

Mayo 2004

TÍTULO

Compatibilidad electromagnética (CEM)

Parte 4-7: Técnicas de ensayo y de medida

Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a éstas

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.

Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure. Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 61000-4-7 de octubre de 2002, que a su vez adopta la Norma Internacional CEI 61000-4-7:2002.

OBSERVACIONES

Esta norma anulará y sustituirá a la Norma UNE-EN 61000-4-7 de noviembre de 1996 antes de 2005-10-01.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 208 *Compatibilidad Electromagnética* cuya Secretaría desempeña UNESA.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 24871:2004

© AENOR 2004
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

37 Páginas

Grupo 23

Versión en español

Compatibilidad electromagnética (CEM)
Parte 4-7: Técnicas de ensayo y de medida
Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos,
así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de
suministro y a los aparatos conectados a éstas
(CEI 61000-4-7:2002)

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.
(IEC 61000-4-7:2002)

Compatibilité électromagnétique (CEM).
Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure.
Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés.
(CEI 61000-4-7:2002)

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).
Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren.
Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten.
(IEC 61000-4-7:2002)

Esta norma europea ha sido aprobada por CENELEC el 2002-10-01. Los miembros de CENELEC están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CENELEC en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CENELEC son los comités electrotécnicos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CENELEC
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN ELECTROTÉCNICA
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 35 B-1050 Bruxelles

ANTECEDENTES

El texto del documento 77A/382/FDIS, futura edición 2 de la Norma Internacional CEI 61000-4-7, preparado por el Subcomité SC 77A, *Fenómenos de baja frecuencia*, del Comité Técnico TC 77, *Compatibilidad electromagnética*, de CEI, fue sometido a voto paralelo CEI-CENELEC y fue aprobado por CENELEC como Norma Europea EN 61000-4-7 el 2002-10-01.

Esta norma anula y sustituye a la Norma Europea EN 61000-4-7: 1993.

Se fijaron las siguientes fechas:

- Fecha límite en la que la norma europea debe adoptarse a nivel nacional por publicación de una norma nacional idéntica o por ratificación (dop) 2003-07-01
- Fecha límite en la que deben retirarse las normas nacionales divergentes con esta norma (dow) 2005-10-01

Los anexos denominados “normativos” forman parte del cuerpo de la norma.

Los anexos denominados “informativos” se dan sólo para información.

En esta norma, el anexo ZA es normativo y los anexos A, B y C son informativos.

El anexo ZA ha sido añadido por CENELEC.

DECLARACIÓN

El texto de la Norma Internacional CEI 61000-4-7:2002 fue aprobado por CENELEC como norma europea sin ninguna modificación.

En la versión oficial, para la bibliografía, debe añadirse la siguiente nota para la norma indicada*:

CEI 61000-3 (Serie) NOTA – Parcialmente armonizada en la serie de la Norma EN 61000-3 (sin modificaciones).

CEI 61010-1 NOTA – Armonizada como Norma EN 61010-1:2001 (sin modificaciones).

* Introducida en la norma indicándose con una línea vertical en el margen izquierdo del texto.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	7
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	8
2 NORMAS PARA CONSULTA	8
3 DEFINICIONES, SÍMBOLOS E ÍNDICES.....	8
3.1 Definiciones relacionadas con el análisis frecuencial	8
3.2 Definiciones relativas a los armónicos.....	10
3.3 Definiciones relacionadas con las tasas de distorsión	10
3.4 Definiciones relativas a los interarmónicos.....	11
3.5 Notaciones.....	12
3.5.1 Símbolos y abreviaturas	12
3.5.2 Índices	13
4 CONCEPTOS GENERALES Y REQUISITOS COMUNES PARA TODOS LOS TIPOS DE INSTRUMENTOS.....	13
4.1 Características de la señal a medir	13
4.2 Clases de precisión de la instrumentación	14
4.3 Tipos de medidas.....	14
4.4 Estructura general del instrumento	14
4.4.1 Instrumento principal.....	14
4.4.2 Partes del tratamiento posterior.....	15
5 MEDIDAS DE ARMÓNICOS.....	16
5.1 Circuito de entrada de corriente	16
5.2 Circuito de entrada de tensión.....	16
5.3 Requisitos de precisión	17
5.4 Configuración de la medida para la evaluación de las emisiones	18
5.5 Evaluación de las emisiones de armónicos.....	20
5.5.1 Reagrupamiento y alisado.....	20
5.5.2 Cumplimiento de los límites de emisión.....	21
5.6 Evaluación de los subgrupos armónicos de tensión	21
6 OTROS PRINCIPIOS DE ANÁLISIS.....	22
7 PERIODO DE TRANSICIÓN.....	22
8 GENERALIDADES.....	22
ANEXO A (Informativo) MEDIDA DE INTERARMÓNICOS.....	24
ANEXO B (Informativo) MEDIDAS POR ENCIMA DEL MARGEN DE FRECUENCIAS ARMÓNICAS HASTA 9 KHZ	26
ANEXO C (Informativo) CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA UN MÉTODO DE REAGRUPAMIENTO.....	28

BIBLIOGRAFÍA	36
Figura 1 – Estructura general del instrumento de medida	15
Figura 2 – Configuración para la medida de emisiones monofásicas	18
Figura 3 – Configuración para la medida de emisiones trifásicas	18
Figura 4 – Ilustración de grupos armónicos e interarmónicos (representados aquí para una red de suministro de 50 Hz)	20
Figura 5 – Realización de un filtro paso-bajo digital: z^{-1} designa un retraso de una ventana temporal, α y β son los coeficientes del filtro (véanse los valores en la tabla 2) ...	20
Figura 6 – Ilustración de un subgrupo armónico y de un subgrupo interarmónico centrado (en una red de suministro de 50 Hz)	21
Figura B.1 – Ilustración de las bandas de frecuencia para las medidas en el margen de 2 kHz a 9 kHz	27
Figura C.1 – Fluctuación grande de corriente del 5º armónico	30
Figura C.2 – Fluctuación grande de tensión del 5º armónico	31
Figura C.3 – 3º armónico fluctuante de corriente de un aparato de microondas	31
Figura C.4 – Señal de comunicación de 178 Hz junto con un 3º y 5º armónicos	32
Figura C.5 – Interarmónico de 287 Hz, 5º y 6º armónicos	33
Figura C.6 – 5º armónico modulado e interarmónico de 287 Hz	34
Figura C.7 – Vectores componentes a las frecuencias de 245 Hz y de 255 Hz	35
Tabla 1 – Requisitos de precisión para las medidas de la corriente, la tensión y la potencia	17
Tabla 2 – Coeficientes del filtro de alisado en función del ancho de la ventana	22

INTRODUCCIÓN

La Norma CEI 61000 se publica en forma de varias partes separadas, cuya estructura es la siguiente:

Parte 1: Generalidades

Consideraciones generales (introducción, principios fundamentales)
Definiciones, terminología

Parte 2: Entorno

Descripción del entorno
Clasificación del entorno
Niveles de compatibilidad

Parte 3: Límites

Límites de emisión
Límites de inmunidad (en la medida en que no son de la responsabilidad de los comités de producto)

Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida

Técnicas de medida
Técnicas de ensayo

Parte 5: Guías de instalación y de atenuación

Guías de instalación
Métodos y dispositivos de atenuación

Parte 6: Normas genéricas

Parte 9: Varios

Cada parte está a su vez subdividida en varias partes, publicadas bien como normas internacionales, bien como especificaciones técnicas o informes técnicos, habiendo sido publicadas algunas ya como secciones. Otras se publicarán con el número de la parte, seguido de un guión y completado de un segundo número identificando la subdivisión (por ejemplo: 61000-6-1).

Estas publicaciones se editarán en orden cronológico y numerarán consecuentemente.

Esta parte es una norma internacional para la medida de las corrientes y las tensiones armónicas en las redes de suministro y las corrientes armónicas emitidas por los equipos. También especifica las características de un instrumento de medida normalizado.

Compatibilidad electromagnética (CEM)
Parte 4-7: Técnicas de ensayo y de medida
Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a éstas

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma CEI 61000 se aplica a la instrumentación destinada a la medida de las componentes espectrales en el margen de frecuencias de hasta 9 kHz que se superponen a la componente fundamental de las redes de suministro de 50 Hz y de 60 Hz. Por consideraciones prácticas, en esta norma se distingue entre armónicos, interarmónicos y otras componentes por encima del margen de frecuencias de los armónicos, hasta 9 kHz.

En esta norma se define la instrumentación de medida para el ensayo de equipos individuales de acuerdo con los límites de emisión señalados en ciertas normas (por ejemplo, límites de corriente armónica dados en la Norma CEI 61000-3-2) así como para la medida de las corrientes y las tensiones armónicas en las propias redes de suministro. A modo provisional se define la instrumentación para las medidas por encima del margen de las frecuencias armónicas, hasta 9 kHz (véase el anexo B).

