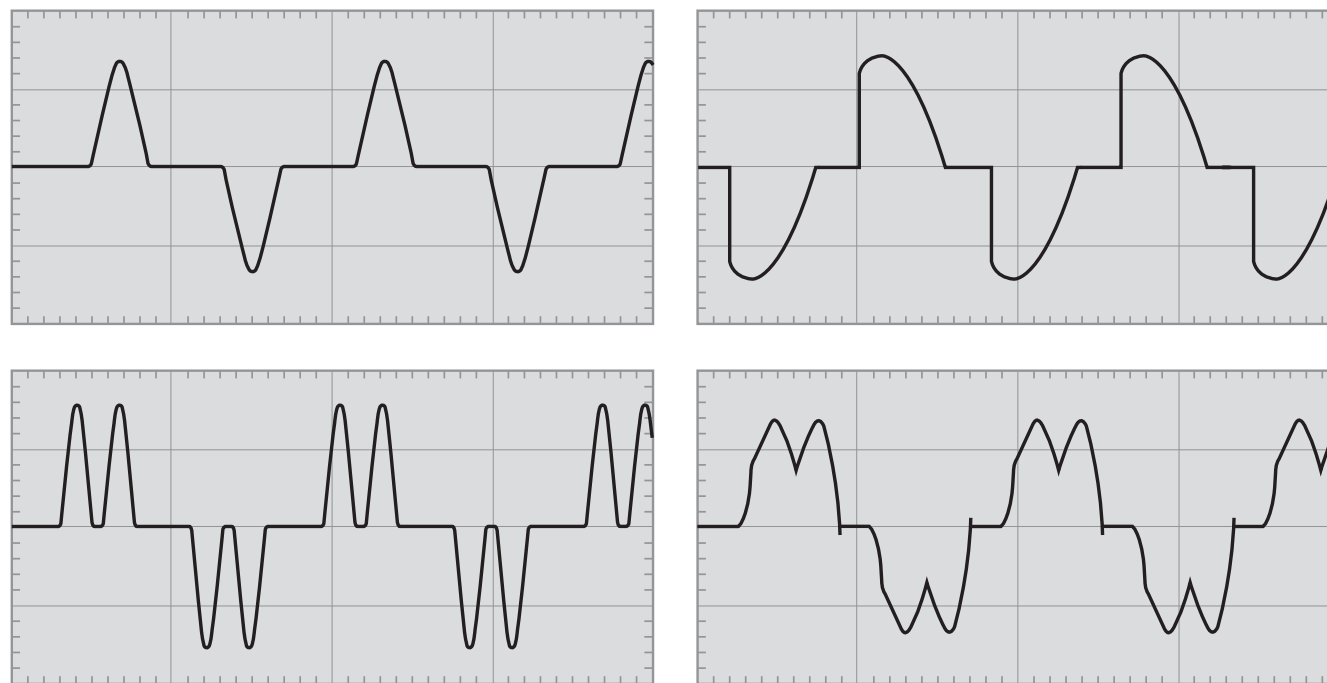


## Definición de armónicos

La presencia de armónicos en los sistemas eléctricos significa que la corriente y el voltaje se distorsionan y se desvían de las formas de onda sinusoidales.

Las corrientes armónicas son causadas por cargas no lineales conectadas al sistema de distribución. Se dice que una carga es no lineal cuando la corriente que consume no tiene la misma forma de onda que la tensión de alimentación. El flujo de corrientes armónicas a través de las impedancias del sistema crea a su vez armónicos de voltaje, que distorsionan el voltaje de suministro.

En la **Figura M1** se presentan formas de onda de corriente típicas para cargas no lineales monofásicas (arriba) y trifásicas (abajo).



**Fig. M1** – Ejemplos de formas de onda de corriente distorsionadas

El teorema de Fourier establece que todas las funciones periódicas no sinusoidales se pueden representar como la suma de términos (es decir, una serie) formada por:

- Un término sinusoidal en la frecuencia fundamental,
- Términos sinusoidales (armónicos) cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental,
- Un componente de CC, cuando corresponda.

El armónico de orden  $h$  (comúnmente denominado simplemente  $h$ -ésimo armónico) en una señal es el componente sinusoidal con una frecuencia  $h$  veces la frecuencia fundamental.

La ecuación para la expansión armónica de una función periódica  $y(t)$  se presenta a continuación:

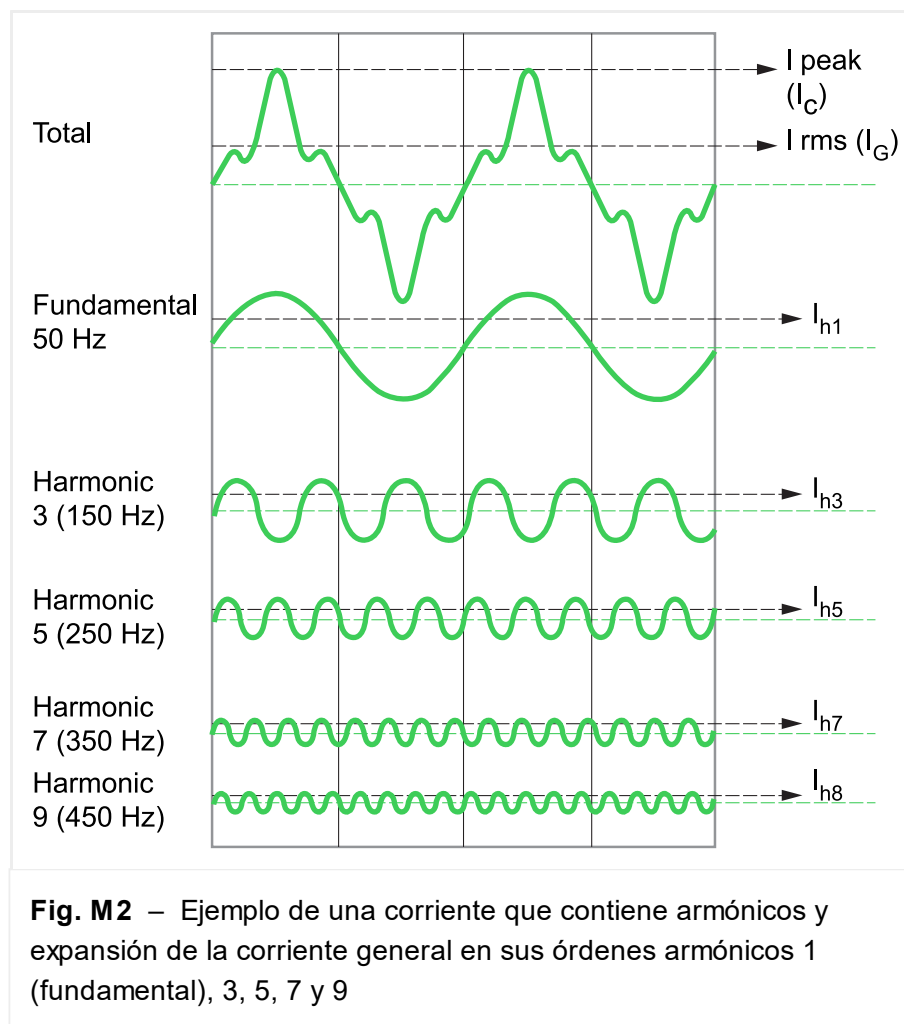
$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{h=\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(h\omega t - \phi_h)$$

dónde:

- $Y_0$  : valor de la componente CC, generalmente cero y considerado como tal en lo sucesivo,
- $Y_h$  : valor eficaz del armónico de orden  $h$ ,
- $\omega$ : frecuencia angular de la frecuencia fundamental,
- $\phi_h$  : desplazamiento de la componente armónica en  $t = 0$ .

**La Figura M2** muestra un ejemplo de una onda de corriente afectada por una distorsión armónica en un sistema de distribución eléctrica de 50 Hz. La señal distorsionada es la suma de una serie de armónicos superpuestos:

- El valor de la frecuencia fundamental (o armónico de primer orden) es 50 Hz,
- El armónico de tercer <sup>orden</sup> tiene una frecuencia de 150 Hz,
- El armónico de quinto <sup>orden</sup> tiene una frecuencia de 250 Hz,
- Etc...



## Componente armónico individual (o componente armónico de orden h)

La componente armónica individual se define como el porcentaje de armónicos de orden h respecto a la fundamental. Particularmente:

$$U_h(\%) = 100 \frac{U_h}{U_1} \text{ para tensiones armónicas}$$

$$i_h(\%) = 100 \frac{I_h}{I_1} \text{ para corrientes armónicas}$$

## Distorsión Armónica Total (THD)

La Distorsión Armónica Total (THD) es un indicador de la distorsión de una señal. Es ampliamente utilizado en Ingeniería Eléctrica y gestión de Armónicos en particular.

Para una señal  $y$ , el THD se define como:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left( \frac{Y_h}{Y_1} \right)^2} = \frac{\sqrt{Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_H^2}}{Y_1}$$

THD es la relación entre el valor rms de todos los componentes armónicos de la señal y la fundamental  $Y_1$ .

H generalmente se considera igual a 50, pero en la mayoría de los casos puede limitarse a 25.

Tenga en cuenta que el THD puede exceder 1 y generalmente se expresa como porcentaje.

## THD de corriente o voltaje

Para **los armónicos de corriente** la ecuación es:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left( \frac{I_h}{I_1} \right)^2}$$

$$\text{Introduciendo el valor rms total de la corriente: } I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=H} I_h^2}$$

obtenemos la siguiente relación:

$$\text{THD}_i = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{rms}}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

equivalente a:

$$I_{\text{rms}} = I_1 \sqrt{1 + \text{THD}_i^2}$$

**Ejemplo:** para  $\text{THD}_i = 40\%$ , obtenemos:

$$I_{\text{rms}} = I_1 \sqrt{1 + (0.4)^2} = I_1 \sqrt{1 + 0.16} \approx I_1 \times 1.08$$

Para **los armónicos de tensión**, la ecuación es:

$$\text{THD}_u = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2}$$

Esta página se editó por última vez el 24 de junio de 2022 a las 08:39.

# Origen de los armónicos

## Corrientes armónicas

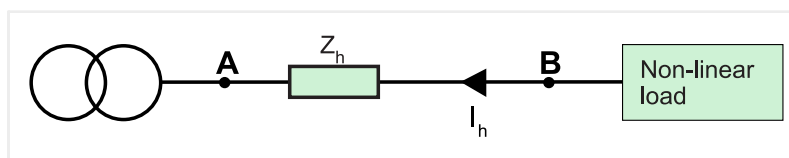
Los equipos que comprenden circuitos de electrónica de potencia son cargas no lineales típicas y generan corrientes armónicas. Este tipo de cargas son cada vez más frecuentes en todas las instalaciones industriales, comerciales y residenciales y su porcentaje en el consumo eléctrico global crece de forma constante.

### Ejemplos incluyen:

- Equipos industriales (máquinas de soldar, hornos de arco y de inducción, cargadores de baterías),
- Variadores de velocidad para motores de CA o CC <sup>[1]</sup>,
- Fuente de poder ininterrumpida,
- Equipos de oficina (PC, impresoras, servidores, etc.),
- Electrodomésticos (televisores, hornos microondas, lámparas fluorescentes, atenuadores de luz).

## Tensiones armónicas

Para comprender el origen de las tensiones armónicas, consideremos el diagrama simplificado de la **Fig. M3**.

