



## Actualidad

# Los armónicos y su mitigación en redes eléctricas industriales

*\*Por: Jaime Salazar Gómez*

Los usos de las cargas no lineales conectadas a sistemas de energía eléctrica incluyen convertidores estáticos de potencia, dispositivos de descarga de arco, dispositivos magnéticos saturados, y, en menor grado, las máquinas rotativas.

Los convertidores estáticos de energía eléctrica son las mayores cargas no lineales y se utilizan en la industria para una variedad de propósitos, tales como fuentes de alimentación para sistemas electroquímicos, variadores de velocidad y fuentes de alimentación ininterrumpida.

Estos dispositivos son útiles porque pueden convertir energía de corriente alterna a corriente directa (CA/CD), de corriente directa a corriente directa (CD/CD), de corriente directa a corriente alterna (CD/CA) y de corriente alterna a corriente alterna (CA/CA).

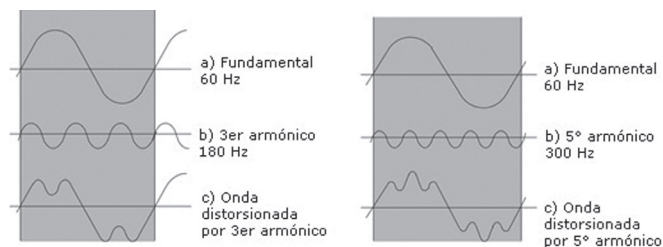


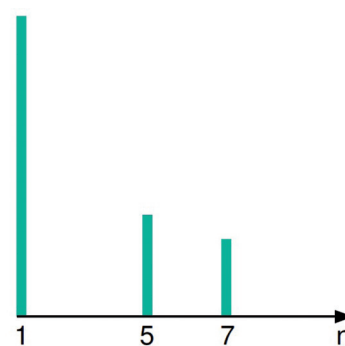
Figura 1. Distorsión de onda sinusoidal debido a presencia de armónicos

Las cargas no lineales cambian la naturaleza sinusoidal de la corriente de alimentación de CA (y en consecuencia la caída de tensión alterna), lo que resulta en el flujo de corrientes

armónicas en el sistema de alimentación de CA que pueden causar interferencias con circuitos de comunicación y otros tipos de equipos (figura 1). Estas corrientes armónicas también conducen a mayores pérdidas y recalentamiento en numerosos dispositivos electromagnéticos (motores, transformadores, etc.).

Cuando se usan condensadores para mejorar el factor de potencia, pueden producirse condiciones resonantes que pueden dar lugar a altos niveles de tensión armónica y distorsión de la corriente, debido a la presencia de armónicos asociados a cargas no lineales.

Las fuentes más comunes de corrientes armónicas en los sistemas de energía incluyen convertidores electrónicos de potencia, hornos de arco, sistemas estáticos de compensación de reactivos VAR, inversores, ciclo-convertidores y convertidores CA/CD (rectificadores), fuentes conmutadas con modulación de ancho de pulso (PWM) comunes hoy en día en equipos de variación de velocidad de motores.



$$h = k * p \pm 1$$

(Ecuación 1)

h = armónico  
p = # pulsos  
k = 1, 2, 3, .....

Figura 2. Espectro de armónicos



Una representación espectral de las componentes armónicas de una onda de voltaje o corriente se muestra en la figura 2, que indica la presencia de armónicos de orden 5 y 7; la ecuación 1 aplica para un convertidor estático CA/CD (rectificador) de  $p$  pulsos, para el caso de un rectificador trifásico de 6 pulsos siendo  $k = 1$ , tendremos armónicos de orden 5 y 7, con  $k=2$ ,  $h$  será 11 y 13 y así sucesivamente, es decir un rectificador de 6 pulsos originará la presencia de armónicos 5, 7, 1, 13, etc.

Un rectificador de 18 pulsos generará armónicos de orden 17, 19, 35, 37, etc., la magnitud de la componente armónica es aproximadamente inversa a su orden, es decir el 5° armónico será aproximadamente 1/5 (20%) el valor de la onda fundamental y su frecuencia será 5 veces la de la fundamental, para un sistema de 60 Hz el 5° armónico tendrá una frecuencia de 300 Hz.

La recomendación práctica IEEE 519 – 2014 “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems”, establece que el límite de distorsión armónica aceptable para la tensión o voltaje en sistemas con nivel de tensión entre 1 kV y 69 kV no debe superar el 5%, para sistemas de baja tensión (por debajo de 1 kV), el límite de distorsión total puede llegar hasta el 8%; la distorsión siempre está referida al PCC o al punto de conexión común que para efectos de instalaciones industriales, normalmente corresponde al primario del transformador de la subestación de la fábrica o planta. El límite de distorsión armónica para la corriente en sistemas cuya tensión está entre 120 V y 69 kV es máximo del 5%.

Los valores límites de distorsión armónica para voltaje y corriente están consignados respectivamente en las tablas 1 y 2 de la IEEE 519, y están asociados a la forma de medición y registro de los parámetros de calidad de la potencia eléctrica, usualmente se trata de registros realizados en forma continua durante una semana determinando el percentil 95 con registros cada 10 minutos.