NOTA 1 – Este documento trata en detalle los instrumentos basados en la transformada discreta de Fourier.

NOTA 2 – La descripción de las funciones y de la estructura de los instrumentos de medida contenida en esta norma es muy explícita y se pretende que se tome en su sentido literal. Ello se debe a la necesidad de disponer de instrumentos de referencia que den resultados reproducibles independientemente de las características de las señales de entrada.

NOTA 3 – El instrumento se define para cumplir con las medidas de los armónicos de orden inferior o igual a 50.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

CEI 60050-161 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional. Capítulo 161: Compatibilidad electromagnética.*

CEI 61000-3-2 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase).*

CEI 61967-1 – *Circuitos integrados. Mediciones de las emisiones electromagnéticas de 150 kHz a 1 GHz. Parte 1: Definiciones y condiciones generales.*

3 DEFINICIONES, SÍMBOLOS E ÍNDICES

Para los fines de esta parte de la Norma CEI 61000, se aplican las definiciones dadas en la Norma CEI 60050-161 (VEI) y las definiciones siguientes.

3.1 Definiciones relacionadas con el análisis frecuencial

Notaciones: En esta guía se utilizan las siguientes notaciones para el desarrollo en series de Fourier porque es más fácil medir los ángulos de fase por observaciones de los pasos por cero:

$$f(t) = c_0 + \sum_{m=1}^{\infty} c_m \operatorname{sen} \left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \varphi_m \right) \quad (1)$$

con:

$$\begin{cases} c_m = |b_m + ja_m| = \sqrt{a_m^2 + b_m^2} \\ C_m = \frac{c_m}{\sqrt{2}} \\ \varphi_m = \arctan \left(\frac{a_m}{b_m} \right) \text{ si } b_m \geq 0 \\ \varphi_m = \pi + \arctan \left(\frac{a_m}{b_m} \right) \text{ si } b_m < 0 \end{cases} \quad (2)$$

y:

$$\begin{cases} b_m = \frac{2}{T_w} \int_0^{T_w} f(t) \times \operatorname{sen} \left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \phi_m \right) dt \\ a_m = \frac{2}{T_w} \int_0^{T_w} f(t) \times \operatorname{cos} \left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \phi_m \right) dt \\ c_0 = \frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} f(t) dt \end{cases} \quad (3)$$

donde

- ω_1 es la frecuencia angular de la componente fundamental ($\omega_1 = 2 \pi f_1$);
- T_w es el ancho (o duración) de la ventana temporal ($T_w = NT_1$; $T_1 = 1/f_1$); la ventana temporal es el periodo de observación de una función temporal sobre la que se aplica la transformada de Fourier;
- c_m es la amplitud de la componente de la frecuencia $f_m = \frac{m}{N} f_m$;
- N es el número de periodos de la componente fundamental contenidos en el ancho de la ventana temporal;
- c_0 es la componente de corriente continua;
- m es el número ordinal (orden de la barra espectral) relativo a la frecuencia de base ($f = 1/T_w$)

NOTA 1 – En sentido estricto, estas definiciones se aplican solamente a las señales en régimen permanente.

Generalmente, las series de Fourier se calculan digitalmente, es decir, en forma de *transformada discreta de Fourier* (DFT).

La señal analógica $f(t)$ a analizar se muestrea, digitaliza y almacena. Cada grupo de M muestras forma una ventana temporal sobre la que se calcula la DFT. Siguiendo los criterios del desarrollo en series de Fourier, el ancho de la ventana T_w , determina la resolución en frecuencia $f_w = 1/T_w$ (es decir, la separación en frecuencias de las barras del espectro) para el análisis y, así, la frecuencia de base para el resultado de la transformada. En consecuencia, el ancho de la ventana T_w tiene que ser un múltiplo entero N del periodo de la componente fundamental T_1 de la tensión de la red: $T_w = N \times T_1$. La frecuencia de muestreo es en este caso $f_s = M/(NT_1)$ (donde $M =$ número de muestras en T_w).

Antes de realizar la DFT, las muestras en la ventana T_w frecuentemente se ponderan multiplicándolas por una función simétrica especial (“función ventana”). No obstante, para las señales periódicas y un muestreo sincrónico, es preferible utilizar una ventana de ponderación rectangular que multiplica cada muestra por un valor unitario.

El procesador de DFT proporciona los coeficientes ortogonales de Fourier, a_m y b_m , de las correspondientes frecuencias armónicas $f_m = m/T_w$, $m = 0, 1, 2 \dots 2^i - 1$. No obstante, sólo son útiles los valores de m inferiores o iguales a la mitad del valor máximo, la otra mitad solamente los duplica.

Cuando la sincronización es suficiente, el armónico de orden n relativo a la frecuencia fundamental f_1 viene dado por $n = m/N$ ($N =$ número de periodos en T_w).

NOTA 2 – La transformada rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo especial que permite tiempos de cálculo breves. Ello requiere que el número de muestras M sea una potencia entera de 2, $M = 2^i$, con, por ejemplo, $i \geq 10$.

3.2 Definiciones relativas a los armónicos

3.2.1 frecuencia armónica; f_n : La frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia de la red de suministro (frecuencia fundamental) ($f_n = n \times f_1$).

3.2.2 orden de un armónico; n : La relación (entera) entre una frecuencia armónica y la frecuencia de la red de suministro. En relación con el análisis realizado utilizando la DFT y una sincronización entre f_1 y f_s (frecuencia de muestreo), el orden de un armónico n viene dado por $n = k/N$ (k = número de la componente de Fourier, N = número de periodos T_1 en T_w).

3.2.3 valor eficaz de una componente armónica; G_n : El valor eficaz de una de las componentes con una frecuencia armónica en el análisis de una onda no sinusoidal.

De manera concisa, una componente tal puede denominarse simplemente “armónico”.

NOTA 1 – La componente armónica G_n es idéntica a la componente espectral C_k con $k = N \times n$; ($G_n = C_{Nn}$). En caso de requerirse, se sustituye por el símbolo I_n para las corrientes o por el símbolo U_n para las tensiones.

NOTA 2 – El símbolo C_k representa el valor eficaz de la componente espectral C_m para $m = k$ en la ecuación 2.

NOTA 3 – Para el propósito de esta norma, la ventana temporal tiene un ancho de $N = 10$ (en las redes de 50 Hz) o $N = 12$ (en las redes de 60 Hz) periodos de la componente fundamental, es decir, aproximadamente 200 ms (véase el apartado 4.4.1). Esto hace que $G_n = C_{10n}$ (en las redes de 50 Hz) y $G_n = C_{12n}$ (en las redes de 60 Hz).

3.2.4 valor eficaz de un grupo armónico; $G_{g,n}$: La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor eficaz de un armónico y de las componentes espectrales adyacentes a él dentro de la ventana temporal, sumando así el contenido energético de las barras espectrales vecinas a las del propio armónico. Véase también la ecuación 8 y la figura 4. El orden del armónico viene dado por el armónico considerado.

3.2.5 valor eficaz de un subgrupo armónico; $G_{sg,n}$: La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor eficaz de un armónico y de las dos componentes espectrales inmediatamente adyacentes a él. Con el fin de tomar en cuenta el efecto de las fluctuaciones de tensión durante los sondeos de medida de tensión, se obtiene un subgrupo de componentes de salida de la DFT sumando el contenido energético de las componentes en frecuencia directamente adyacentes a un armónico con el del propio armónico. (Véase también la ecuación 9 y la figura 6). El orden del armónico viene dado por el armónico considerado.

3.3 Definiciones relacionadas con las tasas de distorsión

3.3.1 tasa de distorsión armónica total; THD: *THD* (símbolo) la relación entre el valor eficaz de la suma de todas las componentes armónicas (G_n) hasta un orden definido H y el valor eficaz de la componente fundamental (G_1):

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{G_n}{G_1} \right)^2} \quad (4)$$

NOTA 1 – El símbolo G representa el valor eficaz de la componente armónica (véase al apartado 3.2.3). En caso de requerirse, se sustituye por el símbolo I para las corrientes o por el símbolo U para las tensiones.

NOTA 2 – En cada norma relacionada con los límites se define el valor de H (serie de la Norma CEI 61000-3).

