 Factor de potencia máximo sin SFV.

Tabla 67 Datos del Fp máximo sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	1	1	1	0,99
Valor mínimo	0,84	0,88	0,86	0,86
Media	0,9596	0,9634	0,9525	0,9467
Porcentaje de cumplimiento	92,46%	95,63%	92,96%	90,97%

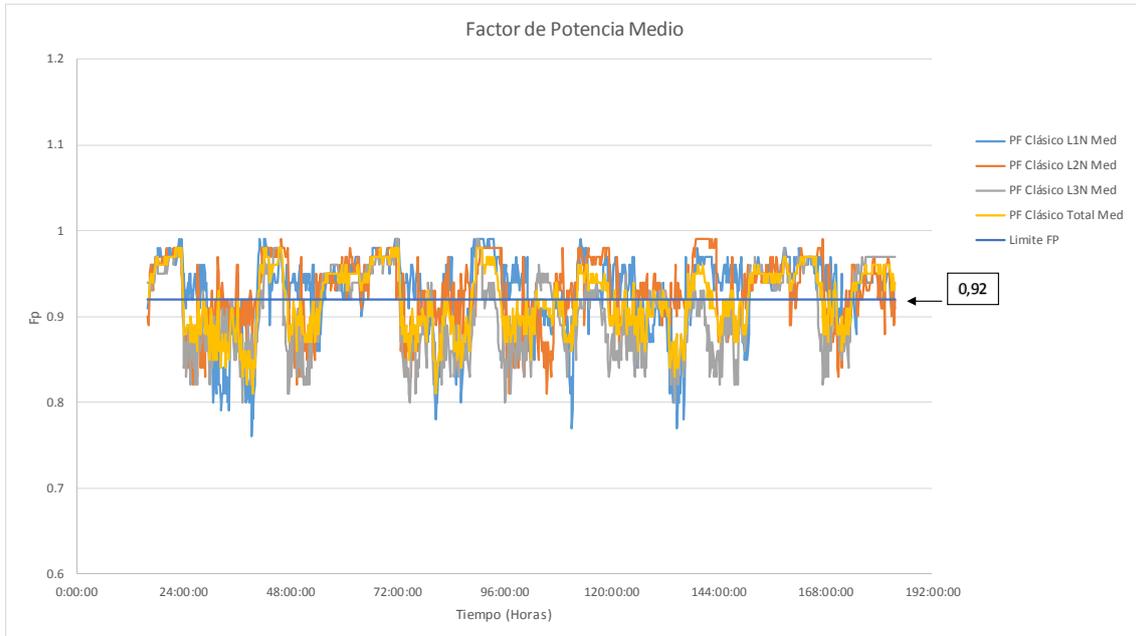


Figura 3-64 Factor de potencia medio sin SFV.

Tabla 68 Datos del Fp medios sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	0,99	0,99	0,99	0,98
Valor mínimo	0,76	0,81	0,8	0,81
Media	0,9286	0,9278	0,9061	0,9188
Porcentaje de cumplimiento	71,23%	63,99%	47,32%	53,77%

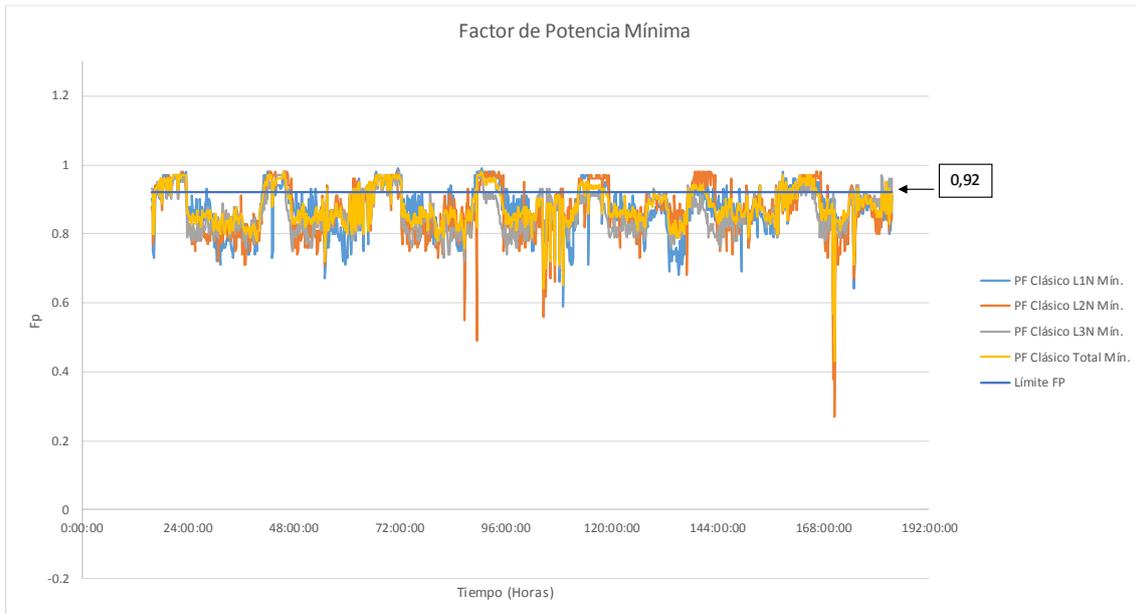


Figura 3-65 Factor de potencia mínimo sin SFV.

Tabla 69 Datos del Fp mínimo sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	0,99	0,98	0,98	0,98
Valor mínimo	0,42	0,27	0,67	0,43
Media	0,8689	0,8675	0,8605	0,8783
95% de Valores Registrados	26,98%	29,17%	20,44%	27,78%

En resumen, si el factor de potencia cumple con las normas establecidas se muestra en la Tabla 70.

Tabla 70 Resumen del cumplimiento sobre el factor de potencia.

¿Cumple con la norma?	Fp máximo	Fp medios	Fp mínimos
Arconel 005/18	NO	NO	NO
IEEE 1159	NO	NO	NO
IEC 6100 2-2	-	-	-

3.2.2.11 Potencia Activa

Como datos adicionales a lo que respecta a la calidad de energía se ha podido registrar la potencia activa máxima, media y mínima durante el periodo de medición, teniendo los datos estadísticos presentados en la Tabla 71, Tabla 72 y Tabla 73.

La Figura 3-66, Figura 3-67 y Figura 3-68 representan la potencia máxima, media y mínima respectivamente registradas en cada fase y total de toda la semana.

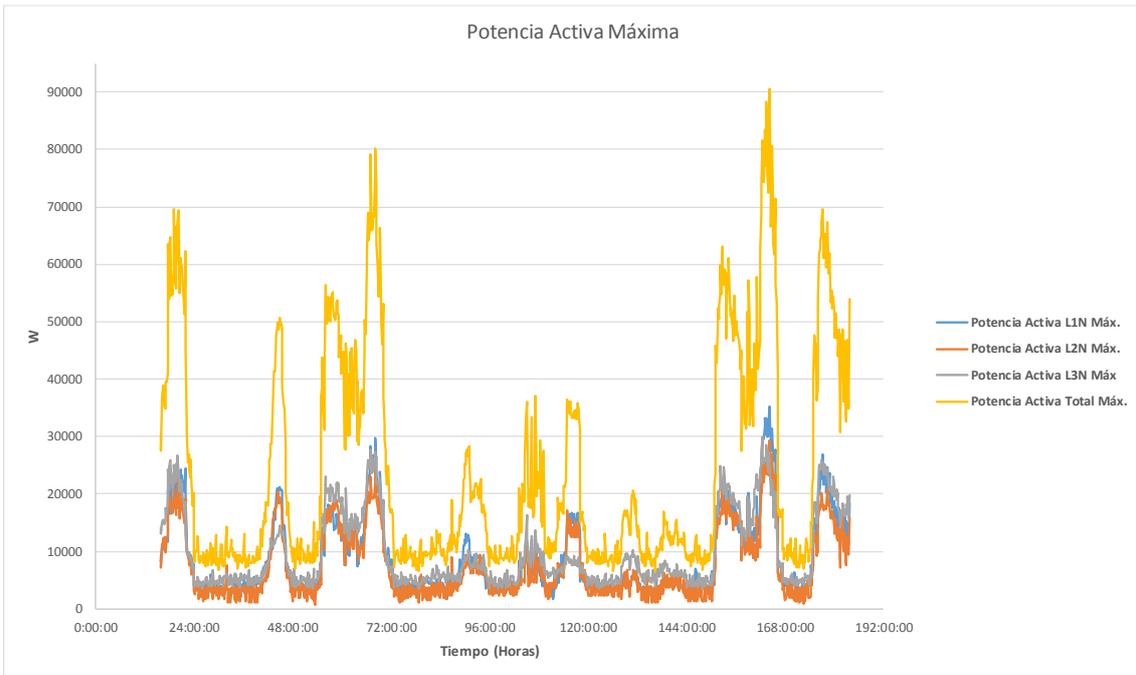


Figura 3-66 Potencia activa máxima sin SFV.

Tabla 71 Datos de la potencia activa máxima sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	35.300W	29.400 W	30.000 W	90.600 W
Valor mínimo	1.600 W	700 W	3.400 W	6.500 W
Media	8.881,25 W	7.541,37 W	9.809,82 W	24.038,1 W

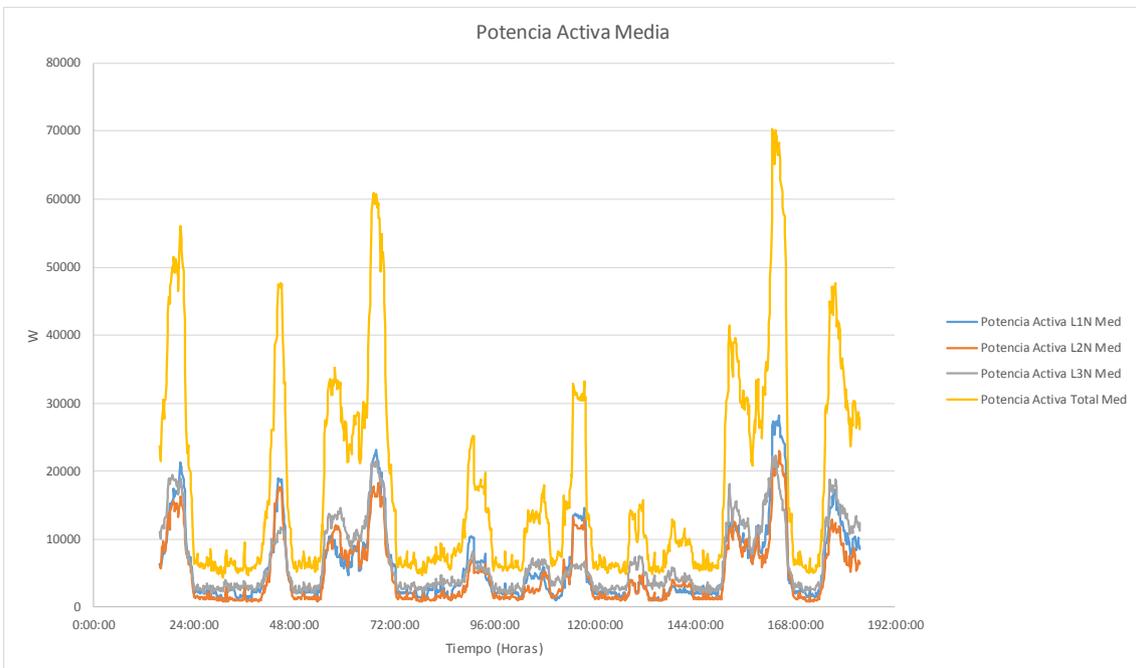


Figura 3-67 Potencia activa media sin SFV.

Tabla 72 Datos de la potencia activa media sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	28.100 W	22.900 W	22.300 W	70.300 W
Valor mínimo	900 W	700 W	1.800W	4.300 W
Media	5.920,04 W	4.971,63 W	6.788,99 W	17.679 W

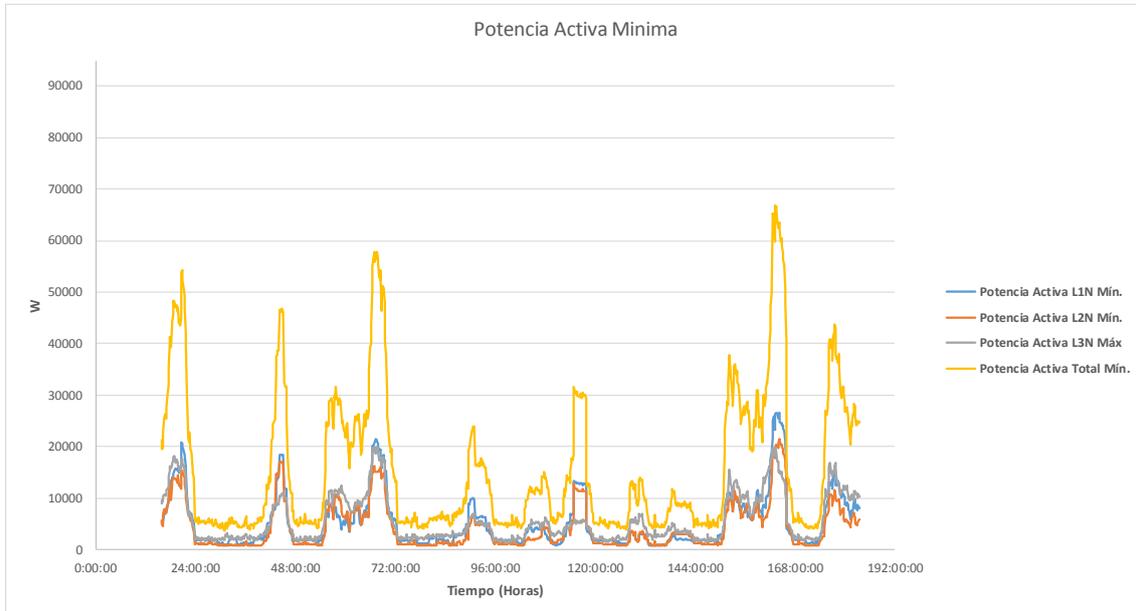


Figura 3-68 Potencia activa mínima sin SFV.

Tabla 73 Datos de la potencia activa mínima sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	26.600 W	21.400 W	20.000 W	66.800 W
Valor mínimo	700 W	700 W	1.200W	3.700 W
Media	5.215,18 W	4.341,96 W	5.771,92 W	15.790,4 W

3.2.2.12 Potencia Reactiva

De igual forma adicionalmente se registró la potencia reactiva máxima media y mínima durante toda la semana, obteniendo los datos presentados en la Tabla 74, Tabla 75,

Tabla 76 respectivamente. Se las representada en la Figura 3-69, Figura 3-70 y Figura 3-71.

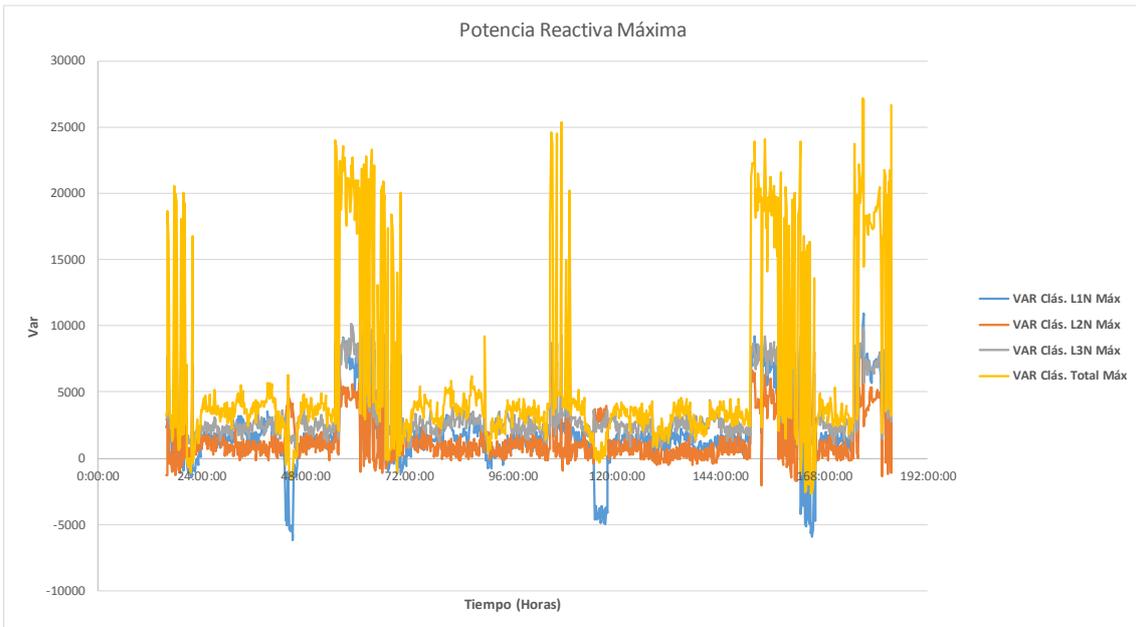


Figura 3-69 Potencia reactiva máxima sin SFV.

Tabla 74 Datos de la potencia reactiva máxima sin SFV

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	10.900 var	9.800 var	10.200 var	27.200 var
Valor mínimo	-6.200 var	-2.100 var	600 var	-2.700 var
Media	2.030,85 var	1.536,51 var	3.355,36 var	5.966,17 var

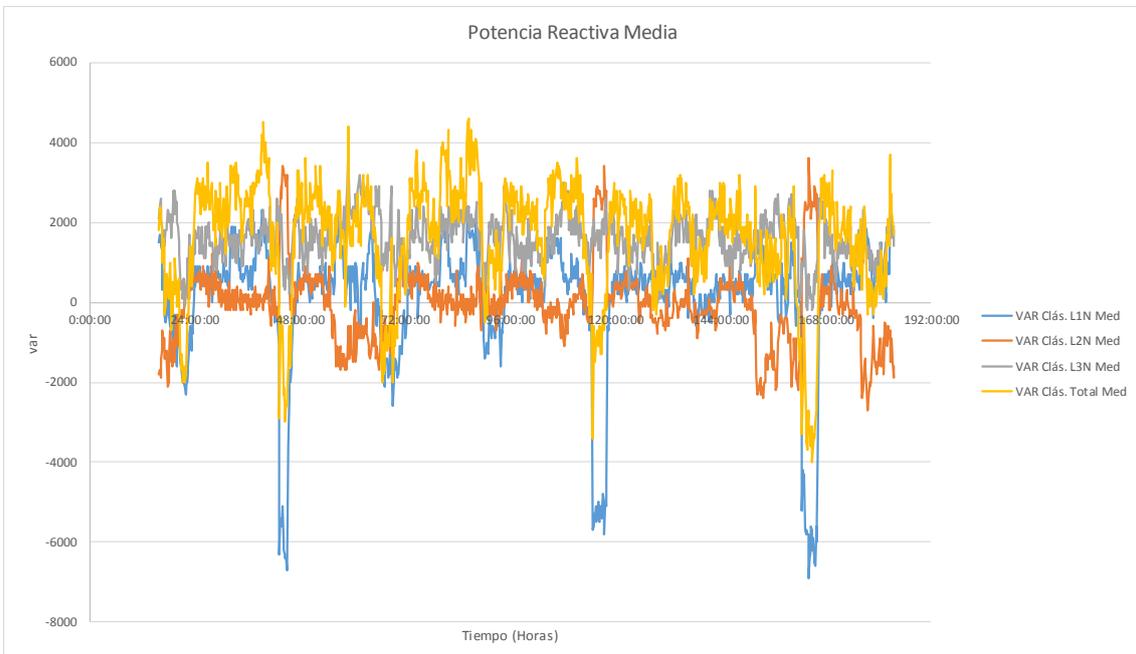


Figura 3-70 Potencia reactiva media sin SFV.

