

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA ELÉCTRICA**

**TEMA:
ANÁLISIS DEL EFECTO DE INYECCIÓN DE ARMÓNICOS GENERADOS EN
SISTEMAS DE MINI GENERACIÓN SOLAR DISTRIBUIDA**

**AUTORA:
VIVIANA KARINA ASMAL ITURRALDE**

**TUTOR:
JUAN CARLOS HERRERA HEREDIA**

Quito, Julio 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Juan Carlos Herrera Heredia, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Análisis del Efecto de Inyección de Armónicos Generados en Sistemas de Mini Generación Solar Distribuida* realizado por Viviana Karina Asmal Iturralde, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Junio 2016



.....
Ing. Juan Carlos Herrera Heredia
Cédula de identidad: 1709364150

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Viviana Karina Asmal Iturralde, con documento de identificación N° 1721201554, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: “Análisis del Efecto de Inyección de Armónicos Generados en Sistemas de Mini Generación Solar Distribuida”, mismo que ha sido 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Viviana Karina Asmal Iturralde

Cédula: 1721201554

Fecha: Junio de 2016

1. *ÍNDICE GENERAL*

1. <i>ÍNDICE GENERAL</i>	2
2. <i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	3
1. Introducción.....	3
2. Metodología	3
2.1 Instalaciones para realizar el estudio	4
2.2 Características de la planta Fotovoltaica - FV	4
2.3 Características del equipo de medición	5
2.4 Campañas de medición	5
2.5 Análisis	6
3. Resultados y discusión	6
3.1 Armónicos de voltaje.....	6
3.2 Armónicos de corriente.....	7
3.3 Estimación de la distorsión de corriente	7
4. Conclusiones	8
Referencias	9
5.2 <i>Estado del Arte</i>	11

2. *ÍNDICE DE FIGURAS*

Figura 1. Circuito de fuerza del laboratorio de investigación y proyectos.....	4
Figura 2. Diagrama unifilar de alimentación del laboratorio de investigación y proyectos.	4
Figura 3. Esquema eléctrico de la planta fotovoltaica.....	4
Figura 4. Conexión del analizador de calidad de energía [15].	5
Figura 5. Punto de conexión para analizador de calidad de energía, campaña 1.	5
Figura 6. Punto de conexión para analizador de calidad de energía, campaña 2.	6
Figura 7. Efectos de la mini generación solar distribuida en la media aritmética de la amplitud de armónicos de voltaje.	6
Figura 8. Efectos de la mini generación solar distribuida en el percentil 95 de la amplitud de armónicos de voltaje.	6
Figura 9. Efectos de la mini generación solar distribuida en la media aritmética de la amplitud de armónicos de corriente.	7
Figura 10. Efectos de la mini generación solar distribuida en el percentil 95 de la amplitud de armónicos de corriente.	7
Figura 11. Relación de la THD de voltaje y corriente para diferentes cargas [21].	8
Figura 12. Comparación de THDi FV real y estimado.	9

ANÁLISIS DEL EFECTO DE INYECCIÓN DE ARMÓNICOS GENERADOS EN SISTEMAS DE MINI GENERACIÓN SOLAR DISTRIBUIDA

Viviana Karina Asmal Iturralde¹, Juan Carlos Herrera Heredia²

Resumen

El siguiente trabajo tiene como objetivo cuantificar el impacto de la operación de mini generación solar distribuida sobre la calidad de energía eléctrica de la instalación de la que forman parte. Para el efecto se analiza una red eléctrica que contiene una pequeña central fotovoltaica que forma parte de las fuentes de suministro de electricidad. Se realizan dos campañas de medición en un laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, sede La Kennedy, Quito – Ecuador: inicialmente se miden los parámetros asociados a la calidad del servicio del laboratorio conectado a la red pública y posteriormente se realizan las mismas mediciones pero con el laboratorio siendo alimentado también por una mini central fotovoltaica actuando en sincronismo con la red eléctrica. El estudio contempla el análisis de la distorsión de la forma de onda de la tensión y de la corriente por medio de la medición de armónicos. Se ha analizado las magnitudes de distorsión en los armónicos de corriente y voltaje al incluir la generación solar distribuida. Finalmente, se desarrolla un modelo matemático simplificado para predecir el impacto de la generación fotovoltaica actuando como generación distribuida sobre la red eléctrica.