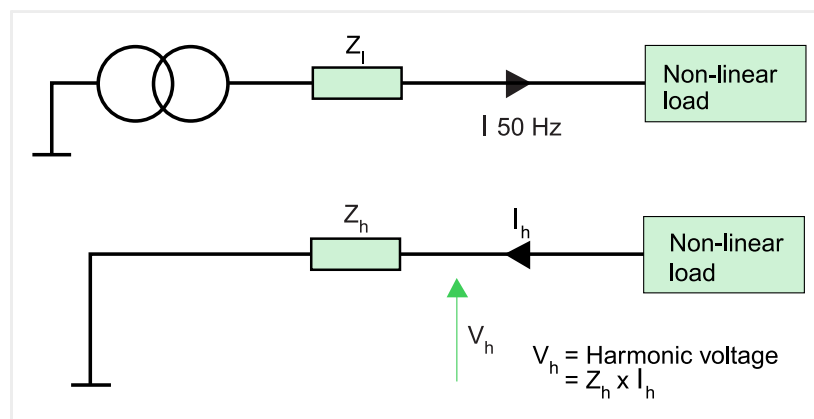


**Fig. M3** – Diagrama unifilar que muestra la impedancia del circuito de alimentación para una carga no lineal

La reactancia de un conductor aumenta en función de la frecuencia de la corriente que fluye a través del conductor. Por tanto, para cada corriente armónica (orden  $h$ ), existe una impedancia  $Z_h$  en el circuito de alimentación.

El sistema total se puede dividir en diferentes circuitos:

- Un circuito que representa el flujo de corriente a la frecuencia fundamental,
- Un circuito que representa el flujo de corrientes armónicas.



**Fig. M4** – División del circuito en circuitos fundamentales y armónicos

Cuando la corriente armónica de orden  $h$  fluye a través de la impedancia  $Z_h$ , crea un voltaje armónico  $U_h$ , donde  $U_h = Z_h \times I_h$  (según la ley de Ohm).

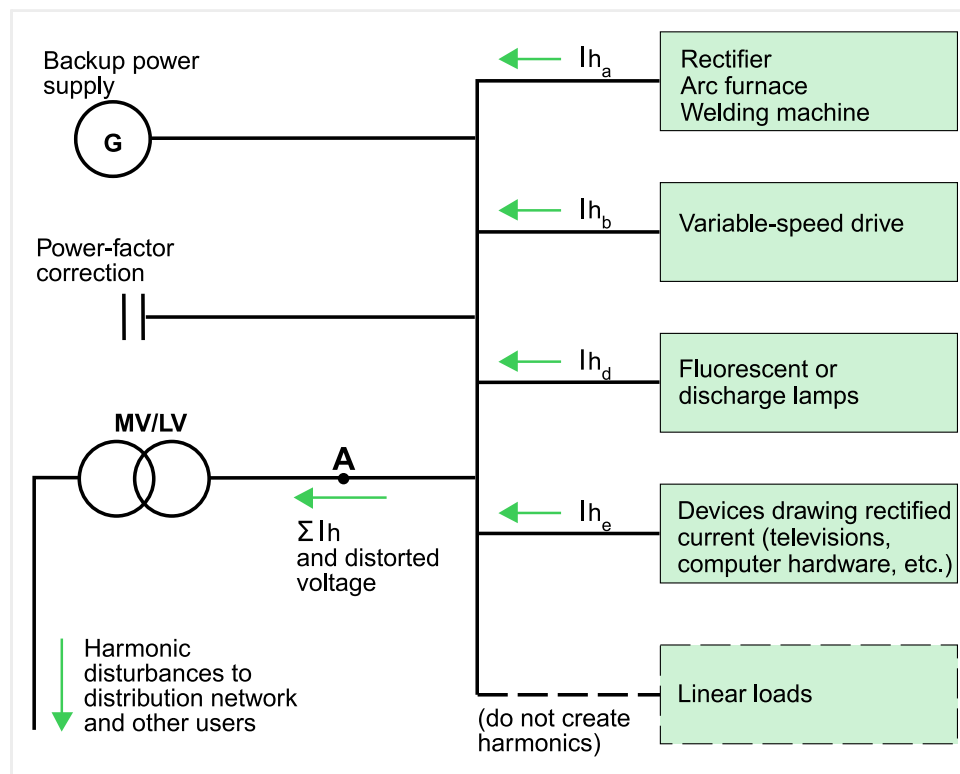
Por tanto, la tensión en el punto B está distorsionada. Todos los dispositivos alimentados a través del punto B reciben una tensión distorsionada.

Para una corriente armónica dada, la distorsión de voltaje es proporcional a la impedancia en la red de distribución.

## Flujo de corrientes armónicas en redes de distribución.

Se puede considerar que las cargas no lineales inyectan las corrientes armónicas aguas arriba de la red de distribución, hacia la fuente. Las corrientes armónicas generadas por las diferentes cargas se suman al nivel de la barra creando la distorsión armónica.

Debido a las diferentes tecnologías de cargas, las corrientes armónicas del mismo orden generalmente no están en fase. Este efecto de diversidad da como resultado una suma parcial.



**Fig. M5** – Flujo de corrientes armónicas en una red de distribución

## Notas

---

1. Para obtener más información sobre la mitigación de armónicos relacionados con los variadores de velocidad, consulte nuestro informe técnico de Schneider Electric **"Elija la mejor solución de mitigación de armónicos para su variador"**.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.



# Indicadores esenciales de distorsión armónica y principios de medición.

---

Se utilizan varios indicadores para cuantificar y evaluar la distorsión armónica en formas de onda de corriente y voltaje, a saber:

- Factor de potencia
- factor de cresta
- Espectro armónico
- valor eficaz

Estos indicadores son indispensables para determinar cualquier acción correctiva necesaria.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.

# Indicadores de distorsión armónica - Factor de potencia

El factor de potencia  $\lambda$  es la relación entre la potencia activa  $P$  (kW) y la potencia aparente  $S$  (kVA). Consulte el Capítulo [Corrección del factor de potencia](#).

$$\lambda = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})}$$

El factor de potencia no debe confundirse con el factor de potencia de desplazamiento ( $\cos \varphi$ ), en relación únicamente con las señales fundamentales.

Como la potencia aparente se calcula a partir de los valores rms, el factor de potencia integra la distorsión de tensión y corriente.

Cuando la tensión es sinusoidal o prácticamente sinusoidal ( $\text{THD}_u \sim 0$ ), se puede decir que la potencia activa es sólo función de la corriente fundamental. Entonces:

$$P \approx P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$$

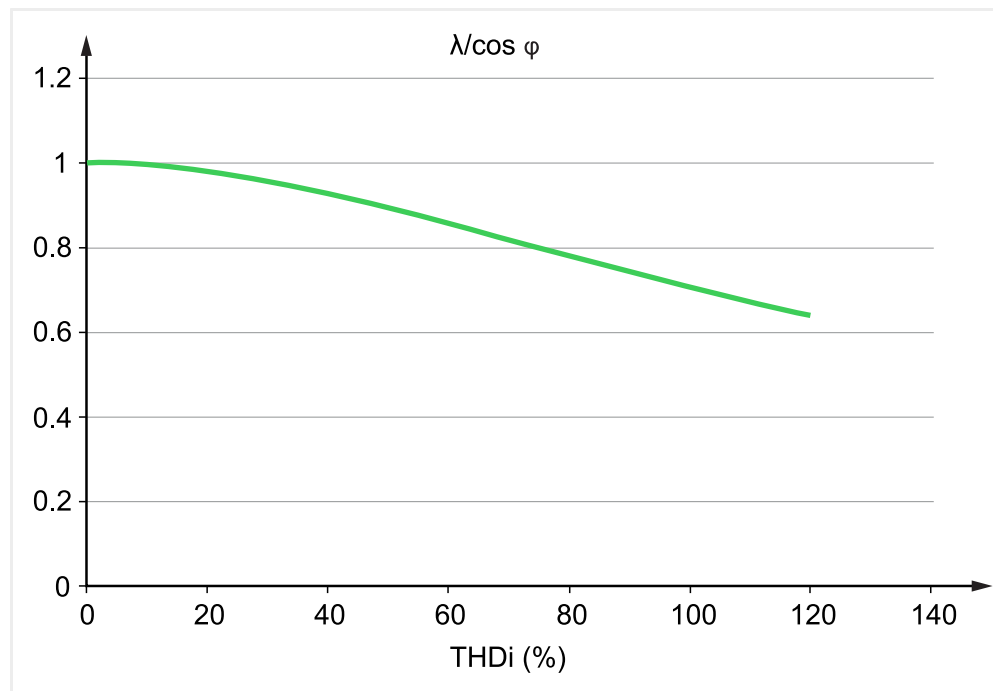
**Como consecuencia:**

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi}{U_1 I_{\text{rms}}}$$

$$\text{Como: } \frac{I_1}{I_{\text{rms}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THD}_i^2}} \text{ (ver [Definición de armónicos](#) )},$$

$$\text{por eso: } \lambda \approx \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \text{THD}_i^2}}$$

**La Figura M6** muestra una gráfica de  $\lambda/\cos \varphi$  en función de  $\text{THD}_i$ , para  $\text{THD}_u \sim 0$ .



**Fig. M6** – Variación de  $\lambda/\cos \varphi$  en función de THDi, para THDu  $\sim 0$

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

# Indicadores de distorsión armónica - Factor de cresta

---

El factor de cresta es la relación entre el valor de la corriente o voltaje máximo ( $I_M$  o  $U_M$ ) y su valor rms.

- Por lo tanto, para una señal sinusoidal, el factor de cresta es igual a  $\sqrt{2}$ .
- Para una señal no sinusoidal, el factor de cresta puede ser mayor o menor que  $\sqrt{2}$ .

El factor de cresta de la corriente consumida por cargas no lineales suele ser mucho mayor que el  $\sqrt{2}$ . Generalmente se sitúa entre 1,5 y 2, pudiendo llegar incluso a 5 en casos críticos.

Un factor de cresta alto señala picos de corriente elevados que, cuando los detectan los dispositivos de protección, pueden provocar disparos molestos.

