



I Armónicos

Introducción

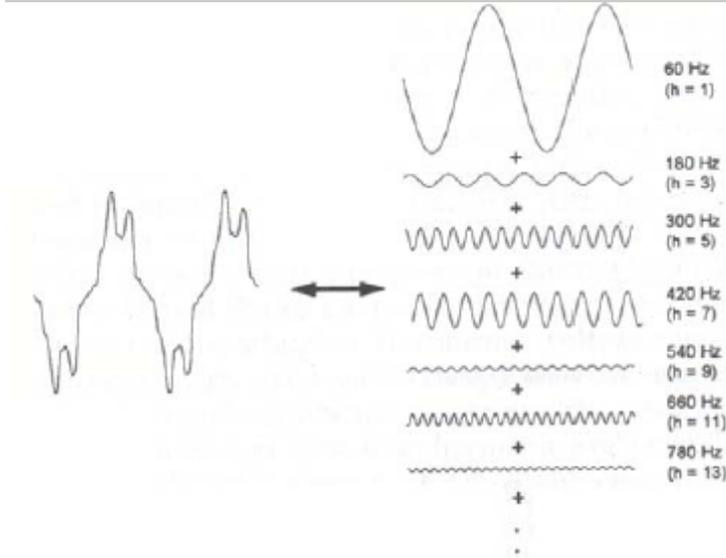
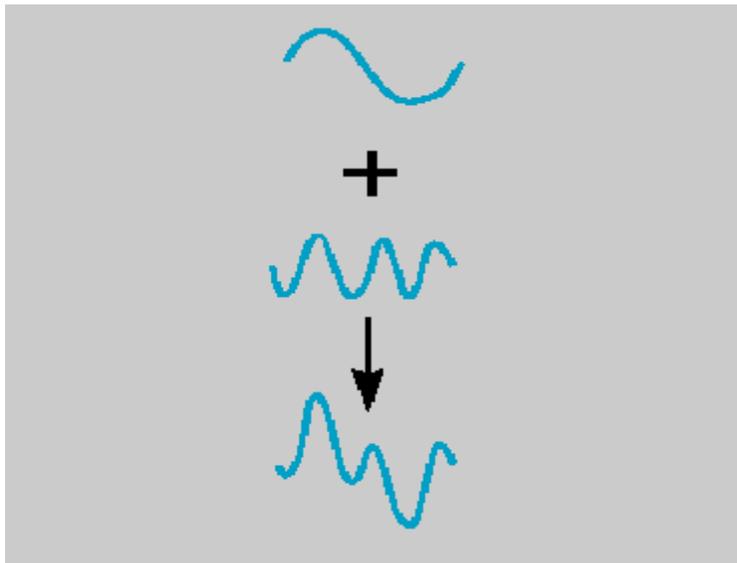
Para el desarrollo de este seminario hemos tomado algunos temas que ha nuestro entender entran en el renglón de los temas principales si de armónicos hablamos, como por ejemplo: en que consiste un armónico, tipos de armónicos, características y teoría de los mismos, y dentro de los mas frecuentes mencionaremos los efectos causados por mismos y las consecuencia que estos traen consigo al momento de producirse.

En otro orden También hablaremos de lo que son los efectos de los armónicos en los sistemas eléctricos, ya que estos entran a jugar un papel primordial en los problemas que se presentan en la red o en un sistema eléctrico, tanto por las distorsiones como los daños que causan los mismos, de este manera ilustraremos como influyen en la curva de tensión y cuales son sus variaciones en la misma, además de esto hablaremos un poco de que hacer para evitar los efectos de los mismos y que hacer para disminuirlos.

1.1 Que Son Los Armónicos

Los armónicos son distorsiones de las ondas senosoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60 ciclos, con una tensión y corriente sinusoidal. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario. La forma de onda existente esta compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental. En la figura se observa la descomposición de una onda distorsionada en una onda sinusoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) más una onda de frecuencia distinta. El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en por ciento de la fundamental.



Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

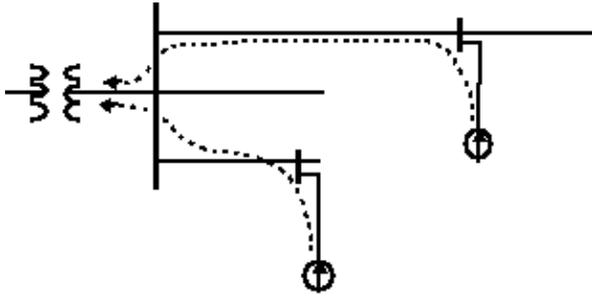
- su amplitud: hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico,
- su orden: hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (60 Hz). Así, un armónico de orden 3 tiene una frecuencia 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 * 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

El orden el armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia del fundamental (60 Hz).