Abstract

The objective of this paper is to quantify the distributed solar mini-generation impact on the electric energy quality. For this purpose, an electric grid which is part of the electric supply sources and includes a small photovoltaic system has been analyzed. Two measurement gatherings were done in the laboratory of the “Universidad Politécnica Salesiana”, headquarters La Kennedy, Quito-Ecuador. Initially, the parameters related to the quality service of the laboratory, which is connected to the public network, are measured. Afterwards, identical measurements were done, but in this case the laboratory was supplied by both the electric grid and a mini-photovoltaic system that are synchronized. This study contemplates the wave distortion of both voltage and current by measuring its harmonics. Additionally, the distortion magnitude of voltage and current harmonics were evaluated by including distributed solar generation. Finally, a simplified mathematical model has been developed to predict the photovoltaic generation impact on the electric grid when it acts as distributed generation.

¹ Estudiante de Ingeniería Eléctrica - Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito. Correo: vasmal@est.ups.edu.ec.

² Master en Energías Renovables – Universidad Politécnica del Ejercito, Master en Gerencia Empresarial, Ingeniero Eléctrico – Escuela Politécnica Nacional, Docente - UPS - sede Quito. Correo: jherrerah@ups.edu.ec

Palabras Clave: Armónicos, calidad de energía, distorsión armónica total, generación distribuida, generación solar fotovoltaica.

Keywords: Harmonics, power quality, total harmonic distortion, distributed generation, solar generation.

1. Introducción

Un sistema eléctrico tiene como objetivo suministrar energía a los consumidores conectados a la red en cualquier instante, con la capacidad de potencia adecuada y con parámetros de calidad [1], [2]. Debido a factores tales como la necesidad de abastecer la creciente demanda de electricidad, las políticas de reducción de pérdidas, la necesidad de respetar las condiciones de confiabilidad y calidad en el suministro, entre otros, ha nacido la tendencia hacia la generación distribuida [3].

Aunque no existe una definición unánime de la generación distribuida, se la puede conceptualizar como cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona energía en lugares cercanos al consumidor [4]. Entre las tecnologías de generación distribuida se puede mencionar: mini centrales hidráulicas, eólica, solar, biomasa, etc.

Esta investigación se enfoca al estudio de mini centrales de generación fotovoltaica conectadas a instalaciones de bajo voltaje. La tecnología fotovoltaica para la producción de electricidad se basa en aprovechar la radiación solar por medio de células fotovoltaicas y convertirla directamente a energía eléctrica [5].

El servicio eléctrico, como cualquier otro producto, debe cumplir ciertos estándares de calidad que aseguren la conformidad del cliente. Estos niveles de calidad se encuentran normados por organizaciones internacionales, los cuales son acogidos y reformulados por cada país o región [6].

Existen dos organizaciones reconocidas en la formulación de estándares de calidad de energía eléctrica que son: el "Institute of Electrical and Electronics Engineers" - IEEE [7] y la "International

Electrotechnical Commission" - IEC [8]. En el Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, es la encargada de emitir regulaciones de calidad de energía para el sector eléctrico [9]. La regulación ARCONEL 004-15 establece los requerimientos técnicos para la conexión y operación de generadores no convencionales a las redes de transmisión y distribución, incluida la calidad de energía eléctrica [10].

La norma IEC 61000-4-30 define los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad del suministro para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables [11]. Además define la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos. La finalidad es eliminar las conjeturas a la hora de seleccionar con precisión un instrumento para el análisis de la calidad eléctrica.