Tabla 75 Datos de la potencia reactiva media sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	2.400 var	3.600 var	4.100 var	4.600 var
Valor mínimo	-6.900 var	-2.700 var	-200 var	-4.000 var
Media	81,65 var	-54,17var	1.583,43 var	1.611,01 var

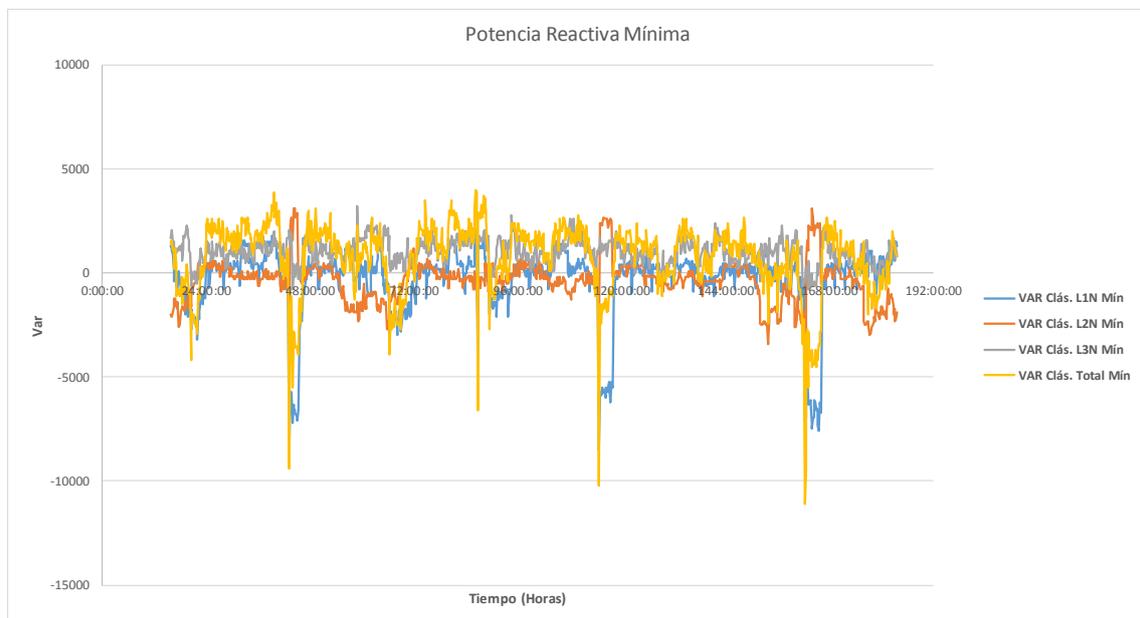


Figura 3-71 Potencia reactiva mínima sin SFV.

Tabla 76 Datos de la potencia reactiva mínima sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	2.100 var	3.100 var	3.200 var	4.000 var
Valor mínimo	-8.800 var	-5.100 var	-800 var	-11.100 var
Media	-368,75 var	-371,329 var	1.031,35 var	741,567 var

3.2.2.13 Potencia Aparente

Otro dato adicional registrado en esta segunda semana es la potencia aparente máxima, media y mínima. Las cuales se encuentran representadas en la Figura 3-72, Figura 3-73 y Figura 3-74 con sus respectivos datos en las tablas Tabla 77, Tabla 78 y Tabla 79.

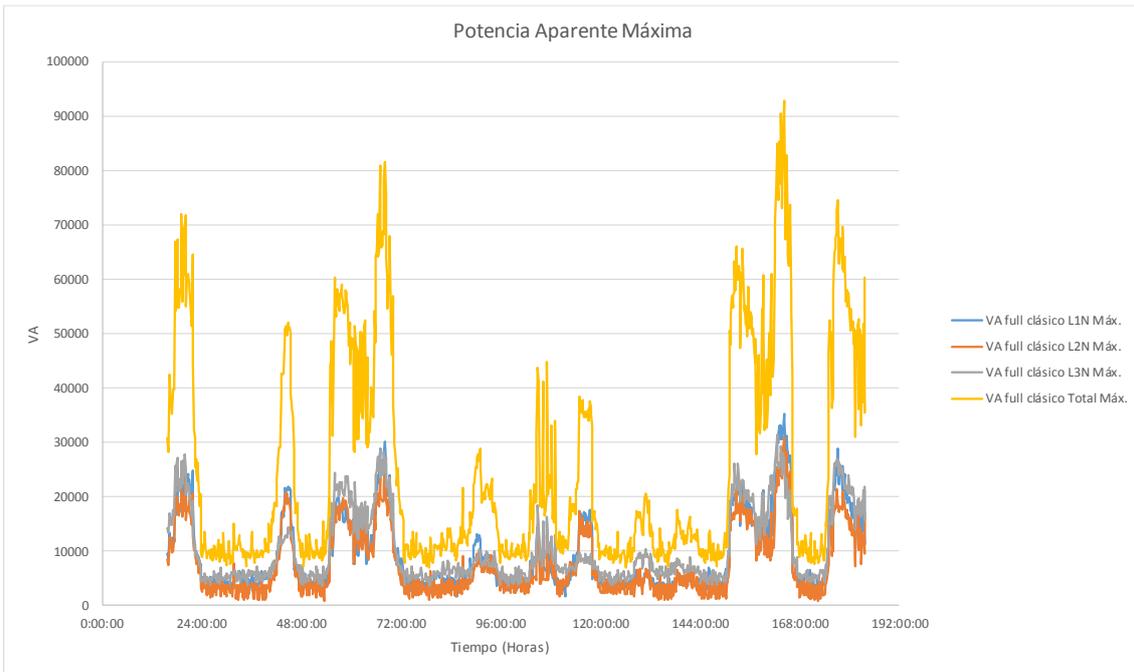


Figura 3-72 Potencia aparente máxima sin SFV.

Tabla 77 Datos de la potencia aparente máxima sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	35.300 VA	31.000 VA	31.400 VA	93.000 VA
Valor mínimo	1.700 VA	800 VA	3.600 VA	7.000 VA
Media	9.325,89 VA	7.769,25 VA	10.378,5 VA	25.220,5VA

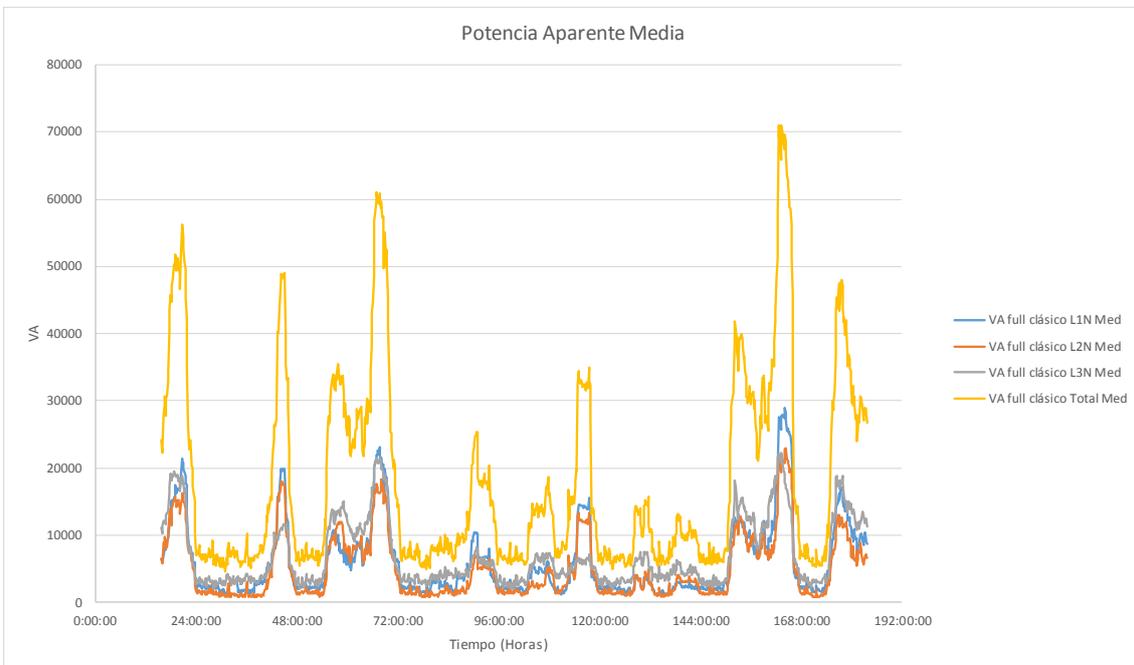


Figura 3-73 Potencia aparente media sin SFV

Tabla 78 Datos de la potencia aparente media sin SFV

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	29.000 VA	23.000 VA	22.300 VA	71.000 VA
Valor mínimo	1.100 VA	800 VA	1.800 VA	4.600 VA
Media	6.067,26 VA	5.042,76 VA	7.080,46 VA	18.190,6 VA

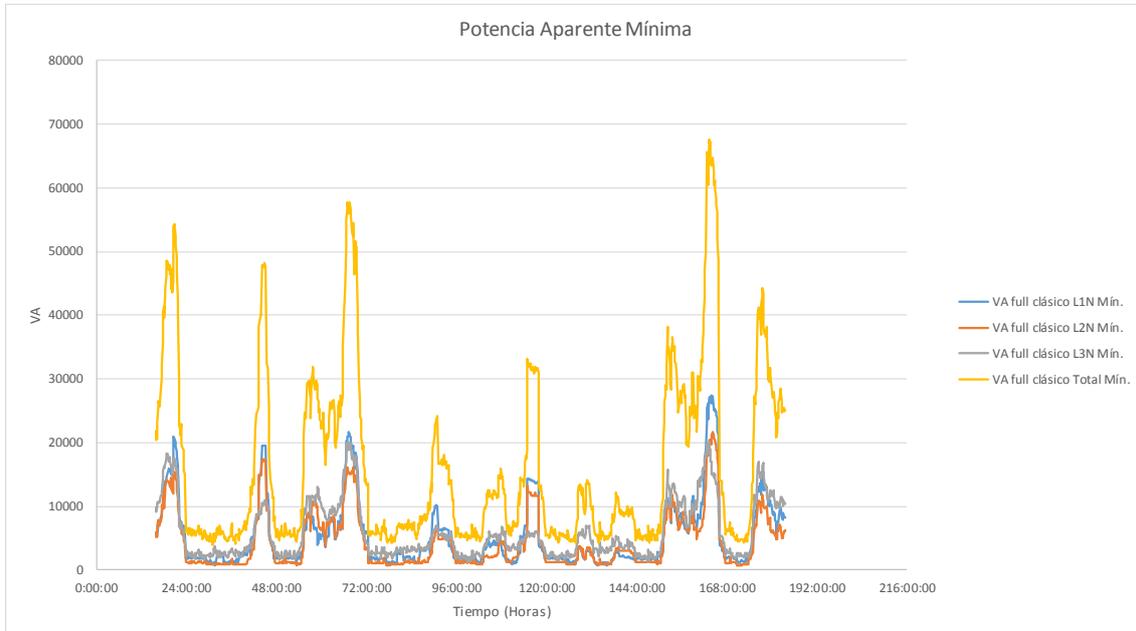


Figura 3-74 Potencia aparente mínima sin SFV.

Tabla 79 Datos de la potencia aparente mínima sin SFV.

	L1N	L2N	L3N	Total
Valor máximo	27.500 VA	21.600 VA	20.000 VA	67.600 VA
Valor mínimo	700 VA	700 VA	1.200 VA	4.000 VA
Media	5.333,33 VA	4.413,89 VA	5.982,34 VA	16.219 VA

3.2.3 Comparativa Con y Sin el Sistema Fotovoltaico.

Para realizar la comparativa del comportamiento del sistema con el SFV y sin el mismo, se calculó un valor promedio de los datos de cada fase en cada uno los intervalos. Teniendo así solo dos señales por grafica a excepción de la graficas de corriente en donde se añadido la señal del neutro.

3.2.3.1 Niveles de voltaje.

La Figura 3-75 y Figura 3-76 muestran los niveles de voltaje máximos y medios al estar conectado el SFV y sin él, como se puede apreciar en ningún momento sobrepasan los valores límite, sin embargo al estar conectado el SFV se aprecia que existe una mayor

variación del nivel de voltaje comprendida desde el miércoles 24 de abril a las 18h59 hasta el sábado 27 de abril a las 07h29.

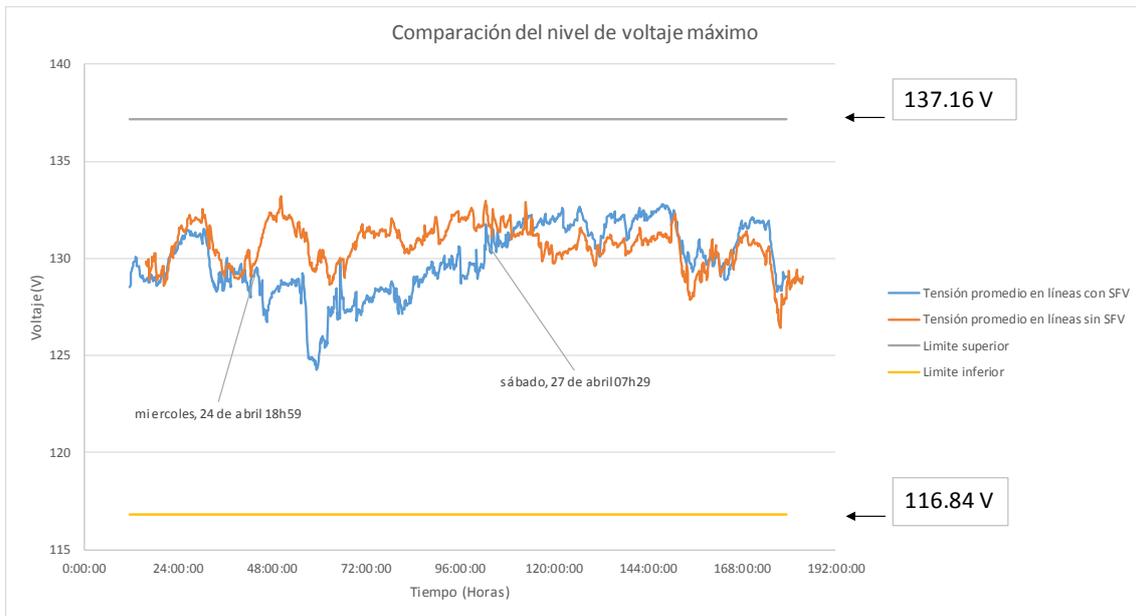


Figura 3-75 Comparación del nivel máximo de voltaje.

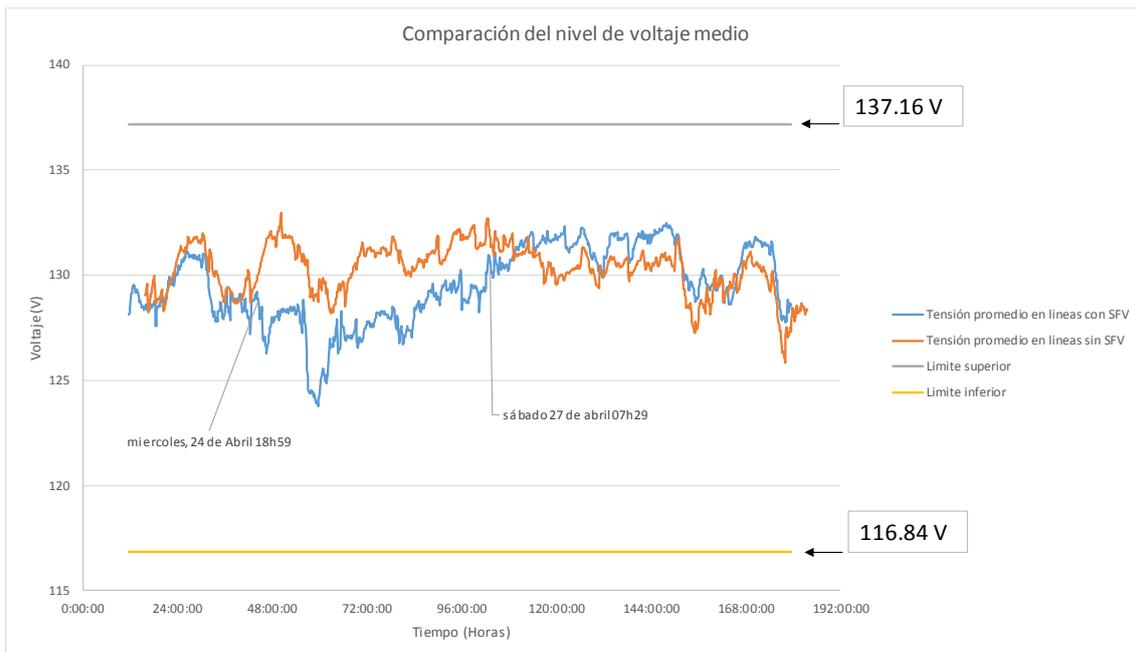


Figura 3-76 Comparación del nivel medio de voltaje.

En la Figura 3-77 observamos que existen huecos de voltaje que superan el límite inferior, estos huecos registran un valor de 92,4V el jueves 25 de abril 17h29 cuando el SFV está conectado, 115,54V el miércoles 1 de mayo a las 11h57 y 105,11V el lunes 6 de mayo 09h47 sin el SFV.

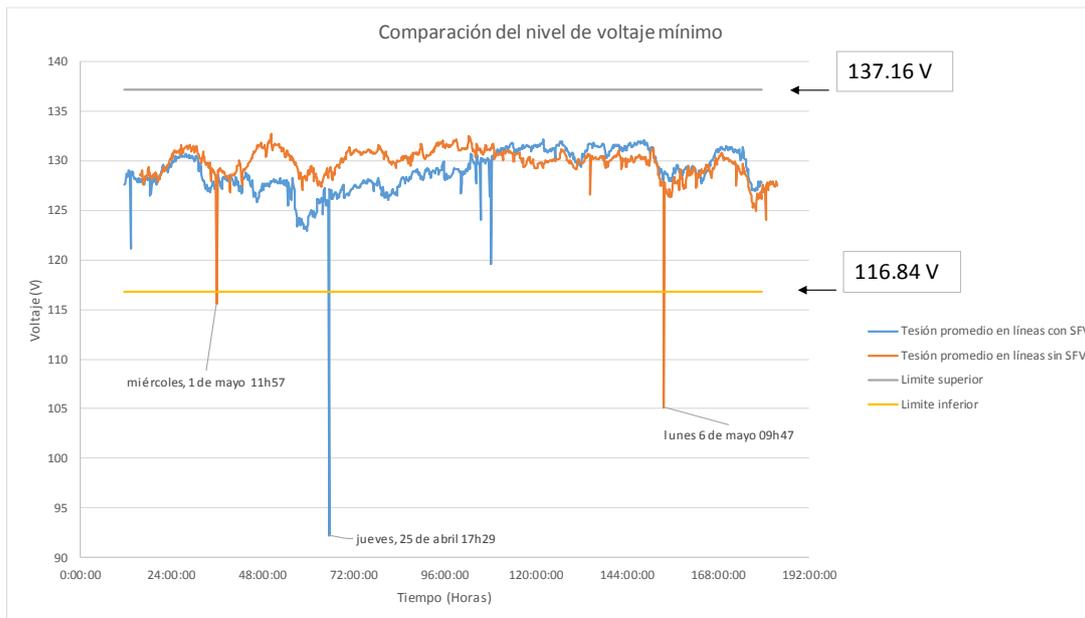


Figura 3-77 Comparación del nivel mínimo de voltaje.

