

Comportamiento armónico del conductor neutro para determinación de variables que lo afectan en alimentación monofásica

HERNÁNDEZ-CORONA, José Luis*† y ALBORES-VELASCO, Francisco Javier

*Universidad Tecnológica de Tlaxcala
Universidad Autónoma de Tlaxcala*

Recibido 7 de Enero, 2017; Aceptado 15 de Marzo, 2017

Resumen

Manipulación De Motor Shunt, Monitoreo De El desarrollo de esta investigación se fundamenta en la obtención de las variables por afectaciones provocadas por armónicos en el conductor neutro para un sistema monofásico, siendo de gran utilidad para comprender el comportamiento de los armónicos de corriente en el ciclo de vida de un conductor, así como la pérdida de energía resultante y la sensibilidad que esta tiene bajo condiciones de carga. Las investigaciones desarrolladas para determinar el envejecimiento ocurrido en conductores van creciendo, debido al interés que se genera con el nuevo desarrollo de elementos que provocan las distorsiones. La distorsión armónica estudiada en su forma de ruido eléctrico, temperatura y amplitud armónica nos permite determinar los límites de operación al que están sujetos los conductores y que afectan el funcionamiento. Las cargas no lineales conectadas a las líneas de alimentación, como: focos ahorradores, focos compactos o LED y PC's, cambia la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente y tensión de alimentación, esto produce un flujo de corrientes armónicas que son introducidas al sistema de distribución lo que causa interferencia con circuitos de comunicación y con otros equipos principalmente electrónicos, esta interferencia también se puede producir en grado menor o mayor en instalaciones residencias.

Harmónica, disturbios, espectros, estándares

Citación: HERNÁNDEZ-CORONA, José Luis y ALBORES-VELASCO, Francisco Javier. Comportamiento armónico del conductor neutro para determinación de variables que lo afectan en alimentación monofásica. Revista de Ingeniería Tecnológica 2017. 1-1:39-47

Abstract

The development of this research is based on the obtaining of the variables by affections caused by harmonics in the neutral conductor for a single-phase system, Being of great utility to understand the behavior of current harmonics in the life cycle of a conductor, as well the resulting energy loss and the sensitivity it has under load conditions. The developed research to determine the aging occurred in conductors they grow, due to the interest generated with the new development of elements that cause distortions. The harmonic distortion studied in its form of electric noise, temperature and harmonic amplitude allows us to determine the operating limits to which the conductors are subject and that affect the operation. Non-linear loads connected to feed lines, such as: saving lamps compact or LED and PC's change the nature of the sine wave of the current and supply voltage, this produces a flow of harmonic currents that are introduced the distribution system which causes interference with communication circuits and other mainly electronic equipment, this interference may also produce on minor or greater grade in residential installations.

Harmonics, aging, disturbances, spectrum, standards

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: coronaluis@uttlaxcala.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El desarrollo de esta investigación se fundamenta en la obtención de las variables eléctricas y térmicas que afectan la vida útil de los conductores, provocada por distorsiones de onda de cargas no lineales, siendo de gran utilidad para comprender el comportamiento de los armónicos de tensión y corriente en el ciclo de vida de un conductor y la sensibilidad que este tiene bajo condiciones de carga, para los elementos estudiados.

En la actualidad, ya no es suficiente con conocer el valor eficaz de la señal analizada, sino es necesario otros criterios que caractericen la señal distorsionada, con el fin de evaluar la contaminación y proponer nuevas alternativas para limitar estas perturbaciones. (Castañeda et al 2013)

La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico, que afecta el funcionamiento de equipos eléctricos, electrónicos. Los armónicos son la sobreposición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la corriente, tensión y la frecuencia sobre la onda sinusoidal de la misma, conocida como fundamental. (Vlahinic, 2009)

Durante mucho tiempo la falta de planeación en el crecimiento de las redes eléctricas ha generado diversos problemas, siendo el más importante la estabilidad. Cuando la demanda aumenta en los centros de consumo, los problemas de estabilidad son más frecuentes, debido a que no aumenta la capacidad de generación y transmisión en la misma proporción, siendo esta una razón para que los sistemas eléctricos operen cada vez más cerca de sus límites de fabricación. (Spears, 2014)

Existen diversos inconvenientes para los equipos conectados que provengan armónicos, dando lugar a un tipo de tensión y corriente distorsionada en su forma de onda. Estas ondas cuyas frecuencias son los múltiplos enteros y múltiplos no enteros en el caso de sub-armónicos de la corriente fundamental.