## Ejemplos:

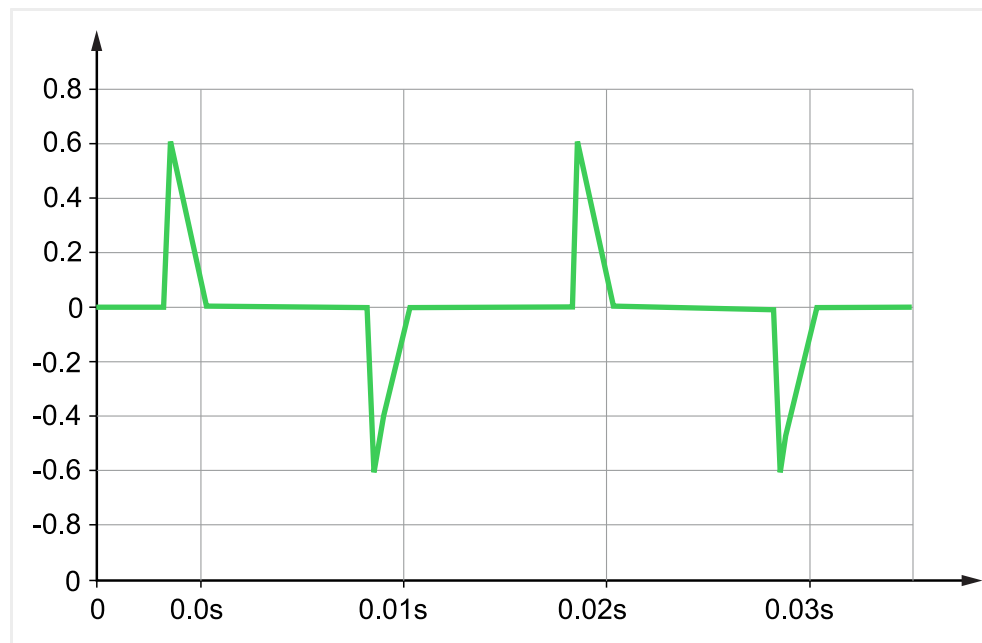
La figura M7 representa la corriente absorbida por una lámpara fluorescente compacta.

$$I_{r.m.s} = 0,16A$$

$$I_M = 0,6A$$

$$THD_i = 145\%$$

$$\text{Factor de cresta} = 3,75$$



**Fig. M7** – Forma de onda de corriente típica de una lámpara fluorescente compacta

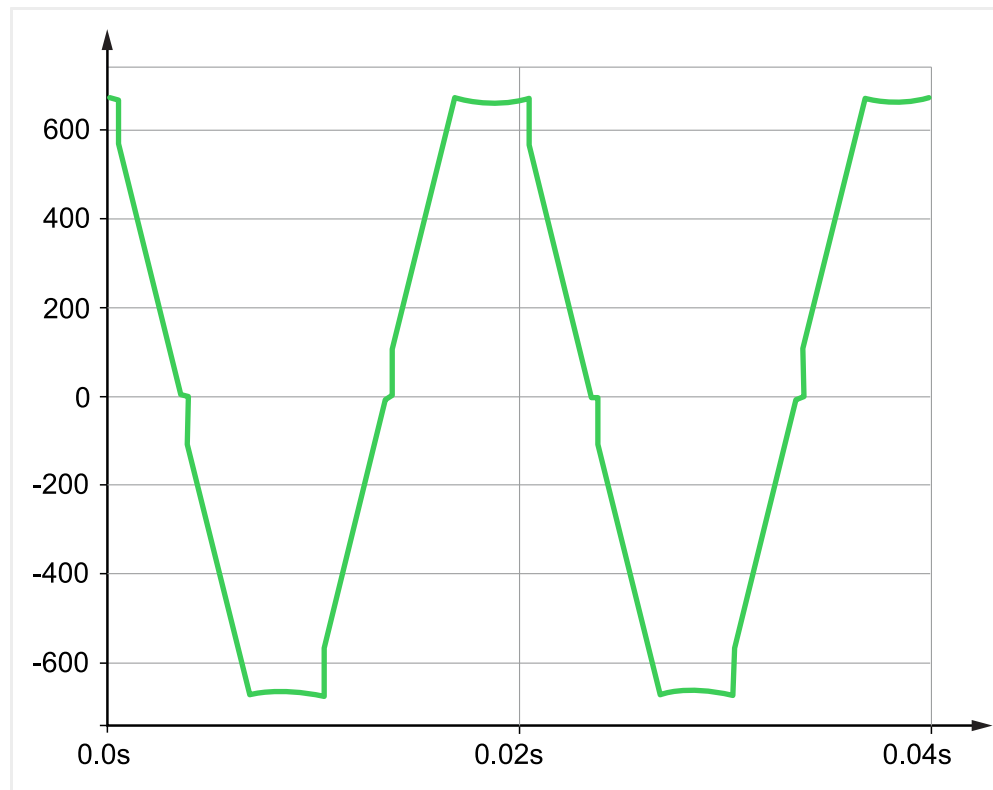
**La Figura M8** representa el voltaje que suministra cargas no lineales a través de una línea de alta impedancia, con una forma de onda distorsionada típica de "parte superior plana".

$$V_{r.m.s} = 500 \text{ V}$$

$$V_M = 670 \text{ V}$$

$$THD_u = 6,2 \%$$

$$\text{Factor de cresta} = 1,34$$



**Fig. M8** – Forma de onda de voltaje típica en el caso de una línea de alta impedancia que suministra cargas no lineales

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

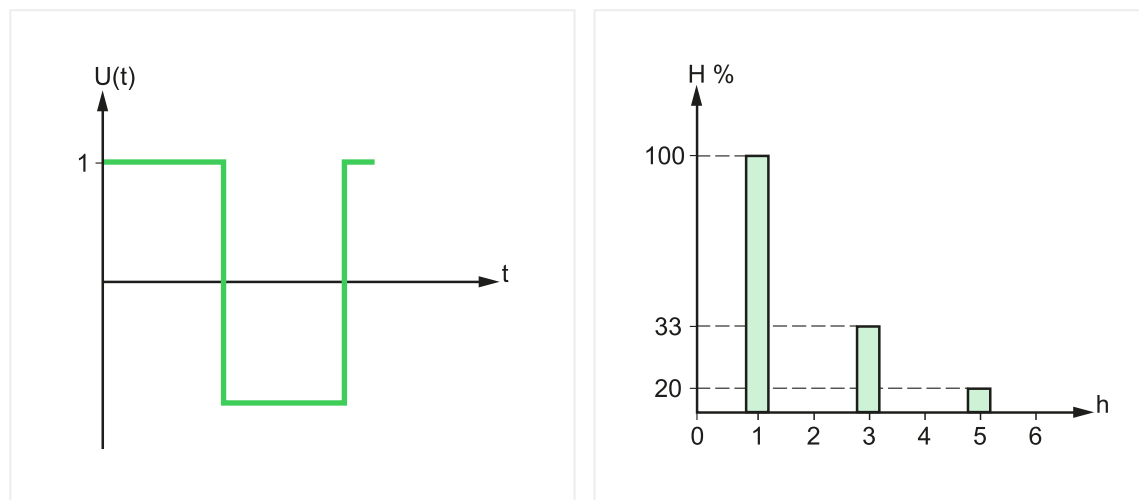
# Espectro armónico

El espectro armónico es la representación de la amplitud de cada orden armónico con respecto a su frecuencia.

**La Figura M9** muestra un ejemplo de espectro armónico para una señal rectangular.

Cada tipo de dispositivo que causa armónicos consume una forma particular de corriente, con un contenido armónico particular. Esta característica se puede visualizar utilizando el espectro armónico.

**Fig. M9** – Espectro armónico para una señal rectangular  $U(t)$



Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.



# valores eficaces

---

El valor eficaz de la tensión y la corriente se puede calcular en función del valor eficaz de los distintos componentes armónicos:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^H I_h^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_H^2}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^H V_h^2} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_H^2}$$

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

# Utilidad de los distintos indicadores de distorsión armónica.

---

**THD<sub>u</sub>** es un indicador de la distorsión de la onda de voltaje.

A continuación se dan valores orientativos de THD<sub>u</sub> y las correspondientes consecuencias en una instalación:

- $\leq 5\%$ : situación normal, sin riesgo de mal funcionamiento,
- 5 a 8%: distorsión armónica significativa, es posible que se produzcan algunos fallos de funcionamiento,
- $\geq 8\%$ : distorsión armónica importante, es probable que se produzcan fallos de funcionamiento. Se requiere un análisis en profundidad y la instalación de dispositivos de mitigación.

**THD<sub>i</sub>** es un indicador de la distorsión de la onda actual.

La distorsión de la corriente puede ser diferente en las distintas partes de una instalación. El origen de posibles perturbaciones se puede detectar midiendo el THD<sub>i</sub> de diferentes circuitos.

A continuación se dan valores indicativos de THD<sub>i</sub> y los fenómenos correspondientes para toda una instalación:

- $\leq 10\%$ : situación normal, sin riesgo de mal funcionamiento,
- Del 10 al 50%: importante distorsión armónica con riesgo de aumento de temperatura y la consiguiente necesidad de sobredimensionar cables y fuentes.
- $\geq 50\%$ : distorsión armónica importante, es probable que se produzcan fallos de funcionamiento. Se requiere un análisis en profundidad y la instalación de dispositivos de mitigación.

**El factor de potencia  $\lambda$**  se utiliza para determinar el calibre de los diferentes dispositivos de la instalación.

**El factor de cresta** se utiliza para caracterizar la aptitud de un generador (o UPS) para suministrar corrientes instantáneas elevadas. Por ejemplo, los equipos informáticos consumen corriente muy distorsionada cuyo factor de cresta puede alcanzar de 3 a 5.

**El espectro armónico** proporciona una representación diferente de las señales eléctricas y puede usarse para evaluar su distorsión.

Esta página se editó por última vez el 4 de agosto de 2022 a las 07:32.



# Medición de armónicos en redes eléctricas.

---

## Procedimientos para la medición de armónicos.

---

### **Las mediciones de armónicos se realizan en sitios industriales o comerciales:**

- De forma preventiva, para obtener una idea general del estado de la red de distribución (mapeo de red),
- En vista de las acciones correctivas, para determinar el origen de una perturbación y determinar las soluciones necesarias para eliminarla,
- Comprobar la validez de una solución (tras modificaciones en la red de distribución para comprobar la reducción de perturbaciones armónicas)

### **Los indicadores armónicos se pueden medir:**

- Por un experto presente en el sitio durante un período de tiempo limitado (un día), dando una percepción precisa pero limitada,
- mediante dispositivos de instrumentación instalados y en funcionamiento durante un período de tiempo significativo (al menos una semana) que proporcionen una visión general fiable de la situación,
- O mediante dispositivos instalados permanentemente en la red de distribución, permitiendo un seguimiento de la Calidad de Energía.

### **Acciones únicas o correctivas**

Este tipo de acción se lleva a cabo en caso de que se observen perturbaciones de las que se sospeche que hay armónicos. Para determinar el origen de las perturbaciones se realizan medidas de corriente y tensión:

- A nivel de fuente de suministro,
- En las barras del cuadro de distribución principal (o en las barras de MT),
- En cada circuito de salida en el cuadro de distribución principal (o en las barras de MT).

Para obtener resultados precisos, es necesario conocer las condiciones precisas de funcionamiento de la instalación y, en particular, el estado de las baterías de condensadores (en funcionamiento o no, número de pasos conectados).

Los resultados de la medición ayudarán al análisis para:

- Determinar cualquier reducción necesaria de los equipos en la instalación, o
- Cuantificar los sistemas de protección y filtrado de armónicos necesarios a instalar en la red de distribución, o
- Verificar el cumplimiento de la instalación eléctrica con las normas aplicables o reglamentos de Servicios Públicos (emisión máxima de armónicos permitida).

## Acciones preventivas o de largo plazo

Por diversas razones, la instalación de dispositivos de medición permanentes en la red de distribución es muy valiosa.

- La presencia de un experto en el lugar está limitada en el tiempo y no siempre es posible observar todas las situaciones posibles. Sólo una serie de mediciones en diferentes puntos de la instalación y durante un período suficientemente largo (de una semana a un mes) proporcionan una visión global del funcionamiento y tienen en cuenta todas las situaciones que pueden ocurrir a continuación:
  - Fluctuaciones en la fuente de suministro,
  - Variaciones en el funcionamiento de la instalación,
  - The addition of new equipment in the installation.
- Measurement devices installed in the distribution network prepare and facilitate the diagnosis of the experts, thus reducing the number and duration of their visits.
- Permanent measurement devices detect any new disturbances arising following the installation of new equipment, the implementation of new operating modes or fluctuations in the supply network.
- For an overall evaluation of network status (preventive analysis), this avoids:
  - Renting of measurement equipment,
  - Calling in experts,
  - Having to connect and disconnect the measurement equipment. For the overall evaluation of network status, the analysis on the main low-voltage distribution switchboards (MLVS) can often be carried out by the incoming device and/or the measurement devices equipping each outgoing circuit,
- For corrective actions, it is possible to:
  - Determine the operating conditions at the time of the incident,

- Draw-up a map of the distribution network and evaluate the implemented solution.