3.3.2 tasa de distorsión total de un grupo armónico; THDG: *THDG* (símbolo) la relación entre el valor eficaz de los grupos armónicos (g) y el valor eficaz del grupo asociado a la componente fundamental:

$$THDG = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{G_{gn}}{G_{g1}} \right)^2} \quad (5)$$

3.3.3 tasa de distorsión total de un subgrupo armónico; THDS: THDS (símbolo) la relación entre el valor eficaz de los subgrupos armónicos (sg) y el valor eficaz del subgrupo asociado a la componente fundamental:

$$THDS = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{G_{sgn}}{G_{sg1}} \right)^2} \quad (6)$$

3.3.4 distorsión armónica parcialmente ponderada; PWH: PWH (símbolo) la relación entre el valor eficaz, ponderado con el armónico de orden n , de un grupo seleccionado de armónicos de orden superior (del orden $H_{\min.}$ al de $H_{\max.}$) y el valor eficaz de la componente fundamental:

$$PWH = \sqrt{\sum_{n=H_{\min.}}^{H_{\max.}} n \left(\frac{G_n}{G_1} \right)^2} \quad (7)$$

NOTA 1 – El concepto de distorsión armónica parcialmente ponderada se introduce con el objeto de que se pueda especificar un límite único para la agregación de las componentes armónicas de orden superior. La distorsión parcialmente ponderada de un grupo de armónicos puede evaluarse sustituyendo la cantidad G_n por la cantidad $G_{g,n}$. La distorsión parcialmente ponderada de un subgrupo de armónicos puede evaluarse sustituyendo la cantidad G_n por la cantidad $G_{sg,n}$.

NOTA 2 – En cada una de las normas relacionadas con los límites se definen los valores de $H_{\min.}$ y $H_{\max.}$ (serie de la Norma CEI 61000-3).

NOTA 3 – En esta norma se define *PWH* porque se utiliza en las Normas CEI 61000-3-4 y CEI 61000-3-2 Ed. 2 junto con la modificación 1.

3.4 Definiciones relativas a los interarmónicos

3.4.1 valor eficaz de una componente interarmónica: El valor eficaz de una componente espectral de una señal eléctrica cuya frecuencia está comprendida entre dos frecuencias armónicas consecutivas (véase la figura 4).

NOTA 1 – La frecuencia de la componente interarmónica viene dada por la frecuencia de la barra espectral. Esta frecuencia no es un múltiplo entero de la frecuencia de la componente fundamental.

NOTA 2 – El intervalo de frecuencias entre dos barras espectrales consecutivas es la inversa del ancho de la ventana temporal, aproximadamente 5 Hz para el propósito de esta norma.

NOTA 3 – Para el propósito de esta norma, se admite que la componente interarmónica es la componente espectral C_k para $k \neq n \times N$.

3.4.2 valor eficaz de un grupo interarmónico; $C_{ig,n}$: El valor eficaz de todas las componentes interarmónicas comprendidas en el intervalo entre dos frecuencias armónicas consecutivas (véase la figura 4).

NOTA – Para el propósito de esta norma, el valor eficaz del grupo interarmónico comprendido entre los armónicos de ordenes n y $n + 1$ se designa como " $C_{ig,n}$ "; por ejemplo, el grupo comprendido entre $n = 5$ y $n = 6$ se designa como $C_{ig,5}$.

3.4.3 valor eficaz de un subgrupo interarmónico centrado; $C_{isg,n}$: El valor eficaz de todas las componentes interarmónicas comprendidas en el intervalo entre dos frecuencias armónicas consecutivas, excluyendo las componentes de frecuencia directamente adyacentes a las frecuencias armónicas (véase la figura 6).

NOTA – Para el propósito de esta norma, el valor eficaz de un subgrupo centrado comprendido entre los armónicos de ordenes n y $n + 1$ se designa como " $C_{isg,n}$ "; por ejemplo, el subgrupo centrado comprendido entre $n = 5$ y $n = 6$ se designa como $C_{isg,5}$.

3.4.4 frecuencia del grupo interarmónico; $f_{ig,n}$: La media de las dos frecuencias armónicas entre las que se encuentra el grupo.

3.4.5 frecuencia del subgrupo interarmónico centrado; $f_{isg,n}$: La media de las dos frecuencias armónicas entre las que se encuentra el subgrupo.

3.5 Notaciones

3.5.1 Símbolos y abreviaturas. En esta norma, los valores de las tensiones y las corrientes son, salvo que se establezca otra cosa, valores eficaces.

a	coeficiente de amplitud de una componente en seno en una serie de Fourier
b	coeficiente de amplitud de una componente en coseno en una serie de Fourier
c	coeficiente de amplitud en una serie de Fourier
d	factor de distorsión
f	frecuencia; función
f_1	frecuencia de la componente fundamental
f_s	frecuencia de muestreo
j	$\sqrt{-1}$
p	valor de una función de probabilidad acumulada, expresada en porcentaje
t	tiempo en curso
x	valor muestreado
B	ancho de banda
C	valor eficaz de la barra espectral
D	factor de distorsión ponderado
F_c	componente en frecuencia
H	orden del mayor armónico que se toma en cuenta
Hz	hercio
I	corriente (valor eficaz)
K	número de ventanas en un intervalo de 3 s
M	número entero; número de muestras dentro del ancho de ventana
N	número de periodos dentro del ancho de ventana
P	potencia
PCC	punto de conexión común
T	intervalo de tiempo
T_1	periodo de la componente fundamental
T_w	NT_1 (ancho de ventana)

U	tensión (valor eficaz)
ω	frecuencia angular
ω_1	frecuencia angular de la componente fundamental
φ	ángulo de fase

3.5.2 Índices

b	frecuencia central de la banda
i	número entero en curso
k	número entero en curso
m	valor medido; contenido espectral de orden m (no necesariamente un número entero)
máx.	valor máximo
mín.	valor mínimo
n	orden del armónico; número en curso (número entero)
g, n	orden del grupo armónico asociado al armónico de orden n
$g, 1$	orden del grupo armónico asociado a la componente fundamental
sg, n	orden del subgrupo armónico asociado al armónico de orden n
$sg, 1$	orden del subgrupo armónico asociado a la componente fundamental
ig, n	grupo interarmónico situado por encima del armónico de orden n
isg, n	subgrupo interarmónico centrado situado por encima del armónico de orden n
nom	valor nominal
r	valor asignado
s	muestreado; sincronizado
1	componente fundamental

4 CONCEPTOS GENERALES Y REQUISITOS COMUNES PARA TODOS LOS TIPOS DE INSTRUMENTOS

4.1 Características de la señal a medir

Se consideran los instrumentos para los siguientes tipos de medidas:

- medida de emisión armónica;
- medida de emisión interarmónica;
- medidas por encima del margen de frecuencia armónica, de hasta 9 kHz.

En sentido estricto, las medidas de armónicos sólo se pueden efectuar sobre una señal de régimen permanente; las señales fluctuantes (señales que varían con el tiempo) no se pueden describir de manera correcta sólo por sus armónicos. No obstante, para obtener resultados comparables entre sí, se indica un procedimiento simplificado y reproducible para las señales fluctuantes.

4.2 Clases de precisión de la instrumentación

Según los requisitos para su aplicación, se consideran dos clases de precisión (I y II), para permitir la utilización de instrumentos simples y de bajo costo. Para los ensayos de emisión, si las emisiones se acercan a los valores límites, se requiere la clase I superior (véase también la nota 2 de la tabla 1).

4.3 Tipos de medidas

Se dan requisitos para las medidas de armónicos e interarmónicos. Se consideran también las medidas en el margen de frecuencias que va hasta 9 kHz.

4.4 Estructura general del instrumento

En los nuevos modelos de instrumentos es probable utilizar la transformada discreta de Fourier (DFT), utilizándose normalmente un algoritmo llamado transformada rápida de Fourier (FFT). Por esta razón, en esta norma sólo se considera esta arquitectura pero no se excluyen otros criterios de análisis (véase el capítulo 6).

En la figura 1 se representa la estructura general. Un instrumento puede o no comprender todos los bloques y salidas indicadas en esta figura.

4.4.1 Instrumento principal

El instrumento principal comprende

- circuitos de entrada con un filtro anti-alisado;
- un convertidor A/D que incluye una unidad de muestreo y retención;
- un sistema de sincronización y una ventana de ponderación, si fuera necesario;
- un procesador DFT que da los coeficientes de Fourier a_m y b_m (“Salida 1”).

Se completa por medio de módulos especiales destinados a la evaluación de la corriente y/o la tensión.

NOTA 1 – Para más detalles, véase el apartado 5.5.

NOTA 2 – Para el análisis de armónicos e interarmónicos, la señal $f(t)$ a analizar se trata previamente, para eliminar frecuencias superiores al del margen de funcionamiento del instrumento.

Para una completa conformidad con esta norma, el ancho de la ventana debe ser de 10 (en redes de 50 Hz) o 12 (en redes de 60 Hz) periodos de la componente fundamental con una ponderación rectangular (véase también el capítulo 7). La ponderación de Hanning solo se permite en el caso de pérdida de sincronización. Esta pérdida de sincronización debe indicarse en la pantalla del instrumento y los datos obtenidos de esa manera deben marcarse.