3.2.3.2 Perturbaciones de voltaje

Al observar la Figura 3-78 se encuentra que simple vista existe mayor número de perturbaciones a corto plazo que superan el límite establecido cuando el SFV se encuentra conectado, siendo un total de cinco en todo el periodo de medición. Los 2 picos más altos llegan a un valor de 7,9 registrado el jueves 25 de abril a las 17h29 y 4,173 registrado el sábado 27 de abril a las 09h29.

Mientras que sin el SFV solo se ha superado el límite un total de dos veces en toda la semana, teniendo el pico más alto de 5,356 el lunes 6 de mayo a las 09h47 y el segundo de 1,983 el miércoles 1 de mayo a las 11h57.

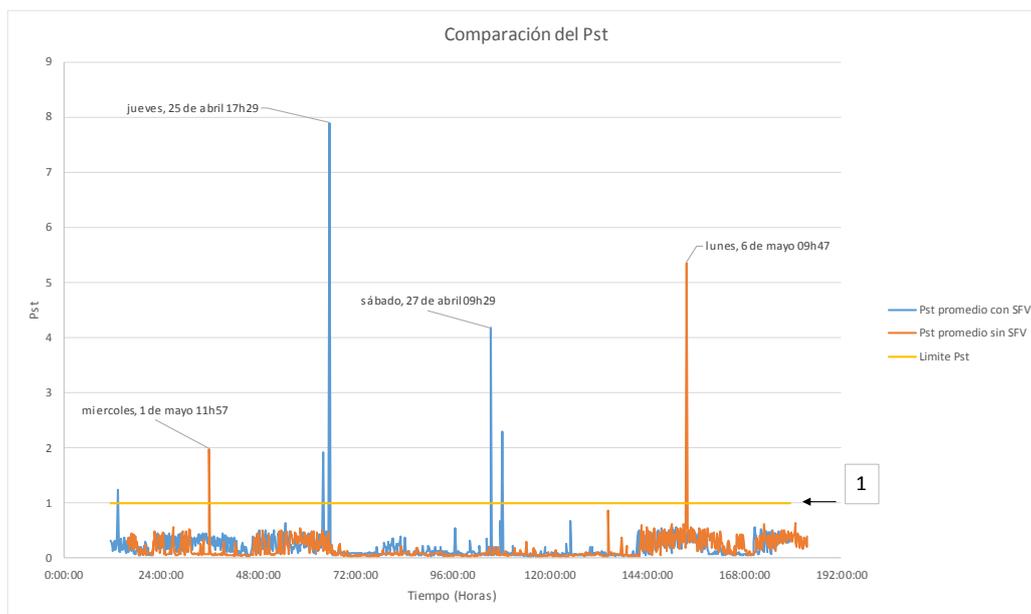


Figura 3-78 Comparación del Pst.

Al analizar la Figura 3-79 de igual forma existen un mayor número de veces que se viola el límite establecido para las perturbaciones a largo plazo cuando el SFV se encuentra conectado, siendo un total de tres. El valor más alto es de 3,469 el jueves 25 de abril a las 18h49 seguido de 1,834 el sábado 27 de abril a las 10h49.

Mientras que sin el SFV solo se registra una violación del límite con un valor de 2,347 el lunes 6 de mayo a las 13h17.

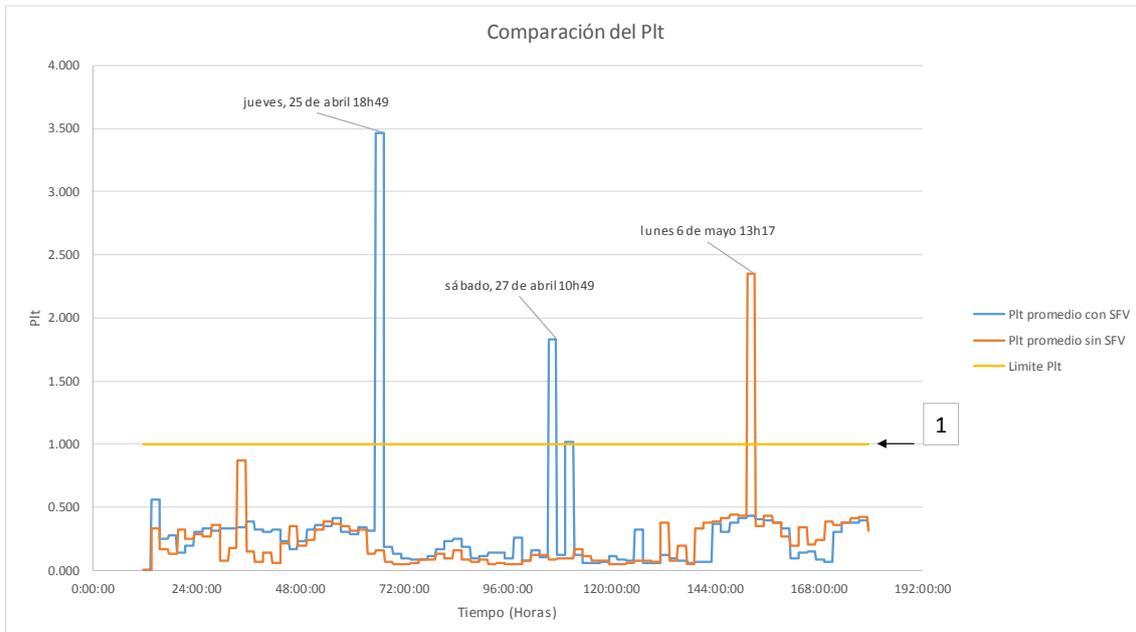


Figura 3-79 Comparación del Plt.

3.2.3.3 Distorsión Armónica de Voltaje

En la Figura 3-80, Figura 3-81 y Figura 3-82 se aprecia el porcentaje armónico en todo el periodo de medición, en las cuales se observa que es mayor el porcentaje al estar conectado el SFV en especial en los periodos del miércoles 24 de abril de 06h29 hasta las 21h29 y el viernes 26 de abril desde las 07h09 hasta las 22h09. Además, se observa un pico que alcanza un valor de 5,23 el jueves 25 de abril a las 17h29 en la Figura 3-80. A pesar de esto, todos los valores no superan el valor límite establecido del 8%.

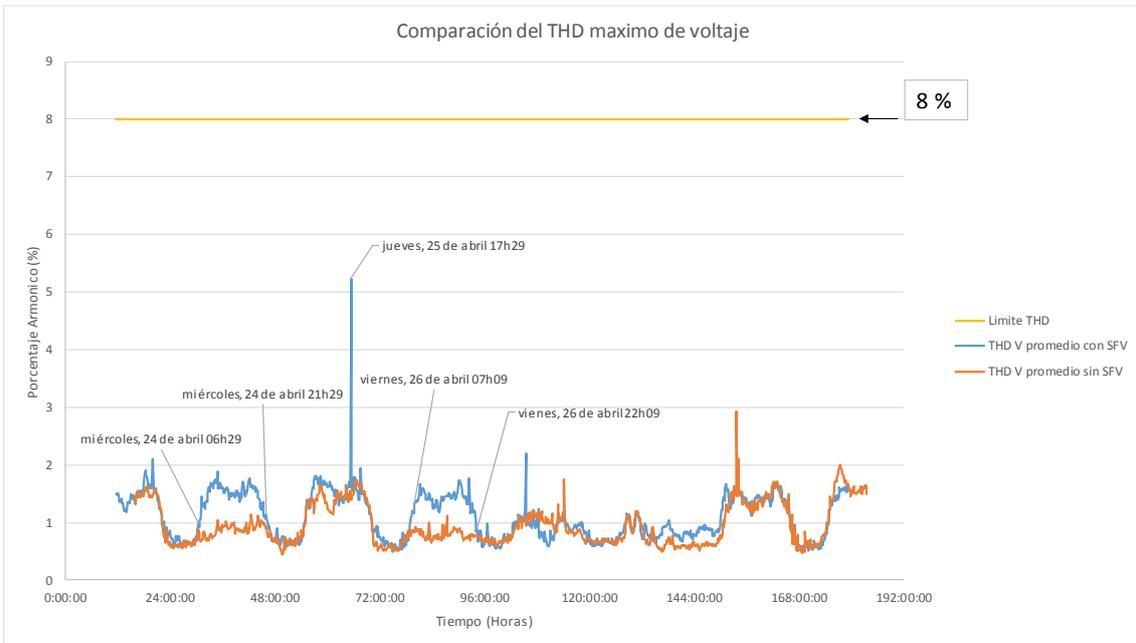


Figura 3-80 Comparación del THD máximo de voltaje.

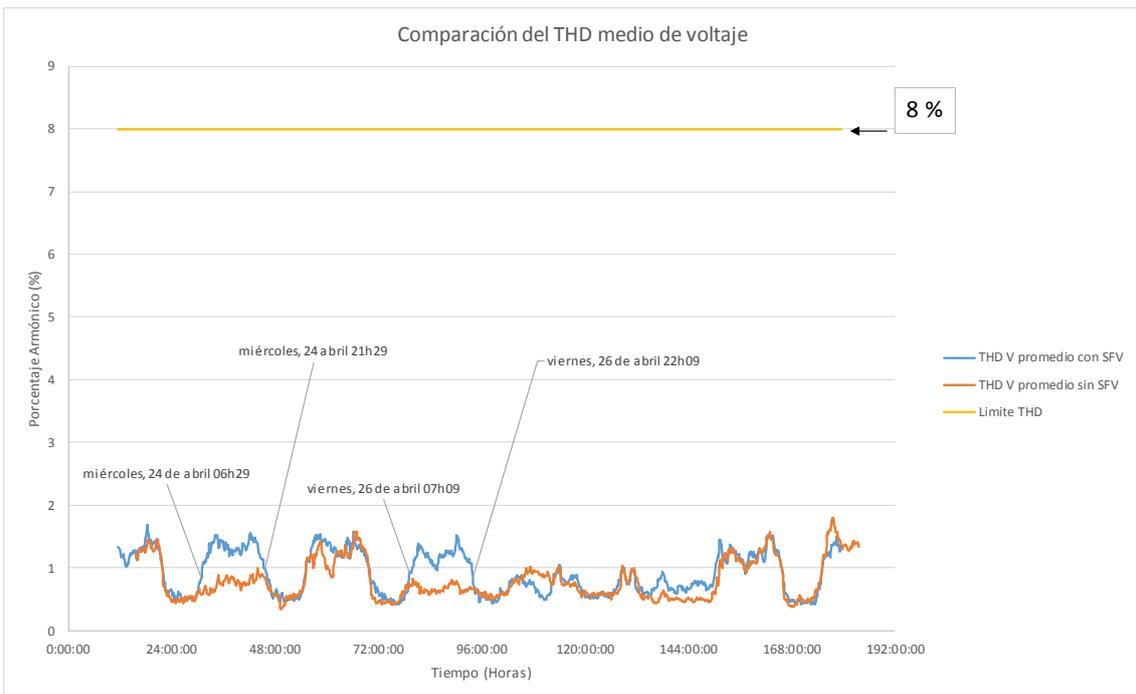


Figura 3-81 Comparación del THD medio del voltaje

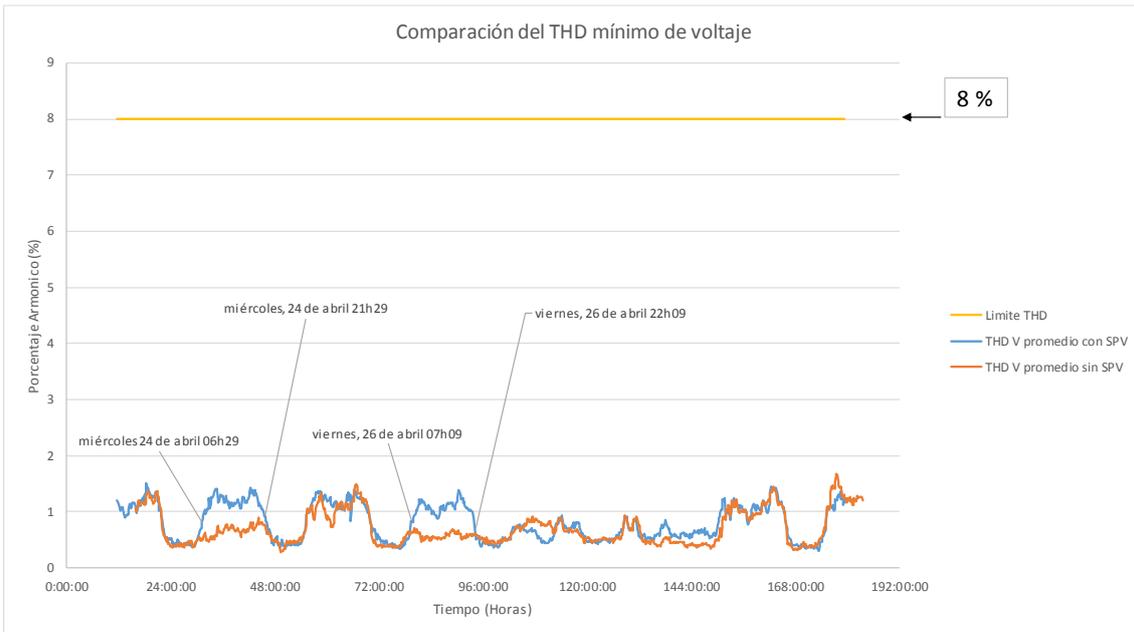


Figura 3-82 Comparación del THD mínimo de voltaje

3.2.3.4 Armónicos individuales de voltaje

En la Figura 3-83 se observa que cada una de las componentes armónicas pertenecientes a las líneas del sistema trifásico se encuentran dentro de los límites establecidos por el ARCONEL y la norma IEC 6100-2-2. Esto tanto con el SFV conectado como desconectado.

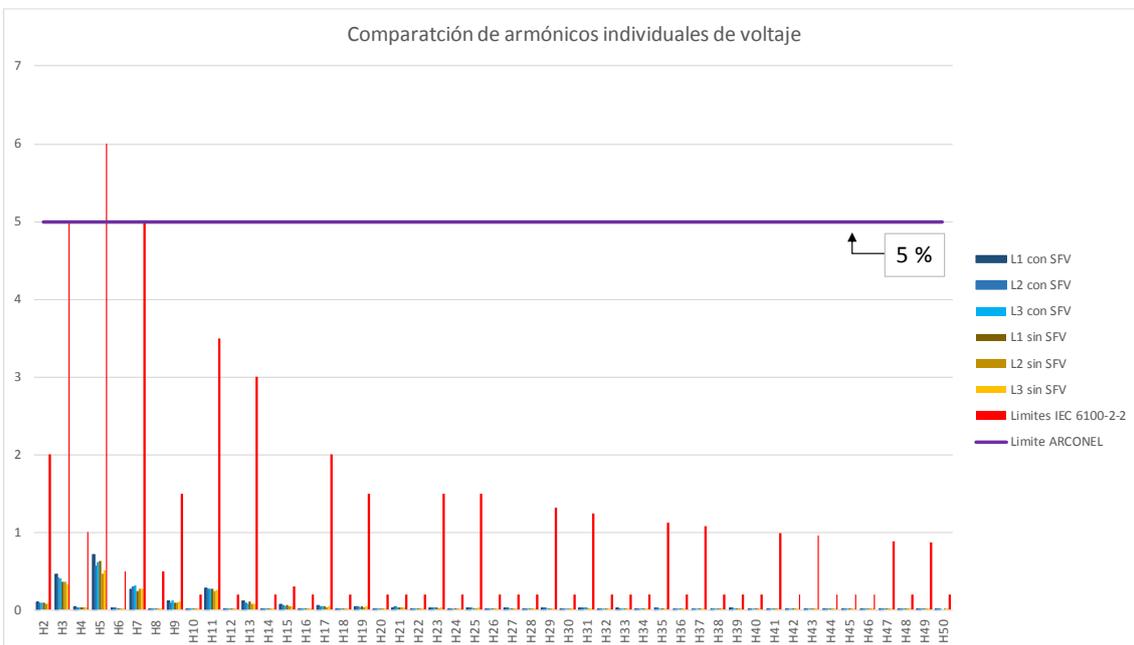


Figura 3-83 Comparación de los componentes armónicos individuales de voltaje.

3.2.3.5 Desequilibrio de Voltaje

Al ver la Figura 3-84 se puede decir que se ha sobrepasado el límite de desequilibrio establecido una vez en cada periodo de medición, pero se tiene un mayor porcentaje al estar conectado el SFV alcanzando un valor promedio de 6,817% el jueves 25 de Abril a

las 17h29. Mientras que sin el SFV se tiene un menor desequilibrio teniendo un valor promedio máximo de 4,290% el lunes 6 de mayo a las 09h47.

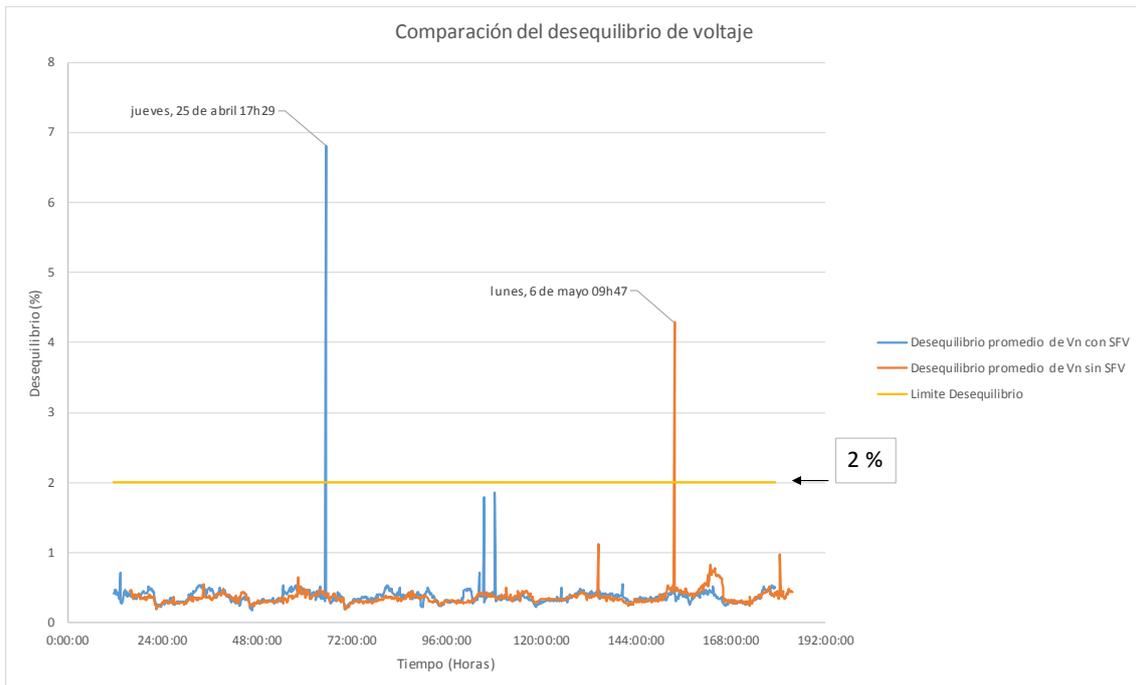


Figura 3-84 Comparación del desequilibrio de voltaje.