La presencia de armónicos resulta en un aumento de pérdidas energía por calentamiento, la reducción de la vida útil e interferencias con las protecciones, control y circuitos de conmutación. (Yongle, 2013)

En los sistemas electrónicos, las tensiones armónicas pueden perturbar a los dispositivos de regulación, provocando una mala operación, inclusive un daño parcial o total, así como un aumento de temperatura. (Ian, 2016)

Las formas de onda distorsionadas de voltaje o corriente periódicas pueden ser representadas por la suma de una serie de términos de múltiplos de la frecuencia con diferentes magnitudes y fases, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$f(t) = a_0 + \sum [a_n \cos(nwt + \varphi_n)] \quad (1)$$

Para: $n = 1, 2, 3, \dots$, a_0 = magnitud de la frecuencia armónica de n th, w = frecuencia fundamental, φ_n = ángulo de fase de la frecuencia armónica, t = intervalo de tiempo del ciclo.

Siendo la distorsión armónico individual (HD) y la distorsión armónica total (THD), definidas por:

$$HD_n = \frac{a_n}{a_1} \quad (2)$$

$$THD = \sqrt{\frac{\sum a_n^2}{a_1^2}} \quad (3)$$

Para: $n = 2, 3, 4, \dots$, $a_n =$ magnitud de la frecuencia armónica, $a_1 =$ magnitud de la frecuencia fundamental.

Los límites de las corrientes y voltajes armónicos son analizados en el punto de acoplamiento en común, dónde los índices armónicos de los componentes de la frecuencia fundamental (PCC), se presentan en forma máxima. Este es el punto dónde otros clientes comparten la misma red o donde pueden conectarse nuevos clientes. La norma asigna límites de inyección, basados en el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia. Se muestran en la tabla 1 los voltajes y tabla 2 las corrientes especificadas por la norma ANSI/IEEE-519. (Mofty & Youssef, 2001)

Voltaje nominal en el PCC, V_n (KV)	Voltaje de distorsión armónica individual (%)	Voltaje de distorsión total THD (V_n)
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 \leq V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n \geq 69$	1.0	1.5

Tabla 1 Límites de distorsión de voltaje en % de la frecuencia

Fuente norma ANSI/IEEE-519

Orden de la armónica (n)	Intensidad armónica máxima (A)
Armónicas impares	
3	2.30
5	0.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15/n$
Armónicas pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30

Tabla 2 Límites de distorsión de corriente

Fuente norma IEC 555-2

El fenómeno de los armónicos no se había tomado en cuenta hasta hace unos cuantos años, pues los efectos en las instalaciones eran mínimos, generalmente se les daba poca importancia. (Rios, 2003)

En la actualidad las políticas están encaminadas a fomentar el uso de lámparas de mayor eficiencia, lo que ha provocado una demanda mundial en la última década.

Estas medidas implican que a mediano plazo la iluminación residencial será provista principalmente por lámparas compactas fluorescentes y lámparas led, las cuales proveen el mismo flujo lumínico con menor potencia activa, alrededor de una quinta parte. Esta ventaja se contrapone con el nivel de corrientes armónicas que estas lámparas inyectan a la red, de modo que una alta concentración puede ocasionar una deformación de onda de tensión o corriente, más allá de los límites impuestos por las normas. (Singh, 2009)

Los armónicos en el neutro son conocidos como, armónicos de secuencia cero, denominados también como armónicos triples o triplens, son múltiplos de tres: H3, H6, H9,... tienen la peculiaridad de sumarse en el neutro, por lo que en ciertos casos pueden ocasionar situaciones de riesgo para los seres humanos, pues su presencia en el neutro ofrece la posibilidad de una descarga. (Danton et al, 2013), (Suárez, 2010)