La ventana temporal debe sincronizarse con cada grupo de 10 ó 12 ciclos según la frecuencia de la red de 50 Hz o de 60 Hz. La duración entre el frente ascendente del primer impulso de muestreo y el frente ascendente del impulso $(M+1)^\circ$ de muestreo (donde M es el número de muestras; véase el apartado 3.5.1) debe ser igual a la duración del número de ciclos especificado de la red, con un error máximo permitido de $\pm 0,03\%$. Los instrumentos que incluyen un bucle de enganche de fase u otros medios de sincronización deben cumplir los requisitos de precisión y sincronización para medir a cualquier frecuencia de señal comprendida en un margen de al menos $\pm 5\%$ de la frecuencia nominal de la red. Sin embargo, para los instrumentos que tengan fuentes de alimentación integradas, de modo que la fuente y los sistemas de medida están sincronizados de forma inherente, no se aplica el requisito para un margen de frecuencias en la entrada, con la condición de que se cumplan los requisitos de sincronización y de precisión de la frecuencia.

La salida (Salida 1, véase la figura 1) debe dar los coeficientes individuales a_m y b_m de la DFT, para la corriente y la tensión, es decir, el valor de cada componente de frecuencia calculada.

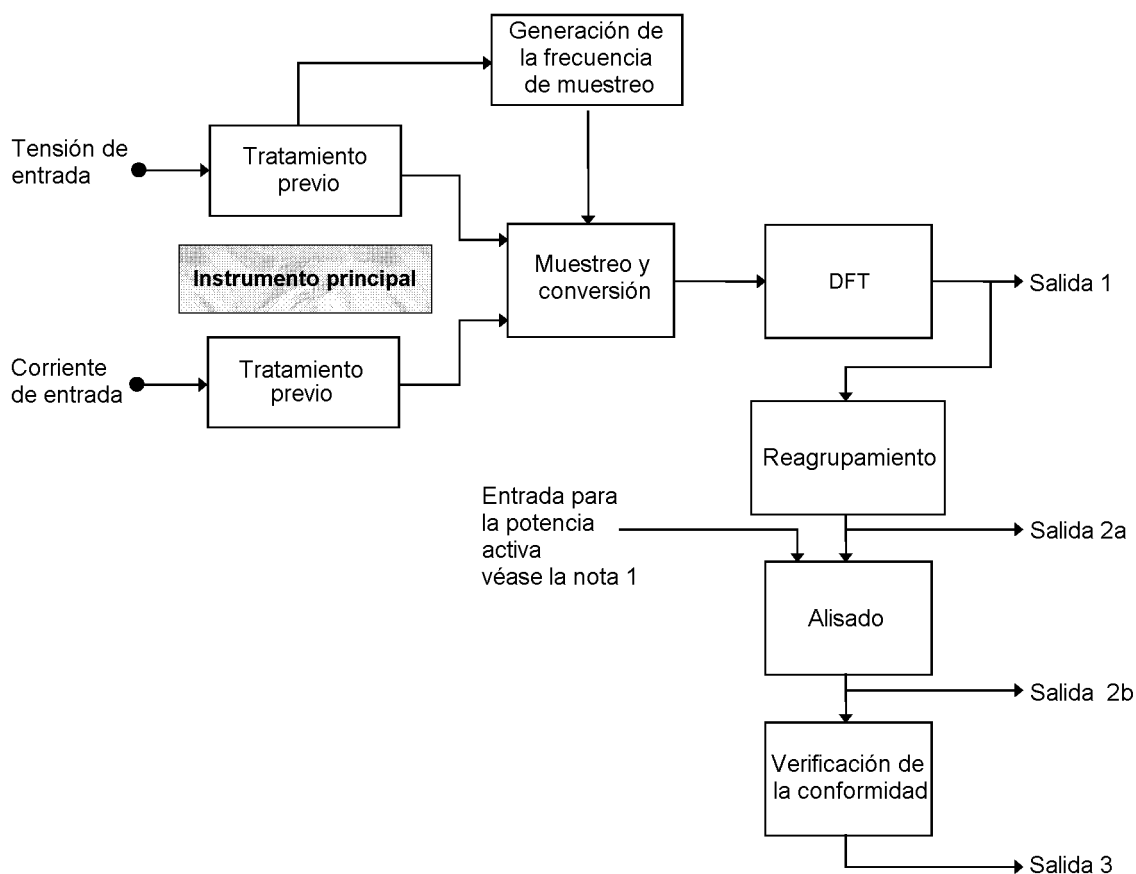


Fig. 1 – Estructura general del instrumento de medida

Otra salida, no necesariamente obtenida a partir de la DFT, debe dar la potencia activa P evaluada en la misma ventana temporal utilizada para los armónicos. Para las medidas de emisión armónica de acuerdo con la Norma CEI 61000-3-2, esta potencia no debe incluir la componente continua.

NOTA 3 – La potencia activa P se suministra como entrada en el proceso de alisado, no en el procedimiento de reagrupamiento.

NOTA 4 – Se puede incluir como opción la medida de las componentes de corriente continua y de la potencia asociada a ellas, pero no lo requiere esta norma.

4.4.2 Partes del tratamiento posterior. Tal como requieren las normas de emisión, las operaciones adicionales, tales como el alisado y la ponderación de los resultados en bruto, se realizan en partes sucesivas del instrumento.

Si los valores de salida han de ponerse en relación con un valor correspondiente (valores de la componente fundamental, declarada o nominal), esta normalización debe efectuarse únicamente después de haber realizado estos procedimientos de alisado adicionales.

5 MEDIDAS DE ARMÓNICOS

5.1 Circuito de entrada de corriente

El circuito de entrada debe adaptarse para las corrientes a analizar. Debe proporcionar una medida directa de los armónicos de corriente. Además, debería tener una entrada en baja tensión de alta impedancia que pueda asociarse a aparatos shunt externos resistivos (o a una combinación de transformadores de corriente con shunts resistivos). El margen de sensibilidades apropiadas del circuito de entrada se extiende de 0,1 V a 10 V, siendo 0,1 V el valor preferido, a condición de que se cumpla con los requisitos dados en el apartado 5.3.

NOTA – Para las medidas de corriente realizadas directamente en el circuito, puede ser aconsejable disponer, pero no se requiere, de los siguientes márgenes de medida de corriente de entrada eficaz nominal I_{nom} : 0,1 A; 0,2 A; 0,5 A; 1 A; 2 A; 5 A; 10 A; 20 A; 50 A; 100 A.

El consumo del circuito de entrada de corriente no debe exceder de 3 VA para la instrumentación de clase II. Para la instrumentación de clase I, la caída de la tensión de entrada en valor eficaz no debe exceder de 0,15 V.

Cada circuito de entrada de corriente debe ser capaz de soportar una sobrecarga permanente de $1,2 I_{nom}$. Una sobrecarga de $10 I_{nom}$ durante 1 s no debe provocar ningún daño.

El instrumento debe ser capaz de aceptar señales de entrada con un factor de cresta de hasta 4 para los márgenes inferiores o iguales a 5 A en valor eficaz, 3,5 para el margen de 10 A eficaces y 2,5 para márgenes superiores.

Se requiere una indicación de la sobrecarga.

En la tabla 1 se indican todos los requisitos de precisión.

Para otros requisitos, véase el capítulo 8.

NOTA – Frecuentemente se asocia una componente continua con la corriente distorsionada que se mide; esta componente puede producir grandes errores en los transformadores de corriente de entrada. El fabricante debería indicar, en las especificaciones del instrumento la componente máxima de corriente continua permitida de manera que el error adicional producido no exceda de la precisión especificada.

5.2 Circuito de entrada de tensión

El circuito de entrada del instrumento de medida debe ser adecuado para la tensión máxima y la frecuencia de la red de suministro a analizar y debe mantener sus características y su precisión invariables hasta 1,2 veces esa tensión máxima. Para las medidas es suficiente un factor de cresta de al menos 1,5, excepto para tensiones muy distorsionadas en las redes industriales, para las que puede ser necesario un factor de cresta de al menos 2. En cualquier caso se requiere una indicación de sobrecarga.

La aplicación en la entrada, durante 1 s, de una tensión alterna igual a 4 veces la tensión nominal de entrada, o 1 kV en valor eficaz, la que sea la menor de ellas, no debe provocar ningún daño en el instrumento.

Existen muchas tensiones de suministro nominales entre 60 V y 690 V dependiendo de la práctica local. Para conseguir una utilización prácticamente universal del instrumento en la mayoría de las redes de suministro, puede ser aconsejable diseñar el circuito de entrada para las tensiones nominales siguientes:

U_{nom} : 66 V, 115 V, 230 V, 400 V, 690 V para las redes de 50 Hz

U_{nom} : 69 V, 120 V, 240 V, 277 V, 347 V, 480 V, 600 V para las redes de 60 Hz

NOTA 1 – Pueden también ser útiles otros rangos en asociación con transformadores de tensión externos (100 V , $100/\sqrt{3}\text{ V}$, $110/\sqrt{3}\text{ V}$).