3.2.3.6 Niveles de corriente

La comparación de los niveles de corriente en se los aprecia en la Figura 3-85, Figura 3-86 y Figura 3-87 en donde existe un mayor nivel de corriente en las fases con el SFV conectado, especialmente en el periodo del miércoles, 24 de abril de 06h29 ha 21h49 y el viernes 26 de abril de 06h29 ha 22h29. De igual manera ocurre con el nivel de corriente presente en el neutro del transformador.

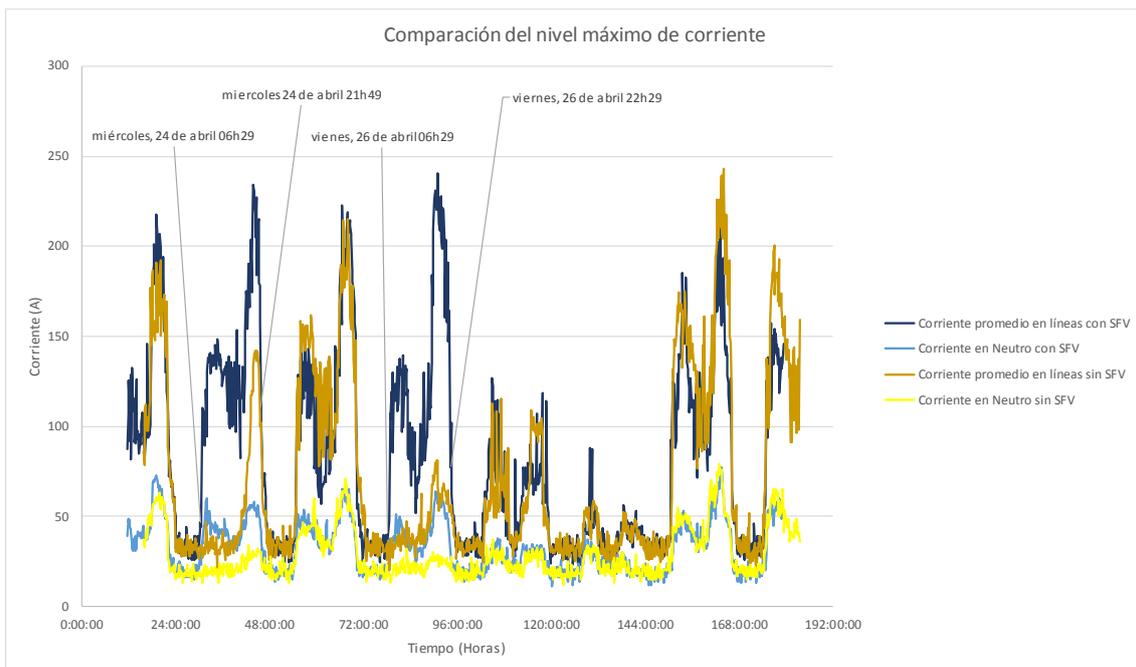


Figura 3-85 Comparación de los niveles máximos de corriente.

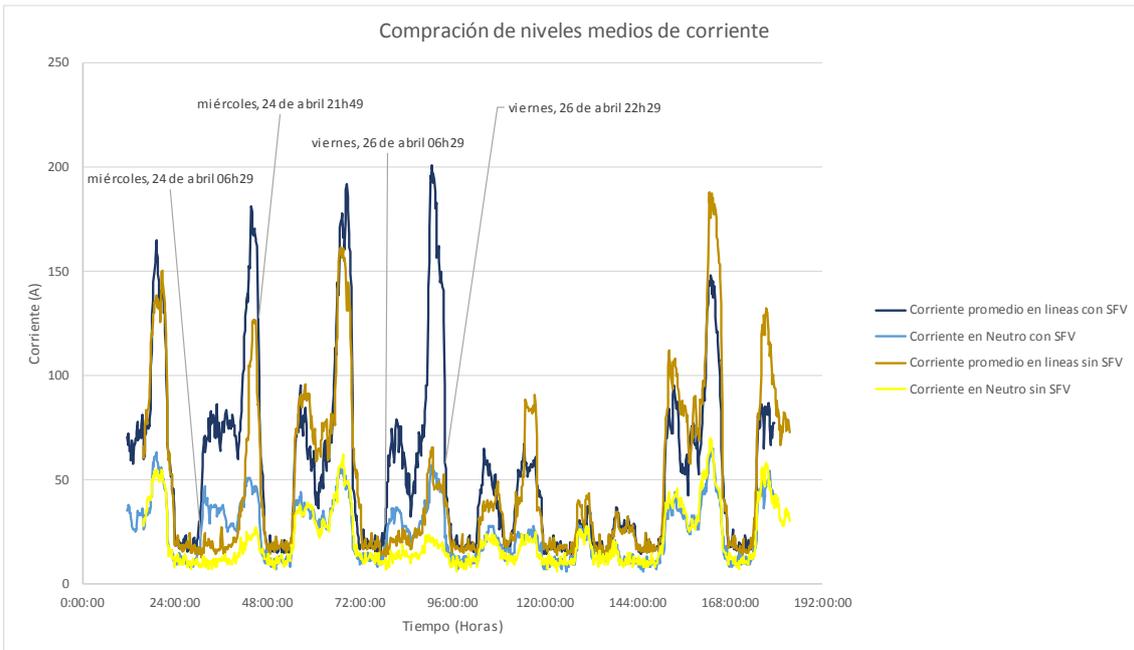


Figura 3-86 Comparación de los niveles medios de corriente.

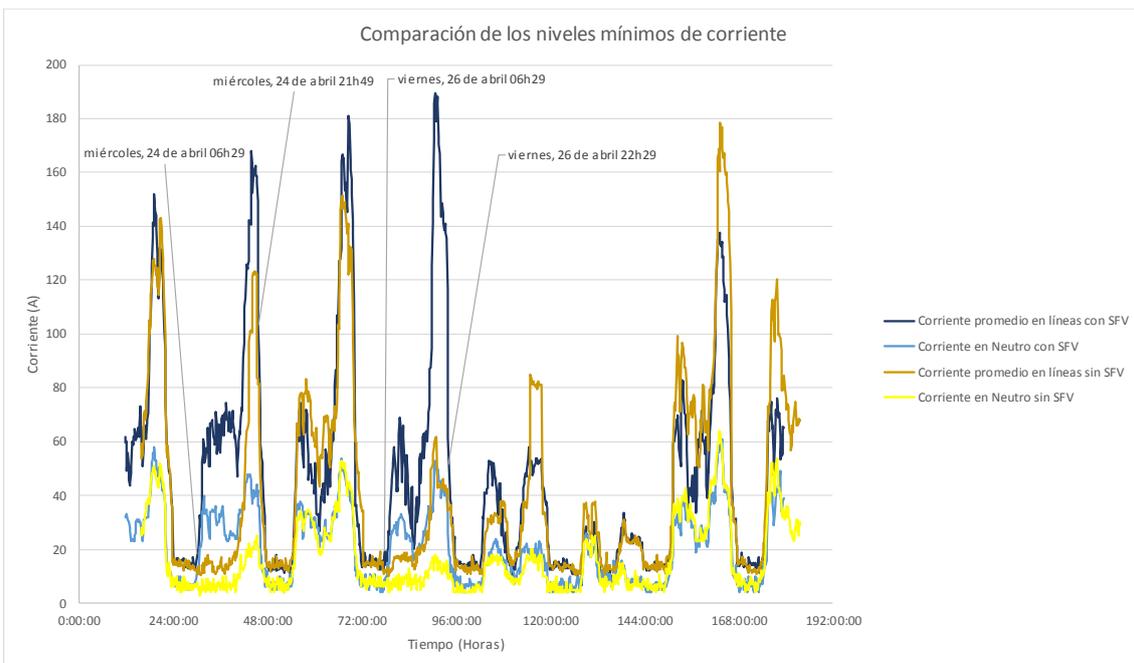


Figura 3-87 Comparación de los niveles mínimos de corriente.

3.2.3.7 Desequilibrio de corriente

El desequilibrio de corriente se muestra en la Figura 3-88 en donde se observa que tanto conectado como desconectado el SFV sobrepasa el límite establecido, siendo más pronunciado al estar conectado.

Los valores máximos a los que llega el desequilibrio son 231,7%, 242,79% y 252,07% los días jueves 25 de abril 13h09, sábado 27 de abril 13h19 y domingo 28 de abril 14h49 respectivamente.

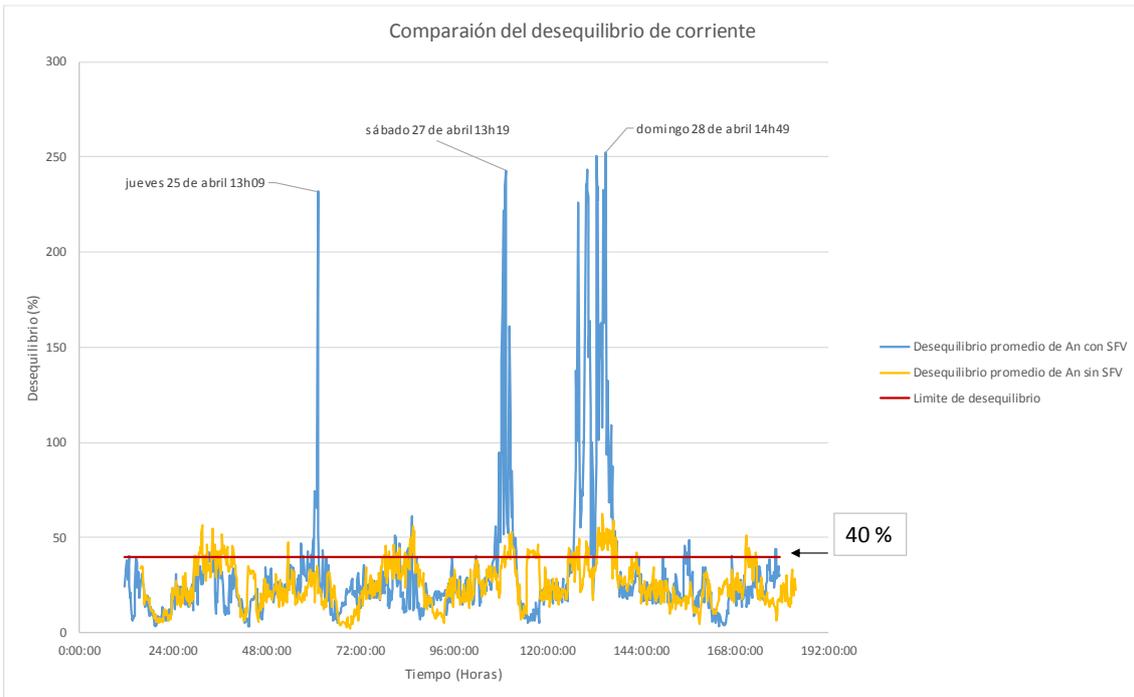


Figura 3-88 Comparación del desequilibrio de corriente.

3.2.3.8 Distorsión armónica de corriente

La distorsión armónica de corriente es en todo momento superior al valor límite, como se observa en la Figura 3-89, Figura 3-90 y Figura 3-91. Esto se vuelve más considerable y fluctuante al momento de estar conectado el SFV especialmente en los días de jueves a domingo desde aproximadamente 06h40 hasta las 17h00, alcanzando su punto máximo de distorsión al mediodía del domingo. Los datos medios y mínimos del THD de corriente reflejan similares características.

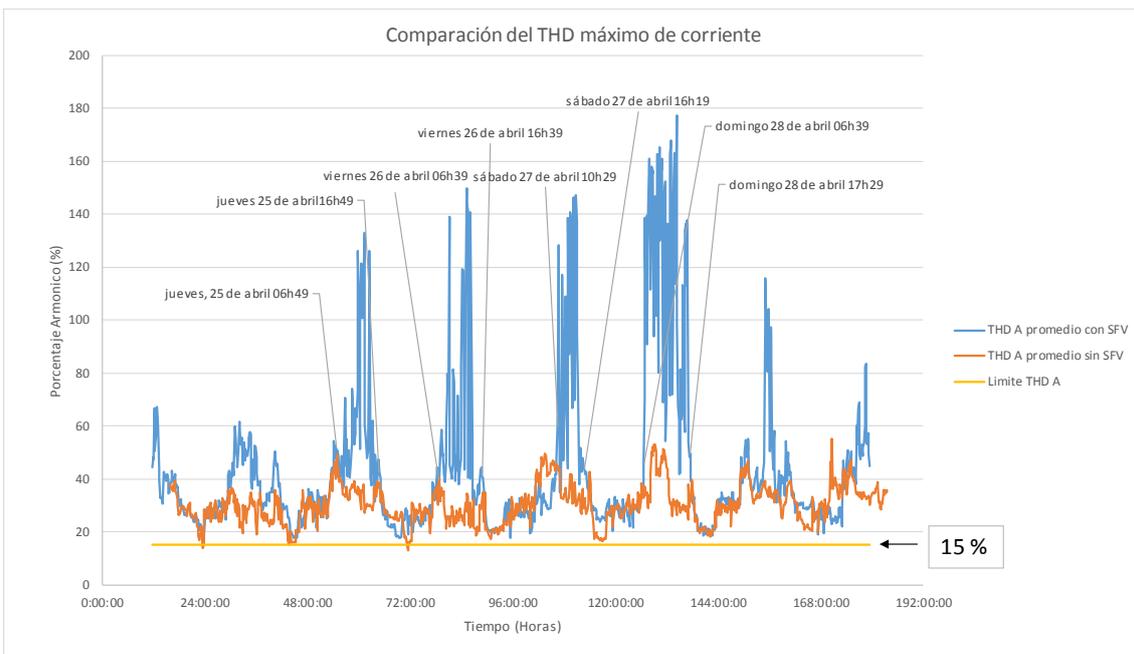


Figura 3-89 Comparación del THD máximo de corriente.

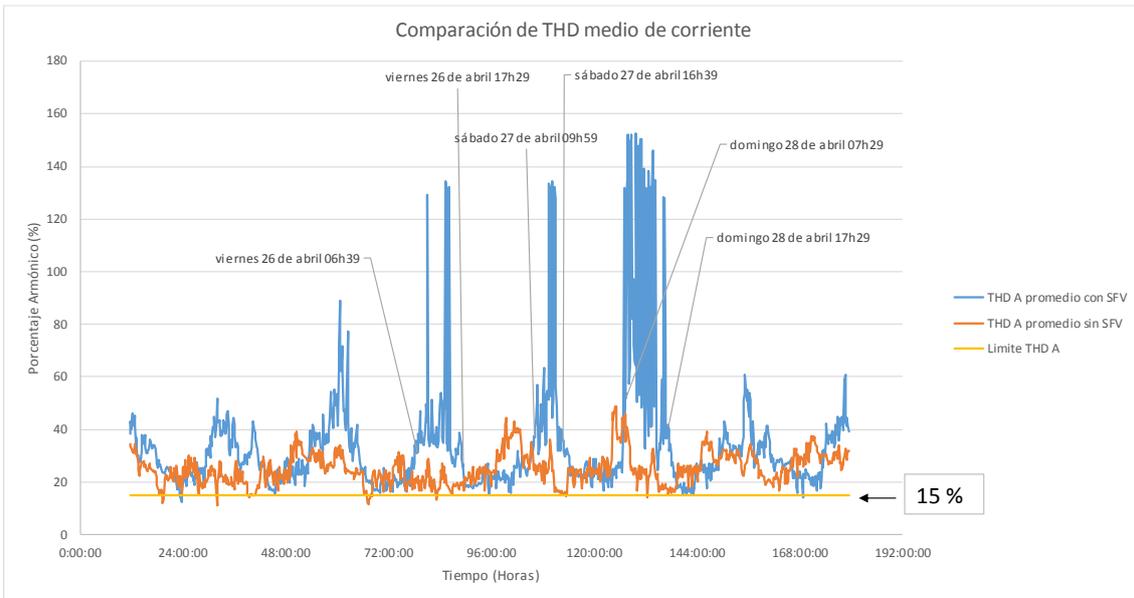


Figura 3-90 Comparación del THD medio de corriente.

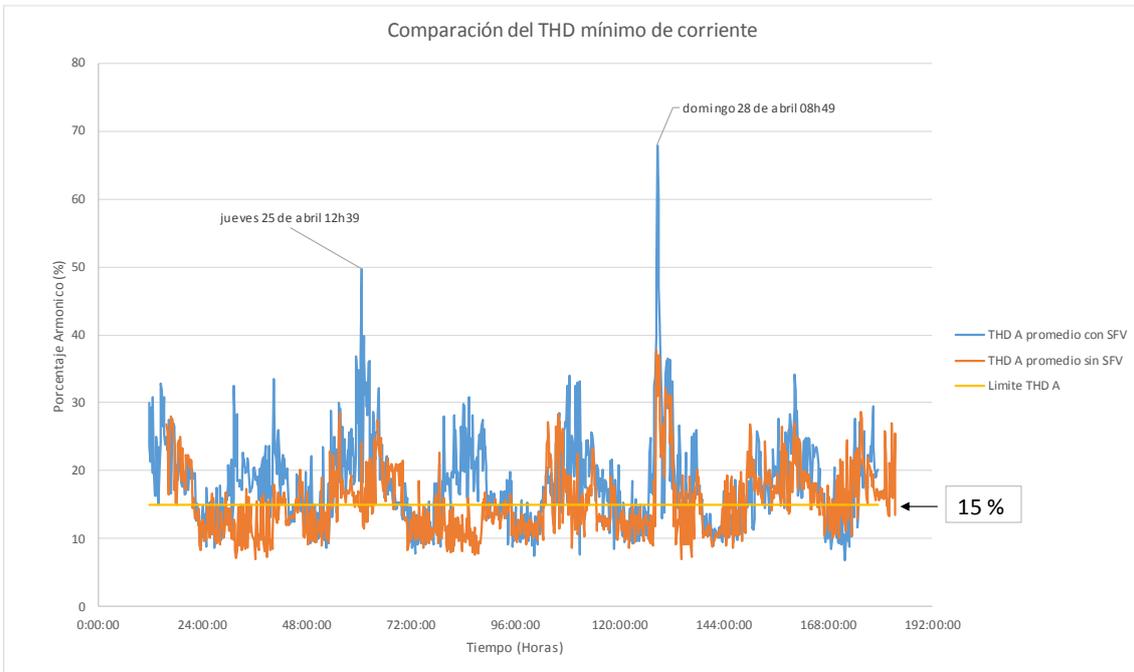


Figura 3-91 Comparación del THD mínimo de corriente.

3.2.3.9 Armónicos individuales de corriente

La comparativa de los armónicos individuales de corriente se ven en la Figura 3-92, donde como es común la mayor cantidad se registran en el armónico de orden H3 llegando a registrar valores de hasta 34% cuando el SFV se encuentra conectado y 24% sin el SFV.

