

## **Análisis de Envejecimiento en Conductores de Alimentación de Energía Provocado por Armónicos, con Aplicaciones de la Inteligencia Artificial**

### **[ Analysis of Aging Energy Supply Leads Caused by Harmonics with Applications of Artificial Intelligence ]**

**José Luis Hernández Corona<sup>1</sup>, Leticia Flores-Pulido<sup>2</sup>, José Francisco Javier Albores Velásco<sup>2</sup>, and Alberto Portilla Flores<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología, Departamento de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Apizaco, Tlaxcala, México  
Huamantla, Tlaxcala, México

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Apizaco, Tlaxcala, México

---

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In this work, applications for the evaluation of power supply systems using artificial intelligence are presented. Wave distortion problems are presented when disturbance in the power quality exists. In some cases, the result is a temporal detention in the industrial processes, equipments and conductors aging, not forgetting to include the loss of wasted energy which also has costs to the user. The purpose of the application of artificial intelligence and computer vision is to use this tools for a better understanding and analysis of images or the features of an image, so as the signal acquisition and processing to determine the variables involved in the conductor's aging through finite element computer modeling, registration of different images of the same scene or object for comparative studies or mathematical calculations applications of the Fourier transform, product of wave distortions produced by electronic components, to make mathematical modeling, it is necessary to obtain or acquire signals. This will allow us to evaluate energy systems reliably as a new field of research in electric power systems. Due to the complexity of the causes and problems associated with harmonics, there have been proposed a lot of mathematical models to better understand this issue and for which have yet to establish definitive models.

**KEYWORDS:** acquisition, artificial, intelligence, distortion, modeling.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los sistemas eléctricos actualmente tienen una gran cantidad de elementos llamados no lineales, los cuales generan a partir de formas de onda sinusoidal o denominada fundamental con frecuencia de la red de suministro "60hz", se generan otras ondas de diferentes frecuencias ocasionando el fenómeno conocido como armónicos. Estas distorsiones de onda son variadas. La presencia de estas da como resultado una detención temporal de los procesos industriales, envejecimiento de equipos, componentes y conductores, no olvidando incluir la pérdida de energía no aprovechada pero con costo al usuario. En este trabajo se presentan aplicaciones de como evaluar los sistemas de alimentación de energía con el uso de aplicaciones de Inteligencia Artificial. El propósito de la aplicación de la inteligencia artificial o visión por computadora, es apoyarnos para un mejor entendimiento y análisis de imágenes o determinar sus características, así como la adquisición de señales de "temperatura, corriente, tensión, frecuencia, potencia" y su procesamiento para determinar variables que intervienen en el

envejecimiento de conductores, a través de modelados computacionales con aplicación de Matlab, el registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, para estudios comparativos y obtención de variables, las cuales nos permiten realizar cálculos matemáticos con aplicación de la transformada de Fourier, modelando el producto de distorsiones de onda producidas por componentes electrónicos, para estudio de este fenómeno. La visión por computadora nos permitirá evaluar de forma estructural, comparativa e identificar desgaste superficial, obteniendo además variables de frontera, presentes en los sistemas eléctricos.

La inteligencia artificial, la comparación óptica, la adquisición de señales son herramientas que permiten evaluar las afectaciones que las tecnologías electrónicas actuales y nuevas provocan. Con la determinación de las variables estudiamos los fenómenos de envejecimiento y la pérdida de energía. Para posteriormente proponer aplicaciones con modelos difusos y redes neuronales, para la determinación de los niveles de envejecimiento y la detección oportuna de ondas diferentes a la fundamental para aplicación de filtros activos de corriente y voltaje, lo que se reflejaría en un ahorro de energía, la eliminación de operaciones erráticas de equipo computarizado, sobrecalentamiento de componentes y conductores, así como fallas prematuras de equipos e interrupciones de los mismos. Esto nos permitirá evaluar sistemas de consumo de energía en forma fiable, como un nuevo campo de investigación en los sistemas de energía eléctrica. Debido a la complejidad de las causas y problemas asociados con los armónicos, se han planteado una gran cantidad de modelos matemáticos para entender mejor esta problemática y para la cual no se han establecido todavía modelos definitivos.