NOTA 2 – Las entradas de mayor sensibilidad (0,1 V; 1 V; 10 V) son útiles para operar con sensores externos. El circuito de entrada debería ser capaz de aceptar una señal de entrada con un factor de cresta de al menos 2.

El consumo del circuito de entrada no debe exceder de 0,5 VA a 230 V. Si se proveen entradas de alta sensibilidad (inferiores a 50 V), su resistencia de entrada debe ser al menos de 10 k Ω /V.

Se debería tomar la precaución de que el valor elevado de la tensión fundamental (frecuencia de suministro) en comparación con las otras componentes de la tensión a medir no produzca una sobrecarga que cause daños o señales de intermodulación en las etapas de entrada del instrumento. Los errores así causados deben ser inferiores a la precisión indicada. Se debe dar una indicación de la sobrecarga.

5.3 Requisitos de precisión

Se sugieren dos tipos de precisión para la instrumentación destinada a la medida de las componentes armónicas. Los errores máximos permitidos, indicados en la tabla 1, se refieren a las señales de una sola frecuencia y en régimen permanente, en el margen de las frecuencias de funcionamiento, aplicadas al instrumento en condiciones de funcionamiento asignadas, a indicar por el fabricante (margen de temperaturas, de humedad, tensión de alimentación del instrumento, etc.).

NOTA – Cuando se ensayan equipos conforme a la Norma CEI 61000-3-2, los términos que dan la incertidumbre están relacionados con los límites permitidos (5% de los límites permitidos) o con la corriente asignada (I_t) del equipo ensayado (0,15% I_t), tomándose el mayor valor. Se debería tener esto en cuenta cuando se elija el margen adecuado de la corriente de entrada del instrumento de medida.

Tabla 1
Requisitos de precisión para las medidas de la corriente, la tensión y la potencia

Clase	Medida	Condiciones	Error máximo
I	Tensión	$U_m \geq 1\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$
		$U_m < 1\% U_{nom}$	$\pm 0,05\% U_{nom}$
	Corriente	$I_m \geq 3\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$
$I_m < 3\% I_{nom}$		$\pm 0,15\% I_{nom}$	
	Potencia	$P_m \geq 150 W$	$\pm 1\% P_{nom}$
		$P_m < 150 W$	$\pm 1,5 W$
II	Tensión	$U_m \geq 3\% U_{nom}$	$\pm 5\% U_m$
		$U_m < 3\% U_{nom}$	$\pm 0,15\% U_{nom}$
	Corriente	$I_m \geq 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$
		$I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 0,5\% I_{nom}$
<p>I_{nom}: Margen de corriente nominal del instrumento de medida.</p> <p>U_{nom}: Margen de tensión nominal del instrumento de medida.</p> <p>U_m e I_m: Valores medidos.</p>			
<p>NOTA 1 – Los instrumentos de clase I se recomiendan cuando son necesarias medidas precisas, como las que permiten verificar el cumplimiento con las normas, resolver disputas, etc. Dos instrumentos cualesquiera que cumplan con los requisitos de la clase I dan, cuando se conectan a las mismas señales, resultados concordantes dentro de los límites de la precisión especificados (o indican una condición de sobrecarga).</p>			
<p>NOTA 2 – Los instrumentos de clase I se recomiendan para las medidas de emisión, los de clase II se recomiendan para campañas de medida, pero pueden utilizarse también para medidas de emisión si los valores son tales que, incluso permitiéndose un aumento de la incertidumbre, queda claro que los límites no se exceden. En la práctica, esto significa que los valores medidos deberían ser inferiores al 90% de los límites permitidos.</p>			
<p>NOTA 3 – Además, para los instrumentos de clase I, el desfase entre los canales individuales debería ser menor que $n \times 1^\circ$.</p>			

Las frecuencias situadas fuera del margen de medida del instrumento deben atenuarse para que no afecten a los resultados. Para obtener la atenuación adecuada, el instrumento puede muestrear la señal de entrada a una frecuencia mucho mayor que el margen de medida. Por ejemplo, la señal analizada puede contener componentes que excedan de 25 kHz, pero sólo se toman en cuenta las componentes inferiores o iguales a 2 kHz. Debe utilizarse un filtro paso bajo anti-alisado, con una frecuencia de corte de -3 dB por encima del margen de medida. La atenuación en la banda de corte debe exceder de 50 dB.

NOTA – Por ejemplo, un filtro Butterworth de quinto orden alcanza una atenuación de 50 dB en aproximadamente 3 veces la frecuencia de corte de -3 dB.

Cuando sea necesario evaluar con la mínima incertidumbre los armónicos de orden superior a 15 y con una corriente asignada superior a 5 A, se recomienda utilizar shunts externos o sensores de corriente adaptados para dar un margen igual a la corriente asignada del equipo sometido a ensayo.

Para los instrumentos destinados únicamente para la medida de armónicos, sólo se aplican los requisitos de precisión a las componentes armónicas.

Para conseguir la precisión indicada en la tabla 1, puede requerirse algún ajuste simple del instrumento por medio de un calibrador interno o externo, de acuerdo con las indicaciones claras dadas por el fabricante. La incertidumbre del calibrador (en caso de que sea interno) debe especificarse.

El fabricante debe indicar los errores debidos a los factores influyentes más importantes (temperatura, tensión de la red auxiliar de alimentación, etc.) para el instrumento en sí y para el calibrador interno, si se proporciona.

5.4 Configuración de la medida para la evaluación de las emisiones

En las figuras 2 y 3 se indica la configuración de la medida.

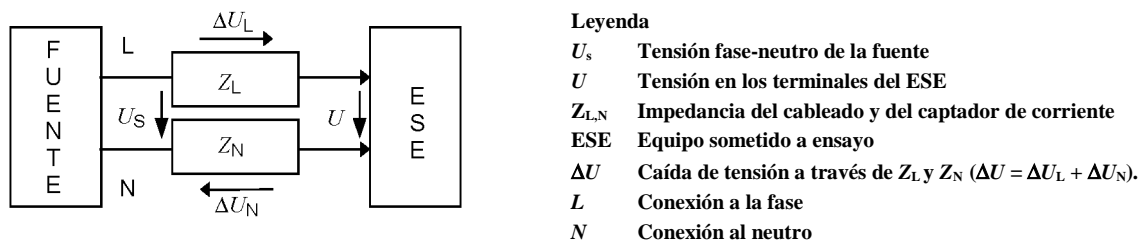


Fig. 2 – Configuración para la medida de emisiones monofásicas

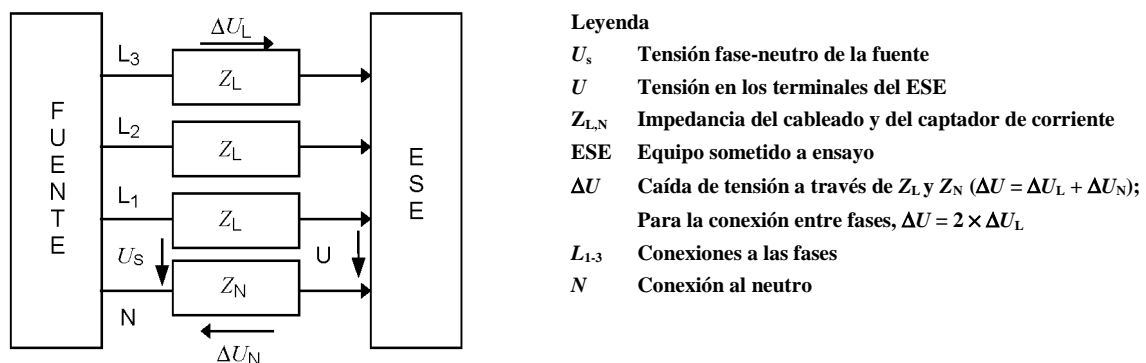


Fig. 3 – Configuración para la medida de emisiones trifásicas

Mientras se efectúan las medidas, la tensión de ensayo U en los terminales del ESE debe satisfacer los siguientes requisitos:

- a) La estabilidad a largo plazo de la tensión de ensayo debe mantenerse dentro del $\pm 2\%$ del valor seleccionado y la frecuencia debe mantenerse en el $\pm 0,5\%$ del valor seleccionado. Si el ESE tiene un margen de tensión de alimentación especificado, la tensión de ensayo debe corresponder a la tensión nominal de la red prevista para alimentar al equipo (por ejemplo, 230 V fase-neutro, que corresponde a 400 V entre fases). En el caso de una conexión trifásica de tres conductores, puede utilizarse un punto neutro artificial realizado con tres resistencias idénticas ajustadas en un 1%, si el conductor neutro no está disponible en la fuente. La finalidad del punto neutro artificial es permitir que se realicen las medidas de tensión y de potencia por fase tanto en una configuración fase-neutro como entre fases. Durante los ensayos de emisión, los errores introducidos en las medidas de corriente del ESE, debidos al efecto de la carga de la parte del voltímetro del instrumento y de cualquier red con neutro artificial instalado, no deben exceder del 0,05%.