La suma de las corrientes de secuencia cero en el hilo del neutro o en redes con muchas cargas monofásicas no lineales (como computadoras personales) puede ser, inclusive, mayor que la corriente que conduzca la fase. Lo que trae como consecuencia una elevación de la temperatura del neutro, considerándose como un factor de riesgo. (Alves et al, 2014)

Metodología

Adquisición de variables armónicas

La metodología aplicada para la detección, adquisición y análisis de la distorsión armónica del suministro de energía eléctrica de tensión y corriente, se fundamenta en la aplica de tecnología de adquisición de señales espectrales de National Instruments NI cRIO-9023 y sus módulos NI 9225 para medición de V_{rms} , NI 9227 para medición de corrientes I_{rms} y equipos de análisis de calidad de la energía con capacidad de medición de 0 a 100 armónicos, con su respectivo software para llevar a cabo el tratamiento de las señales obtenidas.

Se estudia la calidad y la eficiencia energética, así como los fenómenos que provocan la energía de distorsión que generan los componentes: lámparas ahorradoras, lámparas led y computadoras de escritorio.

Estos equipos cambian la naturaleza de la onda sinusoidal, lo que produce un flujo armónico que se introduce al sistema de distribución de energía por el neutro y una parte regresa por la línea. (Kampouri, 2008)

En las tablas 3, 4 y 5 se muestran los valores promedio (RMS), el valor cresta (PK), el valor total presente (HM), la cantidad de distorsión armónica como un porcentaje de la forma de onda a la frecuencia fundamental (% THD-F) y la cantidad de distorsión armónica como un porcentaje del valor rms de las formas de onda a todas las frecuencias, "incluyendo la fundamental" (% THD-R), el valor cresta al valor rms de la forma de onda (CF), y el cálculo para clasificar la forma de onda de corriente de carga que clasifica la capacidad de la forma de onda de producir pérdidas por calor relacionadas a las armónicas en transformadores de las fuentes de alimentación de los componentes en estudio.

Variables eléctricas	Lámparas ahorradoras	Lámparas Led	PC
V RMS	126.7	126.7	126.7
V PK	171.1	177.5	188.5
%THD-R	5	5.1	4.9
VHM	6.3	6.3	6.1
CF	1.41	1.41	1.4
%THD-F	4.9	5	4.9

Tabla 3 Variables de tensión

Variables eléctricas	Lámparas ahorradoras	Lámparas Led	PC
A RMS	3.88	3.93	3.66
HM	0.82	0.81	0.77
KF	4.4	4.2	4.3
%THD-F	21.7	22.3	21.4
APK	5.82	5.85	3.67
%THD-R	21.2	21.1	21.9
CF	1.52	1.52	1.5

Tabla 4 Variables de corriente

Variables eléctricas	Lámparas ahorradoras	Lámparas Led	PC
KW	0.082	0.97	0.46
KVA	0.48	0.48	0.46
DPF	0.07	0.05	0.04
KVAR	0.46	0.48	0.45

Tabla 5 Variables de potencias

Comportamiento térmico de conductores de alimentación

La obtención del comportamiento térmico con aplicación de cámara termográfica con resolución térmica de 1.2 MP, para mayor precisión, con esto obtenemos las pérdida de energía por calor, la frecuencia de la tercera, novena, y veintiunava y armónicas, se presentan como múltiplos eléctricos de la fundamental, teniendo secuencia cero. Esto significa el aumento en el valor pico de la corriente al desplazarse por el neutro y elevando la corriente de retorno, como se observa en las figuras 1 y 2, donde se muestra los valores en grados centígrados (°C).