## **2 MÉTODOS DE MODELADO**

En las últimas décadas, debido en gran parte al desarrollo del microprocesador, han aparecido innovadoras técnicas de modelado de sistemas complejos. Usando técnicas de modelado computacional como la simulación basada en agentes y la dinámica de sistemas tenemos el potencial de construir modelos que combinan la riqueza descriptiva de los modelos verbales con el rigor formal de los modelos matemáticos más abstractos [1].

Las diferentes formas para tratamiento de imágenes, y adquisición de señales nos permiten desarrollar nuevos métodos para detección y evaluación del envejecimiento en conductores, tal como la Inteligencia Artificial, la Comparación Óptica, El Modelado Matemático, esto resultado del estudio de las nuevas afectaciones provocadas por el consumo de sistemas con componentes electrónicos tanto en los hogares como en la industria. Estas diferentes tipos de fallas y sus formas características de las señales que generan, así como los métodos de diagnóstico, son obtenidas a través del monitoreo en línea, estando los equipos conectados a la red y en funcionamiento, como resultado, se puede evaluar las condiciones de operación normal. Una desventaja es que las técnicas de supervisión en línea a menudo requieren la instalación de equipos adicionales que tienen que ser instalados en cada máquina. Comparado con las pruebas fuera de línea es más difícil o incluso imposible de detectar algunas fallas en los procesos [7]-[10].

Sin embargo, muchos métodos sin sensores y no invasivos han sido recientemente desarrollados utilizando las formas de las señales eléctricas, por ejemplo, corriente y tensión, de modo que el algoritmo de monitoreo puede residir en el control de la máquina o así como de los grupos de máquinas.

### **2.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

La visión por computadora está comenzando a ser más práctica y exitosa. Existen nuevas aplicaciones de detección y reconocimiento. La visión por computadora ha comenzado a superar a los seres humanos en ciertas tareas del mundo real con algunas restricciones, tales como la inspección de una placa electrónica de circuitos y su reconocimiento en condiciones controladas. También ha avanzado mucho en áreas de aplicación tradicionales como la robótica y el análisis de imágenes médicas. Por otra parte, las nuevas áreas de aplicación tales como la cirugía estética, la realidad aumentada, y la visión para los ciegos, donde existen oportunidades de crecimiento para la visión por ordenador que proporcione alcance a las áreas no tradicionales, tales como la astronomía, la nanotecnología, nuevas técnicas de imágenes cerebrales, los análisis científicos, y muchos más. La tecnología que se basa en la visión por ordenador, internet, y cámaras sigue mejorando en calidad y su costo sigue disminuyendo. El mantenimiento, reparación y revisión de los dispositivos electrónicos son retos importantes para las empresas en la industria de la aviación, el ferrocarril el transporte o la fabricación en planta [2].

### **2.2 COMPARACIÓN ÓPTICA**

La descripción de los retos del estado de la técnica al revertir los procesos de ingeniería en el análisis de imágenes, con aplicaciones térmicas. La investigación se acerca con el objetivo de superar los defectos y explotar la automatización

potencial a través de análisis y procesamiento óptico. Se presentan conjuntos de datos 3D con la digitalización de imágenes computarizadas. La figura 1 muestra la digitalización en el uso de tecnologías de escaneo y combinación de diferentes principios [3].