(Por principio, la fundamental f_1 tiene rango 1).

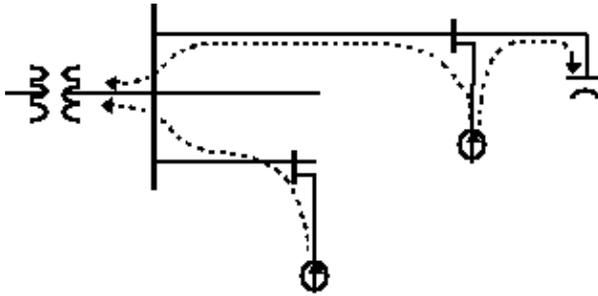
1.2 Trayectoria De Los Armónicos

Toda corriente eléctrica fluye por donde se le presenta menor resistencia a su paso. Por esta razón las corrientes armónicas siguen trayectorias distintas, pues se tiene que las impedancias de los sistemas varían según la frecuencia. Donde se tiene que la reactancia inductiva se incrementa con la frecuencia y la resistencia se incrementa en menor medida, mientras que la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia. Así las armónicas fluyen hacia donde se le presenta menos resistencia a su paso, esto se muestra en la figura 6.5.



Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo

En cambio si al sistema de la figura 6.5. se le incluye un banco de capacitores como se muestra en la figura 6.6., da lugar a unas trayectorias distintas para las armónicas.



Efecto de los capacitores en las trayectorias de las armónicas

La trayectoria que siguen las armónicas también depende del tipo de sistemas, ya sean monofásicos o trifásicos, así como las conexiones de los transformadores que se encuentra a su paso. Las armónicas que se presentan en sistemas balanceados tienen una relación directa con las componentes de secuencias positiva, negativa y cero.

1.3 Teoría De Los Armónicos

Cualquier onda no senoidal puede ser representada como la suma de ondas senoidales (armónicos) teniendo en cuenta que su frecuencia corresponde a un múltiplo de la frecuencia fundamental (en el caso de la red = 50 o 60Hz), según la relación:

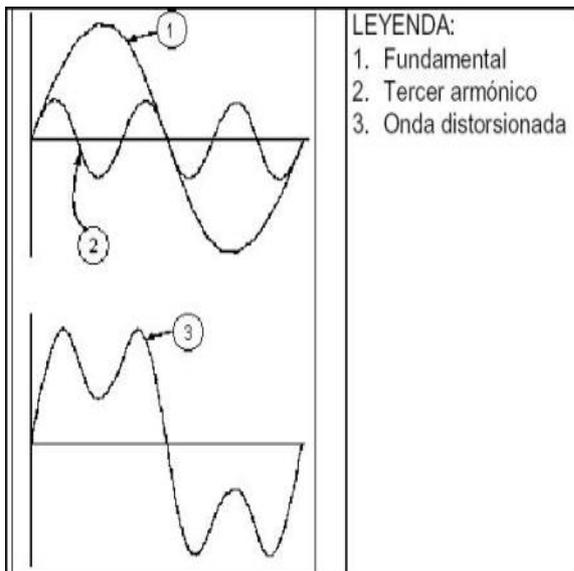
$$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(\omega_k t + \phi_k)$$

donde:

V_0 = Valor medio de $v(t)$ (onda en estudio).

V_1 = Amplitud de la fundamental de $v(t)$.

V_k = Amplitud del armónico de orden k de $v(t)$



1.4 Origen De Los Armónicos

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo respecto a la tensión.

Existen dos categorías generadoras de armónicos. La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la tensión. Como resultado de esto, cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia. Transformadores, reguladores y otros equipos conectados al sistema pueden presentar un comportamiento de carga no lineal y

ciertos tipos de bancos de transformadores multifase conectados en *estrella–estrella* con cargas desbalanceadas o con problemas en su puesta a tierra. Diodos, elementos semiconductores y transformadores que se saturan son ejemplos de equipos generadores de armónicos, estos elementos se encuentran en muchos aparatos eléctricos modernos. Invariablemente esta categoría de elementos generadores de armónicos, lo harán siempre que estén energizados con una tensión alterna. Estas son las fuentes originales de armónicos que se generan sobre el sistema de potencia. El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia.