Los aspectos más importantes abordados en el estudio de la calidad de energía eléctrica son: i) frecuencia de la tensión, ii) magnitud del voltaje, iii) parpadeo de voltaje (flicker), iv) armónicos e interarmónicos, v) fluctuaciones, vi) interrupciones y vii) desequilibrios de la tensión [6].

Los armónicos se definen como tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

2. Metodología

El siguiente trabajo es el resultado de un estudio de calidad de energía eléctrica enfocado en el impacto de la mini generación solar distribuida sobre las instalaciones eléctricas de baja tensión. Forman parte del análisis de la calidad de energía eléctrica el tratamiento de los armónicos de voltaje, corriente y la

distorsión armónica total. La metodología para determinar el efecto de la generación solar distribuida se sustenta en la ejecución de campañas de medición de calidad de energía [12] en un laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana - UPS. Una vez terminada la campaña de medición se procesan los resultados obtenidos y se formula un modelo de análisis generalizado.

2.1 Instalaciones para realizar el estudio

En la Universidad Politécnica Salesiana, en la facultad de Ingeniería Eléctrica del campus Kennedy, se dispone de un laboratorio de investigación y proyectos.

Este laboratorio cuenta con dos circuitos de fuerza como se presenta en el esquema de la Figura 1. A cada tomacorriente se conecta una computadora de escritorio (PC) de 500 W nominales cada una, en total se cuenta con 12 PC's.



Figura 1. Circuito de fuerza del laboratorio de investigación y proyectos.

El diagrama unifilar de alimentación del laboratorio se presenta en la Figura. 2, los circuitos C1-L7 y C2-L7 son de fuerza.

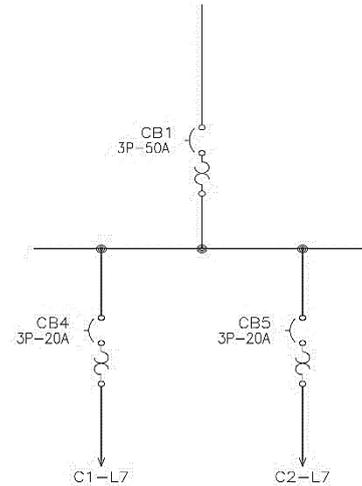


Figura 2. Diagrama unifilar de alimentación del laboratorio de investigación y proyectos.

2.2 Características de la planta Fotovoltaica - FV

En la Figura. 3 se presenta el diagrama unifilar de conexión de la planta FV. La potencia nominal del grupo de paneles FV es de 1900W, con un banco de baterías de 12V, 150 Ah.

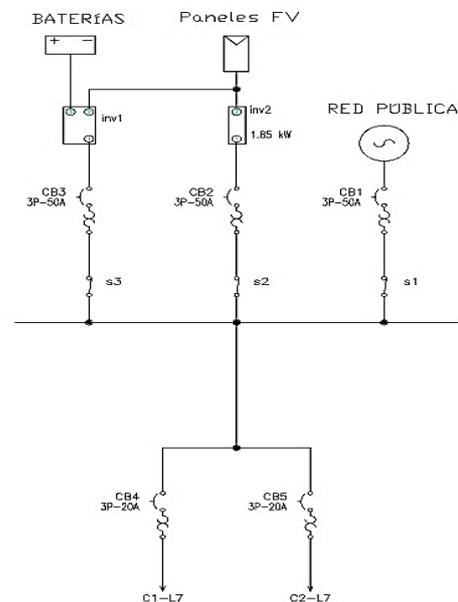


Figura 3. Esquema eléctrico de la planta fotovoltaica.

Los paneles FV, las baterías y la red pública, se conectan a un tablero de distribución el cual gestiona la entrega de energía a la carga. En este caso, la carga es el laboratorio de la UPS.

Los inversores (Inv1 e Inv2) tienen una Distorsión Armónica Total (THD) de voltaje de catálogo de 3% y 4% [13], [14] respectivamente.