NOTA – En numerosos casos no se requiere el neutro artificial, pero si se requiere, pueden utilizarse varios procedimientos. Éste puede proveerse por medio de las tres impedancias de entrada de los voltímetros del instrumento de medida. En algunos casos, el neutro artificial puede, en efecto, consistir en el efecto combinado de una red explícita más las impedancias de entrada de los voltímetros del instrumento de medida. También es posible que la red con neutro artificial, si existe, y las impedancias de entrada de los voltímetros se conecten de manera que no se introduzcan errores en las medidas de corriente (porque la carga se encuentra en el lado de la fuente del transductor de corriente). En otros casos, los errores debidos al efecto de la carga de la red con neutro artificial y las impedancias de entrada de los voltímetros del instrumento pueden compensarse de forma adecuada regulándose con circuitos de realimentación en la fuente de tal manera que los errores que de otra manera podrían introducirse no ocurran de hecho. Pueden ser satisfactorias otras muchas configuraciones con la condición de que no se sobrepase el nivel de incertidumbre requerido.

- b) En un suministro trifásico, las tres tensiones de fase deben tener, respectivamente, una relación de fase de 0° ; $120^\circ \pm 1,5^\circ$; $240^\circ \pm 1,5^\circ$.
- c) La distorsión armónica de tensión del ensayo U del ESE no debe sobrepasar los siguientes valores, estando conectado y funcionando el ESE en las condiciones de ensayo especificadas:
- 0,9% para un armónico de orden 3;
 - 0,4% para un armónico de orden 5;
 - 0,3% para un armónico de orden 7;
 - 0,2% para un armónico de orden 9;
 - 0,2% para armónicos pares de orden comprendido entre el 2 y el 10;
 - 0,1% para armónicos de orden comprendido entre el 11 y el 40.
- d) El valor de cresta de la tensión de ensayo debe estar comprendido dentro de un margen de 1,40 veces a 1,42 veces su valor eficaz y debe alcanzar un ángulo entre 87° y 93° después del paso por cero.
- e) La caída de tensión ΔU a través de la impedancia del captador de corriente y del cableado no debe exceder de una tensión de cresta de 0,5 V.

La potencia del equipo debe medirse, si se requiere, utilizando la tensión U de las figuras 2 ó 3, en los terminales del ESE, y la corriente en el ESE. Para las fuentes que contienen un captador de corriente, la potencia del equipo debe medirse utilizando la tensión en los terminales de salida de la fuente y la corriente en el ESE. En este caso, la tensión debe medirse en el lado del ESE del captador de corriente, suponiendo que la fuente esté regulada en sus terminales de salida.

5.5 Evaluación de las emisiones de armónicos

Los apartados siguientes se relacionan con los módulos del tratamiento posterior de la figura 1.

5.5.1 Reagrupamiento y alisado. Para evaluar los armónicos, la salida (Salida 1; véase la figura 1) de la DFT se agrupa primero para constituir la suma cuadrática de las barras espectrales intermedias comprendidas entre dos armónicos adyacentes, de acuerdo con la ecuación 8, tal como se visualiza en la figura 4. El grupo armónico resultante de orden n (que corresponde a la barra central del área rayada) es de amplitud $G_{g,n}$ (en valor eficaz).

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2} \quad \{\text{redes de 50 Hz}\}$$

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-6}^2}{2} + \sum_{i=-5}^5 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+6}^2}{2} \quad \{\text{redes de 60 Hz}\}$$
(8)

En estas ecuaciones, C_{k+i} es el valor eficaz de la componente espectral correspondiente a una célula de salida (barra espectral) de la DFT, y $G_{g,n}$ es el valor eficaz resultante del grupo armónico.

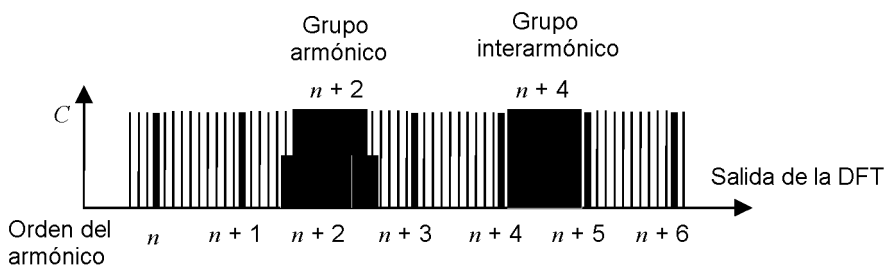


Figura 4 – Ilustración de grupos armónicos e interarmónicos (representados aquí para una red de suministro de 50 Hz)

NOTA – La agrupación de interarmónicos se muestra en la figura 4 solamente para aclarar las definiciones (véase el anexo A para la evaluación de las corrientes interarmónicas).

Debe efectuarse un alisado de la señal sobre el valor eficaz $G_{g,n}$ de cada orden armónico, de acuerdo con la ecuación 8 (Salida 2a de la figura 1), utilizando un equivalente digital de un filtro paso-bajo de primer orden con una constante de tiempo de 1,5 s, como se muestra en la figura 5.

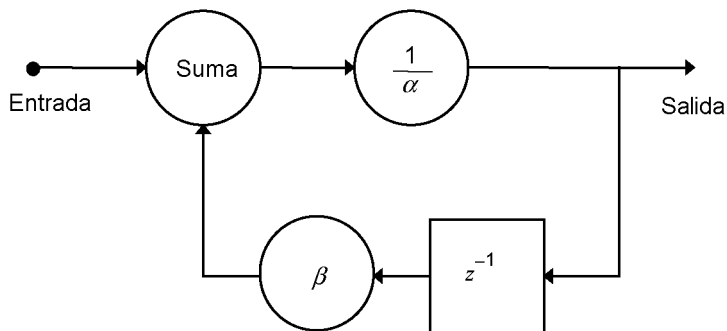


Fig. 5 – Realización de un filtro paso-bajo digital: z^{-1} designa un retraso de una ventana temporal, α y β son los coeficientes del filtro (véanse los valores en la tabla 2)

Para la componente fundamental G_1 (si se requiere, por ejemplo, para la clase C de la Norma CEI 61000-3-2 y posiblemente para los factores de distorsión), debe realizarse el mismo alisado del valor eficaz G_1 que proviene de la Salida 1.

Para la potencia activa P y el factor de potencia (si se requiere, por ejemplo, para las clases C y D en la Norma CEI 61000-3-2), debe realizarse un alisado similar del módulo de los valores de la potencia activa que proviene de la Salida 1.

NOTA – El módulo se ha elegido para adaptarse a los sistemas regeneradores.

Para coordinarse con las campañas de medida de tensiones armónicas, se recomienda firmemente suministrar un tipo de alisado suplementario, donde la salida se calcula como la media de los componentes definidas por la ecuación 8 sobre 15 ventanas temporales contiguas, siendo actualizada ya sea en cada ventana temporal (aproximadamente cada 200 ms), o en cada 15 ventanas temporales (aproximadamente cada 3 s).

5.5.2 Cumplimiento de los límites de emisión. La evaluación de la conformidad con los límites de emisión (Salida 2b) debe realizarse mediante el tratamiento estadístico de los datos de acuerdo con las condiciones dadas en las normas aplicables, como la Norma CEI 61000-3-2.

Si los límites de emisión incluyen factores de distorsión (otros distintos de la THD) según el apartado 3.3, deben calcularse utilizando los valores de la Salida 2a.

5.6 Evaluación de los subgrupos armónicos de tensión

En el análisis por la transformada de Fourier se supone que la señal es estacionaria. No obstante, la amplitud de la tensión de la red puede variar, difundiéndose la energía de las componentes armónicas hacia las frecuencias interarmónicas adyacentes. Para una evaluación más precisa de la tensión, las componentes de salida C_k para cada 5 Hz de la DFT deben agruparse de acuerdo con la ecuación 9 y la figura 6:

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \tag{9}$$

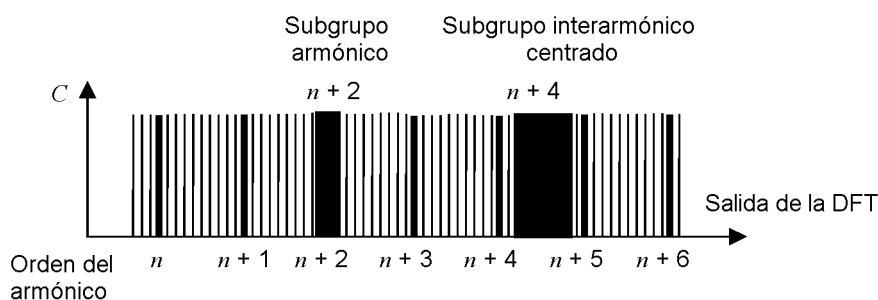


Fig. 6 – Ilustración de un subgrupo armónico y de un subgrupo interarmónico centrado (en una red de suministro de 50 Hz)

NOTA – En la Norma CEI 61000-4-30 se especifican otros procedimientos de alisado para evaluar subgrupos de tensión.