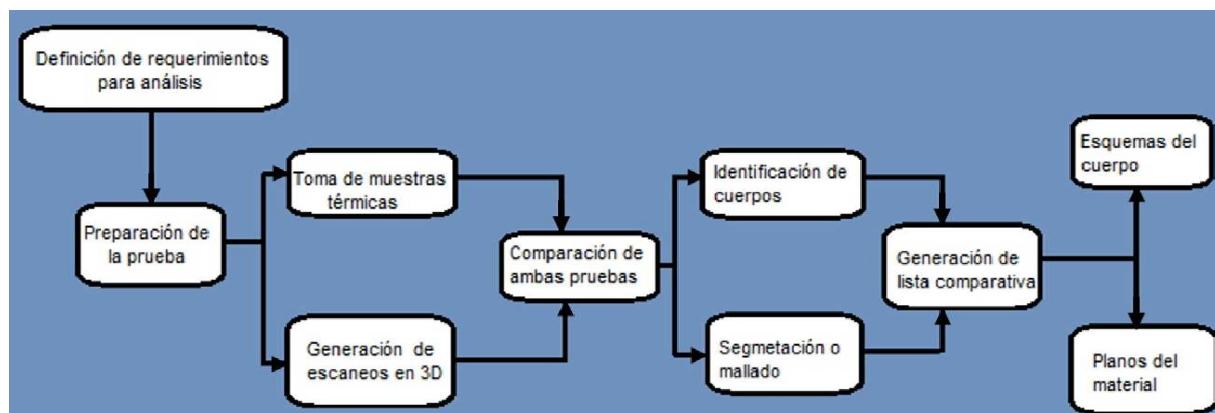


Fig. 1. Proceso de análisis de imágenes

Durante el siglo pasado, científicos de materiales han hecho grandes progresos en la adquisición, el análisis y la comparación microestructural de imágenes. Cuando el catálogo de posibles características microestructurales es conocido o fácilmente enumeran de forma digital las técnicas de análisis de imagen, pueden tomar ventaja, bien definidas sus características por segmento, se caracteriza y se compara las microestructuras con alta precisión. Cuando el conjunto de características o rasgos particulares de interés no se conocen a priori o cuando las microestructuras difieren significativamente en formas desconocidas, estos métodos se vuelven intratables, y pueden fallar por completo. Por ejemplo, la segmentación de imágenes es el proceso de asignar cada pixel de una etiqueta que designa la función microestructural a la que pertenece (ejemplo, el grano o la pertenencia de fase). Debido a esto, la elección de un esquema de segmentación óptima es altamente dependiente que antes, siendo analizado el conocimiento del material del sistema, y para muchos sistemas de materiales no se conoce ningún esquema de segmentación adecuado.

Un ejemplo de la aplicación de la visión por computadora es la mostrada en la figura 2, donde se represente una imagen termica segmentada, para estudiar el comportamiento de calor por zonas.

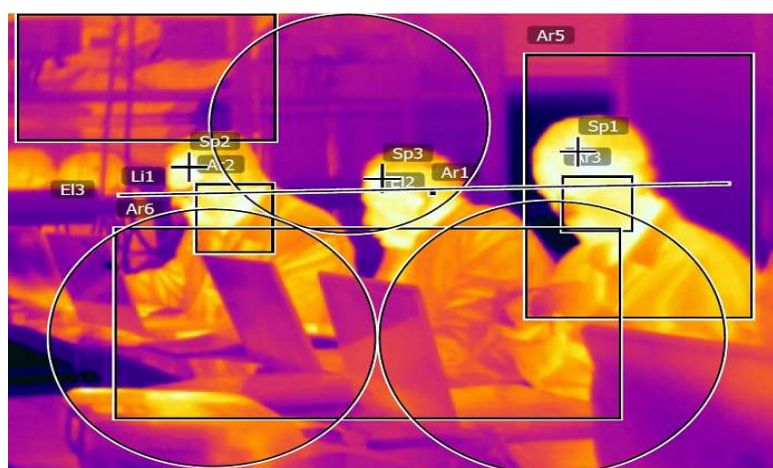


Fig. 2. Representación segmentada de una imagen para determinar los valores de temperatura

### 2.3 METODOS MATEMÁTICOS DE ARMÓNICOS

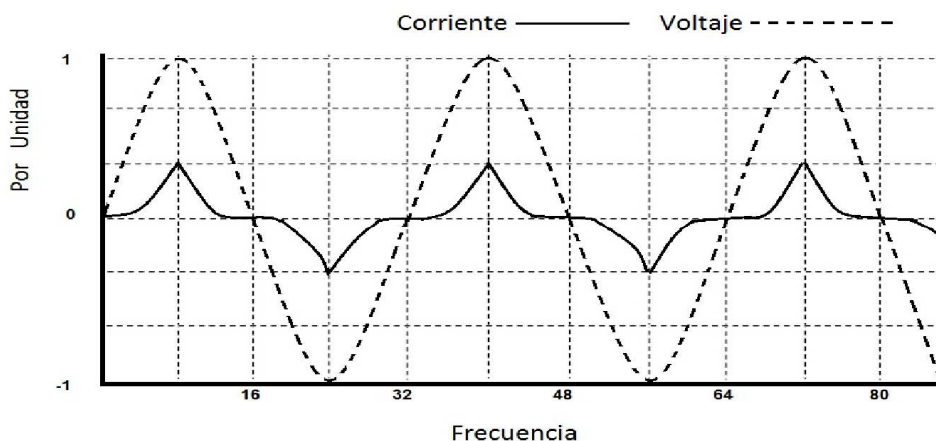
La simulación en Matlab/ Simulink se emplea para modelar la manera en cómo se presentan los armónicos generados por cargas no lineales en forma matemática y a su vez se realiza la comparación con métodos de control actual. Las afectaciones se han convertido en una gran preocupación por los efectos adversos que provoca en todos los equipos, en su mayoría condensadores, transformadores y motores, causando pérdidas adicionales, sobrecarga, mal funcionamiento y sobrecalentamiento e interferencias. Los métodos de filtrado activo o pasivo se utilizan para compensar la no lineal armónica de estas cargas, inyectando igual pero de forma opuesta corriente armónica de compensación que da una onda sinusoidal pura [4].