The diagnosis may be improved by the use of additional dedicated equipment in case of specific problem.

## Harmonic measurement devices

Measurement devices provide instantaneous and average information concerning harmonics. Instantaneous values are used for analysis of disturbances linked to harmonics. Average values are used for Power Quality assessment.

The most recent measurement devices are designed referring to IEC standard 61000-4-7: "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto".

The supplied values include:

- The harmonic spectrum of currents and voltages (amplitudes and percentage of the fundamental),
- The THD for current and voltage,
- For specific analysis: the phase angle between harmonic voltage and current of the same order and the phase of the harmonics with respect to a common reference (e.g. the fundamental voltage).

Average values are indicators of the long-term Power Quality. Typical and relevant statistical data are for example measures averaged by periods of 10 minutes, during observation periods of 1 week.

In order to meet the Power Quality objectives, 95% of the measured values should be less than specified values.

**Fig. M10** gives the maximum harmonic voltage in order to meet the requirements of standard EN50160: "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks", for Low and Medium Voltage.

**Fig. M10** – Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of the fundamental voltage  $U_1$

| Odd harmonic<br>non-multiples of 3 | Odd harmonic<br>multiples of 3 | Even harmonic |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------|
|                                    |                                |               |

| Order h | Relative amplitude<br>$U_h$ : % | Order h | Relative amplitude<br>$U_h$ : % | Order h | Relative amplitude<br>$U_h$ : % |
|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| 5       | 6                               | 3       | 5                               | 2       | 2                               |
| 7       | 5                               | 9       | 1.5                             | 4       | 1                               |
| 11      | 3.5                             | 15      | 0.5                             | 6...24  | 0.5                             |
| 13      | 3                               | 21      | 0.5                             |         |                                 |
| 17      | 2                               |         |                                 |         |                                 |
| 19      | 1.5                             |         |                                 |         |                                 |
| 23      | 1.5                             |         |                                 |         |                                 |
| 25      | 1.5                             |         |                                 |         |                                 |

## Portable instruments

The traditional observation and measurement methods include:

### Oscilloscope

An initial indication on the distortion affecting a signal can be obtained by viewing the current or the voltage on an oscilloscope.

The waveform, when it diverges from a sinusoidal, clearly indicates the presence of harmonics. Current and voltage peaks can be observed.

Note, however, that this method does not offer precise quantification of the harmonic components.

### Digital analyser

Only recent digital analysers can determine the values of all the mentioned indicators with sufficient accuracy.

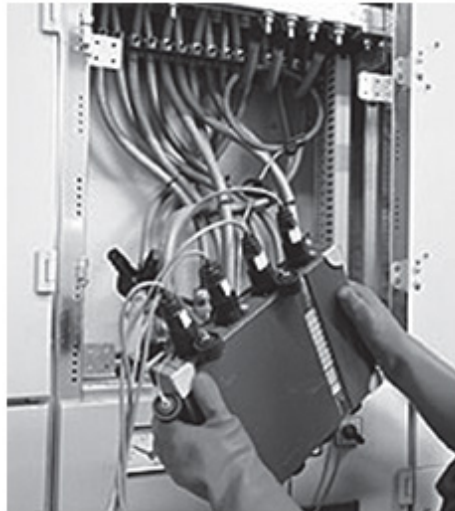
They are using digital technology, specifically a high performance algorithm called Fast Fourier Transform (FFT). Current or voltage signals are digitized and the algorithm is applied on data relative to time windows of 10 (50Hz systems) or 12 periods (for 60Hz systems) of the power frequency.

The amplitude and phase of harmonics up to the 40th or 50th order are calculated, depending on the class of measurement.

Processing of the successive values calculated using the FFT (smoothing, classification, statistics) can be carried out by the measurement device or by external software.

## Functions of digital analysers

- Calculate the values of the harmonic indicators (power factor, crest factor, individual harmonic amplitude, THD)
- In multi-channel analysers, supply virtually in real time the simultaneous spectral decomposition of the currents and voltages
- Carry out various complementary functions (corrections, statistical detection, measurement management, display, communication, etc.)
- Storage of data



**Fig. M11** – Implementation of a digital Power Quality recorder in a cabinet

## Fixed instruments

Panel instrumentation provides continuous information to the Manager of the electrical installation. Data can be accessible through dedicated power monitoring devices or through the digital trip units of circuit breakers.



**Fig. M12** – Example of Power and Energy meter

**Fig. M13** – Example of electronic trip units of circuit-breakers providing harmonic related information



## Which harmonic orders must be monitored and mitigated?

The most significant harmonic orders in three-phase distribution networks are the odd orders (3, 5, 7, 9, 11, 13 ....)

Triplen harmonics (order multiple of 3) are present only in three-phase, four-wire systems, when single phase loads are connected between phase and neutral.

Utilities are mainly focusing on low harmonic orders (5, 7, 11, and 13).

Generally speaking, harmonic conditioning of the lowest orders (up to 13) is sufficient. More comprehensive conditioning takes into account harmonic orders up to 25.

Harmonic amplitudes normally decrease as the frequency increases. Sufficiently accurate measurements are obtained by measuring harmonics up to order 30.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

# Principales efectos de los armónicos en instalaciones eléctricas.

---

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.

## Efectos de los armónicos - Resonancia

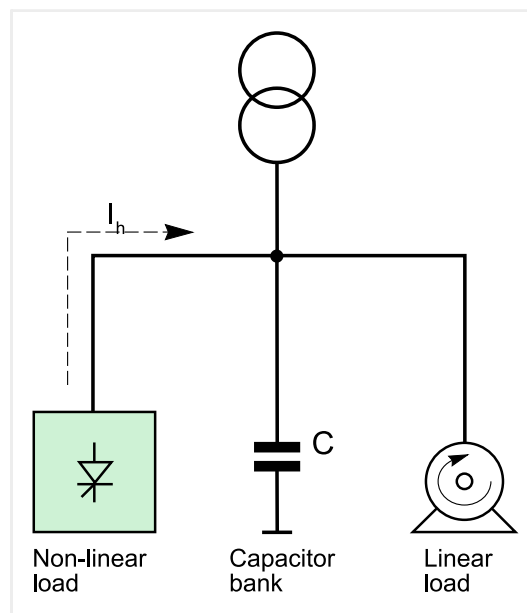
El uso simultáneo de dispositivos capacitivos e inductivos en redes de distribución puede provocar resonancias en paralelo o en serie.

El origen de la resonancia son los valores de impedancia muy altos o muy bajos a nivel de barras, a diferentes frecuencias. Las variaciones de impedancia modifican la corriente y el voltaje en la red de distribución.

Aquí sólo se discutirán los fenómenos de resonancia paralela, los más comunes.

Considere el siguiente diagrama simplificado (ver **Fig. M14**) que representa una instalación compuesta por:

- Un transformador de suministro,
- Cargas lineales
- Cargas no lineales que generan corrientes armónicas.
- Condensadores de corrección del factor de potencia.



**Fig. M14** – Esquema de una instalación

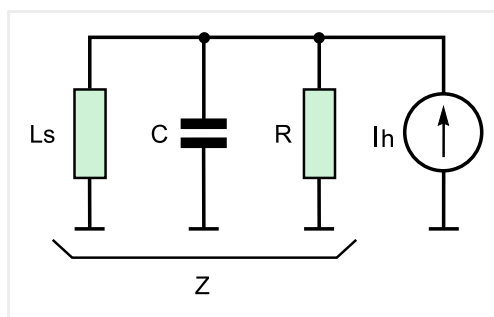
Para el análisis armónico, el diagrama equivalente se muestra en **la Figura M15** donde:

$L_s$  = Inductancia de alimentación (red aguas arriba + transformador + línea)

$C$  = Capacitancia de los condensadores de corrección del factor de potencia

$R$  = Resistencia de las cargas lineales

$I_h$  = Corriente armónica



**Fig. M15** – Diagrama equivalente de la instalación mostrada en la Figura M14

Despreciando  $R$ , la impedancia  $Z$  se calcula mediante una fórmula simplificada:

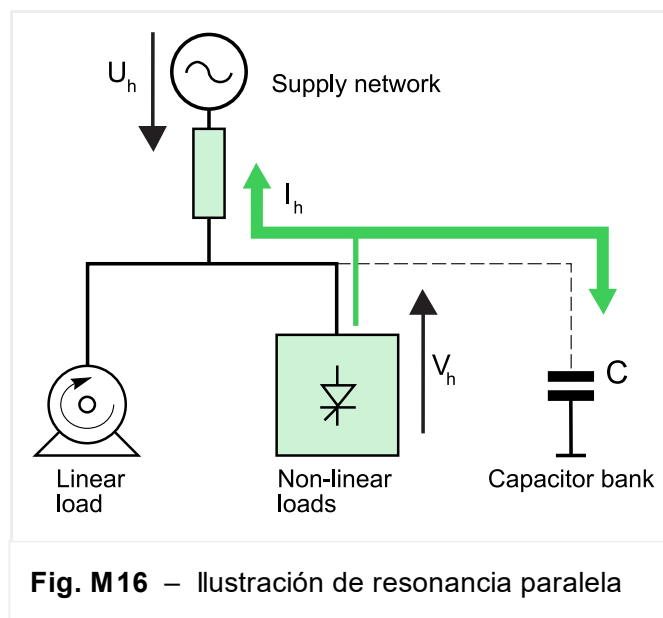
$$Z = \frac{j L_s \omega}{1 - L_s C \omega^2}$$

con:  $\omega$  = pulsación de corrientes armónicas

La resonancia ocurre cuando el denominador ( $1 - L_s C \omega^2$ ) tiende hacia cero. La frecuencia correspondiente se llama frecuencia de resonancia del circuito. A esa frecuencia, la impedancia es máxima y aparecen grandes cantidades de tensiones armónicas debido a la circulación de corrientes armónicas. Esto da como

resultado una importante distorsión de voltaje. La distorsión de tensión va acompañada, en el circuito  $L_S + C$ , por el flujo de corrientes armónicas mayores que las consumidas por las cargas, como se ilustra en la **Figura M16**.

La red de distribución y los condensadores de corrección del factor de potencia están sometidos a altas corrientes armónicas y al consiguiente riesgo de sobrecargas. Para evitar resonancias, se pueden instalar reactores antiharmónicos en serie con los condensadores.



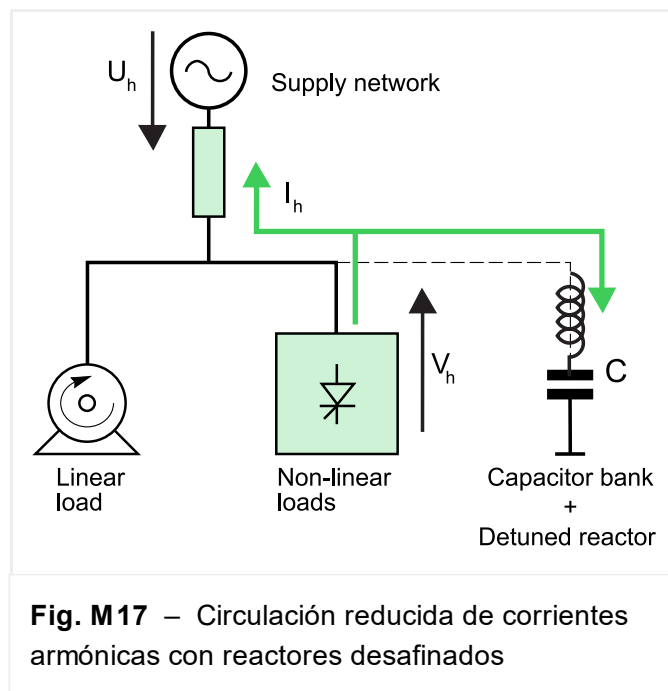
Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

# Efectos de los armónicos - Aumento de las pérdidas.

## Pérdidas en conductores

La potencia activa transmitida a una carga es función de la componente fundamental  $I_1$  de la corriente.