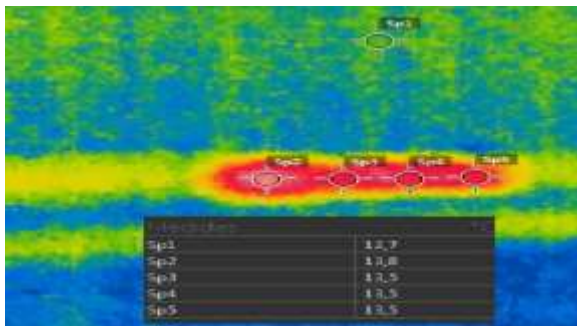


Figura 1 Imagen térmica de la línea en °C

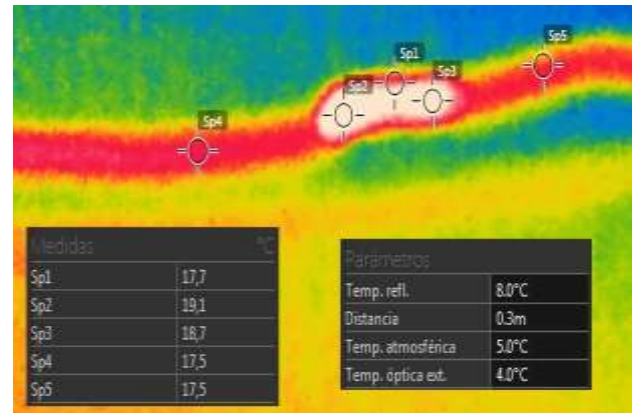


Figura 2 Imagen térmica del neutro EN °C

En la figura 3 se muestra el comportamiento térmico de los conductores de alimentación para una carga lineal, definida por SP1 para la línea y SP2 y SP3 para el neutro, en la tabla de la figura se representan los valores de la temperatura en °C, la temperatura se muestra estable para ambos conductores.

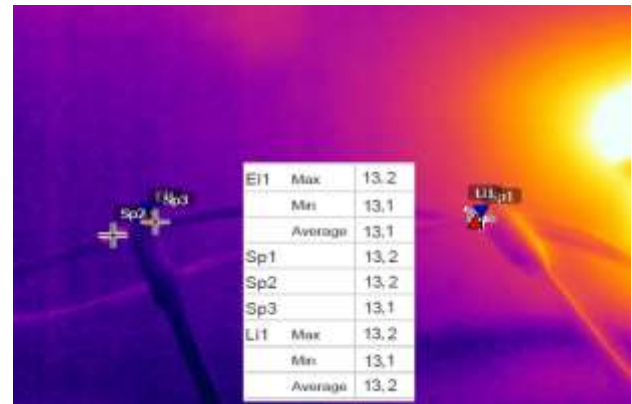


Figura 3 Comportamiento térmico EN °C

Espectro armónico

Las mediciones de los componentes estudiados se representan en forma gráfica en la figura 4, este espectro obtenido para armónicos de corriente con % de THD-F o distorsión armónica total, como porcentaje de la fundamental, nos muestra la calidad de la energía provocada por los componentes no lineal y los armónicos que generan, lo que pudiera provocar la reducción de la eficiencia energética, disminución de la fiabilidad, desequilibrios de fase ó mediciones energéticas erróneas. Por otro lado, el gráfico de la figura 5, representa los resultados de una carga lineal. Se observa el tipo de contaminación de las cargas no lineales con las lineales.

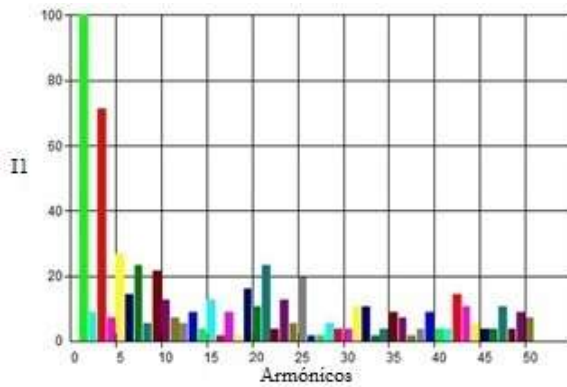


Figura 4 Comportamiento armónico de cargas no lineales estudiadas

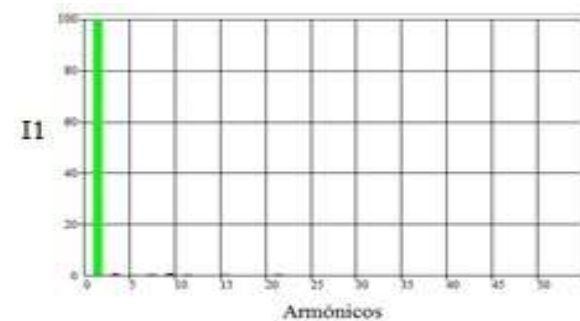


Figura 5 Comportamiento armónico de una carga lineal

Cálculo del valor K

La norma UNE 25-460-90 especifica, que para las instalaciones eléctricas como edificios, la elección e instalación de los materiales eléctricos en la puesta a tierra, con los conductores de protección tienen que ser los adecuados.