Muchas teorías se han desarrollado para el modelado y la detección de armónicos de corriente instantánea, tal como FFT (transformada rápida de Fourier), las redes neuronales, la teoría de la potencia reactiva instantánea, el uso analógico de filtros electrónicos digitales para separar componentes armónicos sucesivos, la PLL (programación con lógica lingüística) con controlador de lógica difusa, etc. El desarrollo de adquisición de señales producidas por equipos electrónicos nos permitirá simular matemáticamente el tamaño de las ondas.

### 3 DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS

En las últimas décadas se han desarrollado nuevas técnicas de detección de fallas que permiten obtener diagnósticos más precisos. Las más aplicadas son las que involucran análisis de vibración, análisis espectral de corrientes y tensiones, análisis de dispersión del flujo axial, y las más recientes que combinan modelos de simulación del comportamiento de las fallas con lógica difusa y la aplicación de redes neuronales artificiales (ANN) para identificar fallas. Exceptuando el análisis de vibración, no se ha generalizado la aplicación de estas técnicas de diagnóstico en la determinación del envejecimiento en conductores y la pérdida de energía a nivel industrial, encontrándose muchas de ellas en fase experimental, sin embargo, es de sumo interés profundizar en su estudio ya que teóricamente aventajan a los métodos convencionales en la facilidad de aplicación y en su sensibilidad para la detección de fallas. El monitoreo de los equipos electrónicos puede reducir significativamente los costos de mantenimiento y el riesgo de fallas inesperadas al permitir la detección temprana de desperfectos de consecuencias potencialmente catastróficas [5].

La detección y localización de fallas nos permite aprovechar las nuevas tecnologías computacionales disponibles y desarrollar nuevos métodos para su detección, un ejemplo, es la localización de fallas de alta impedancia (HIF) en sistemas de distribución de potencia (PDS). Con la intención de reducir los problemas causados por la ocurrencia HIF se caracterizaron estas. Entre las diversas características observadas, se podrían citar: la medida del desequilibrio entre fases, la diferencia de ángulo entre los números complejos que representa el componente fundamental de la tensión y de la tercera armónica de la corriente [6]. La necesidad de reformulación total de los sistemas de protección de distribución y con la intención de reducir los problemas causados por el HIF, se presenta un nuevo método para detectar y localizar fallas de alta impedancia en sistemas de distribución. El método mencionado anteriormente se basa en la aplicación de redes neurales artificiales (ANN), para un mejor monitoreo y detección, aplicando las ANN a la determinación de las HIF. Las HIF son un caso especial de los fallos que se pueden producir en sistemas de potencia. La existencia de arcos eléctricos ocurre y genera una característica no lineal, como se puede ver en la figura 3.



**Fig. 3. Representación de la corriente-voltaje**

El método de ANN se puede implementar para la detección de armónicos en sistemas de alimentación monofásicos y contribuir a la determinación del envejecimiento en conductores, así mismo la aplicación de elementos de adquisición de señales, que van desde un multímetro hasta un sistema complejo para cálculo de calidad de la energía.

### 3.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS TÉRMICO

El desarrollo de investigación para la determinación de envejecimiento en conductores por armónicos y sus afectaciones en redes de suministros, pérdida de energía se expresa en diversas investigaciones, apoyadas por teorías que fundamentan la metodología. El concepto para el proceso de destrucción y reconstrucción automatizado sin errores de circuitos electrónicos, con aplicación de métodos de visión por computadora con escaneos en 3D para determinar imágenes térmicas. Inicia al tomar una imagen con relieves, para identificar los parámetros de comparación como la geometría, estructura de la superficie y tamaño. Finalmente una detección de errores y soluciones de una lista de errores fueron creados de forma redundante por subprocesos eléctricos y ópticos. La toma de imágenes térmicas es una tecnología aplicable a la determinación de puntos críticos a través del estudio comparativo para definir el envejecimiento.