2.3 Características del equipo de medición

La medición de la calidad de energía se realiza mediante un analizador de red que opera en cumplimiento a la norma IEC 61000 – 4 – 30. Se emplea un analizador trifásico de calidad de energía marca Fluke, modelo 435, con precisión de tensión de entrada de 0.1%. Las pinzas amperimétricas tienen un rango de medición de 0 a 3000 amperios [15].

El esquema estándar de medición del analizador, para un sistema trifásico, se presenta en la Figura. 4 [15].

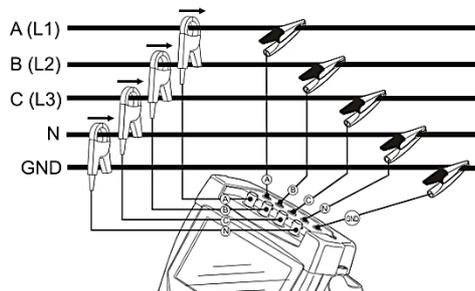


Figura 4. Conexión del analizador de calidad de energía [15].

2.4 Campañas de medición

La metodología utilizada se basa en dos campañas de medición que se detallan a continuación:

i) Se registran datos de armónicos de voltaje y de corriente en el punto de conexión marcado en la Figura. 5. El objetivo de esta configuración es cuantificar los armónicos y la distorsión armónica total cuando el laboratorio se encuentra energizado solamente por la red pública, es

necesario notar que los interruptores s2 y s3 se encuentran abiertos. Esta campaña tuvo una duración de 7 días, acorde con la regulación ARCONEL 004/01 y se aplicó un periodo de muestreo de 1 minuto.

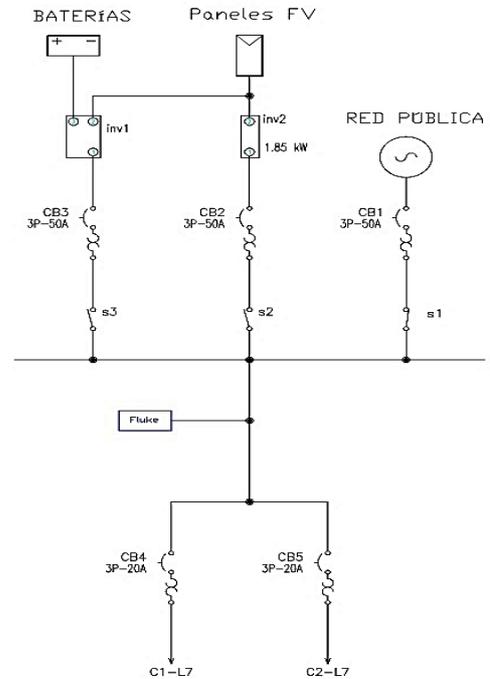


Figura 5. Punto de conexión para analizador de calidad de energía, campaña 1.

ii) Se registran datos de armónicos de voltaje y de corriente conectando el equipo de medición en el punto de conexión señalado en la Figura 6. El objetivo de esta configuración es determinar los armónicos y la distorsión armónica total cuando el laboratorio se encuentra energizado por la planta FV y por la red pública, es necesario notar que los interruptores s1, s2, y s3 se encuentran cerrados. Esta campaña tiene una duración de 7 días, conforme señala la regulación ARCONEL 004/01 y se aplicó un periodo de muestreo de 1 minuto.

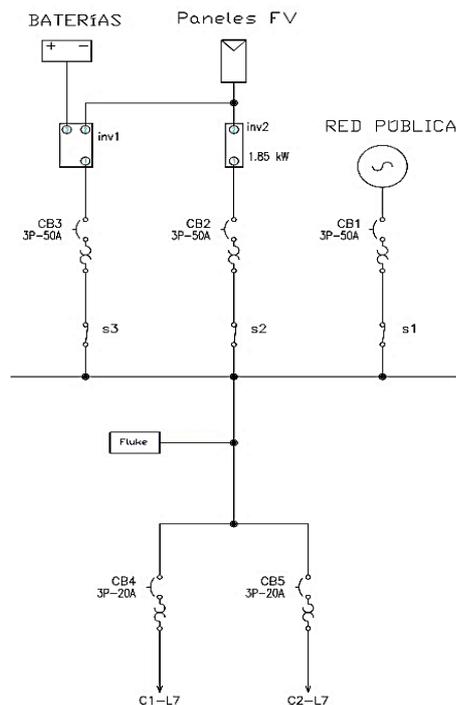


Figura 6. Punto de conexión para analizador de calidad de energía, campaña 2.