Al desarrollar la evaluación de las constantes eléctricas obtenidas, se calcula el factor K, para determinar la capacidad que tiene el transformador para manejar corrientes no sinusoidales (IEEE, 1998), de tal manera que aplicando la ecuación (4), obtenemos el factor k.

$$k = \sum_{h=1}^{\infty} I_h p u^2 h^2 \tag{4}$$

Donde:

I_h es la corriente RMS para la armónica de orden h (en por unidad)

h es la correspondiente al orden de la componente armónica.

Los principales efectos que provocan las corrientes no sinusoidales así como sus continuas componentes armónicas para transformadores de alimentación, son: pérdidas por corrientes por efecto Joule, pérdidas por corrientes de Eddy, las cuales aumentan proporcionalmente con el cuadro de las corrientes de carga y el cuadrado de la frecuencia, por pérdidas parásitas, por efecto de corrientes armónicas en el núcleo, lo que da origen a una elevación de la temperatura. (Astorga et al, 2016)

Resultados

El resultado obtenido en el cálculo del factor k , para transformadores de alimentación de las lámparas y pc, es:

k	4.3
-----	-----

Lo que demuestra que es superior al valor de 1.5 que es la clasificación de la forma de onda de la corriente de carga establecido por la NEMA.

Para la medición de la temperatura, se observa un aumento en el conductor neutro para los puntos más calientes. Las mediciones obtenidas van desde los 12.7 a 13.8° C, para los puntos tomados en la línea y en el conductor neutro va de 17.5° a 19.1°C, como se observa en la figura 6, lo que significa que existe una diferencia de temperatura ocasionada por las corrientes armónicas del 72%.

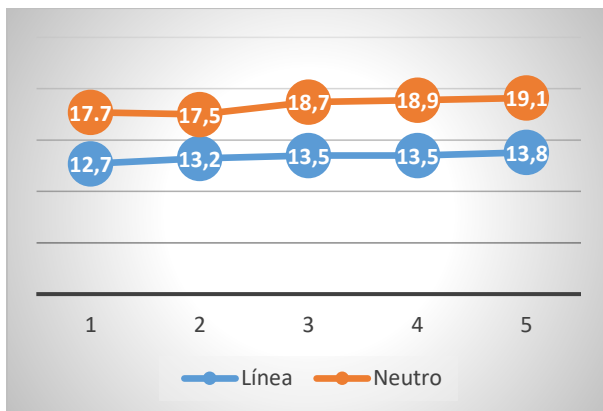


Figura 6 Comportamiento de la temperatura (°C)

VARIABLES ARMÓNICAS OBTENIDAS

De los elementos del sistema estudiado se obtuvieron los siguientes valores de armónicos mostrados en la tabla 6, para la corriente de consumo, lo ideal sería que no existieran armónicos en las cargas.

Elemento	H1	H3	H5	H7
Lámpara ahorradora	3.8	0.6	0.2	0.1
Lámpara compacta	4.0	0.6	0.2	0.1
Lámpara led	3.9	0.7	0.2	0.1
PC	3.6	0.4	0.1	0.1

Tabla 6 Valores armónicos

Elemento	H9	H11	H15
Lámpara ahorradora	0.5	0.1	0.3
Lámpara compacta	0.5	0.1	0.3
Lámpara led	0.5	0.1	0.3
PC	0.4	0.1	0.2

Tabla 6 Valores armónicos

Para determinar cuáles son los niveles aceptables en un sistema eléctrico monofásico, se aplica la norma IEEE-519. En donde se establecen los límites de distorsión armónica permisible en tensión y corriente.