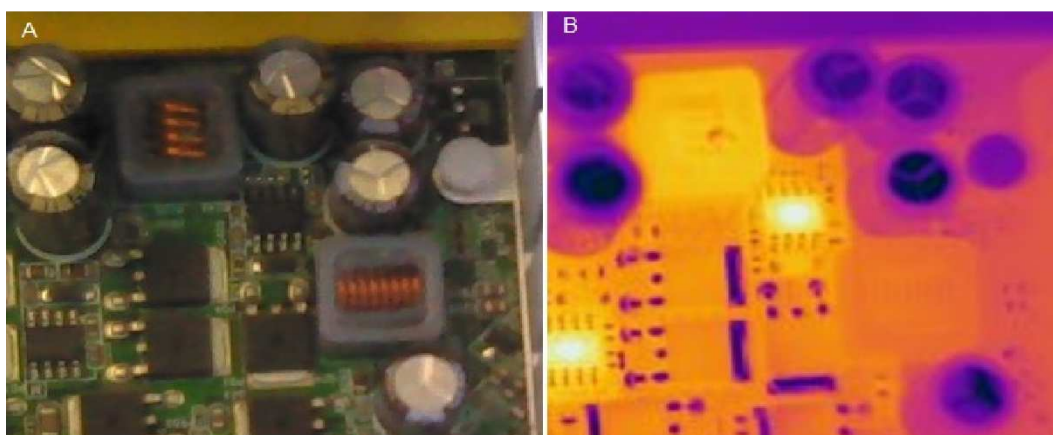


Fig. 4. A. Componentes electrónicos. B. Escaneo térmico.

### 3.2 DETERMINACIÓN DE HUELLAS ESTRUCTURALES

La construcción de huellas micro estructurales permiten observar los cambios superficiales que tienen los materiales por acción provocada por envejecimiento, de alguna de las variables que aplican para su funcionamiento, como la temperatura o los armónicos de tensión, corriente o frecuencia. La representación visual de características de una imagen como un histograma con medidas normalizadas, la frecuencia de cada parte de la imagen. Cada punto tiene características clave con un significado visual. Por lo que un histograma de la imagen es una huella digital de la microestructura que la generó, para la comparación de la imagen del histograma se utiliza la distancia X2, que es una medida para cuantificar la diferencia entre dos histogramas que funcionan para realizar una aplicación de reconocimiento de imágenes con textura. Para dos histogramas de m-cubos  $X = (x_1, \dots, x_m)$  y  $Y = (y_1, \dots, y_m)$ , la distancia X2 es: Representación de la corriente-voltaje

$$D(X, Y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{(x_i - y_i)^2}{x_i + y_i}$$

### 3.3 NIVELES ARMÓNICOS

La inyección de armónicos, en carga de energía reactiva, provoca un desbalance y una corriente excesiva en el neutro, esto trasciende también afectando el voltaje distribuido en diferentes niveles, para la detección de estos niveles armónicos se aplican diversas teorías, tal como la transformada rápida de Fourier FFT o la teoría p-q. La teoría de la energía reactiva instantánea en circuitos trifásicos, en esta teoría, las tres fases instantáneas de corriente y voltaje son transformadas en las coordenadas  $\alpha$  y  $\beta$ , para las coordenadas a-b-c, conocida como transformación Clarke, es mostrada en las siguientes ecuaciones respectivamente [6].

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

La energía real instantánea está definida por:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

Donde el poder instantáneo:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

Aplicando las variables de transformación a, b, c de la energía instantánea, para para voltaje y corriente, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

Donde A es la matriz transformación, es igual a:

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \pi r^2$$

## 4 IMPLEMENTACIÓN

### 4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema para determinación de envejecimiento en conductores de alimentación, nos permite obtener las variables que provocan los equipos electrónicos y sus efectos. La determinación de estas señales se realiza por diversos métodos, como son: tarjetas de adquisición, imágenes térmicas, equipos de vibraciones, equipos para medición de calidad de la energía, además del tratamiento de las variables por métodos de lógica difusa para la obtención de los parámetros de envejecimiento, y la aplicación de redes neuronales para identificar las ondas armónicas.