2.5 Análisis

Como una estrategia de análisis se adoptó la comparación de los armónicos y la distorsión armónica total del laboratorio cuando se encuentra conectado directamente a la red pública y cuando se incorpora la planta FV [16].

En este análisis se determinan la media aritmética y el percentil 95, para cada orden de armónico de voltaje y de corriente y para la distorsión armónica total [17]. Se calcula el percentil 95 debido a que las normativas generalmente dictan que el 95% del tiempo los armónicos deben estar bajo un límite determinado.

Estos parámetros, posteriormente se comparan con los límites establecidos en las normativas: ARCONEL 004/01 para armónicos de voltaje [18] e IEEE 519 para armónicos de corriente [19].

Se selecciona esta última norma puesto que no existe regulación nacional que regule los armónicos de corriente.

3. Resultados y discusión

3.1 Armónicos de voltaje

En la Figura 7 se presenta la media aritmética de la magnitud de los armónicos de voltaje cuando la carga se encuentra conectada a la red pública y con la planta FV conectada al sistema. Además, se observa con línea de color rojo los límites establecidos por la regulación ARCONEL 004/01. En la Figura 8 se presenta el percentil 95 de los armónicos de voltaje. Se detallan solamente los armónicos de orden impar debido a que los restantes pares resultaron de magnitud inferior y muy por debajo de los límites de la norma.

Se observa que la operación de la mini central solar incrementó la distorsión de la onda de voltaje (THDv); sin embargo, no se superan los límites establecidos por la regulación ARCONEL 004/01, a excepción del percentil 95 del armónico de orden 9 (ver Figura. 8).

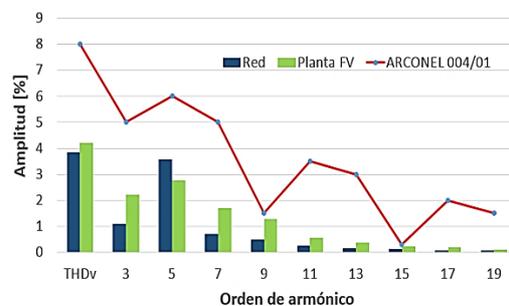


Figura 7. Efectos de la mini generación solar distribuida en la media aritmética de la amplitud de armónicos de voltaje.

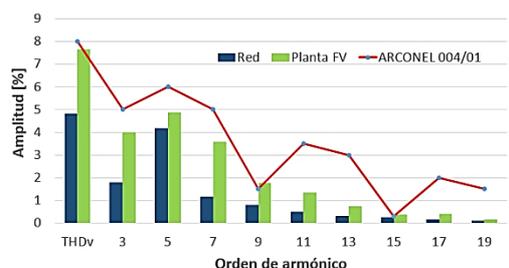


Figura 8. Efectos de la mini generación solar distribuida en el percentil 95 de la amplitud de armónicos de voltaje.

3.2 Armónicos de corriente

En la Figura. 9 se presenta la media aritmética de la magnitud de los armónicos de corriente cuando la carga se encuentra conectada a la red pública y cuando opera la planta FV también conectada al sistema. Además, se observa con línea de color rojo los límites establecidos por la norma IEEE 519. En la Figura. 10 se presenta el percentil 95 de los armónicos de corriente.

Se observa que la operación de la mini central solar incrementa la distorsión de la onda de corriente (THDi) considerablemente; además, se destaca que los armónicos de orden 3, 5 y la THDi exceden en todos los casos la norma IEEE 519 (ver Figura. 9 y 10). Esto se debe a que las cargas conectadas en el laboratorio son en su mayoría PC's y que su fuente de poder es conmutada, distorsión que se incrementa con la conexión de la mini central fotovoltaica.