6 OTROS PRINCIPIOS DE ANÁLISIS

El hecho de que en esta norma se especifique un instrumento que utilice una DFT como instrumento de referencia no excluye la aplicación de otros principios de análisis, como baterías de filtros (digitales) o incluso el análisis ondulatorio.

Además, y en especial para los instrumentos de coste reducido, se puede considerar una ventana temporal más corta, que dure eventualmente sólo un periodo. Sin embargo, no se debería utilizar esta instrumentación para la evaluación de la conformidad de las señales no estacionarias con los límites de emisión, porque estas señales no pueden evaluarse de esta manera.

Las características técnicas de los instrumentos que se basan en otro principio de análisis deben establecer el margen de incertidumbre causado por todos los factores de influencia, incluyendo la característica no estacionaria de la señal, el fenómeno de anti-alisado y la pérdida de sincronismo. La incertidumbre debe ser tal que se respeten los requisitos del capítulo 5.

7 PERIODO DE TRANSICIÓN

La utilización de instrumentos de medida existentes basados en los requisitos señalados en la Norma CEI 61000-4-7 (primera edición, editada en 1991) se sigue permitiendo hasta la siguiente revisión de esta norma. No obstante, las medidas efectuadas con estos instrumentos deben ir marcadas con: "Instrumentación de medida en conformidad con la Norma CEI 61000-4-7, 1991".

Para las medidas efectuadas con instrumentos que utilizan ventanas de 16 ciclos de acuerdo con la Norma CEI 61000-4-7, 1991, el proceso de alisado (Salida 2b de la figura 1) debe modificarse de acuerdo con las anotaciones de la tabla 2. El filtro debe realizarse como se indica en la figura 5.

Tabla 2
Coefficientes del filtro de alisado en función del ancho de la ventana

Frecuencia	Número de ciclos N en la ventana	Frecuencia de muestreo	α	β
50	10	$\approx 1/200$ ms	8,012	7,012
60	12	$\approx 1/200$ ms	8,012	7,012
50	16	$\approx 1/320$ ms	5,206	4,206
60	16	$\approx 1/267$ ms	6,14	5,14

NOTA – Los coeficientes para las ventanas de 10/12 ciclos y la frecuencia de muestreo se dan como referencia a la figura 5.

8 GENERALIDADES

El fabricante debe especificar las condiciones de funcionamiento asignadas y eventualmente la magnitud del error introducido por cambios en:

- la temperatura;
- la humedad;
- la tensión de alimentación del instrumento y las perturbaciones serie asociadas;

- la tensión de interferencia en modo común entre la conexión a tierra del instrumento, sus circuitos de entrada y la tensión de alimentación auxiliar;
- las descargas electrostáticas;
- los campos electromagnéticos radiados.

NOTA – En la aplicación de la Norma CEI 61010-1 en lo que respecta a los requisitos de seguridad y aislamiento, se debería tener en cuenta que los circuitos de entrada (tanto de tensión como de corriente) pueden conectarse directamente a las tensiones de la red de suministro.

ANEXO A (Informativo)

MEDIDA DE INTERARMÓNICOS

Las componentes interarmónicas provienen principalmente de dos fuentes:

- las variaciones de la amplitud y/o del ángulo de fase de la componente fundamental y/o de las componentes armónicas, como por ejemplo, los accionamientos por inversores;
- los circuitos de electrónica de potencia con frecuencias de conmutación no sincronizadas a la frecuencia de suministro de la red, por ejemplo las fuentes de alimentación de alterna/continua y los correctores del factor de potencia.

Los efectos posibles son, por ejemplo:

- el ruido en amplificadores de audio;
- pares adicionales en motores y generadores;
- perturbaciones en la detección del paso por cero, por ejemplo en los reguladores;
- el ruido adicional en las bobinas inductivas (magnetoestricción);
- el bloqueo o funcionamiento imprevisto de receptores de telecontrol centralizado.

El montaje de medida se basa en la descripción general señalada en el capítulo 4.

Generalmente, las componentes interarmónicas no varían solamente en amplitud sino también en frecuencia. Un reagrupamiento de las componentes espectrales en el intervalo entre dos componentes armónicas consecutivas forma un grupo interarmónico. Este reagrupamiento da un valor total para las componentes interarmónicas entre dos armónicos discretos, que incluye los efectos de las fluctuaciones de las componentes armónicas. La ecuación A1 o la A2, dependiendo de la frecuencia de la red, permite el cálculo del valor del grupo interarmónico:

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2 \quad (\text{redes de 50 Hz}) \quad (\text{A1})$$

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^{11} C_{k+i}^2 \quad (\text{redes de 60 Hz}) \quad (\text{A2})$$

NOTA – En este contexto, ig,n es el grupo interarmónico de orden n (véanse la figura 4 y el apartado 3.4.2). Para los fines de esta norma, el valor eficaz del grupo interarmónico entre los armónicos de orden n y orden $n+1$ se designa como " $C_{ig,n}$ ", por ejemplo, el grupo entre $n = 5$ y $n = 6$ se designa como $C_{ig,5}$.

Los efectos de las fluctuaciones de la amplitud y del ángulo de fase de los armónicos se reducen parcialmente excluyendo de las ecuaciones A1 y A2 las componentes directamente adyacentes a las frecuencias armónicas. También, para determinar los valores eficaces de los subgrupos interarmónicos centrados $C_{isg,n}$, las componentes, esto es, los datos de salida en la Salida 1 de la DFT en la figura 1, se reagrupan de la siguiente manera (véase el apartado 3.4.3):

$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2 \quad (\text{redes de 50 Hz}) \quad (\text{A3})$$

$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^{10} C_{k+i}^2 \quad (\text{redes de 60 Hz}) \quad (\text{A4})$$

En estas ecuaciones, C_{k+i} es el valor eficaz de las correspondientes componentes espectrales obtenidas de la DFT que superan la frecuencia del armónico de orden n , y $C_{isg,n}$ es el valor eficaz del subgrupo interarmónico centrado de orden n , (por ejemplo, el subgrupo entre $n = 5$ y $n = 6$ se designa como $C_{isg,5}$). Véase la figura 6 y el punto 3.4.3.

NOTA 1 – Dado que los armónicos no estacionarios provocan “bandas laterales” próximas a los armónicos, las componentes ($k = 1$ y 9 u 11) directamente adyacentes a los armónicos considerados pueden representar variaciones de la amplitud o del ángulo de fase. En consecuencia, se excluyen del grupo interarmónico para dar el subgrupo interarmónico centrado. Véase también la figura 6.

NOTA 2 – Si únicamente se evalúan los armónicos, se aplica el procedimiento de reagrupamiento de la ecuación 8. Si los armónicos e interarmónicos se evalúan separadamente (como la evaluación de los equipos susceptibles de producir interarmónicos), las componentes interarmónicas ($i = -1$ y $+1$) directamente adyacentes a un armónico se agrupan junto con este armónico para formar un subgrupo armónico de orden n , cuando las demás componentes interarmónicas ($i = 2$ a 8 ó 10) forman el subgrupo interarmónico centrado de orden n de acuerdo con la ecuación A3 o A4. Véase también la figura 6.

El alisado de los subgrupos interarmónicos centrados se realiza de la misma forma que la utilizada para la medida de armónicos (véase el apartado 5.5.1). No se recomienda un alisado de las componentes interarmónicas individuales.

NOTA – En la Norma CEI 61000-4-30 se describen otros procedimientos de alisado.

Los requisitos de precisión son idénticos a los señalados para la medida de armónicos (véase la tabla 1).

ANEXO B (Informativo)**MEDIDAS POR ENCIMA DEL MARGEN DE FRECUENCIAS ARMÓNICAS HASTA 9 KHZ****B.1 Generalidades**

Las componentes de las señales (corrientes o tensiones) con frecuencias que sobrepasan el margen de las frecuencias armónicas (aproximadamente 2 kHz) pero permaneciendo por debajo del límite superior del margen de las bajas frecuencias (aproximadamente 9 kHz) se deben a varios fenómenos, por ejemplo:

- el control por modulación del ancho de los impulsos de las fuentes de alimentación en el lado de la conexión a ésta (síncronas o asíncronas con la frecuencia de la red), tal como se utiliza en los “sistemas de corrección del factor de potencia”;
- las emisiones, como la transmisión de señales en la red;
- la alimentación de las componentes desde la salida (lado de la carga) a la entrada (lado de la red) de los convertidores de potencia;
- las oscilaciones debidas a los impulsos por conmutaciones.

Estas componentes pueden ser del tipo de una sola frecuencia o de banda ancha.