Cuando la corriente consumida por la carga contiene armónicos, el valor rms de la corriente,  $I_{rms}$ , es mayor que el  $I_1$  fundamental.



La definición de THD es :

$$\text{THD}_i = \sqrt{\left(\frac{I_{r.m.s}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

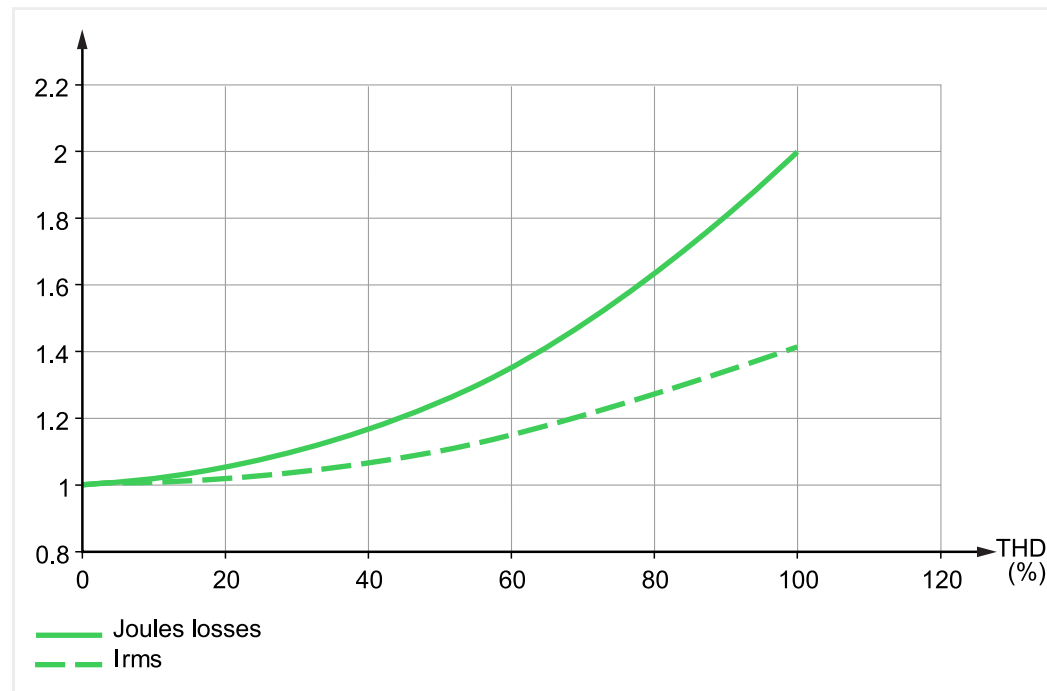
se puede deducir que:

$$I_{r.m.s} = I_1 \cdot \sqrt{1 + \text{THD}_i^2}$$

**La Figura M18** muestra, en función de la distorsión armónica:

- El aumento de la corriente rms  $I_{r.m.s}$  para una carga que consume una corriente fundamental dada
- El aumento de las pérdidas Joule, sin tener en cuenta el efecto piel. (El punto de referencia en el gráfico es 1 para pérdidas  $I_{rms}$  y Joules, caso en el que no hay armónicos)

Las corrientes armónicas provocan un aumento de las pérdidas Joule en todos los conductores por los que fluyen y un aumento adicional de temperatura en transformadores, aparatos, cables, etc.



**Fig. M18** – Aumento de la corriente eficaz y de las pérdidas en julios en función del THD

## Pérdidas en máquinas asíncronas.

---

Las tensiones armónicas (orden  $h$ ) suministradas a las máquinas asíncronas provocan el flujo de corrientes en el rotor con frecuencias superiores a 50 Hz que son origen de pérdidas adicionales.

### Órdenes de magnitud

- Una tensión de alimentación prácticamente rectangular provoca un aumento del 20% en las pérdidas
- Una tensión de alimentación con armónicos  $u_5 = 8\%$  (de  $U_1$ , la tensión fundamental),  $u_7 = 5\%$ ,  $u_{11} = 3\%$ ,  $u_{13} = 1\%$ , es decir, la distorsión armónica total THD  $u$  igual al 10%, da como resultado pérdidas adicionales del 6%

## Pérdidas en transformadores

---

Las corrientes armónicas que fluyen en los transformadores provocan un aumento de las pérdidas del "cobre" debido al efecto Joule y un aumento de las pérdidas del "hierro" debido a las corrientes parásitas. Las tensiones armónicas son responsables de las pérdidas "de hierro" debidas a la histéresis.

Generalmente se considera que las pérdidas en los devanados aumentan con el cuadrado del THD  $i$  y que las pérdidas en el núcleo aumentan linealmente con el THD  $u$ .

En los transformadores de distribución de servicios públicos, donde los niveles de distorsión son limitados, las pérdidas aumentan entre un 10 y un 15%.

## Pérdidas en condensadores.

---

Los voltajes armónicos aplicados a los capacitores provocan el flujo de corrientes proporcionales a la frecuencia de los armónicos. Estas corrientes provocan pérdidas adicionales.

### Ejemplo

Una tensión de alimentación tiene los siguientes armónicos:

- Tensión fundamental  $U_1$ ,
- tensiones armónicas  $u_5 = 8\%$  (de  $U_1$ ),
- $u_7 = 5\%$ ,
- $u_{11} = 3\%$ ,
- $u_{13} = 1\%$ ,

es decir, distorsión armónica total THDu igual al 10%. El amperaje de la corriente se multiplica por 1,19. Las pérdidas en julios se multiplican por  $(1,19)^2$ , es decir, 1,4.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.

# Efectos de los armónicos - Sobrecarga de equipos

---

## Generadores

---

Los generadores que alimentan cargas no lineales deben reducirse debido a las pérdidas adicionales causadas por las corrientes armónicas.

El nivel de reducción de potencia es aproximadamente del 10 % para un generador donde la carga total se compone de un 30 % de cargas no lineales. Por tanto, es necesario sobredimensionar el generador para suministrar la misma potencia activa a las cargas.

## Sistemas de energía ininterrumpida (UPS)

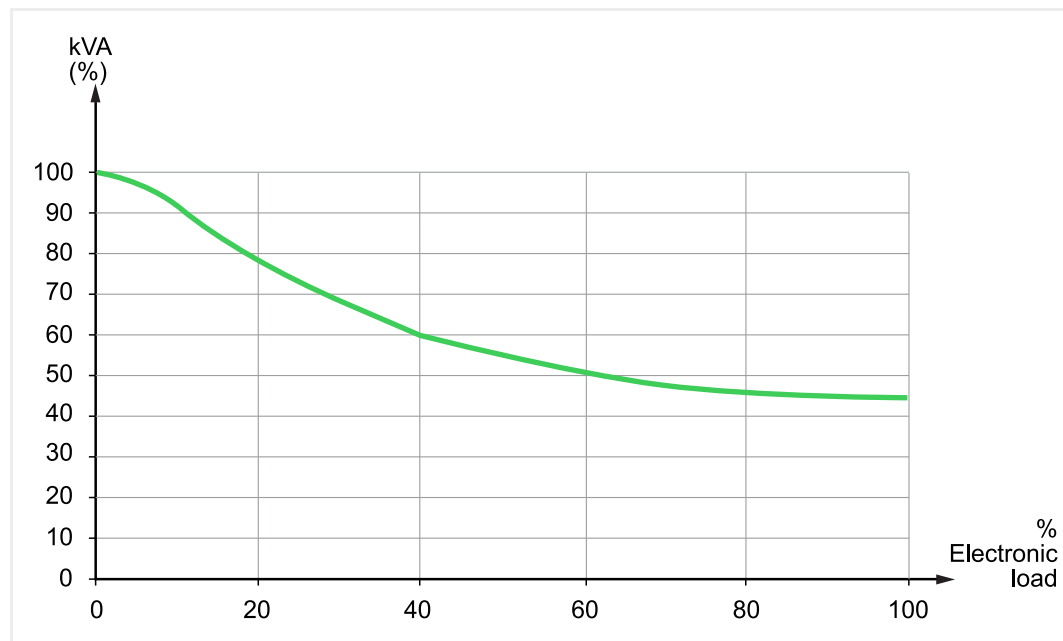
---

La corriente consumida por los sistemas informáticos tiene un factor de cresta muy alto. Un SAI dimensionado teniendo en cuenta exclusivamente la corriente rms puede no ser capaz de suministrar la corriente máxima necesaria y puede sobrecargarse.

## Transformadores

---

- La curva que se presenta a continuación (ver **Fig. M19** ) muestra la reducción típica requerida para un transformador que suministra cargas electrónicas.



**Fig. M19** – Reducción de potencia requerida para un transformador que alimenta cargas electrónicas

**Ejemplo:** si el transformador suministra una carga total que comprende el 40% de las cargas electrónicas, se debe reducir su potencia en un 40%.

- La norma UTE C15-112 proporciona un factor de reducción de potencia para transformadores en función de las corrientes armónicas.

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.1 \left( \sum_{h=2}^{40} h^{1.6} T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

## Máquinas asíncronas

---

La norma IEC60034-1 ("Máquinas eléctricas giratorias – Clasificación y rendimiento") define un factor armónico ponderado (Factor de tensión armónica) para el cual la ecuación y el valor máximo se proporcionan a continuación.

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leq 0.02$$

### Ejemplo

Una tensión de alimentación tiene una tensión fundamental  $U_1$  y tensiones armónicas  $u_3 = 2\%$  de  $U_1$ ,  $U_5 = 3\%$ ,  $U_7 = 1\%$ . El THDu es del 3,7% y el HVF es del 0,018. El valor HVF está muy cerca del valor máximo por encima del cual se debe reducir la potencia de la máquina.

En la práctica, las máquinas asíncronas deben alimentarse con una tensión cuyo THDu no supere el 10%.

## Condensadores

---

Según la norma IEC 60831-1 ("Condensadores de potencia en derivación del tipo autorreparable para sistemas de CA con una tensión nominal de hasta 1 000 V inclusive - Parte 1: General - Rendimiento, pruebas y clasificación - Requisitos de seguridad - Guía de instalación"), la corriente eficaz que circula por los condensadores no debe exceder 1,3 veces la corriente nominal.

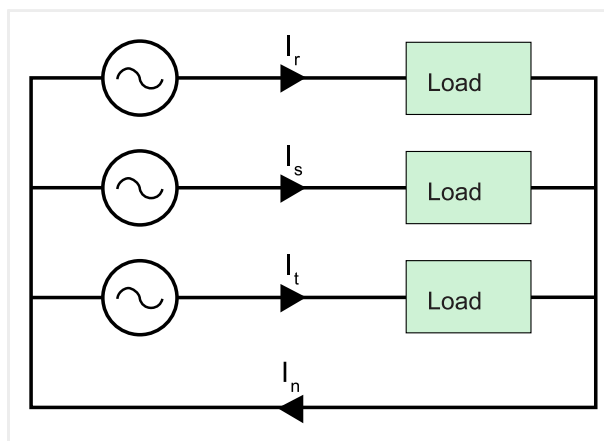
Using the example mentioned above, the fundamental voltage  $U_1$ , harmonic voltages  $u_5 = 8\%$  (of  $U_1$ ),  $U_7 = 5\%$ ,  $U_{11} = 3\%$ ,  $U_{13} = 1\%$ , i.e. total harmonic distortion THDu equal to 10%, the result is

$I_{r.m.s.}/I_1 = 1.19$ , at the rated voltage. For a voltage equal to 1.1 times the rated voltage, the current limit

$I_{r.m.s.}/I_1 = 1.3$  is reached and it is necessary to resize the capacitors.