En los armónicos de orden impar del H3 al H15 se sobrepasa el límite establecido, mientras que en los demás se encuentran dentro del rango permisible.

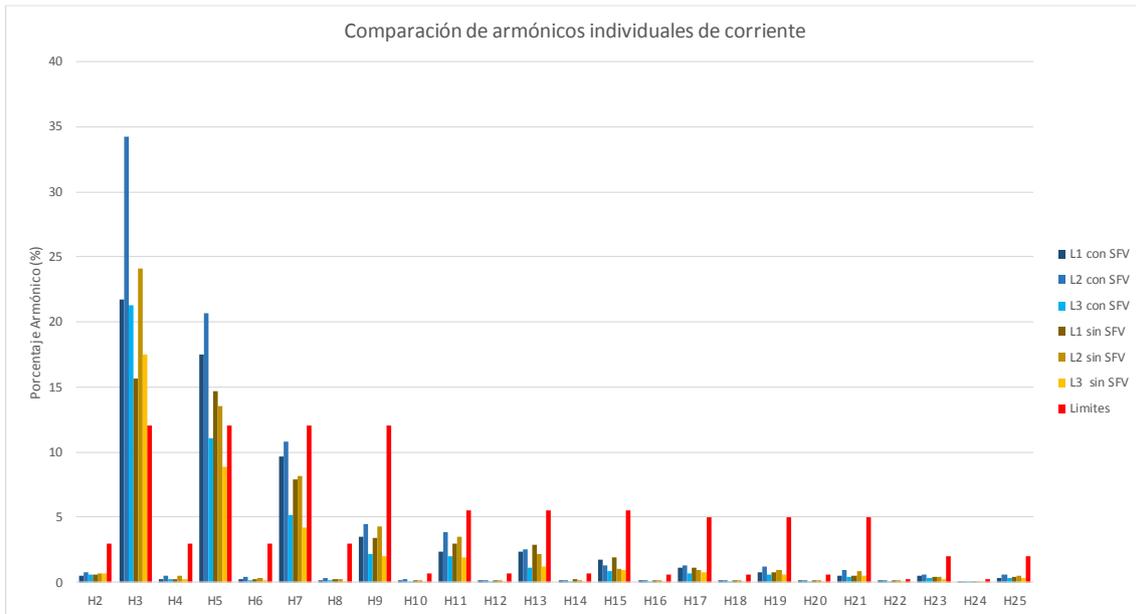


Figura 3-92 Comparación de armónicos individuales de corriente.

3.2.3.10 Factor de potencia

Un análisis completo del factor de potencia durante el tiempo de medición acorde a la calidad de energía con la parte fotovoltaico y con su desconexión se encuentra descrito en la Figura 3-93, Figura 3-94 y Figura 3-95. Dicho análisis se encuentra fraccionado en tres categorías de mediciones con valores de factor de potencia mínimos, medios y máximos.

Para la Figura 3-93, con el SFV conectado los valores máximos de factor de potencia oscilan 0,45 y 0,99. Tres ocasiones considerables de bajo factor de potencia se presentan en el sistema de la siguiente manera: el jueves 25 de abril a las 12h59 con un valor de 0,87, el sábado 27 de abril a las 14h59 con valor de 0,7 y por último el día domingo 28 de abril entre las 06h39 y 12h59, una primera instancia desciende 0,74 hasta llegar a los 0,41.

De la misma manera en la Figura 3-93, sin el SFV los valores oscilan entre los 0,86 y 0,99. Dos ocasiones considerables el día miércoles 1 de mayo a las 16h47 con un valor de 0,86 y el día sábado 4 de mayo a las 08h37 con un valor de 0,88. A lo largo de la

medición se producen valores por debajo del límite de un factor de potencia aceptable descritos en su grafica comparativa.

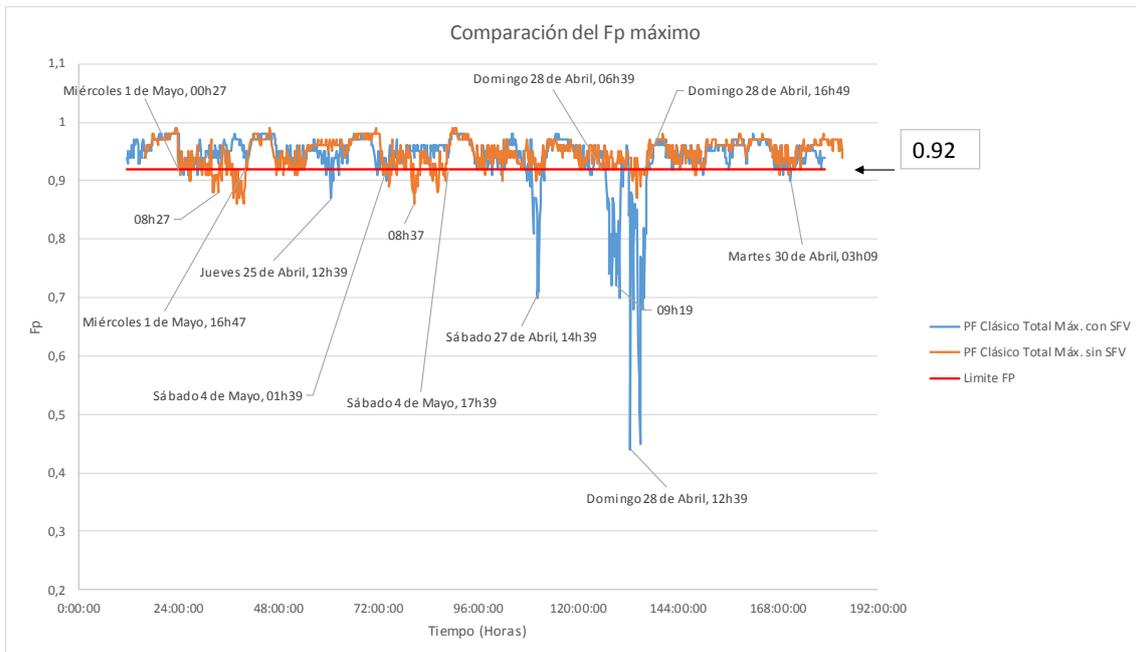


Figura 3-93 Comparación del Fp máximo

Con respecto a la Figura 3-94, con el SFV el factor de potencia en general se mantiene en un rango entre 0,85 y 0,97. Algunos valores decaen considerablemente a 0,7 el día jueves 25 de abril a las 12h09, el día sábado 27 de abril entre las 10h47 y 15h07 decae hasta 0,26 en el punto más bajo durante este intervalo y además el día domingo 28 de abril entre las 07h27 y 16h27 el factor de potencia tiene un valor mínimo de -0,06 siendo éste el más bajo de todo el rango de mediciones cuando el SFV está conectado. Se tiene en cuenta que existen más valores de factor de potencia que están por debajo del límite que se encuentran descritos en la gráfica comparativa.

De la misma manera en la Figura 3-94, sin el SFV el factor de potencia en general se encuentra en un rango entre los 0,81 y 0,97. Valores por debajo del límite más representativos están descritos en el día martes 30 de abril a las 23h59 y el miércoles 1 de mayo a las 17h09 con un factor de potencia bajo de 0,81, el día viernes 3 de mayo entre las 02h49 y las 17h09 con un valor de 0,81 en su punto más bajo; un comportamiento similar el día sábado 4 de mayo y domingo 5 de mayo comprendido entre los mismos horarios. De la misma manera se debe tener en cuenta algunos bajos valores de factor de potencia durante todo el transcurso de la medición que se encuentran descritos en la gráfica comparativa.

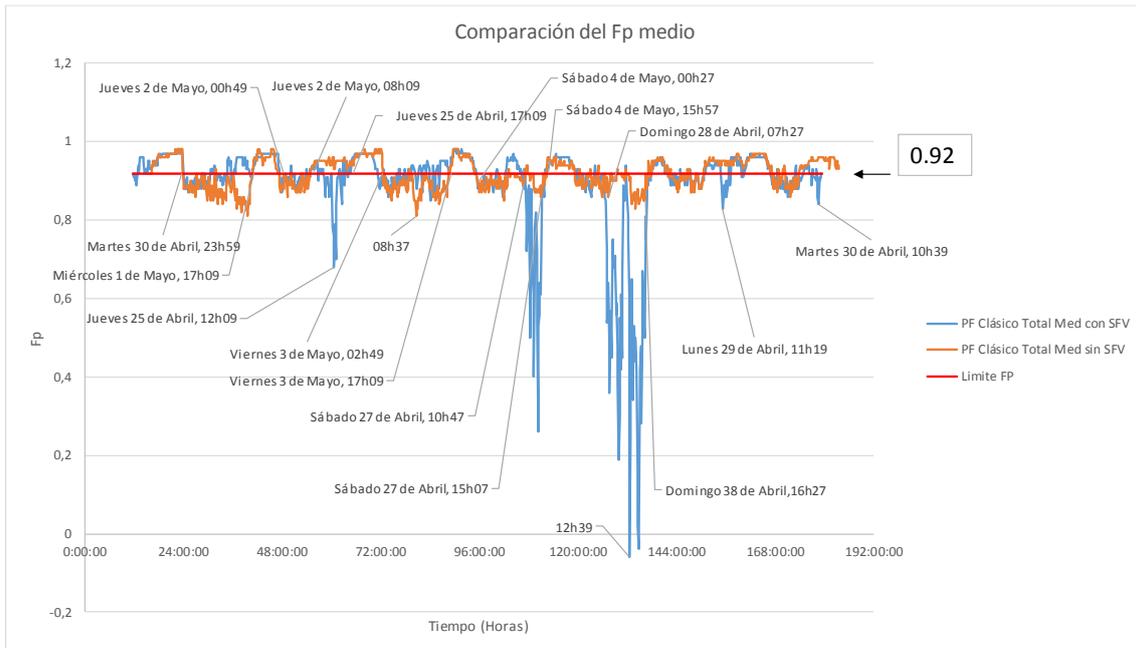


Figura 3-94 Comparación del Fp medio.

Para la Figura 3-95, con el SFV conectado los valores de factor de potencia por debajo del límite aceptable descienden hasta un valor de 0,43 en una ocasión, y en promedio los valores se encuentran entre 0,64 y 0,89. Dichos datos de factor de potencia al no estar conectado el SFV se encuentran alrededor del límite, en ocasiones descienden debido al consumo energético del sistema.

De la misma manera en la Figura 3-95, se encuentran los datos referentes a la desconexión del SFV donde muestra varias caídas en los valores de factor de potencia considerables entre 0,66 y -0,7. Pues bien, el jueves 2 de mayo entre las 09h09 y las 15h09 valores detectados hasta 0,24; de la misma manera se producen en horas similares bajos factores de potencia los días sábado 4 de mayo y domingo 5 de mayo. La gráfica comparativa muestra valores de consideración debido a su bajo valor, registrados de manera similar a lo largo de toda la medición en los mismos horarios cuando el SFV se encuentra conectado y aportando la energía que genera al sistema.

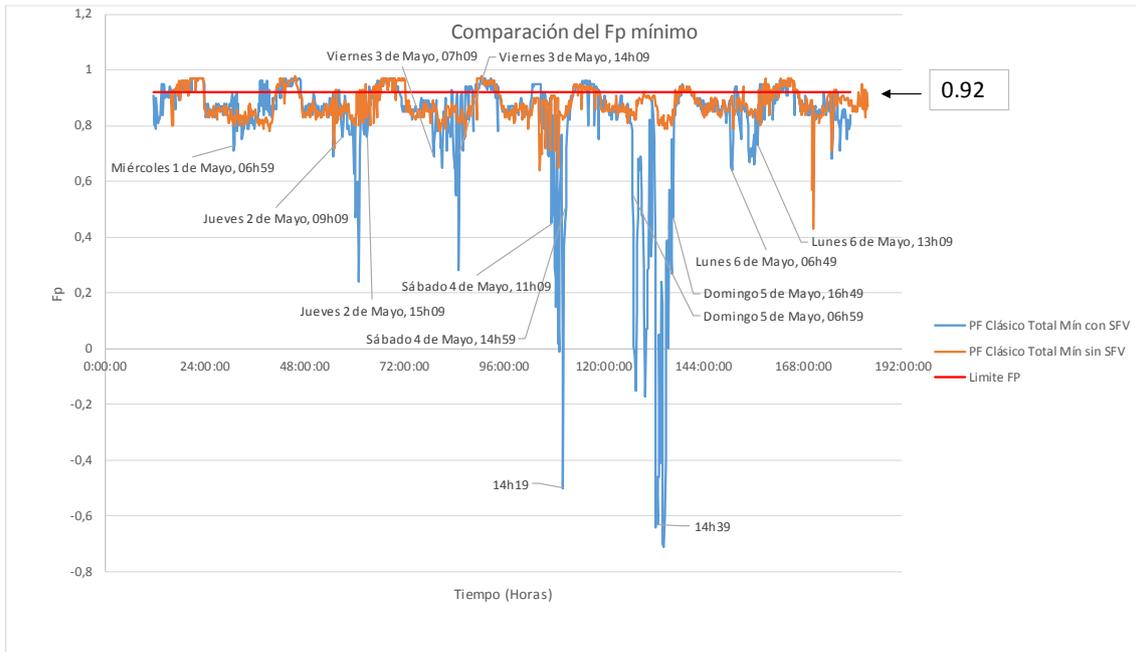


Figura 3-95 Comparación del Fp mínimo.

3.2.3.11 Potencia Activa.

Tanto para la Figura 3-96, Figura 3-97 y Figura 3-98; el comportamiento de la potencia activa es similar dado que son los valores máximos, medios y mínimos a los cuales ha llegado el sistema a lo largo de la medición.

La potencia activa cuando el SFV está conectado tiene algunas variaciones con respecto a la semana de la desconexión del mismo; de tal manera se observa dicho incremento en las horas comprendidas entre las 07h00 a 21h00.

Las gráficas comparativas detallan con mayor exactitud el incremento de la potencia activa en ciertos horarios y días, con respecto al tiempo de medición establecido al estar conectado el SFV y con su desconexión.

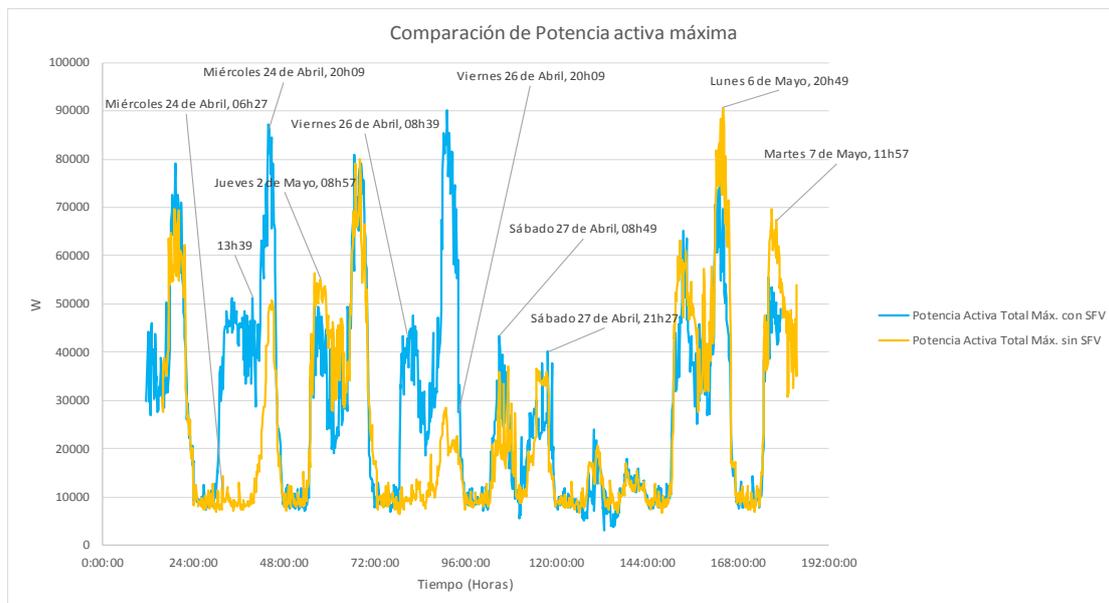


Figura 3-96 Comparación de la potencia activa máxima.

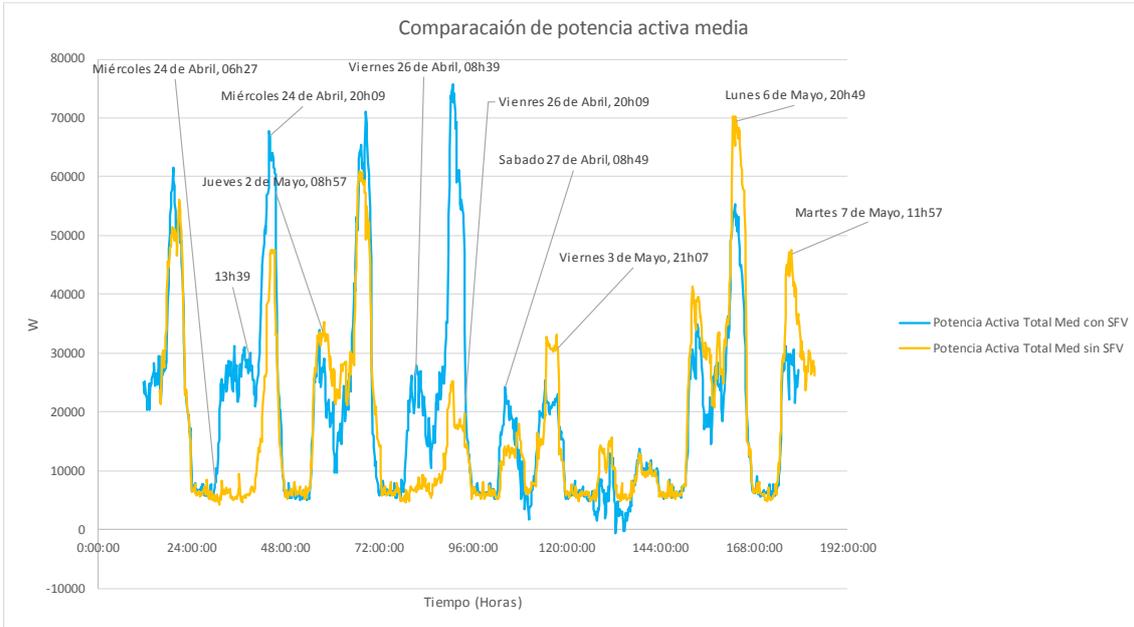


Figura 3-97 Comparación de la potencia activa media.