La calidad de las ondas de tensión y corriente, debe tener una amplitud y frecuencias constantes llamadas ondas lineales, como se muestra en la figura 5, representando las formas de onda sinusoidal sin contenidos armónicos, con una frecuencia constante de 60Hz y una amplitud constante, en la tabla 1, se muestran resultados de la adquisición de señales armónicas de tensión. En la tabla 2, se muestran resultados de la adquisición de señales de corriente, las cuales se utilizaron para modelar el comportamiento armónico y el desarrollo de un análisis estructural.

**Tabla 1. Muestra de armónicos de Tensión**

VARIABLES	RMS	PEAK +	PEAK -	CF	THD-F%	VOLTS
E	127	177.3	177.2	1.40	2.4	126.9
E	127.9	181.2	180.1	1.42	2.5	127.8
E	126.5	174.6	176.3	1.30	2.2	126.4

Tabla 2. Muestra de armónicos de Corriente

VARIABLES	RMS	PEAK +	PEAK -	CF	THD-F%	I (amp)
I	25.9	41.2	41.2	1.59	21.7	24.8
I	30.3	47.9	49.5	1.58	17.5	29.2
I	40.7	70.7	64.3	1.74	19.7	39.6

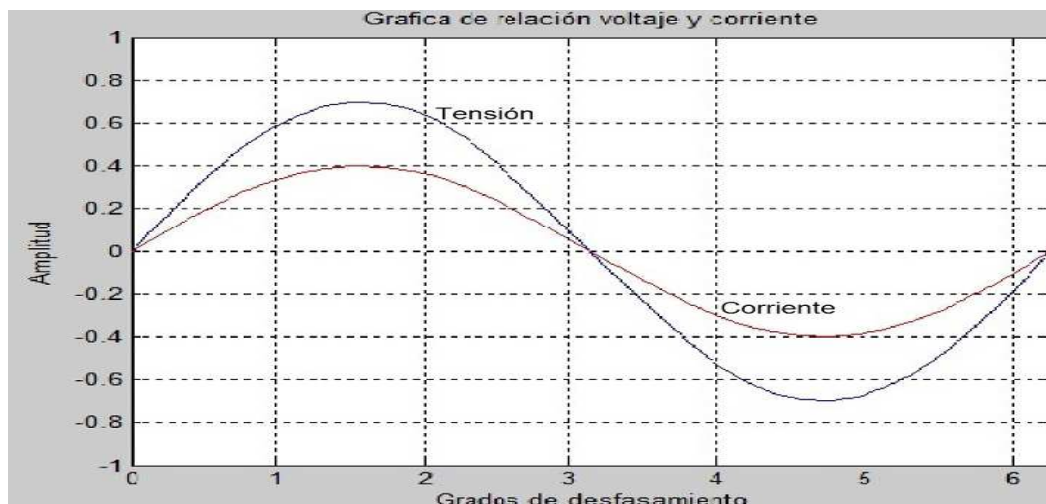


Fig. 5. Ondas lineales de Tensión-Corriente

Si las formas de ondas sinusoidales antes mencionadas presentan una distorsión alterando sus valores pico o RMS, contienen valores armónicos que dependen del múltiplo entero de la fundamental mostrada en la figura 6.