## Neutral conductors

Consider a system made up of a balanced three-phase source and three identical single-phase loads connected between the phases and the neutral (see **Fig. M20**).

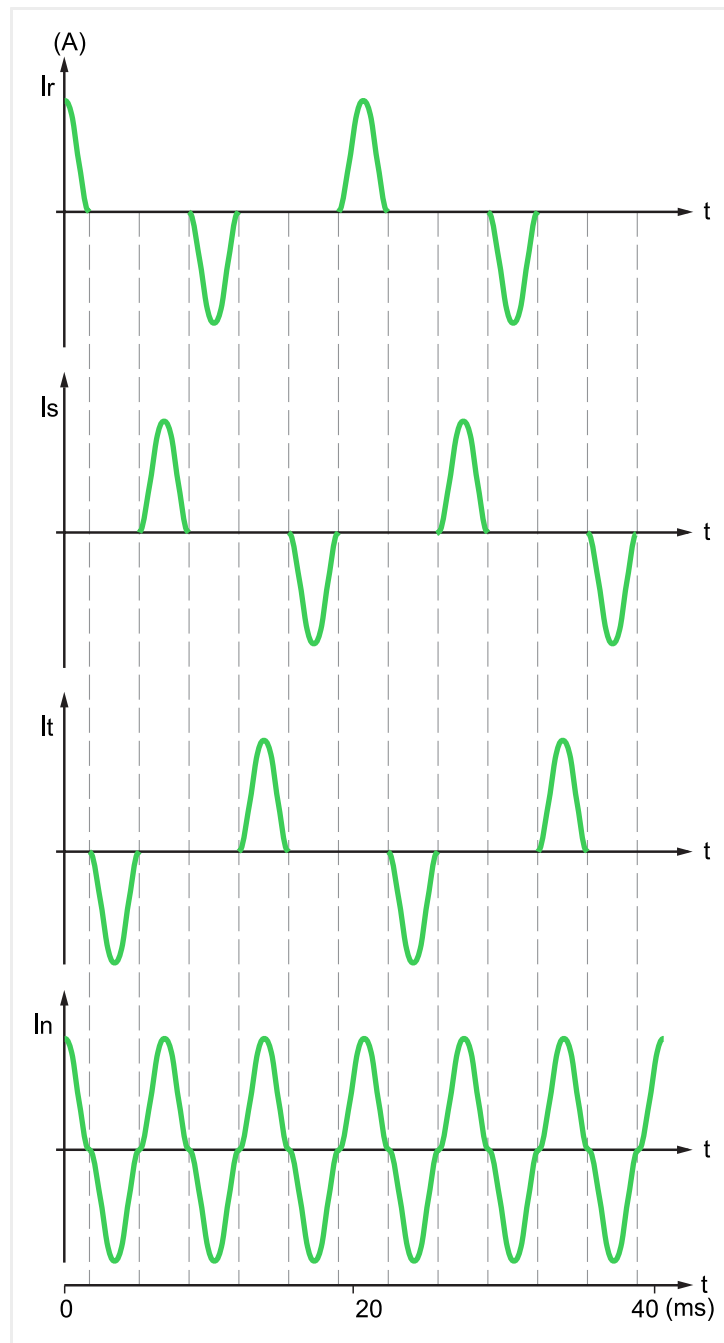


**Fig. M20** – Flow of currents in the various conductors connected to a three-phase source

**Figure M21** shows an example of the currents flowing in the three phases and the resulting current in the neutral conductor.

In this example, the current in the neutral conductor has a rms value that is higher than the rms value of the current in a phase by a factor equal to the square root of 3.

The neutral conductor must therefore be sized accordingly.



**Fig. M21** – Example of the currents flowing in the various conductors connected to a three-phase load  
( $I_n = I_r + I_s + I_t$ )

The current in the neutral may therefore exceed the current in each phase in installation such as those with a large number of single-phase devices (IT equipment, fluorescent lighting). This is the case in office buildings, computer centers, Internet Data Centers, call centers, banks, shopping centers, retail lighting zones, etc.

This is not a general situation, due to the fact that power is being supplied simultaneously to linear and/or three-phase loads (heating, ventilation, incandescent lighting, etc.), which do not generate third order harmonic currents. However, particular care must be taken when dimensioning the cross-sectional areas of neutral conductors when designing new installations or when modifying them in the event of a change in the loads being supplied with power.

A simplified approach can be used to estimate the loading of the neutral conductor.

For balanced loads, the current in the neutral  $I_N$  is very close to 3 times the 3rd harmonic current of the phase current ( $I_3$ ), i.e.:  $I_N \approx 3 \cdot I_3$

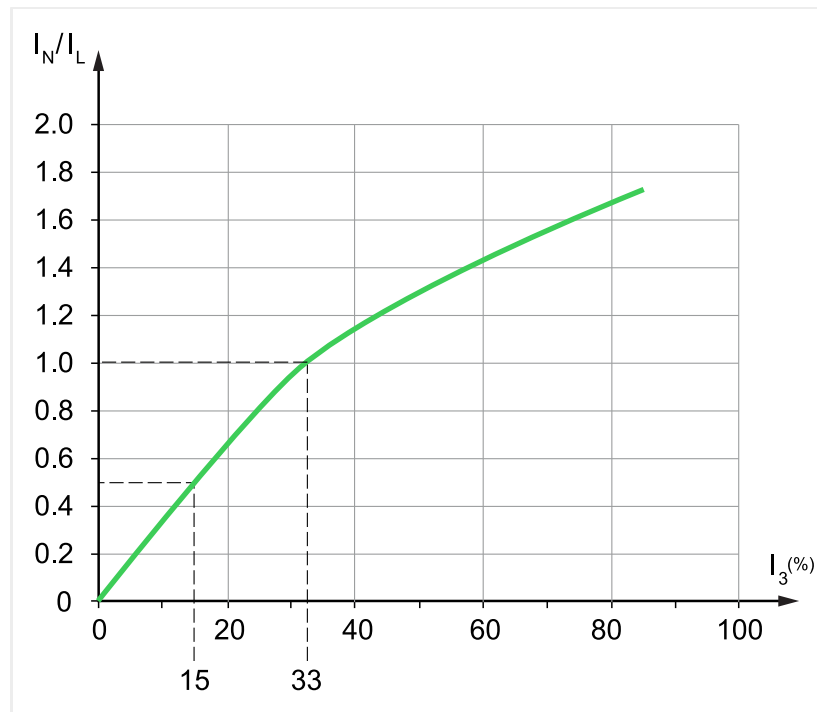
This can be expressed as:  $I_N \approx 3 \cdot i_3 \cdot I_1$

For low distortion factor values, the r.m.s. value of the current is similar to the r.m.s. value of the fundamental, therefore:  $I_N \approx 3 \cdot i_3 \cdot I_L$

And:  $I_N / I_L \approx 3 \cdot i_3$  (%)

This equation simply links the overloading of the neutral ( $I_N / I_L$ ) to the third harmonic current ratio.

In particular, it shows that when this ratio reaches 33%, the current in the neutral conductor is equal to the current in the phases. Whatever the distortion value, it has been possible to use simulations to obtain a more precise law, which is illustrated in **Figure M22**



**Fig. M22** – Loading of the neutral conductor based on the 3rd harmonic ratio

The third harmonic ratio has an impact on the current in the neutral and therefore on the capacity of all components in an installation:

- Distribution panels
- Protection and distribution devices
- Cables and trunking systems

According to the estimated third harmonic ratio, there are three possible scenarios: ratio below 15%, between 15 and 33% or above 33%.

### **Third harmonic ratio below 15% ( $i_3 \leq 15\%$ ):**

The neutral conductor is considered not to be carrying current. The cross-sectional area of the phase conductors is determined solely by the current in the phases. The cross-sectional area of the neutral conductor may be smaller than the cross-sectional area of the phases if the cross sectional area is greater than 16 mm<sup>2</sup> (copper) or 25 mm<sup>2</sup> (aluminum).

Protection of the neutral is not obligatory, unless its cross-sectional area is smaller than that of the phases.

### **Third harmonic ratio between 15 and 33% ( $15 < i_3 \leq 33\%$ ), or in the absence of any information about harmonic ratios:**

The neutral conductor is considered to be carrying current.

The operating current of the multi-pole trunking must be reduced by a factor of 0.84 (or, conversely, select trunking with an operating current equal to the current calculated, divided by 0.84).

The cross-sectional area of the neutral MUST be equal to the cross-sectional area of the phases.

Protection of the neutral is not necessary.

### **Third harmonic ratio greater than 33% ( $i_3 > 33\%$ )**

This rare case represents a particularly high harmonic ratio, generating the circulation of a current in the neutral, which is greater than the current in the phases.

Precautions therefore have to be taken when dimensioning the neutral conductor.

Generally, the operating current of the phase conductors must be reduced by a factor of 0.84 (or, conversely, select trunking with an operating current equal to the current calculated, divided by 0.84). In addition, the operating current of the neutral conductor must be equal to 1.45 times the operating current of the phase conductors (i.e. 1.45/0.84 times the phase current calculated, therefore approximately 1.73 times the phase current calculated).

El método recomendado es utilizar canalizaciones multipolares en las que el área de la sección transversal del neutro sea igual al área de la sección transversal de las fases. Por lo tanto, la corriente en el conductor neutro es un factor clave para determinar la sección transversal de los conductores. La protección del neutro no es necesaria, aunque conviene protegerla si existe alguna duda en cuanto a la carga del conductor neutro.

Este enfoque es común en la distribución final, donde los cables multipolares tienen áreas de sección transversal idénticas para las fases y el neutro.

En el caso de las canalizaciones prefabricadas, el conocimiento preciso de los aumentos de temperatura provocados por las corrientes armónicas permite adoptar un enfoque menos conservador. El calibre de una canalización prefabricada se puede seleccionar directamente en función de la corriente de neutro calculada.

Para obtener más detalles, consulte:

- [Corrientes armónicas en la selección de sistemas de canalización prefabricada \(busways\)](#)
- Cahier Technique ECT212: " El neutro: Un conductor vivo y único "

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.

# Efectos de los armónicos - Perturbaciones que afectan a cargas sensibles

---

## Efectos de la distorsión en la tensión de alimentación.

---

La distorsión de la tensión de alimentación puede alterar el funcionamiento de dispositivos sensibles:

- Dispositivos de regulación (temperatura)
- Hardware de la computadora
- Dispositivos de control y monitoreo (relés de protección)

## Distorsión de las señales telefónicas.

---

Los armónicos causan perturbaciones en los circuitos de control (bajos niveles de corriente). El nivel de distorsión depende de la distancia que recorren en paralelo los cables de potencia y control, la distancia entre los cables y la frecuencia de los armónicos.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.



# Efectos de los armónicos - Impacto económico

---

## Pérdidas de energía

---

Los armónicos provocan pérdidas adicionales (efecto Joule) en conductores y equipos.

## Costos de suscripción más altos

---

La presencia de corrientes armónicas puede requerir un mayor nivel de potencia suscrita y, en consecuencia, mayores costes. Es más, las empresas de servicios públicos estarán cada vez más inclinadas a cobrar a los clientes por las principales fuentes de armónicos.