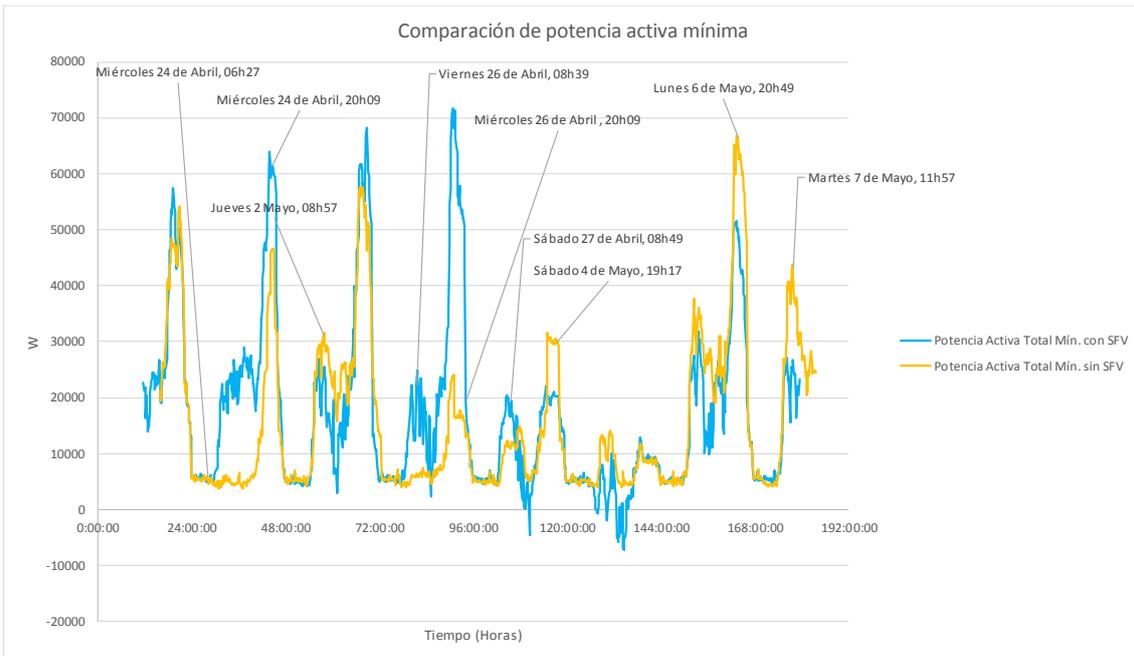


Figura 3-98 Comparación de la potencia activa mínima.

3.2.3.12 Potencia reactiva

Las Figura 3-99, Figura 3-100 y Figura 3-101 describen el comportamiento de la energía reactiva del sistema en tres diferentes graficas comparativas con valores mínimos, medios y máximos, con el SFV conectado y desconectado.

Con respecto a potencia reactiva con la conexión del SFV el comportamiento se encuentra bastante similar como al momento de estar desconectado, con la leve aclaración de tener

valores registrados en general un poco menores cuando el sistema fotovoltaico se encuentra conectado.

La gráfica comparativa en potencia reactiva máxima Figura 3-99, muestra una diferencia considerable en los días miércoles 24 de abril y viernes 26 de abril en horarios comprendidos entre las 07h00 a 22h00; valores registrados con el SFV conectado al sistema.

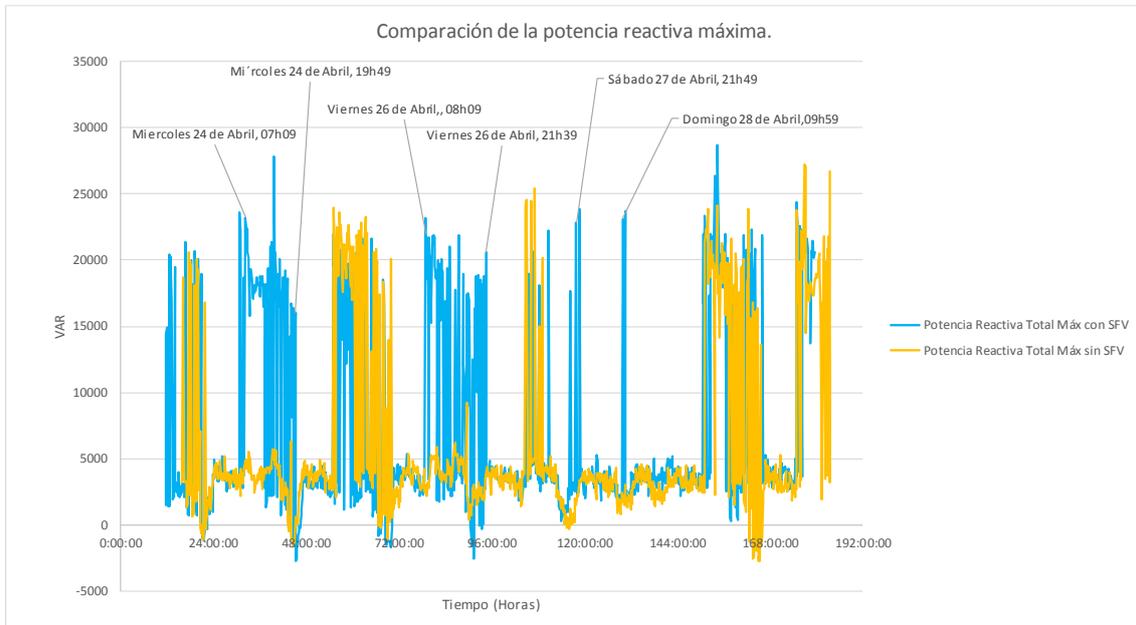


Figura 3-99 Comparación de la potencia reactiva máxima.

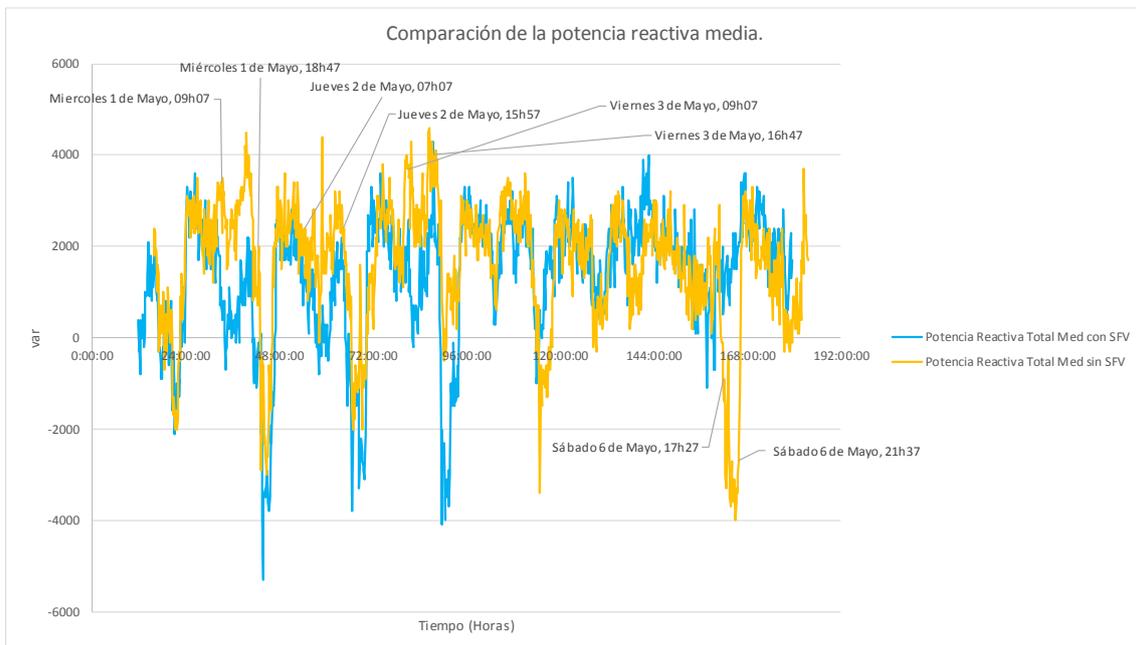


Figura 3-100 Comparación de la potencia reactiva media.

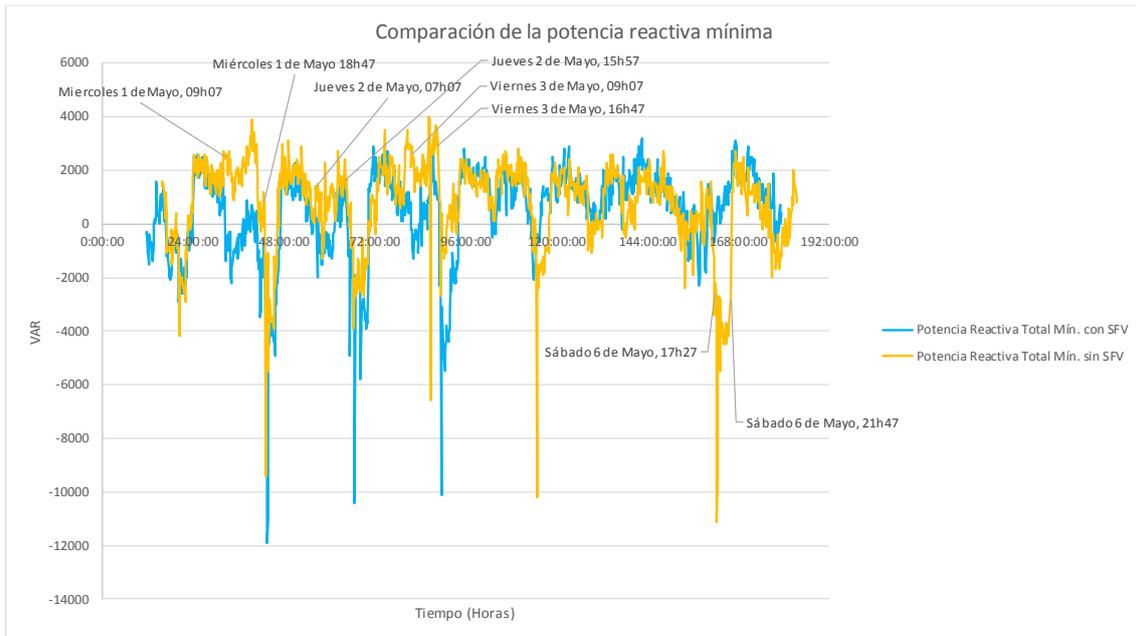


Figura 3-101 Comparación de la potencia reactiva mínima.

3.2.3.13 Potencia Aparente

La potencia aparente con gráficas comparativas en Figura 3-102, Figura 3-103 y Figura 3-104 contienen los valores registrados máximos, medios y mínimos respectivamente. El comportamiento del sistema muestra que de la misma manera que el comportamiento de la potencia activa y reactiva con el SFV conectado; los valores de la potencia aparente en los días miércoles 24 de abril y viernes 26 de abril se encuentran elevados con respecto a las mediciones sin el SFV en los horarios de 07h00 y 22h00.

Las gráficas de valores máximos, medios y mínimos muestran un comportamiento similar con ligeras variaciones detalladas con exactitud con días y horarios de la forma en cómo se fueron registrando los valores comparando al sistema con conexión del SFV y su desconexión.

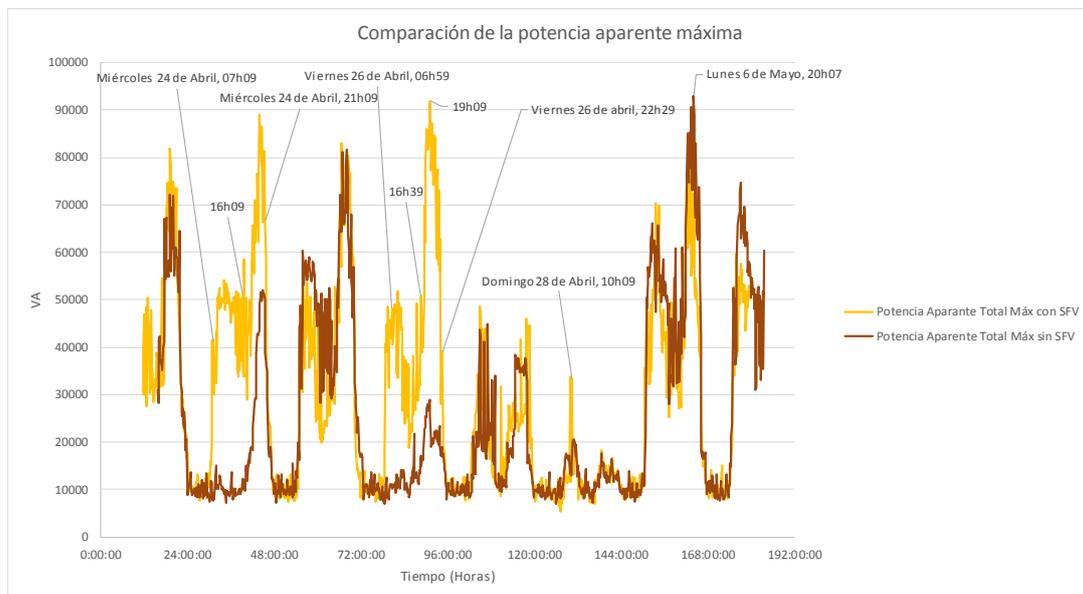


Figura 3-102 Comparación de la potencia aparente máxima.

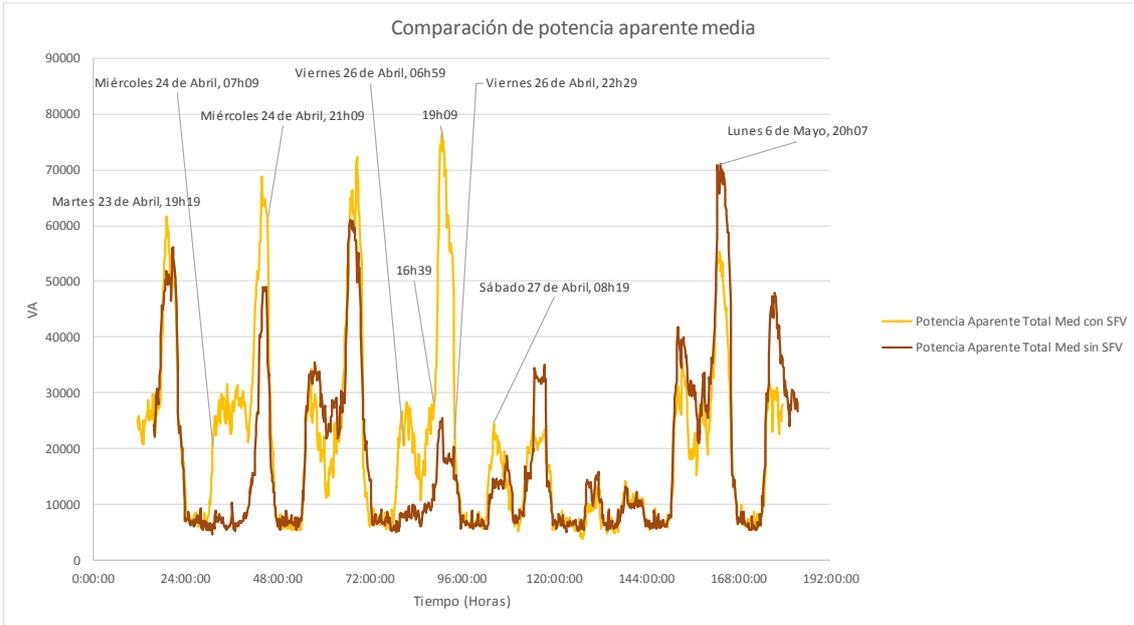


Figura 3-103 Comparación de la potencia aparente media.

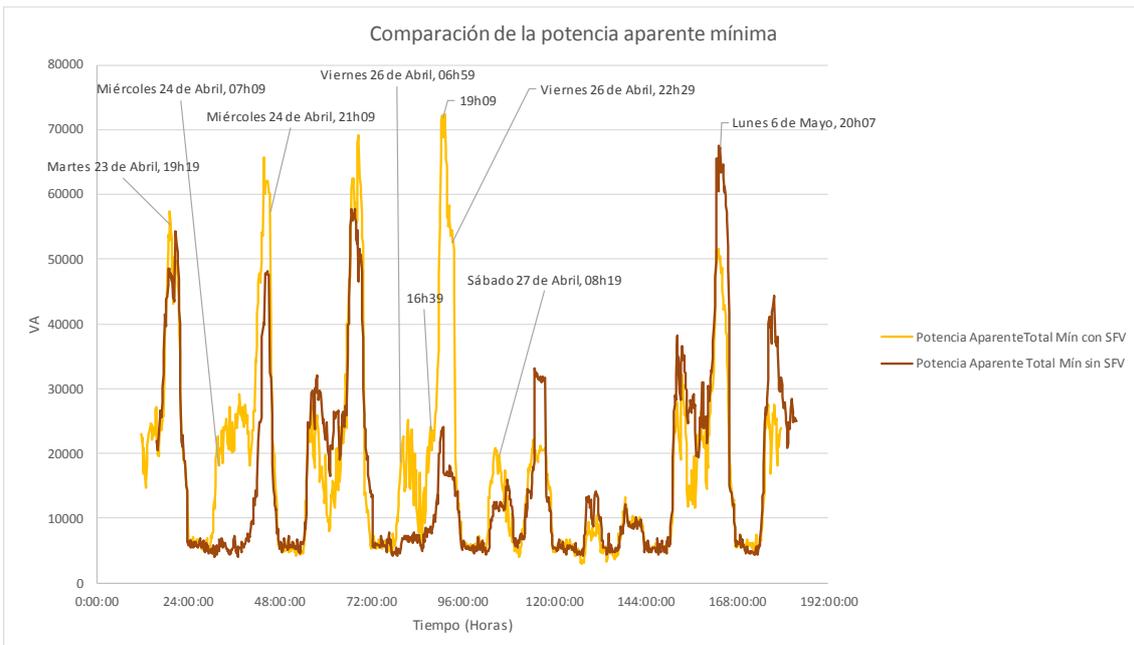


Figura 3-104 Comparación de la potencia aparente mínima.

3.2.3.14 Comparativa entre Potencias y Fp

La Figura 3-105 determina el análisis entre potencias y factor de potencia del sistema, haciendo énfasis a la conexión del SFV para determinar la actividad del sistema de generación.

El SFV conectado genera que el factor de potencia decaiga debido a la potencia activa y aparente que determinen su comportamiento. Los horarios en los cuales el factor de potencia se encuentra bajo considerablemente coinciden con los valores de

potencia activa y aparente elevados en horarios promedio comprendidos entre las 07h00 y 17h00.

El bajo factor de potencia que tiene el sistema durante dicho periodo se encuentra definido por la conexión del SFV con valores de 0,7 y -0,06, debido a que en tal momento el sistema fotovoltaico se encuentra entregando la energía generada.