1.5 Contenido Normal De Armónicos

Los armónicos crean problemas sólo cuando interfieren con la operación propia del equipo, incrementando los niveles de corriente a un valor de saturación o sobrecalentamiento del equipo o cuando causan otros problemas similares. También incrementan las pérdidas eléctricas y los esfuerzos térmicos y eléctricos sobre los equipos. Los armónicos lo que generalmente originan son daños al equipo por sobrecalentamiento de devanados y en los circuitos eléctricos, esta es una acción que destruye los equipos por una pérdida de vida acelerada, los daños se pueden presentar pero no son reconocidos que fueron originados por armónicos. El nivel de armónicos presente puede estar justamente abajo del nivel que pueden causar problemas, incrementar este valor límite puede presentarse en cualquier momento y pasar a un valor donde no se pueden tolerar.

1.6 Equipos Que Producen Armónicos

Convertidores Electrónicos de Potencia:

Equipos de Computación, Control de Luminarias, UPS, Variadores Estáticos de Velocidad, PLC's, Control de Motores, Televisores, Microondas, Fax, Fotocopiadoras, Impresoras, etc.

Equipos con Arqueo de Electricidad:

Hornos de Fundición, Balastos Electrónicos, Equipos de Soldadura Eléctrica,

Sistemas de Tracción Eléctrica.

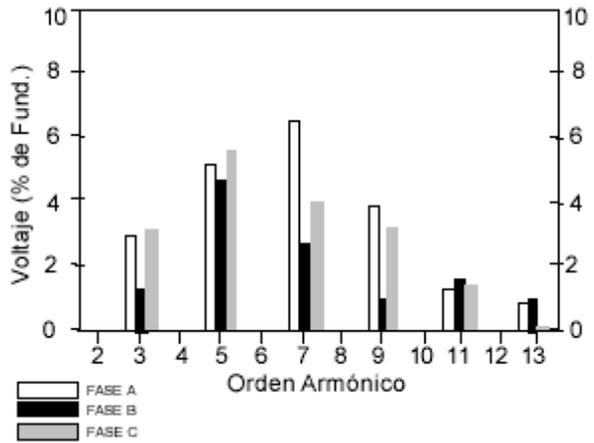
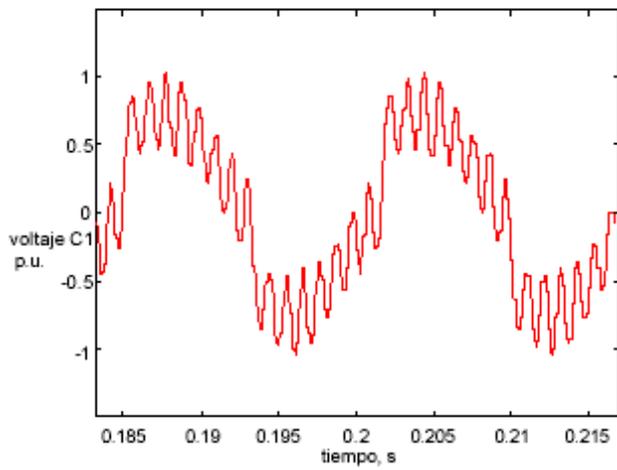
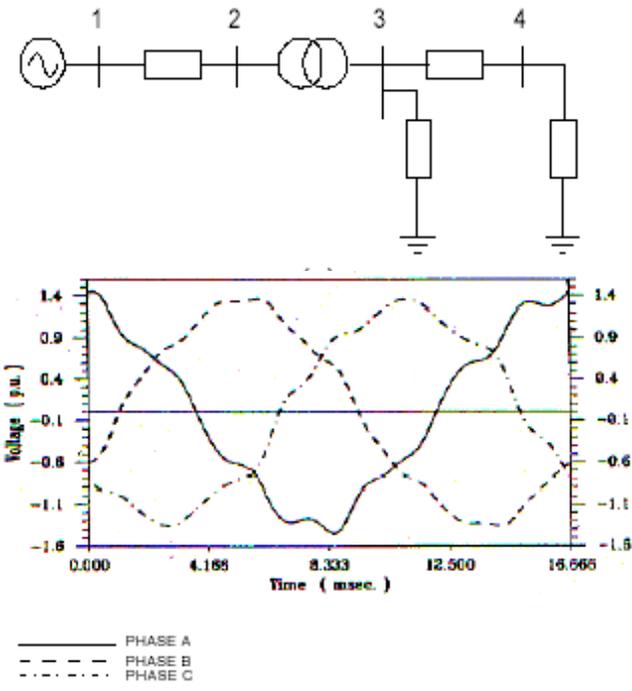
Equipos Ferromagnéticos:

Transformadores Operando Cerca del Nivel de Saturación, Balastos Magnético.