## Sobredimensionamiento de equipos

---

- La reducción de potencia de las fuentes de energía (generadores, transformadores y UPS) significa que deben sobredimensionarse
- Los conductores deben dimensionarse teniendo en cuenta el flujo de corrientes armónicas. Además, debido al efecto piel, la resistencia de estos conductores aumenta con la frecuencia. Para evitar pérdidas excesivas por efecto Joule es necesario sobredimensionar los conductores

- El flujo de armónicos en el conductor neutro obliga a sobredimensionarlo también.

## Reducción de la vida útil del equipo.

---

Cuando el nivel de distorsión  $THD_u$  de la tensión de alimentación alcanza el 10%, la duración de la vida útil del equipo se reduce significativamente. La reducción se ha estimado en:

- 32,5% para máquinas monofásicas
- 18% para máquinas trifásicas
- 5% para transformadores

Para mantener la vida útil correspondiente a la carga nominal, los equipos deben sobredimensionarse.

## Disparos intempestivos y paradas de la instalación

---

Los interruptores automáticos de la instalación están sometidos a picos de corriente provocados por armónicos. Estos picos actuales pueden provocar disparos molestos de unidades de tecnología antigua, con las consiguientes pérdidas de producción, así como los costes correspondientes al tiempo necesario para volver a poner en marcha la instalación.

## Ejemplos

---

Dadas las consecuencias económicas para las instalaciones que se mencionan a continuación, fue necesaria la instalación de filtros de armónicos.

### **Centro informático para una compañía de seguros.**

En este centro, se calculó que el disparo brusco de un disyuntor costaba 100 mil euros por hora de inactividad.

### **laboratorio farmaceutico**

Los armónicos provocaron la falla de un grupo electrógeno y la interrupción de una prueba de larga duración de un nuevo medicamento. Las consecuencias fueron unas pérdidas estimadas en 17 millones de euros.

### **Fábrica de metalurgia**

Un conjunto de hornos de inducción provocó la sobrecarga y destrucción de tres transformadores de entre 1.500 y 2.500 kVA en un solo año. El coste de las interrupciones en la producción se estimó en 20 mil euros

## **Fábrica de muebles de jardín.**

El fallo de los variadores de velocidad provocó paradas de producción estimadas en 10 mil euros por hora.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.



# Estándares de armónicos

---

Las emisiones de armónicos están sujetas a diversas normas y regulaciones:

- Estándares de compatibilidad para redes de distribución.
- Normas de emisiones aplicables a los equipos que causan armónicos.
- Recomendaciones emitidas por Utilities y aplicables a las instalaciones

Con el fin de atenuar rápidamente los efectos de los armónicos, actualmente está en vigor un triple sistema de normas y reglamentos basado en los documentos que se enumeran a continuación.

## Normas que rigen la compatibilidad entre redes de distribución y productos.

---

Estas normas determinan la compatibilidad necesaria entre las redes de distribución y los productos:

- Los armónicos provocados por un dispositivo no deben perturbar la red de distribución más allá de ciertos límites.
- Cada dispositivo debe ser capaz de funcionar normalmente en presencia de perturbaciones hasta niveles específicos.
- La norma IEC 61000-2-2 es aplicable a los sistemas públicos de suministro de energía de baja tensión.
- La norma IEC 61000-2-4 es aplicable a instalaciones industriales de BT y MT.

## Normas que regulan la calidad de las redes de distribución.

---

- La norma EN 50160 estipula las características de la electricidad suministrada por las redes públicas de distribución.
- El estándar IEEE 519 presenta un enfoque conjunto entre las empresas de servicios públicos y los clientes para limitar el impacto de las cargas no lineales. Además, las empresas de servicios públicos alientan acciones preventivas con el fin de reducir el deterioro de la calidad de la energía, el aumento de

temperatura y la reducción del factor de potencia. Estarán cada vez más inclinados a cobrar a los clientes por las principales fuentes de armónicos.

## Normas que rigen el equipo.

- Norma IEC 61000-3-2 para equipos de baja tensión con corriente nominal inferior a 16 A
- Norma IEC 61000-3-12 para equipos de baja tensión con corriente nominal superior a 16 A e inferior a 75 A

## Niveles armónicos máximos permitidos

Estudios internacionales han recopilado datos que han resultado en una estimación de los contenidos armónicos típicos que se encuentran a menudo en las redes de distribución eléctrica. **La Figura M23** presenta los niveles que, en opinión de muchas empresas de servicios públicos, no deberían superarse.

**Fig. M23** – Tensiones armónicas máximas admisibles y distorsión (%)

|                                                |                                       | LV                         | VM                       | alto voltaje       |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| <b>Armónicos impares<br/>no múltiplos de 3</b> | <b>5</b>                              | 6                          | 5                        | 2                  |
|                                                | <b>7</b>                              | 5                          | 4                        | 2                  |
|                                                | <b>11</b>                             | 3.5                        | 3                        | 1.5                |
|                                                | <b>13</b>                             | 3                          | 2.5                      | 1.5                |
|                                                | <b><math>17 \leq h \leq 49</math></b> | $2.27 \frac{17}{h} - 0.27$ | $1.9 \frac{17}{h} - 0.2$ | $1.2 \frac{17}{h}$ |

|                                            |                    |                            |                            |                            |
|--------------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Armónicos impares<br/>múltiplo de 3</b> | <b>3</b>           | 5                          | 4                          | 2                          |
|                                            | <b>9</b>           | 1.5                        | 1.2                        | 1                          |
|                                            | <b>15</b>          | 0,4                        | 0,3                        | 0,3                        |
|                                            | <b>21</b>          | 0,3                        | 0,2                        | 0,2                        |
|                                            | <b>21 ≤ h ≤ 45</b> | 0,2                        | 0,2                        | 0,2                        |
| <b>incluso armónicos</b>                   | <b>2</b>           | 2                          | 1.8                        | 1.4                        |
|                                            | <b>4</b>           | 1                          | 1                          | 0,8                        |
|                                            | <b>6</b>           | 0,5                        | 0,5                        | 0,4                        |
|                                            | <b>8</b>           | 0,5                        | 0,5                        | 0,4                        |
|                                            | <b>10 ≤ h ≤ 50</b> | $0.25 \frac{10}{h} + 0.25$ | $0.25 \frac{10}{h} + 0.22$ | $0.19 \frac{10}{h} + 0.16$ |
| <b>THDU _</b>                              |                    | 8                          | 6.5                        | 3                          |

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.

# Soluciones para mitigar armónicos

---

Existen tres tipos diferentes de soluciones para atenuar armónicos:

- Modificaciones en la instalación.
- Dispositivos especiales en el sistema de suministro.
- Filtración

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:48.

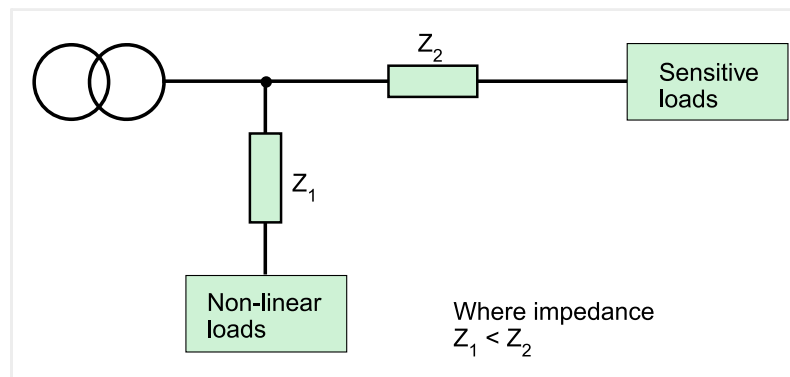
# Soluciones básicas para mitigar armónicos

Para limitar la propagación de armónicos en la red de distribución, existen diferentes soluciones que deben tenerse en cuenta especialmente a la hora de diseñar una nueva instalación.

## Coloque las cargas no lineales aguas arriba en el sistema.

Las perturbaciones armónicas generales aumentan a medida que disminuye la potencia de cortocircuito.

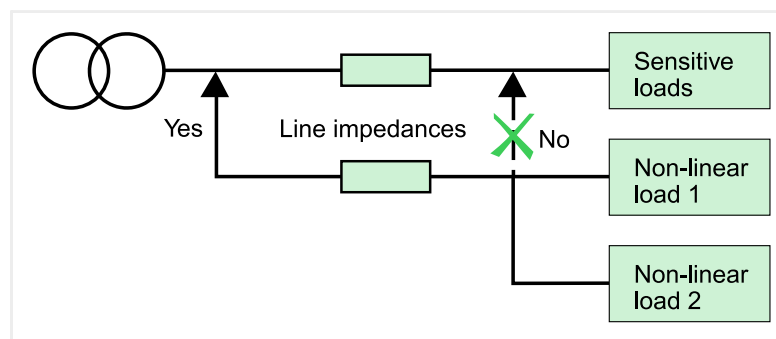
Dejando a un lado todas las consideraciones económicas, es preferible conectar las cargas no lineales lo más arriba posible (ver **Fig. M24** ).



**Fig. M24** – Cargas no lineales colocadas lo más arriba posible aguas arriba (diseño recomendado)

## Agrupar las cargas no lineales.

Al preparar el diagrama unifilar, los dispositivos no lineales deben separarse de los demás (ver **Fig. M25** ). Los dos grupos de dispositivos deben ser alimentados por juegos de barras diferentes.

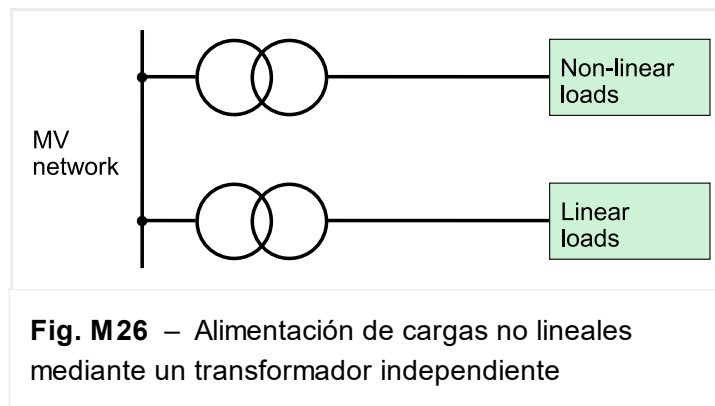


**Fig. M25** – Agrupación de cargas no lineales y conexión lo más aguas arriba posible (disposición recomendada)

## Crear fuentes separadas

Al intentar limitar los armónicos, se puede obtener una mejora adicional creando una fuente a través de un transformador separado como se indica en la **Figura M26** .

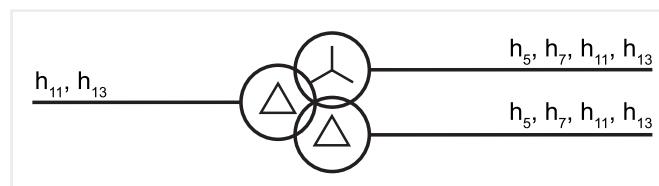
La desventaja es el aumento del coste de la instalación.



## Transformadores con conexiones especiales.

Diferentes conexiones de transformadores pueden eliminar ciertos órdenes armónicos, como se indica en los ejemplos siguientes:

- Una conexión Dyd suprime los armónicos 5.<sup>o</sup> y 7.<sup>o</sup> (consulte **la Fig. M27** )
- Una conexión Dy suprime el tercer armónico
- Una conexión DZ 5 suprime el quinto armónico



**Fig. M27** – Un transformador Dyd bloquea la propagación de los armónicos 5.<sup>o</sup> y 7.<sup>o</sup> a la red aguas arriba.