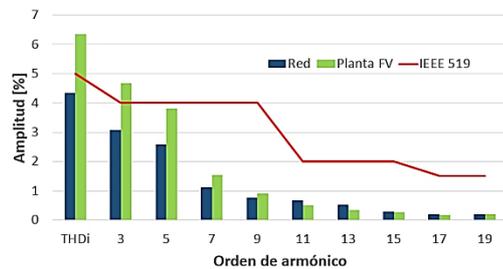


Figura 9. Efectos de la mini generación solar distribuida en la media aritmética de la amplitud de armónicos de corriente.

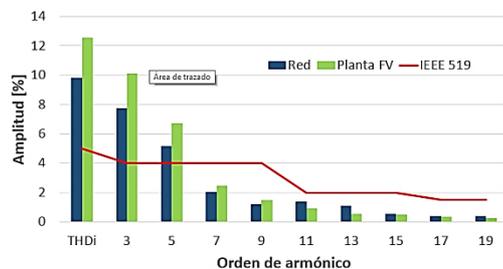


Figura 10. Efectos de la mini generación solar distribuida en el percentil 95 de la amplitud de armónicos de corriente.

3.3 Estimación de la distorsión de corriente

El propósito del siguiente análisis es estimar el incremento en la distorsión de corriente cuando la planta FV está entregando energía eléctrica al sistema.

Se conoce que al conectar dos cargas o dos generadores a una barra los armónicos pueden sumarse o atenuarse [21].

Como se aprecia en la sección 3.1 y 3.2, en los armónicos de voltaje, la THDv se incrementa en un valor que se ha calculado para esta situación específica en 0.3% y 2.81% absoluto, para la media y el percentil 95 respectivamente. Si se considera que los armónicos tienen una característica aditiva y que se puede aplicar un factor de ajuste que relacione el THD de la instalación con la suma de los aportes individuales de cada fuente de armónicos, se puede establecer la siguiente relación (1).

$$THD_{total} = k (THD_{red} + THD_{inv1} + THD_{inv2}) \quad (1)$$

Donde:

THD_{total} = THD con red pública y planta FV, 4.2 y 7.64% para la media y el percentil 95 respectivamente.

THD_{red} = THD de la red pública, 3.9 y 4.83% para la media y el percentil 95 respectivamente.

THD_{inv1} = THD del inversor 1 de la planta FV, 3% según el catalogo.

THD_{inv2} = THD del inversor 2 de la planta FV, 4% según el catalogo.

Con estos valores se calcula el factor de ajuste k_{medio} es 0.385 y $k_{percentil95}$ es 0.646.

Con los valores de “k” se puede predecir la THDv de voltaje en una barra al incluir una planta FV.

Ahora, para calcular el THD de corriente al incluir la planta FV es necesario tener una relación entre la THDv de voltaje y la THDi de corriente. Esta relación se encuentra detallada en la Figura. 11 y se obtiene de [21]. En el cual se relaciona el voltaje con la corriente para diferentes cargas. En esta investigación se trabaja con la carga de computadoras de escritorio.

Los datos presentados en la Figura. 11 para la computadora de escritorio se la puede predecir por la ecuación (2), la cual es el resultado de una regresión lineal.