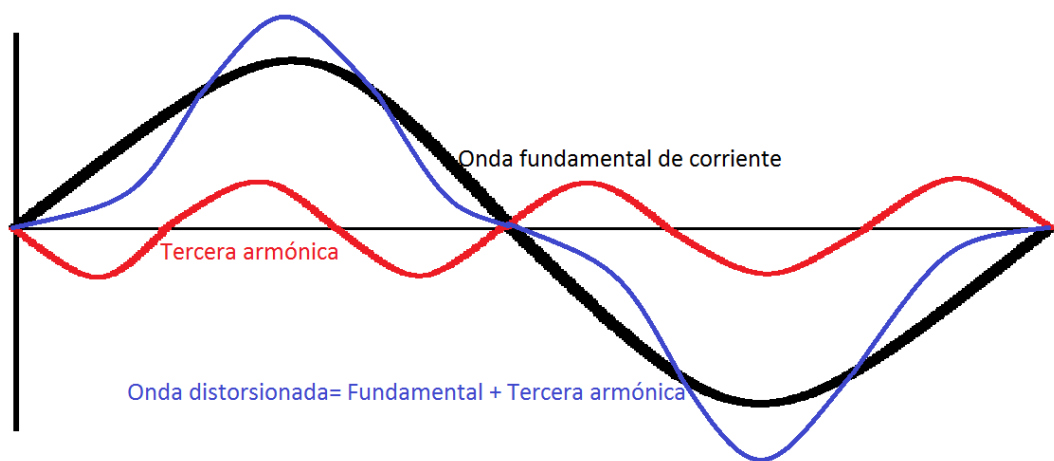


Fig. 6. Ondas distorsionadas de corriente

Los armónicos estudiados son el resultado de cargas no lineales provenientes exclusivamente de lámparas ahorradoras de energía, PC e impresoras, esto incluyendo a los armónicos que regresan por el conductor neutro en cargas monofásicas y todas aquellas cargas no lineales.

#### 4.2 SIMULACIÓN CON APLICACIÓN DE LA FFT

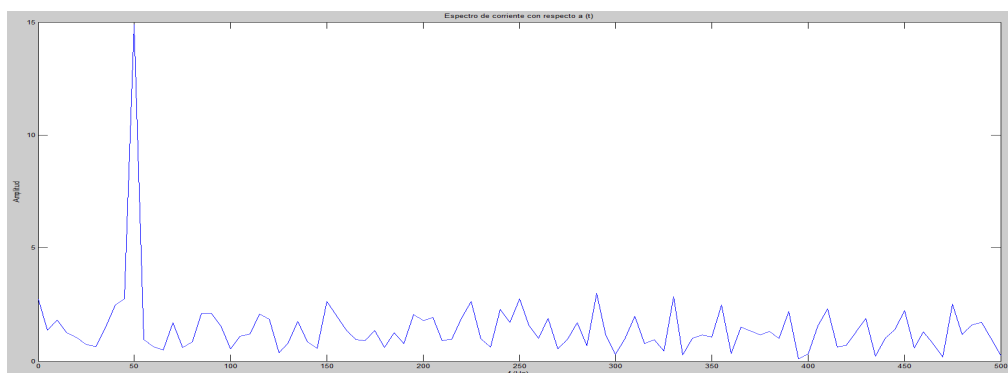
La aplicación del teorema o transformada de Fourier para la determinación de las ondas no sinusoidales, nos permite descomponer esta y obtener la suma de las ondas. En la serie de Fourier la integral a lo largo de un periodo de la función

corresponde a un valor infinito, esta función posee un número finito de discontinuidades y de máximos y mínimos por periodo.

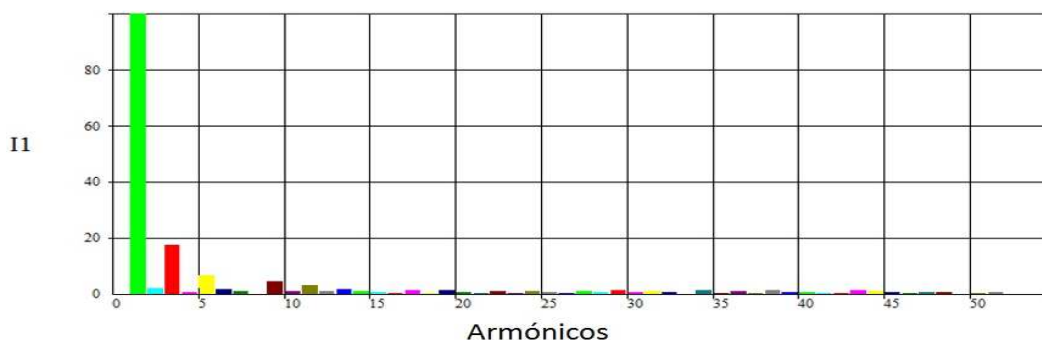
Bajo condiciones ideales, la función periódica de periodo  $T$ , puede ser expresada como una suma trigonométrica de senos y cosenos del mismo periodo  $T$ . El desplazamiento de una onda  $u = u(t, x)$  como una función del tiempo  $t$  y de la posición  $x$ , es función de la ecuación diferencial.