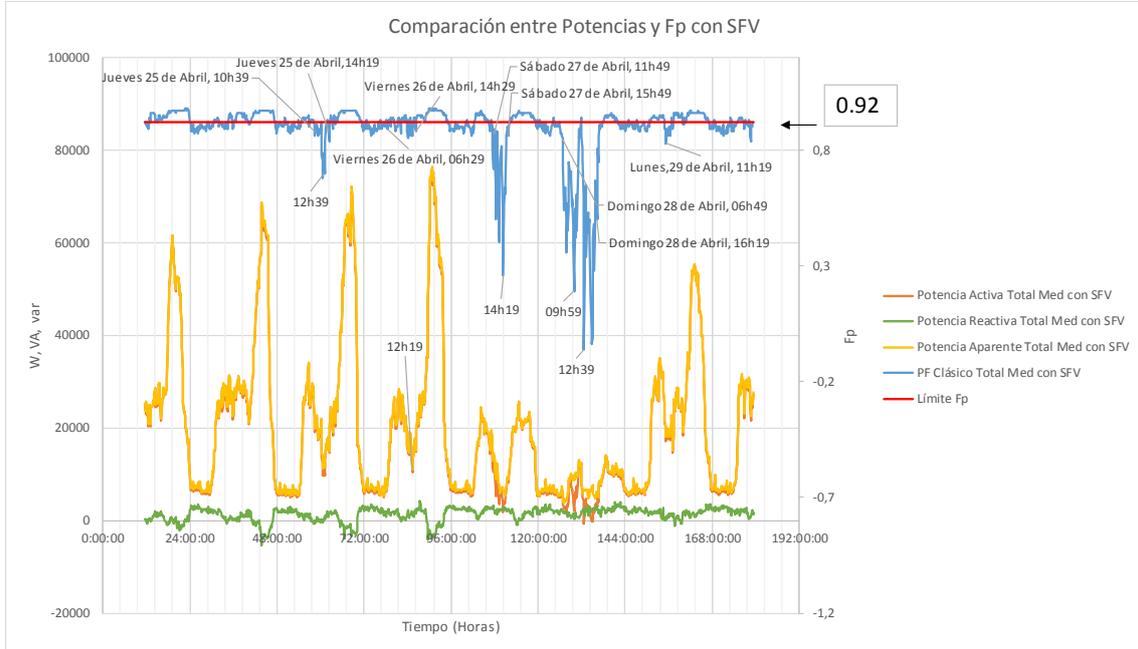


Figura 3-105 Comparación de potencias y Fp con SFV.

La Figura 3-106 detalla al sistema con la desconexión del SFV, un factor de potencia bastante cercano al límite establecido de 0,92 y con muy pocos valores registrados que infringen tal valor. El comportamiento de potencias activa, reactiva y aparente se encuentran definidos debido al funcionamiento normal del sistema; entregando energía y consumiéndola sin variaciones anormales.

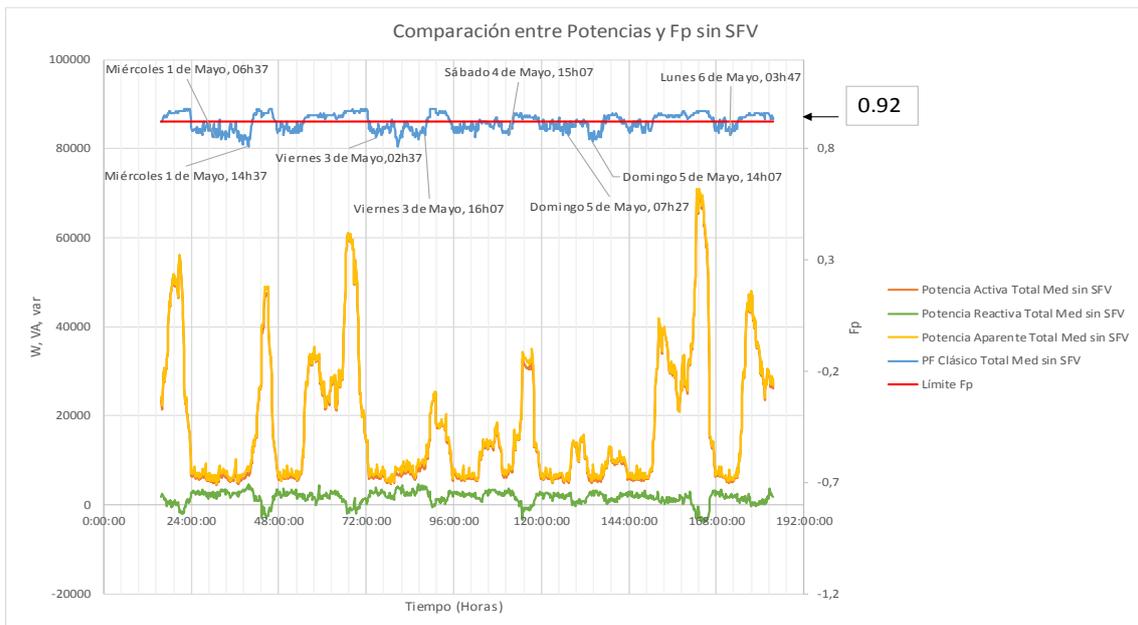


Figura 3-106 Comparación entre potencia y Fp sin SFV.

4 Resultados.

De acuerdo con los análisis realizados en la medición de los parámetros eléctricos correspondientes a calidad de energía en el tablero de distribución del transformador trifásico #19597P perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El nivel de voltaje en todo el periodo de medición durante dos semanas se encuentra dentro de los valores límites establecidos por la Regulación ARCONEL 005/18, con el 95% de los registros de voltajes dentro del $\pm 8\%$ admisible del voltaje nominal.
- El indicador Pst durante el mismo periodo se ha mantenido con valores aceptables, cumpliendo con más del 95% de los datos analizados acorde a las regulaciones. De igual forma se ha comparado el indicador Plt.
- La distorsión armónica total de voltaje se encuentra debajo del valor límite permitido en todo momento durante las dos semanas y en cada fase del transformador.
- Las componentes armónicas individuales de voltaje no exceden de los valores límite tanto de la regulación ecuatoriana como de la norma IEC 6100-2-2.
- El desequilibrio de voltaje ha superado un total de dos veces el límite de la regulación en el periodo de dos semanas, sin embargo, el 95% de las mediciones se encuentran dentro de lo permitido.
- Los niveles de corriente son mayores en determinados días cuando el sistema fotovoltaico se encuentra conectado, aumentando la corriente tanto en fases como en neutro, debido al desequilibrio de carga en las fases del transformador #19597P.
- El desequilibrio de corriente está por encima del límite del 40% de desbalance de máximo de corriente en todos los días de la semana especialmente al medio día, siendo más severo los días sábados y domingos, debido a la disminución de carga en el transformador en esos días, ocasionando que gran parte de la corriente generada por el sistema FV fluya hacia el transformador aumentando el desequilibrio de corrientes.
- De acuerdo con la regulación ecuatoriana y la norma 519 de la IEEE, la distorsión armónica total de corriente durante las dos semanas de medición se encuentra en todo momento por encima del límite establecido, aumentando y siendo más variante con el sistema fotovoltaico conectado.
- Los armónicos individuales de corriente superan el límite de la regulación en las componentes de orden impar H3 y H5, con y sin el sistema fotovoltaico. Mientras que las demás componentes pares e impares se encuentran por debajo del límite normalizado.
- El factor de potencia posee datos por debajo del límite establecido de 0,92, con valores que llegan hasta un -0,7 en un horario promedio comprendidos entre las 08h00 y 16h00 en el periodo cuando el SFV se encuentra en conexión al sistema de bajo voltaje los fines de semana. Esto se debe que, al disminuir la carga en este periodo, la corriente se inyecta al transformador haciendo que la potencia aparente

aumente y la potencia eficaz o activa disminuya, ocasionando picos de caída del Fp. La curva del factor de potencia además muestra que existen valores excelentes con valores que llegan hasta un 0,99 en varios horarios a lo largo del periodo de la medición; pero en comparación a las normas regulatorias los valores de factor de potencia no son adecuados para representar una buena calidad de energía con respecto a dichos datos.

- La potencia activa a lo largo del tiempo de medida cuando el SFV está conectado y con su desconexión tiene un comportamiento similar, con diferencias en los días miércoles y viernes que existe un incremento cuando el SFV está conectado en horarios promedio comprendidos entre las 08h00 y 20h00. En detalle la potencia se incrementa hasta las 13h00 en valores alrededor de 30 kW, para luego elevarse hasta un valor alrededor de los 70 kW.
- Al comparar la medición de la potencia reactiva cuando el SFV está conectado y cuando se encuentra desconectado; revelan que en la mayor parte del tiempo es ligeramente menor cuando el SFV está conectado y en otras ocasiones tiene un comportamiento aparentemente similar cuando el SFV está desconectado del sistema de bajo voltaje.
- La potencia aparente tiene un comportamiento muy parecido a los datos medidos cuando el SFV está conectado y desconectado. Pues de igual manera en los días miércoles y viernes en el horario comprendido entre las 08h00 y 20h00 la potencia aparente se eleva al estar conectado el SFV. Algo similar ocurre con la potencia activa hasta las 13h00 donde tiene un valor alrededor de los 30 kW, para luego elevarse hasta un valor alrededor de los 70 kW.

5 Conclusiones y Recomendaciones.

El sistema eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca posee una calidad de energía muy buena con la instalación del SFV para electromovilidad. Al momento de la conexión del SFV, el sistema tuvo pequeñas afectaciones con respecto a parámetros de factor de potencia, armónicos de corriente y corrientes en las líneas.

El bajo de factor de potencia y distorsión con respecto a parámetros de corriente se produce al disminuir la carga habitual en la Universidad y estar el SFV generando en horarios promedio entre las 08h00 y 16h00 los fines de semana. La mayor afectación del factor de potencia se produce en horas que bordean el medio día; con valores de factor de potencia negativos de hasta un -0.7, el cual es el punto de máxima generación.

Una de las opciones que mejoraría en gran parte la calidad de energía sería que el sistema fotovoltaico transmita su generación con similar número de fases que tiene la red de baja tensión y el transformador. Equilibrando de esta manera el número de conexiones en las barras del tablero de distribución. De igual forma se propone equilibrar las cargas a las que alimenta todo el sistema de baja tensión.

Como se ha evidenciado el THD de corriente son demasiado altos, siendo necesario la reducción del nivel de distorsión armónica que se generan hacia la red mediante el filtrado centralizado lo más cerca de las cargas, evitando la propagación de corrientes armónicas hacia otras cargas o instalaciones.

Con base a los resultados es recomendable desconectar el sistema fotovoltaico en las horas de la noche, cuando este no se encuentra generando, debido a que este se comporta como una carga que trae consigo problemas afectando la calidad de energía.

Es importante que la Universidad realice mantenimientos de la instalación fotovoltaica con el fin de mantener la vida útil del sistema y proporcionar potencia de buena calidad a la red de baja tensión. De igual forma realizar mediciones durante ciertos periodos o en el mejor de los casos instalar un monitor en tiempo real que ayude a la verificación de los índices de calidad de energía.

Bibliografía

- [1] O. P. LAMIGUEIRO, “Energía Solar Fotovoltaica,” 2018.
- [2] S. X. C. Q. ;Juan D. M. Jimenez, “Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano : un enfoque dinámico,” no. 35, pp. 77–89, 2013.
- [3] M. G. Gonsales, “Generación Distribuida,” pp. 17–38, 2008.
- [4] A. C. Montiel, “Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba,” no. August 2015, 2011.
- [5] G. Salazar, L. Chusin, and B. Escobar, “Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Distribución Eléctrica con Penetración de Generación Distribuida,” vol. 36, no. 1, 2015.
- [6] J. Miguel, M. González, C. Alberto, and D. Daza, “Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico colombiano Distributed generation scheme analysis as an option for colombian electrical system,” pp. 97–110, 2008.
- [7] J. P. Muñoz-Vizhñay, M. V. Rojas-Moncayo, and C. R. Barreto-Calle, “Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador,” *Ingenius*, no. 19, p. 60, 2018.
- [8] P. A. Goyenche Rojas, “Análisis De Integración De Generación Distribuida En Redes De Baja Tensión,” 2008.
- [9] L. G. Macancela, “Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa ii ETSARI,” p. 232, 2012.
- [10] C. A. Jara Álvarez and P. E. Galarza Contreras, “Simulación y evaluación de sistemas fotovoltaicos residenciales conectados a la red eléctrica,” 2015.
- [11] M. Alonso Abella, “Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial,” p. 15, 2011.
- [12] L. Gonzáles, Jose;Germán, “Guía tecnica para la utilización de energía solar fotovoltaica,” *Inst. Aragon.*, vol. 6, no. 2, p. 103, 2015.
- [13] J. Chavarría Roé Director and D. Biel Solé, “Diseño e Implementación de un Inversor Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red,” 2009.
- [14] R. González, H. Jiménez, and J. Lagunas, “Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica,” *Iie*, p. 104, 2010.
- [15] F. A. Morán, M. L. Facchini, D. H. Pontoriero, V. M. Doña, and A. G. Galván, “Balance energético del comportamiento de un sistema fotovoltaico instalado en una vivienda residencial conectado a la red eléctrica de distribución,” *Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 32, pp. 37–44, 2013.
- [16] proyecto en Dev, “Manual de Instalacion de un Sistema Fotovoltaico Domiciliario,” p. 48, 2013.
- [17] I. Elvis and P. Soto, “CELDAS FOTOVOLTAICAS EN GENERACION DISTRIBUIDA,” 2005.
- [18] O. V. Ruiz, “DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA INTERCONECTADA DE 100 kW DESTINADA A AUTOCONSUMO EN SAN

PABLO DE BUCEITE, CÁDIZ,” 2014.

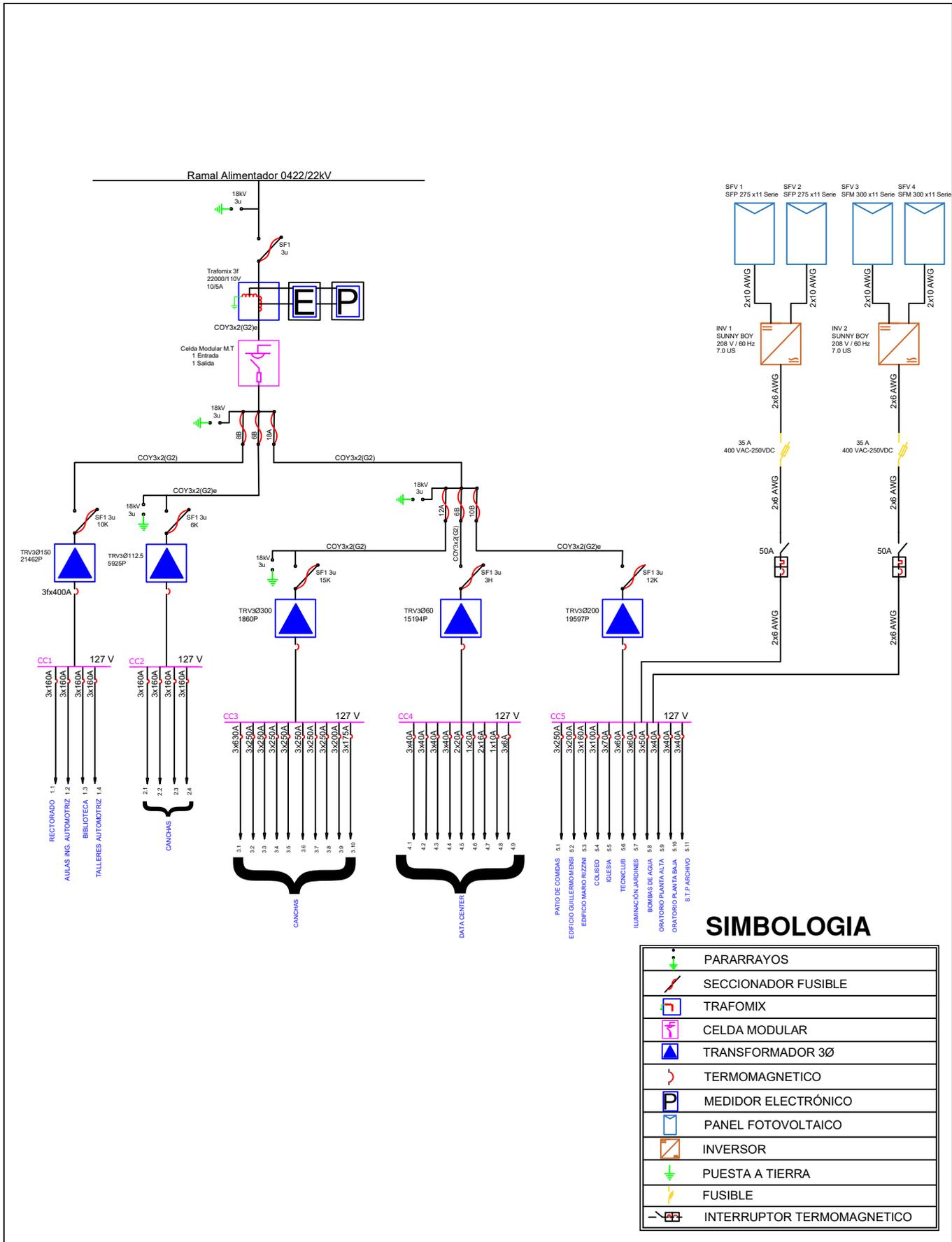
- [19] S. S. A. Freitas, “Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos Engenharia Industrial Engenharia Electrotécnica,” 2008.
- [20] F. Chauca, F. Llerena, and P. Chico, “Diseño y Construcción de un Inversor Multinivel,” *Epn*, vol. 33, no. 1, 2014.
- [21] F. R. Chiquito, “PANEL DE CELDAS SOLARES PARA FOMENTAR LA CIENCIA , LA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN,” pp. 1–8.
- [22] A. G. B. C. O. I. O. HIDALGO, “Procedimiento técnico para la implementación de microcentrales eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos.”
- [23] P. Jose and J. Fern, “Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil.”
- [24] T. Khatib, A. Yasin, A. A. Mohammad, and I. A. Ibrahim, “On the effectiveness of optimally sizing an inverter in a grid-connected photovoltaic power system,” *2017 14th Int. Conf. Smart Cities Improv. Qual. Life Using ICT IoT, HONET-ICT 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 48–52, 2017.
- [25] N. Shah, “Multilevel Inverter Based Single-Stage Grid Connected Photovoltaic System using Cascaded Two-Level Inverter,” *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. PEDES 2018*, pp. 1–6, 2019.
- [26] C. Nicola *et al.*, “Quality Analysis of Electric Energy using an Interface Developed in LabVIEW Environment,” 2016.
- [27] A. Medina, “Metodologías Avanzadas Para El Modelado Y Análisis De Armonicos y Su Impacto En la Calidad De La Energia.,” 2001.
- [28] M. A. R. Pozueta, “Circuitos de corriente Alterna Sinusoidal,” *Tema 3*, pp. 1–23, 2011.
- [29] D. Ismail, M. N. K. Anuar, N. Indra, C. Shatri, and M. Reza, “Current transformer reaction with linear and non-linear loads,” *PEOCO 2010 - 4th Int. Power Eng. Optim. Conf. Progr. Abstr.*, no. June, pp. 406–411, 2010.
- [30] M. Holguin and D. Coello Gomez, “Análisis de calidad de energía eléctrica en el ‘Nuevo Campus’ de la Universidad Politécnica Salesiana,” pp. 1–234, 2010.
- [31] A. Singh, M. Badoni, and B. Singh, “Non linear load sharing between a distributed generation sources and utility grid,” *PEDES 2012 - IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst.*, pp. 1–6, 2012.
- [32] M. I. Abu Bakar, “Assessments for the impact of harmonic current distortion of non linear load in power system harmonics,” *2008 IEEE/PES Transm. Distrib. Conf. Expo. Lat. Am. T D-LA*, pp. 1–6, 2008.
- [33] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard I159-1995*, vol. 2009, no. June. 2009.
- [34] F. G. I. L. Montoya and F. Manzano-agugliaro, “Power Quality Research Techniques : Advantages and Disadvantages,” *Dyna*, vol. 79, no. 173, pp. 66–74, 2012.
- [35] M. Demir, M. Iltir, and A. B. Yildiz, “Determination of the effect of short-term interruptions in mains voltage on the reliability of consumer electronics products,” *2017 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2017 IEEE Ind. Commer. Power Syst.*