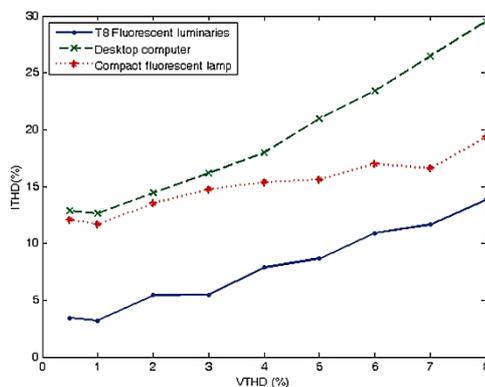


Figura 11. Relación de la THD de voltaje y corriente para diferentes cargas [21].

$$THDi = 2.4452 * THDv + 9.2714 \quad (2)$$

En la Tabla 1 se muestra el THDv de voltaje para el laboratorio conectado a la red y a la planta FV, THDv red y THDv FV, respectivamente. Estos datos son obtenidos de la Figura. 7 y Figura. 9. La THD de corriente para el laboratorio conectado a la red y a la planta FV, THDi red y THDi FV, se calcula mediante la ecuación (2). Finalmente se presenta el porcentaje de crecimiento de la THDi FV con respecto a la THDi red. Estos datos son importantes para predecir la THDi de la planta FV.

Tabla 1: Porcentaje de crecimiento estimado de la THDi.

	Media	Percentil 95
THDv red	3.90	4.83
THDv red + FV	4.20	7.64
THDi red (2)	18.81	21.08
THDi red + FV (2)	19.54	27.95
% de crecimiento	3.90%	32.59%

El THDi red se obtuvo de mediciones cuyos valores se representaron la Figura. 8. El THDi red medio y percentil 95 es 4.4 y 9.85 respectivamente.

El THDi FV estimado con el porcentaje de crecimiento mostrado en la Tabla 1, es 4.57 para la media y 13.06 para el percentil 95.

4. Conclusiones

La inclusión de mini centrales solares en la generación distribuida ocasiona incremento de la distorsión armónica tanto en la onda de voltaje como en la de corriente. El porcentaje de crecimiento en la THD por la inclusión de esta tecnología es relativamente alta, esto se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen del efecto de la mini generación solar distribuida en la THD.

	Voltaje		Corriente	
	Media	Percentil 95	Media	Percentil 95
Red	3.9	4.83	4.4	9.85
Planta FV	4.2	7.64	6.4	12.55
% incremento	8%	58%	45%	27%

La distorsión de voltaje se puede atribuir a la THDv que inyectan los inversores de la planta FV. Teniendo esta referencia, el incremento de la THDi de corriente se debe a que las cargas están energizadas

por un voltaje más distorsionado y las cargas son no lineales.

En cuanto a la distorsión armónica de voltaje, los resultados indican que la inclusión de la mini generación solar distribuida no genera una distorsión importante en la forma onda y tampoco viola los límites establecidos en la regulación ARCONEL 004/01.

Por otro lado, en cuanto a la distorsión armónica de corriente, los resultados indican que para este tipo de cargas (PC's) se exceden los límites establecidos en la normativa IEEE 519, situación que se agrava con la instalación de la generación solar fotovoltaica. Los armónicos de mayor magnitud que contribuyen aportan la instalación de la normativa IEEE 519 son los de orden 3 y 5. Una solución a este problema específico, puntualmente para una carga con alta distorsión de corriente como lo son las computadoras, es la incorporación de filtros activos o pasivos localizados "in situ".

La THDi de una instalación que contiene al generador fotovoltaico se puede estimar de acuerdo a la metodología descrita en la sección 3.3. En la Figura 12 se muestra la comparación de la THDi FV real y THDi FV estimada. Se entiende por THDi FV real a la THDi medida con el analizador de red.

Como se puede apreciar, la estimación para el percentil 95 es relativamente aceptable con un error de 3.9%, para la media aritmética el error es 28%.