A nivel de Colombia la Comisión de regulación de Energía y Gas CREG publicó la resolución 024 – 2005 que definió las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de distribución de energía, la Comisión ha venido publicando en el tiempo varias resoluciones que tratan el tema de la calidad de la potencia eléctrica, como es el caso de la resolución CREG-032-2012 la cual es una propuesta de regulación de la calidad de la potencia en el sistema interconectado nacional. Los indicadores de la calidad de la potencia eléctrica que hoy aplican a las empresas del sector eléctrico son:

Frecuencia 60 Hz, desviación 59.8 a 60.2 Hz

Desviación de tensión 110% a 90% a nivel 1  
 Distorsión armónica total de tensión a nivel 1 del 5%  
 Índice de perceptibilidad de corta duración para el parpadeo o “flicker”  $\leq 1.0$  (por ahora valores de referencia de estándares internacionales)

La distorsión armónica es uno de los indicadores de la calidad de la potencia eléctrica, donde los usuarios de las redes eléctricas pueden tomar acciones para reducir la distorsión de tensión a los límites establecidos por las normas y reducir las pérdidas y eventuales fallas que pueden generar los armónicos en particular cuando se presentan condiciones de resonancia.

En industrias que utilizan intensivamente rectificadores y variadores de velocidad electrónicos de 6 pulsos, se pueden encontrar presencia de valores importantes de armónicos de bajo orden 5° y 7°, que pueden generar altas pérdidas de energía y resonancias en bancos de condensadores para corrección del factor de potencia que en Colombia debe estar por encima del 90%, la resonancia conlleva inevitablemente al daño paulatino de los condensadores por sobrecalentamiento y estrés dieléctrico.

Una posible solución para reducir la distorsión armónica es usar puentes rectificadores en los variadores con mayor número de pulsos, 12, 18, 24, etc., pero esto implica el uso de transformadores especiales con múltiples devanados en el secundario para lograr la cancelación de los armónicos de más bajo orden, solución ésta que puede resultar bastante costosa.

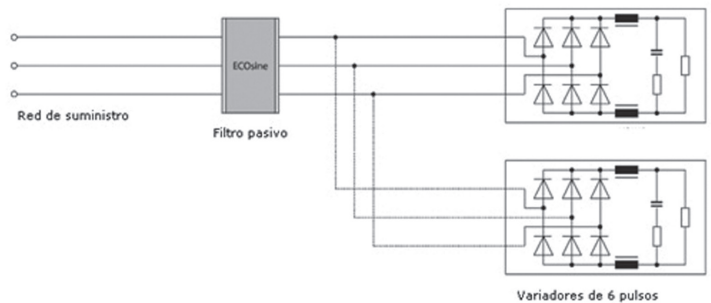


Figura 3. Aplicación de filtro pasivo

Otra posible solución es el uso de filtros pasivos a la entrada de los puentes rectificadores de variadores o convertidores de 6 pulsos (figura 3), los filtros pasivos compuestos de condensadores, reactancias y resistencias (filtro RLC), resultan en muchos casos una solución efectiva y más económica.

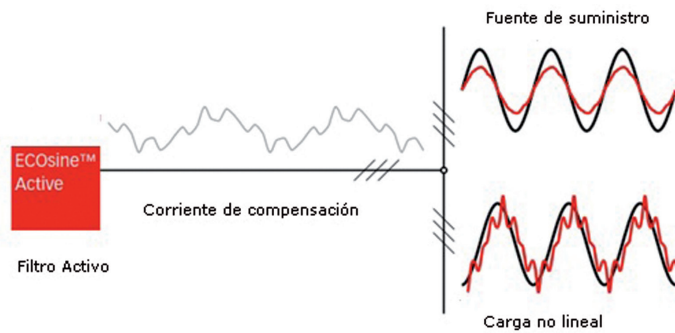


Figura 4. Aplicación de filtro activo

En procesos industriales donde la generación de armónicos no obedece a un patrón constante como sería el caso de los convertidores estáticos (rectificadores de 6 pulsos por ejemplo), sino que los armónicos e inter-armónicos generados cambian todo el tiempo, caso típico en los hornos de arco en la industria siderúrgica o en industrias como la automotriz donde se emplean intensivamente máquinas de soldadura, la solución más efectiva es el uso de filtros activos (figura 4), donde el filtro detecta los armónicos presentes en ese momento y genera armónicos del mismo orden y magnitud pero de fase contraria para la cancelación del armónico generado por el proceso reduciendo de forma dramática, la distorsión de la tensión de la red.

Normalmente la selección de la solución de mitigación más adecuada para una instalación en particular, debe estar precedida de una medición y análisis de armónicos siguiendo las recomendaciones de las normas y recomendaciones aplicables como es el caso de la IEEE 519. ⚡

**\* Jaime Salazar Gómez,**  
**Ingeniero Electricista (Universidad Nacional de Colombia, 1983)**  
**MSc in Electrical Engineering (University of Nottingham, UK, 1991)**  
**Consultor y Especialista en sistemas eléctricos de potencia y variación de velocidad electrónica, con más de 30 años de experiencia en empresas como Ecopetrol S.A., Siemens S.A., actualmente colaborador de Transmisiones Ltda. en el área de proyectos.**