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \frac{d^2u}{dx^2}, \quad t > 0, \quad 0 < x < 1$$

En condiciones iniciales  $u(t, 0) = u(t, 1) = 0$ , para  $t \geq 0$ ,  $\frac{du}{dt}(0, x)$  para  $0 < x < 1$ . Cualquier señal puede representarse por medio de una señal de senos y cosenos, relacionados armónicamente. El propósito del análisis de Fourier es calcular las componentes de frecuencia múltiples de la fundamental de una onda periódica. Esta metodología se estableció cuando el matemático Jean Baptiste Fourier postuló que toda función repetitiva en un intervalo  $t$ , puede ser representada por la suma de una componente senoidal fundamental y una serie de componentes armónicas que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. La serie armónica resultante, denominada serie de Fourier, establece una relación entre la función expresada en el dominio del tiempo y su expresión correspondiente en el dominio de la frecuencia. Se convierte en una función en intervalos de  $-\alpha$  a  $+\alpha$ , bien sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia. La información obtenida, muestra caracterizadas una serie de valores de la amplitud de la función a intervalos fijos de duración, esto con la finalidad de obtener el comportamiento de los armónicos, como se muestra en la figura 7, en la figura 8 se observan las medidas correspondientes a la obtención de los valores armónicos obtenidos para su modelación.



**Fig. 7. Ondas distorsionadas de corriente**



**Fig. 8. Ondas distorsionadas de corriente**

## 5 CONCLUSIONES

El desarrollo y aplicación de diferentes métodos de adquisición de señales para un análisis del comportamiento de cargas lineales y no lineal, además de la obtención de las distintas variables que afectan al funcionamiento o reducen su ciclo de vida, nos permiten determinar cómo afectan en la pérdida de energía. En este trabajo se analizaron los armónicos impares de



corriente principalmente el tercer y quinto armónico, que son producto de los equipos de cómputo, impresoras y lámparas ahorradoras de energía, equipos en estudio y algunos otros, como: las subestaciones eléctricas y todo aquel dispositivo electrónico conectado a la red. El comportamiento de la onda de corriente y sus valores numéricos, nos sirven para el modelado con la FFT, las variables de temperatura y amplitud de onda de corriente del sistema se aplicaran con modelos de lógica difusa para determinar el porcentaje de desgaste del aislamiento, los valores correspondientes a la corriente se aplicara en una red neuronal que permita identificar de forma precisa los armónicos 3er y 5to para su tratamiento con sistemas de filtros pasivos.

## REFERENCIAS

- [1] Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., and Olmo, R., "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas", *Empiria*, vol. 16, 2008, pp. 85-112.
- [2] Grosser H, and Beckmann-Dobrev, B., Computer Vision Analysis of 3D scanned Circuit Boards for functional Testing and Redesign, 2nd International Through-life Engineering Services Conference, 2013, pp. 229-233.
- [3] Brian L. D, Elizabeth A. H., A computer vision approach for automated analysis and classification of microstructural image data, *Computational Materials Science*, 2015, pp. 126-133.
- [4] Arturo Suman Bretas<sup>1</sup>, Luciano Pires<sup>1</sup>, Miguel Moreto<sup>2</sup>, and Rodrigo Hartstein Salim, A BP Neural Network Based Technique for HIF Detection and Location on Distribution Systems, *Computacional Intelligence*, Springer, Volume 4114 of the series Lecture Notes in Computer Science With Distributed Generation, 2006, pp. 608-613.
- [5] Medrano, H. Z. Y., Tello, P. C., Armas, T. M., and Hernández, C. A., "Un estudio sobre la localización, detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas", *Universidad Militar de Nueva Granada, Maquinas Electricas, detección y diagnóstico de fallas*, 112, pp. 37-59.
- [6] Nenceey Jain, Amit Gupta, Comparison between Two Compensation Current Control Methods of Shunt Active Power filter, *International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2*, 2014, pp. 603-605.
- [7] Benbouzid, M.E.H. Bibliography on induction motors faults detection and diagnosis, *IEEE Trans. Energy Convers.*, Vol. 14, No.4, 1999, pp. 1065- 1074.
- [8] Gubric, S., Aller, J.M., et al. A Survey of Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation System in Induction Machines, [http://prof.usb.ve/jaller/PPI\\_papers/CMD2008.pdf](http://prof.usb.ve/jaller/PPI_papers/CMD2008.pdf)
- [9] Stone, G.C., Boulter, E.A., Culbert, I., and Dhirani, H. *Electrical insulation for rotating machines-Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair*, ISBN 0-471-44506-1, 2004, pp. 371.
- [10] Siddique, A. Singh, B., Yadava, G.S., A review of stator fault monitoring techniques of induction motors, *IEEE Trans. Energy Convers.*, Vol. 20, No.1, 2005 pp. 106-114.