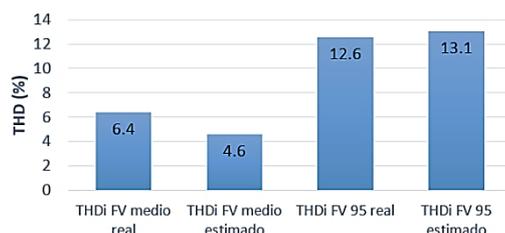


Figura 12. Comparación de THDi FV real y estimado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana y a la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

Referencias

- [1] W. Theodore, *Maquinas Electricas Y Sistemas De Potencia*. México etc.: Pearson Universidad, 2007.
- [2] J. Grainger and W. J. Stevenson, "Análisis de Sistemas de Potencia," *Cenace, Uanl*. p. 743, 1996.
- [3] Schneider, "Energy University." [Online]. Available: <http://www.schneideruniversite s.com/energy-university/>. [Accessed: 11-Apr-2016].
- [4] L. Tecnalia, "Guía Básica de la Generación Distribuida," *Fund. la Energía la Comunidad Madrid*, 2007.
- [5] A. Riofrio, "Modelización de una micro red fotovoltaica aplicada a equipos de cocción por inducción para el reemplazo de GLP," 2015.
- [6] J. R. Constante, "Modeling , Limits and Baseline of Voltage Interharmonics Generation in Andean Wind Farms," *IEEE Lat. Am. Trans.*, 2016.
- [7] "IEEE - The world's largest professional association for the advancement of technology." [Online]. Available: <https://www.ieee.org/index.html> . [Accessed: 15-Mar-2016].
- [8] "IEC - International Electrotechnical Commission." [Online]. Available: <http://www.iec.ch/>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [9] "Agencia de Regulación y Control de Electricidad |

- ARCONEL.” [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/>. [Accessed: 15-Mar-2016].
- [10] ARCONEL, “ARCONEL 004-15.” .
- [11] IEC, “IEC 61000-4-30,” 2009.
- [12] AENOR, “EN 50160, Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.” 2011.
- [13] S. Island, “Sunny Island 4548-US / 6048-US The efficient off-grid manager.”
- [14] SMA, “Sunny Boy 6000TL-US / 7000TL-US / 8000TL-US / 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US,” 2011.
- [15] FLUKE, “Fluke 434 / 435, Puesta en Funcionamiento,” no. April. 2006.
- [16] A. D. P. MONTALUISA, “EVALUACION DE LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED DE BAJO VOLTAJE,” 2015.
- [17] E. Kreyszig, *Advanced Engineering Mathematics*, 10 edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.
- [18] ARCONEL, “ARCONEL 004/01.” 2001.
- [19] IEEE, *IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. 1992.
- [20] J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, and D. A. C. Agüero, “Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales,” vol. 3, no. 5, 2005.
- [21] M. O. K. Y. Kit, T. S. E. C. F. Norman, and W. H. Lau, “A

Study on the Effects of Voltage Distortion on Current Harmonics Generated By Modern Smmps Driven Home Appliances in Smart Grid Network.”

5.2 Estado del Arte

ANÁLISIS DEL EFECTO DE INYECCIÓN DE ARMÓNICOS GENERADOS EN SISTEMAS DE MINI GENERACIÓN SOLAR DISTRIBUIDA																																					
ITEM	DATOS			TEMÁTICA							FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA														
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Calidad de energía	Armónicos	Interarmónicos	Modelamiento	Generación distribuida	Generación solar	Energía renovable	Sistemas eléctricos	Medición de calidad de energía	Estimación	Modelación	Predicción	Análisis de sistemas eléctricos	Minimización de costos	Medición	Sincronización	Maxima eficiencia	Error	Calidad de energía	Costos	Tiempo	Regresión estadística	Análisis de distribución	Métodos numéricos	Diseño eléctrico	Estandarización y normativa	Electrónica de potencia	Estimacion	Modelamiento	Diseño eléctrico	Estandarización y normativa	Electrónica de potencia	Medición	
1	2016	Modeling , Limits and Baseline of Voltage Interharmonics Generation in Andean Wind Farms	\cite{J. R. Constante 2016}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1996	Análisis de Sistemas de Potencia	\cite{Stevenson, W Jr. 1996}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
3	2009	IEC 61000-4-30	\cite{IEC 61000-4-30 2009}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
4	2016	Sunny Island 4548-US / 6048-US The efficient off-grid manager	\cite{Sunny Island 4548-US / 6048-US 2016}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