La norma establece una distorsión individual de tensión de 3% y para la corriente de 4%, tomada a partir del punto de acoplamiento común, siendo este punto el tablero general de distribución. De los resultados obtenidos comparados con la norma los armónicos de corriente están en 1% por arriba de lo establecido.

Conclusiones

Se presenta un elevado factor k , lo que ocasionaría cuando se produce un cortocircuito que la intensidad de corriente que circula por los conductores eléctricos sería muy elevada, poniendo en peligro los sistemas de protección a tierra. La elección adecuada de los materiales y sus secciones son indispensables, tanto para evitar daños estructurales en las instalaciones eléctricas como para proteger correctamente a los usuarios.

El conocer la problemática actual que presentan las nuevas tecnologías de iluminación e informática, que aunque ayudan a minimizar el consumo de energía eléctrica por un lado, por otro existe un aumento en la generación de armónicos, tanto los que se encuentran en el neutro, como los que se presentan en la línea, por lo que con estos resultados nos permiten mejorar y actualizar los métodos de mitigación.

Trabajos futuros

Con los resultados obtenidos se pretende evaluar el impacto de los armónicos de las cargas. Estimar la vida útil de los conductores y el comportamiento térmico.

Estudios de análisis de armónicos son necesarios para analizar los niveles de armónicos de corriente y voltaje, al comprobar si estos niveles cumplen con el contrato o con los límites estándares internacionales. (Sancho et al, 2013), (Lingquan, 2012)

Referencias

Alves, L. M. A. & Coury, D. V. & Santiago, C. A. & Heloiz, N. V. (2014). A Method Based on Independent Component Analysis for Adaptive Decomposition of Multiple Power Quality Disturbances. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*.

Astorga, G. J. M. & Aróstica, C. R. A. & Iriarte, S. Y. A. (2016). Estimación del factor K en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal. Colombia: *Revista Tecnura*.

Castañeda, O. & Castañeda, W. (2013). Análisis de Calidad de Energía cerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CNEL-Milagro.

Danton, D. F. & Nagataa, E. A. & Ferreira, S. C. & Seixas, J. M. & Duqued, C. A. & Guedes, J. D. (2015). Method based on independent component analysis for harmonic extraction from power system signals. *Electric Power Systems Research, ELSEVIER*

Ian, W. (2016). Harmonic Distortion in data centers. *TCI Technical paper*.

Kampouri, Z. D. & Gouramanis, K. (2008). Natural canceling of current harmonics in office loads and its effect upon the transmission capacity of distribution cables. *Actas del IEEE International Symposium on Industrial Electronics*.

Mofty, A. E. & Youssef, K. (2001). Industrial power quality problems electricity distribution. 16th. *International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482)*.

Rios, C. A. & A. M. & Escobar, A. (2003). Modelamiento de Sistemas Eléctricos en Presencia de Armónicos. *SCIENTIA ET TECHNICA*

Sancho, J. & Pastor, J. J. & Martinez, J. & García, M. A. (2013). Evaluation of Harmonic Variability in Electrical Power Systems through Statistical Control of Quality and Functional Data Analysis. *ScienceDirect, The Manufacturing Engineering Society International Conference*

Singh, G. K. (2009). Power system Harmonics research: a survey. *Electrical Energy Systems*.

Spears, P. M. E. (2014). Mitigating data center harmonics. *Thought Leaders hip White*.

Suárez, J. A., & di Mauro, G. F., & Agüero, C. (2010). Parámetros que afectan la corriente del neutro en presencia de armónicos. *Información Tecnológica*.

Vlahinic, S. & Brnobic, D. & Dubravko, V. (2009). Measurement and analysis of harmonic distortion in power distribution systems. ScienceDirect, Electric Power Systems Research

Yongle, A. I. & Zhang, H. (2013). Harmonic Separation Based on Independent Component Analysis Method. JOURNAL OF COMPUTERS.

Lingquan, Z & Li, X. (2012). Research on Harmonic Suppression in Power System Based on Improved Adaptive Filter. SciVerse ScienceDirect