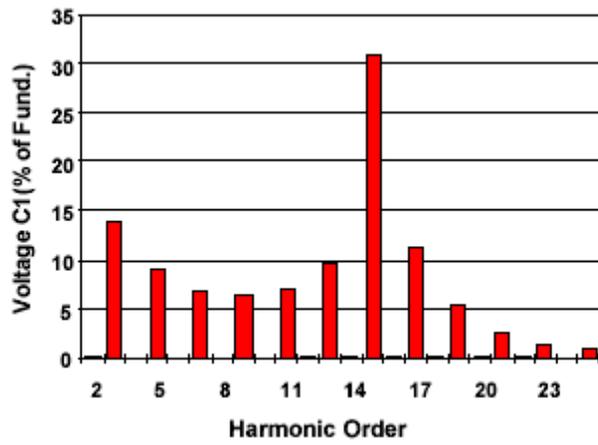
Efecto De Los Armónicos En los Sistema Eléctrico

2.1 Influencia De Los Armónicos En El Sistema

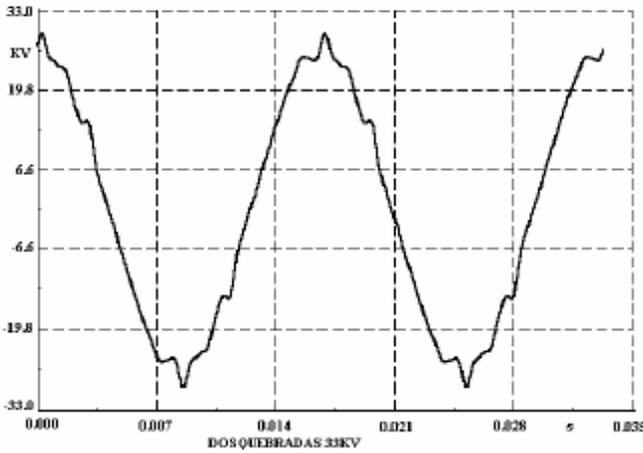
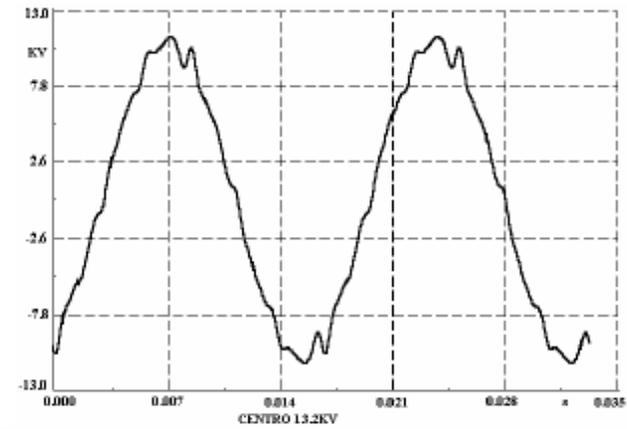
La Figura b ilustra la respuesta obtenida en el nodo 4, al final de la línea de transmisión. Las formas de onda distorsionadas de voltaje y su contenido armónico mostrado en la Figura (c) ilustran el efecto combinado del desbalance intrínseco del sistema, saturación e interacción de armónicos entre estator–rotor en el generador, saturación del transformador, núcleo magnético (3 columnas), configuración eléctrica (estrella aterrizada–delta) y efecto de la línea de transmisión.