- Eur. (EEEIC / I&CPS Eur.*, pp. 1–5, 2017.
- [36] IEEE, *IEEE Trial-Use Recommended Practice for Voltage Sag and Short Interruption Ride-Through Testing for End-Use Electrical Equipment Rated Less than 1000 V*. 2014.
 - [37] V. A. Skolota and G. S. Zinovev, “Detecting Voltage Swell, Interruption and Sag,” *2018 19th Int. Conf. Young Spec. Micro/Nanotechnologies Electron Devices*, no. section 3, pp. 6403–6408, 2018.
 - [38] P. D. E. Doctorado, E. N. Ciencias, M. Blanca, and R. García, “INDICES DE DESEMPEÑO DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE DE CORTA DURACION EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN,” 2008.
 - [39] T. H. Ortmeyer, J. A. Reeves, D. Hou, and P. McGrath, “Evaluation of sustained and momentary interruption impacts in reliability-based distribution system design,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 4, pp. 3133–3138, 2010.
 - [40] H. Chen, P. D. S. Assala, Y. Cai, and P. Yang, “Intelligent Transient Overvoltages Location in Distribution Systems Using Wavelet Packet Decomposition and General Regression Neural Networks,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 12, no. 5, pp. 1726–1735, 2016.
 - [41] R. Bayindir, M. Yesilbudak, and S. Ermis, “Standards-based investigation of voltage dips and voltage imbalances in an organized industrial zone,” *Proc. - 2016 IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf. PEMC 2016*, pp. 476–481, 2016.
 - [42] S. Nistor, C. Munteanu, C. Mihai, and M. Cernat, “Voltage and current wave distortion on a photoelectric power plant in winter conditions,” *Proc. - 2017 Int. Conf. Optim. Electr. Electron. Equipment, OPTIM 2017 2017 Intl Aegean Conf. Electr. Mach. Power Electron. ACEMP 2017*, pp. 245–250, 2017.
 - [43] K. R. Shandilya and U. S. Patel, “Mitigation of total harmonic distortion using cascaded MLI-DSTATCOM in distribution network,” *IEEE Int. Conf. Power, Control. Signals Instrum. Eng. ICPCSI 2017*, pp. 2439–2445, 2018.
 - [44] S. B. Mhetre, H. H. Kulkarni, and D. G. Bharadwaj, “A simple and low cost solution for measurement of harmonics in distribution sector,” *Proc. - 1st Int. Conf. Comput. Commun. Control Autom. ICCUBEA 2015*, pp. 499–505, 2015.
 - [45] H. Tischer and T. Pfeifer, “Hybrid filter for dynamic harmonics filtering and reduction of commutation notches - A case study,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, vol. 2016-Decem, pp. 261–265, 2016.
 - [46] IEEE Power and Energy Society, *IEEE 1453 - IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems*, vol. 2015. 2015.
 - [47] “Regulacion-de-Calidad-Suscrita-005-18.pdf.” .
 - [48] E. Society, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society,” vol. 2014, 2014.
 - [49] N. Dhlamini, “Solar photovoltaic generation and its integration impact on the existing power grid,” *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, pp. 710–715, 2018.
 - [50] J. P. Oliveira, A. B. Rodrigues, and M. G. da Silva, “Probabilistic evaluation of voltage control and reactive power techniques with photovoltaic distributed-generation,” *2018 Simp. Bras. Sist. Eletr.*, pp. 1–6, 2018.

- [51] A. Kharrazi, V. Sreeram, and Y. Mishra, "Assessment of voltage unbalance due to single phase rooftop photovoltaic panels in residential low voltage distribution network: A study on a real LV network in Western Australia," *2017 Australas. Univ. Power Eng. Conf. AUPEC 2017*, vol. 2017-Novem, pp. 1–6, 2018.
- [52] A. S. Rodrigo, "Effects of High Levels of Harmonic Penetration in Distribution Networks with Photovoltaic Inverters," pp. 1–6, 2017.
- [53] G. Casaravilla and V. Echinope, "Desbalances - Estudio de alternativas para su estimacion."

Anexos

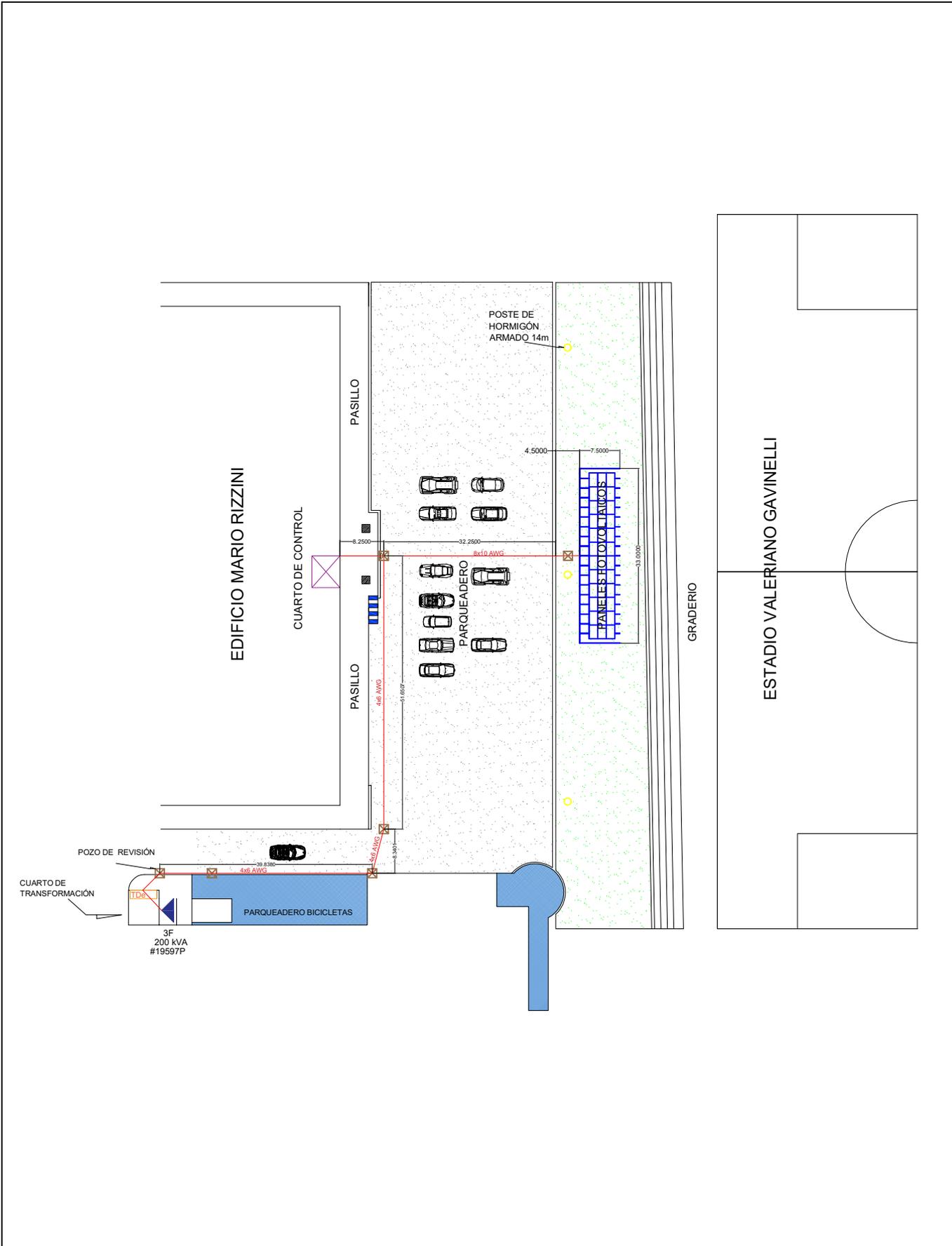
A. Diagrama Unifilar de la UPS.



DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR CAD

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>		Universidad Politécnica Salesiana
<i>Dibujado</i>	01-05-2019	Juan Arias G		
<i>Comprobado</i>	01-05-2019	Cristian Pullaguari		
<i>ESCALA:</i>	<i>Hoja:</i>	<i>Diagrama Unifilar de la UPS</i>		<i>Carrera:</i>
1:1	1:1			Ingeniería Eléctrica

B. Cableado del Sistema Fotovoltaico.



DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR CAD

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>		Universidad Politécnica Salesiana
<i>Dibujado</i>	01-05-2019	Juan Arias G		
<i>Comprobado</i>	01-05-2019	Cristian Pullaguari		
ESCALA: 1:1	Hoja: 1:1	<i>Cableado del sistema Fotovoltaico</i>		<i>Carrera:</i>
				Ingeniería Eléctrica

C. Datos Técnicos de los Paneles Serie M

M Serie

Elektrische Daten unter STC (Standard Test Conditions: 1000 W/m², 25 °C, AM 1,5)

Nennleistung	P _{max}	285 W	290 W	295 W	300 W	305 W
Sortiergrenzen der Leistung		0/+5 W				
Spannung	U _{MPP}	31,64 V	31,77 V	32,00 V	32,23 V	32,42 V
Leerlaufspannung	U _{OC}	39,01 V	39,24 V	39,43 V	39,65 V	39,86 V
Strom	I _{MPP}	9,00 A	9,13 A	9,22 A	9,31 A	9,41 A
Kurzschlussstrom	I _{SC}	9,55 A	9,66 A	9,75 A	9,84 A	9,93 A
Wirkungsgrad		17,45 %	17,75 %	18,06 %	18,37 %	18,67 %

Temperaturdaten

Temperaturkoeffizient Leistung	T _k (P _{MPP})	-0,43 %/K
Temperaturkoeffizient Spannung	T _k (U _{OC})	-0,325 %/K
Temperaturkoeffizient Strom	T _k (I _{SC})	0,04 %/K

Weitere Angaben

Anzahl Zellen	60 monokristalline Zellen
Max. Systemspannung	1000 V
Rückstrombelastbarkeit	15 A
Frontabdeckung	3,2 mm starkes, hoch lichtdurchlässiges, gehärtetes Glas
Modulanschluss	Schutzklasse Anschlussdose: IP67 4,0 mm ² , Solarkabel: ca. 900 mm
Schneelast	5400 Pa Δ 550 kg/m ²

12 Jahre Produktgarantie, 25 Jahre lineare Leistungsgarantie gemäß unseren zusätzlichen Garantiebedingungen für Solarstrommodule der Produktlinie „M Serie“, die wir Ihnen gerne zuschicken.

Irrtum und technische Änderungen mit ggfs. entsprechenden Nachzertifizierungen vorbehalten. Abb. ähnlich.

Maße und Gewichte Verpackungssysteme

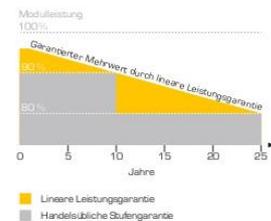
LKW	
Maße Palette (L/B/H)	169/112/114 cm
Gewicht Palette	ca. 603 kg
Module pro Palette	30
Module pro LKW	900

Verschiffung

Maße Palette (L/B/H)	169/112/114 cm
Gewicht Palette	ca. 603 kg
Module pro Palette	30
Module pro Container [40' HC]	840

Zertifizierungen

UNI 9177 - Brandverhalten Klasse 1

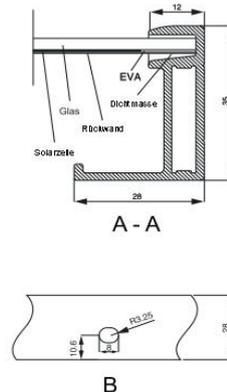
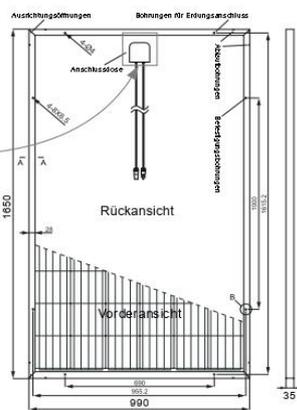


M Serie

Gewicht: ca. 18,6 kg



Hinweis:
Polarität beachten!



Ihr Fachhändler:

SF Solar Fabrik GmbH & Co. KG
Im Gewerbegebiet 12
63831 Wiesen
Deutschland

Telefon: +49 (0)6096 9 700-790
Telefax: +49 (0)6096 9 700-728
E-Mail: info@solar-fabrik.de
Internet: www.solar-fabrik.de

D. Datos Técnicos de los Paneles Serie P

P Serie

Elektrische Daten unter STC (Standard Test Conditions: 1000 W/m², 25 °C, AM 1,5)

Nennleistung	P_{max}	270 W	275 W	280 W
Sortiergrenzen der Leistung		0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W
Spannung	U_{MPP}	30,62 V	30,83 V	31,08 V
Leerlaufspannung	U_{OC}	38,59 V	38,80 V	39,01 V
Strom	I_{MPP}	8,82 A	8,92 A	9,01 A
Kurzschlussstrom	I_{SC}	9,25 A	9,33 A	9,43 A
Wirkungsgrad		16,52 %	16,83 %	17,14 %

Temperaturdaten

Temperaturkoeffizient Leistung	$T_k(P_{MPP})$	-0,43 %/K
Temperaturkoeffizient Spannung	$T_k(U_{OC})$	-0,325 %/K
Temperaturkoeffizient Strom	$T_k(I_{SC})$	0,04 %/K

Weitere Angaben

Anzahl Zellen	60 polykristalline Zellen
Max. Systemspannung	1000 V
Rückstrombelastbarkeit	15 A
Frontabdeckung	3,2 mm starkes, hoch lichtdurchlässiges, gehärtetes Glas
Modulanschluss	Schutzklasse Anschlussdose: IP67 4,0 mm ² , Solarkabel: ca. 900 mm
Schneelast	5400 Pa Δ 550 kg/m ²

12 Jahre Produktgarantie, 25 Jahre lineare Leistungsgarantie gemäß unseren zusätzlichen Garantiebedingungen für Solarstrommodule der Produktlinie „P Serie“, die wir Ihnen gerne zuschicken.

Irrtum und technische Änderungen mit ggfs. entsprechenden Nachzertifizierungen vorbehalten. Abb. ähnlich.

Maße und Gewichte Verpackungssysteme

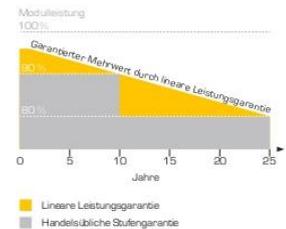
LKW	
Maße Palette (L/B/H)	169/112/114 cm
Gewicht Palette	ca. 603 kg
Module pro Palette	30
Module pro LKW	900

Verschiffung

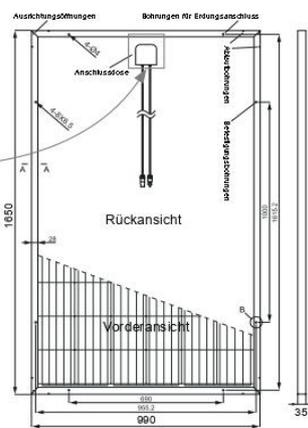
Maße Palette (L/B/H)	169/112/114 cm
Gewicht Palette	ca. 603 kg
Module pro Palette	30
Module pro Container [40' HC]	840

Zertifizierungen

UNI 9177 - Brandverhalten Klasse 1



P Serie
Gewicht: ca. 18,6 kg



Hinweis:
Polarität beachten!

Ihr Fachhändler:

SF Solar Fabrik GmbH & Co. KG
Im Gewerbegebiet 12
63831 Wiesen
Deutschland

Telefon: +49 (0)6096 9 700-790
Telefax: +49 (0)6096 9 700-728
E-Mail: info@solar-fabrik.de
Internet: www.solar-fabrik.de

E. Datos Técnicos de los Inversores

Technical data	Sunny Boy 6.0-US		Sunny Boy 7.0-US		Sunny Boy 7.7-US	
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V
Input (DC)						
Max usable DC power	5400 W	6200 W	6900 W	7200 W	6900 W	7950 W
Max. DC Voltage	600 V					
Rated MPP Voltage range	220 - 480 V		245 - 480 V		270 - 480 V	
MPPT operating voltage range	100 - 550 V					
Min. DC voltage / start voltage	100 V / 125 V					
Max. operating input current per MPPT	10 A					
Max. short circuit current per MPPT	18 A					
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker	3 / 1					
Output (AC)						
AC nominal power	5200 W	6000 W	6660 W	7000 W	6660 W	7680 W
Max. AC apparent power	5200 VA	6000 VA	6660 VA	7000 VA	6660 VA	7680 VA
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency	60 Hz / 50 Hz					
Max. output current	25.0 A	25.0 A	32.0 A	29.2 A	32.0 A	32.0 A
Power factor (cos φ)	1					
Output phases / line connections	1 / 2					
Harmonics	< 4 %					
Efficiency						
Max. efficiency	97.2 %	97.6 %	97.1 %	97.5 %	97.1 %	97.5 %
CEC efficiency	96.5 %	97 %	96.5 %	97 %	96.5 %	97 %
Protection devices						
DC disconnect device	●					
DC reverse polarity protection	●					
Ground fault monitoring / Grid monitoring	●					
AC short circuit protection	●					
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)	●					
Arc fault circuit interrupter (AFCI)	●					
Protection class / overvoltage category	I / IV					
General data						
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	535 x 730 x 198 (21.1 x 28.5 x 7.8)					
Packaging Dimensions (W / H / D) in mm (in)	600 x 800 x 300 (23.6 x 31.5 x 11.8)					
Weight / packaging weight	26 kg (57 lb) / 30 kg (66 lb)					
Operating temperature range	- 25 °C ...+60 °C					
Noise emission (typical)	39 dB(A)		45 dB(A)			
Internal power consumption at night	< 5 W					
Topology	Transformerless					
Cooling concept	Convection			Fan		
Features						
Ethernet ports	2					
Secure Power Supply	●*					
Display (2 x 16 characters)	●					
WLAN	●					
Sensor module / External WLAN antenna	○ / ○					
Warranty: 10 / 15 / 20 years	●/○/○					
Certificates and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA V22.2 107.1-1					
● Standard features ○ Optional features – Not available	Data at nominal conditions		NOTE: US inverters ship with gray lids.		* Not functional with Power+ Solution	
Type designation	SB6.0-1SP-US-40		SB7.0-1SP-US-40		SB7.7-1SP-US-40	

POWER+ SOLUTION

The SMA Power+ Solution combines legendary SMA inverter performance and intelligent DC module-level electronics in one cost-effective, comprehensive package. This means that you can achieve maximum solar power production for your customers while also realizing significant installation savings.

Unlike conventional microinverter and DC optimizer systems, Power+ is faster to install, provides more flexibility, boasts logistical advantages, and reduces service risk.

Visit www.SMA-America.com for more information.



F. Datos Técnicos de la Estación de Carga

AMTRON® with 7.5 m fixed charging cable – charging connector (Type 1)



					RFID card system
		Calibrated digital energy meter	Calibrated digital energy meter	Calibrated digital energy meter	
	Key switch	Key switch	Key switch	Charge APP via Ethernet/WIFI	Charge APP via Ethernet/WIFI (without energy management)
LED status display Stop button	LED status display Button for reset function				
Start E C1	Standard E C1	Basic E C1		Xtra E C1	Trend E C1
Part number	Part number	Part number		Part number	Part number
3.7 kW 1350100	3.7 kW 1358100	3.7 kW 1353100		3.7 kW 1354100	3.7 kW 1357100