## Instalar reactores

---

Cuando se suministran variadores de velocidad, es posible suavizar la corriente instalando reactores de línea. Al aumentar la impedancia del circuito de alimentación, se limita la corriente armónica.

La instalación de reactores de supresión de armónicos en bancos de condensadores aumenta la impedancia de la combinación reactor/condensador para armónicos de alto orden.

Esto evita resonancias y protege los condensadores.

## Seleccione la disposición de puesta a tierra adecuada del sistema

---

### sistema CNC

En el sistema TNC, un solo conductor (PEN) proporciona protección en caso de falla a tierra y flujo de corrientes de desequilibrio.

En condiciones de estado estacionario, las corrientes armónicas fluyen en el PEN. Debido a la impedancia del PEN, esto da lugar a ligeras diferencias de potencial (unos pocos voltios) entre dispositivos que pueden provocar un mal funcionamiento de los equipos electrónicos.

Por tanto, el sistema TNC debe reservarse para la alimentación de circuitos de potencia en cabecera de instalación y no debe utilizarse para alimentar cargas sensibles.

### sistema TNS

Se recomienda este sistema si hay armónicos presentes.

El conductor neutro y el conductor de protección PE están completamente separados y, por tanto, el potencial en toda la red de distribución es más uniforme.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.



# Filtrado armónico

En los casos en que la acción preventiva presentada anteriormente sea insuficiente, es necesario dotar la instalación de sistemas de filtración.

Hay tres tipos de filtros:

- Pasivo
- Activo
- Híbrido

## Filtros pasivos

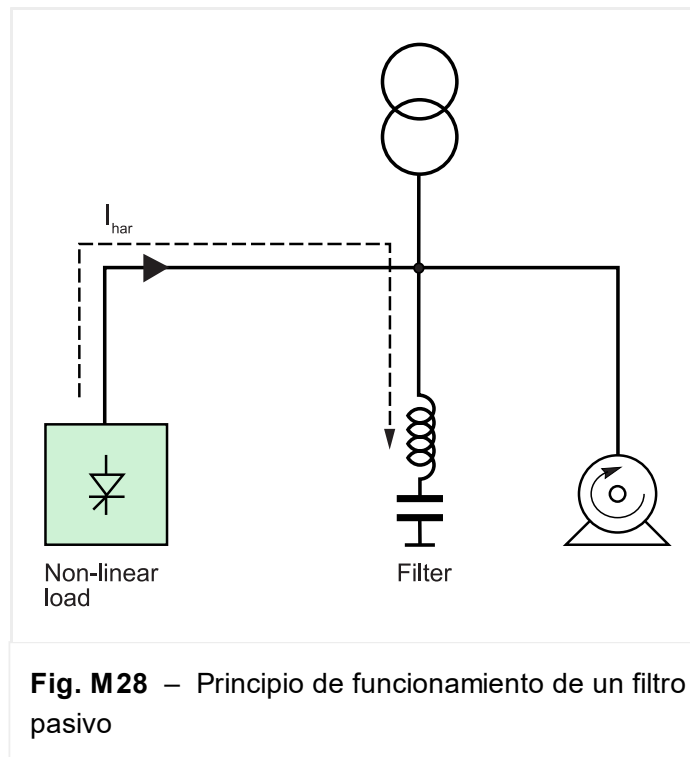
### Aplicaciones Típicas

- Instalaciones industriales con un conjunto de cargas no lineales superiores a 500kVA (variadores de velocidad, SAI, rectificadores, etc.)
- Instalaciones que requieren corrección del factor de potencia.
- Instalaciones donde se debe reducir la distorsión de voltaje para evitar perturbar cargas sensibles.
- Instalaciones donde se debe reducir la distorsión de corriente para evitar sobrecargas

### Principio de operación

Se instala un circuito LC, sintonizado para cada orden de armónicos a filtrar, en paralelo con la carga no lineal (ver **Fig. M28**). Este circuito de bypass absorbe los armónicos evitando así su flujo en la red de distribución.

En términos generales, el filtro pasivo se sintoniza en un orden armónico cercano al orden que se va a eliminar. Se pueden utilizar varias ramas de filtros conectadas en paralelo si se requiere una reducción significativa en la distorsión de varios órdenes armónicos.



## Filtros activos (acondicionador de armónicos activos)

### Aplicaciones Típicas

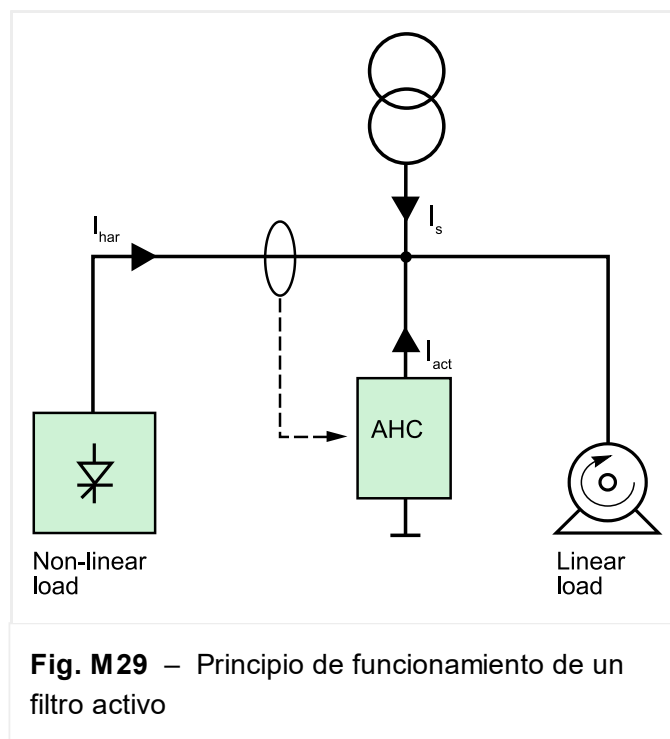
- Instalaciones comerciales con un conjunto de cargas no lineales inferiores a 500kVA (variadores de velocidad, SAI, equipos de oficina, etc.)
- Instalaciones donde se debe reducir la distorsión de la corriente para evitar sobrecargas.

### Principio de operación

Estos sistemas, compuestos por electrónica de potencia e instalados en serie o en paralelo con la carga no lineal, compensan la corriente o tensión armónica consumida por la carga.

**La Figura M29** muestra un acondicionador de armónicos activo (AHC) conectado en paralelo que compensa la corriente armónica ( $I_{har} = -I_{act}$ ).

El AHC inyecta en fase opuesta los armónicos atraídos por la carga no lineal, de modo que la corriente de línea  $I_s$  permanece sinusoidal.



## Filtros híbridos

### Aplicaciones Típicas

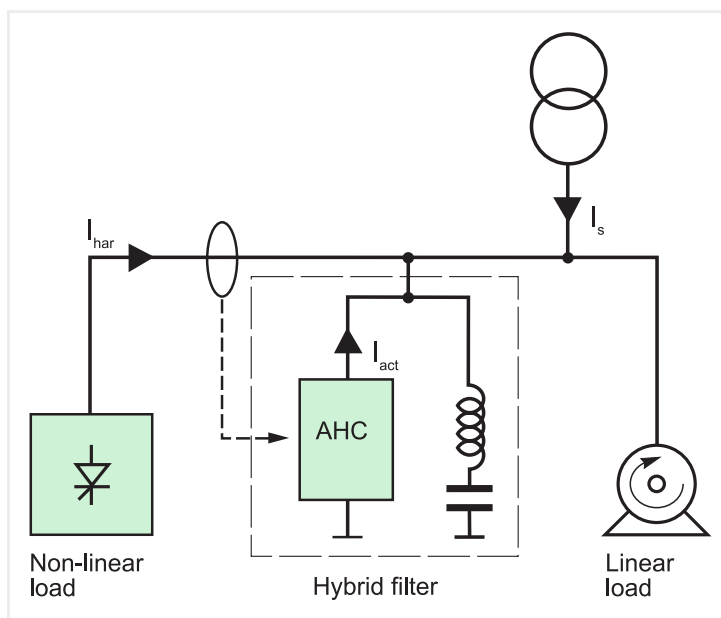
Instalaciones industriales con un conjunto de cargas no lineales superiores a 500kVA (variadores de velocidad, SAI, rectificadores, etc.)

- Instalaciones que requieren corrección del factor de potencia.
- Instalaciones donde se debe reducir la distorsión de voltaje para evitar perturbar cargas sensibles.

- Instalaciones donde se debe reducir la distorsión de corriente para evitar sobrecargas
- Instalaciones donde se deben cumplir límites estrictos de emisión de armónicos

## Principio de operación

Los filtros pasivos y activos se combinan en un solo sistema para constituir un filtro híbrido (ver **Fig. M30**). Esta nueva solución de filtrado ofrece las ventajas de ambos tipos de filtros y cubre una amplia gama de niveles de potencia y rendimiento.



**Fig. M30** – Principio de funcionamiento de un filtro híbrido

## Criteria de selección

---

### Filtro pasivo

Ofrece corrección del factor de potencia y alta capacidad de filtrado de corriente. Los filtros pasivos también reducen las tensiones armónicas en instalaciones donde se altera la tensión de alimentación. Si el nivel de potencia reactiva suministrada es alto, se recomienda apagar el filtro pasivo en momentos en que el porcentaje de carga sea bajo.

Los estudios preliminares de un filtro deben tener en cuenta la posible presencia de una batería de condensadores de corrección del factor de potencia que podría tener que ser eliminada.



**Fig. M31** – Ejemplo de equipo de filtrado pasivo de MT

## Acondicionadores armónicos activos

Filtran armónicos en una amplia gama de frecuencias y pueden adaptarse a cualquier tipo de carga. Por otro lado, las potencias son limitadas.



**Fig. M32** –  
Acondicionador de

armónicos activos (gama  
AccuSine)

## Filtros híbridos

Combinan el rendimiento de filtros activos y pasivos.

Esta página se editó por última vez el 22 de junio de 2022 a las 09:49.



# El método para optimizar la mitigación de armónicos

---

La mejor solución, tanto en términos técnicos como económicos, se basa en los resultados de un estudio en profundidad.

## Auditoría armónica de redes de MT y BT

---

Al recurrir a un experto, tiene la garantía de que la solución propuesta producirá resultados eficaces (por ejemplo, un THD<sub>u</sub> máximo garantizado ).

La auditoría armónica la realiza un ingeniero especializado en las perturbaciones que afectan a las redes de distribución eléctrica y dotado de potentes equipos y software de análisis y simulación.

Los pasos en una auditoría son los siguientes:

- Medición de perturbaciones que afectan la corriente y las tensiones entre fases y entre fases y neutros en la fuente de alimentación, los circuitos de salida perturbados y las cargas no lineales.
- Modelización informática de los fenómenos para obtener una explicación precisa de las causas y determinar las mejores soluciones.
- Un informe de auditoría completo que presente:
  - Los niveles actuales de perturbaciones.
  - Los niveles máximos permitidos de perturbaciones (consulte IEC 61000, IEEE 519, etc.)
- Una propuesta que contiene soluciones con niveles de rendimiento garantizados
- Finalmente, implementación de la solución seleccionada, utilizando los medios y recursos necesarios.

Todo el proceso de auditoría debe estar certificado ISO 9002.

Esta página se editó por última vez el 4 de agosto de 2022 a las 07:31.