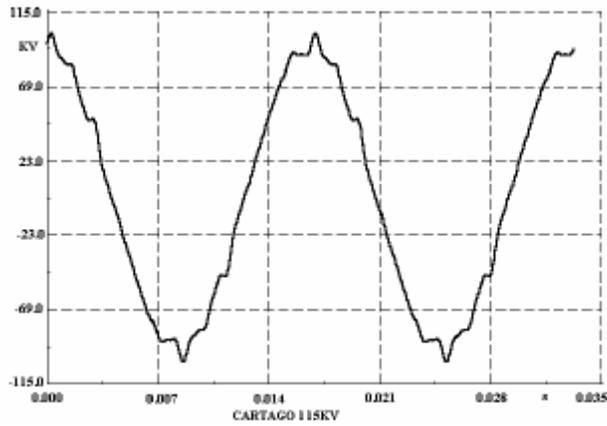


Voltaje y Contenido armónico



Voltaje y contenido armónico en capacitor



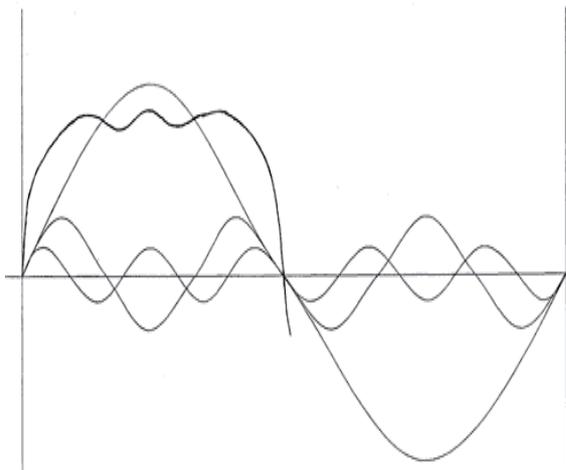


Ondas de tensión en barras de 13.2, 33 kV. Ondas de tensión en una barra 115 kV

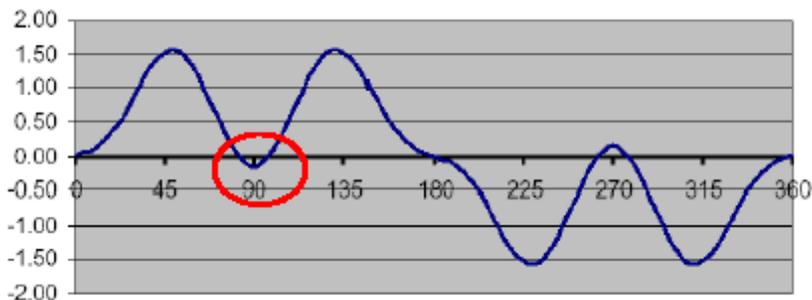
2.2 Armónicos De Corriente

Una onda no sinusoidal pura está formada por una onda fundamental a la que superponen ondas de frecuencia múltiplos de la frecuencia fundamental. Estas ondas superpuestas reciben el nombre de armónicos de orden superior.

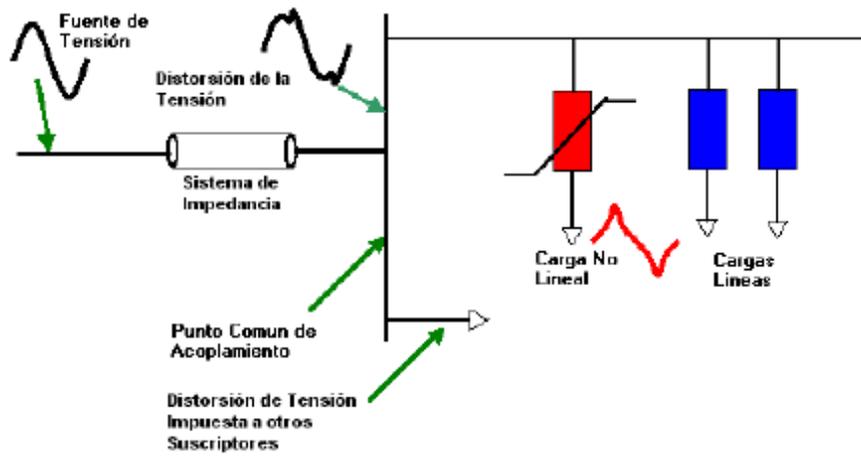
$$F(t) = C_1 \text{Sen}(Wt + \phi) + C_3 \text{Sen}(3Wt + \phi) + C_5 \text{Sen}(5Wt + \phi) + C_7 \text{Sen}(7Wt + \phi) + \dots$$



Las distorsiones armónicas de corriente distorsionan la onda de tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando la reducción de la vida útil en motores y causando la operación errática de equipos electrónicos.



Interacción con el Sistema.



Armónico	Secuencia.	Secuencia
	Frecuencia (Hz)	
0 (DC)	0	
1 (Fundamental)	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-

Relación entre las secuencias y las armónicas