B.2 Métodos de medida

La medida de estas componentes no requiere una alta resolución en el dominio frecuencial. Por el contrario, es usual reagrupar la energía de la señal para analizarla en las bandas de frecuencia predefinidas. De acuerdo con las medidas efectuadas en las bandas de frecuencia más elevadas (véase la Norma CISPR 16-1), se debería fijar a 200 Hz el ancho de banda para el reagrupamiento de estas emisiones. La frecuencia central del primer grupo posible es de 2,1 kHz.

Están en estudio el método de la DFT para el análisis frecuencial (relacionado con los métodos descritos en el capítulo 4), y un método similar al descrito en el apartado 5.5.1 para el procedimiento de reagrupamiento. El método DFT es adecuado para las medidas de tensión y de corriente, mientras que la Norma CISPR 16-1 sólo se considera para las tensiones.

B.3 Instrumentos básicos

Para las medidas en este margen superior de frecuencias, puede efectuarse una DFT conforme al apartado 4.4.1.

NOTA – El margen de frecuencias de los captadores externos de tensión y de corriente debería ser adecuado para las medidas hasta 9 kHz.

Dado el bajo nivel de la señal a medir, un filtro puede reducir considerablemente la incertidumbre de la medida atenuando las amplitudes de la componente fundamental y de las componentes superiores a 9 kHz. La atenuación para la frecuencia fundamental debería sobrepasar 55 dB.

Se debería seleccionar la frecuencia de muestreo de acuerdo con las reglas establecidas de análisis de señales, para poder medir las componentes de frecuencia de hasta 9 kHz inclusive. Para este tipo de análisis, el muestreo no necesita estar sincronizado con el periodo de la componente fundamental de la red. Puede utilizarse una ventana rectangular para la adquisición de datos con un ancho de 100 ms, que corresponde aproximadamente a 5 (6) periodos de la componente fundamental de las redes de 50 Hz (60 Hz). En consecuencia, el intervalo de frecuencia entre componentes consecutivas medidas C_f es de 10 Hz.

NOTA – El valor eficaz de la componente a la frecuencia f es C_f , lo que significa por ejemplo que: C_{3160} es el valor eficaz de la componente a 3 160 Hz.

La salida bruta de la DFT (Salida 1 en la figura 1) se reagrupa en bandas de 200 Hz (véase la figura B.1), empezando por la primera banda central por encima del orden de los armónicos, por ejemplo 2 100 Hz. La salida G_b de cada banda corresponde al siguiente valor eficaz:

$$G_b = \sqrt{\sum_{f=b-90(Hz)}^{b+100} C_f^2} \quad (B1)$$

NOTA 1 – El ancho de banda se ha seleccionado de tal manera que esté acorde con el ancho de banda utilizado en la Norma CISPR 16-1 para frecuencias superiores a 9 kHz.

NOTA 2 – La frecuencia central b , por ejemplo, 2 100 Hz, 2 300 Hz, 2 500 Hz designa la banda. La frecuencia central mayor es de 8 900 Hz (véase la figura B.1).

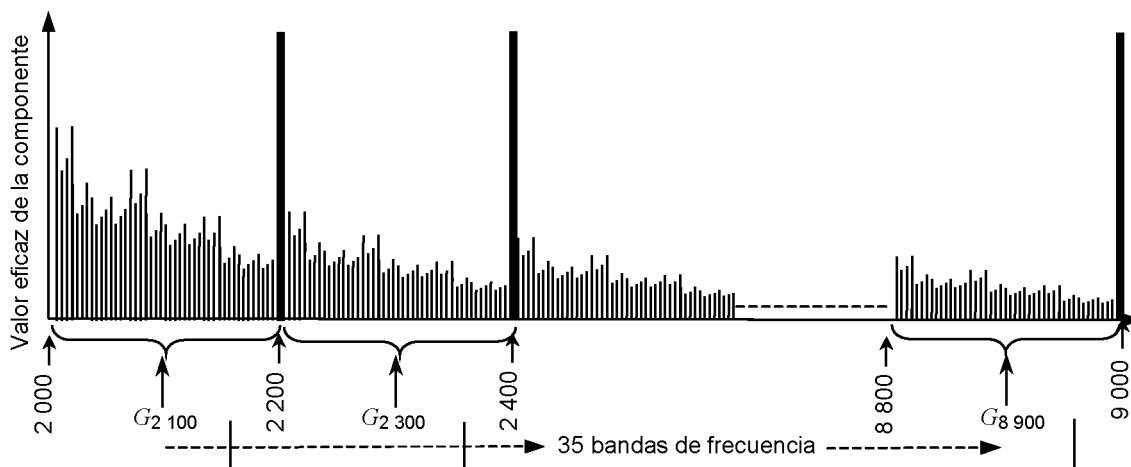


Fig. B.1 – Ilustración de las bandas de frecuencia para las medidas en el margen de 2 kHz a 9 kHz

B.4 Montaje de medida

Como complemento al instrumento de medida, se deberían incluir circuitos de ensayo especiales en el montaje de medida para proporcionar la repetitividad de los resultados de ésta, para la evaluación de las emisiones relacionadas con las componentes de la corriente o la tensión. Estos circuitos, que deberían representar correctamente la red en el margen de su frecuencia aplicable y proporcionar, si es necesario, terminales separados para el instrumento de medida, están también en curso de desarrollo y deberían considerarse para una futura modificación de esta norma.

B.5 Requisitos sobre la precisión

La incertidumbre total no debería sobrepasar el $\pm 5\%$ del valor medido cuando se ensaye con una emisión de una sola frecuencia en la banda de frecuencias considerada.

NOTA – En comparación con la amplitud de la corriente o la tensión fundamental, se espera que las componentes a medir estén en un margen comprendido entre 2×10^{-5} y 5×10^{-2} .

ANEXO C (Informativo)

CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA UN MÉTODO DE REAGRUPAMIENTO

Los métodos de medida definidos en esta norma son el producto de reflexiones prudentes asociadas a un análisis equilibrado de los objetivos en juego (por ejemplo, el ancho de banda de medida y la resolución en frecuencia). En algunos casos, la necesidad de definir una medida práctica se traduce en compromisos más que para la consecución de resultados de mayor precisión, para la caracterización de la señal en cuestión. En este anexo se propone un cierto número de consideraciones para poder resolver cuestiones especialmente difíciles.

NOTA – En esta norma, los valores de la corriente y la tensión se refieren a valores eficaces, a menos que se especifique otra cosa.

C.1 Equivalencia de potencia de la representación de las señales en los dominios del tiempo y de la frecuencia

En la relación de Parseval, conocida también como el teorema de la energía de Rayleigh, se define la equivalencia entre la potencia (o energía) de la señal expresada en el dominio del tiempo, y la potencia (o la energía) de la señal expresada en el dominio de la frecuencia.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [g(t)]^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |G(j\omega)|^2 d\omega \quad (C1)$$

donde

$g(t)$ es una función temporal;

$G(j\omega)$ es la transformada compleja de Fourier de la función; y

$$\omega = 2\pi f.$$

NOTA – Dado que la potencia es proporcional al cuadrado de una tensión o de una corriente, el cuadrado de la señal se toma como la “potencia” de la señal. Por ejemplo, si $g(t)$ es la función temporal de una tensión, la dimensión física de la parte izquierda de la ecuación (dominio del tiempo) sería $V^2 s$ (“energía”). La transformada de Fourier presenta la densidad espectral de la tensión y, en este ejemplo, $G(j\omega)$ tendría la dimensión V/Hz o $V s$, es decir, que la parte derecha de la ecuación tiene igualmente la dimensión $V^2 s$ (“energía”).

Si la función no es periódica, su espectro es continuo, pero si es periódica, se puede representar en una ventana temporal T_w , es decir que la repetición infinita de la ventana temporal daría la función total $g(t)$. La transformada de Fourier de esta señal, ahora limitada en el tiempo, ya no es continua pero consiste en barras espectrales a una distancia en frecuencia de $f_w = 1/T_w$. El producto de la ventana temporal T_w y el valor eficaz al cuadrado, G_k^2 , de la barra (compleja) a la frecuencia $f = k \times f_w$ representa aproximadamente la “energía” de la densidad espectral continua integrada entre $f - f_w/2$ y $f + f_w/2$. La suma de la “energía” producida por todas las barras espectrales es equivalente a la “energía” de la función temporal en la ventana. Dividiendo la “energía” por el tiempo de la ventana T_w da la ecuación (C2):

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |G_k|^2 \quad (C2)$$

donde

la parte de la izquierda de la ecuación corresponde a la “potencia” media de la función temporal en la ventana; y

la parte de la derecha de la ecuación corresponde a la “potencia” total de todas las barras del espectro.

Una característica de la transformada de Fourier es que las barras espectrales, en las frecuencias negativas, son complejas conjugadas con las barras a las mismas frecuencias positivas, es decir, que el espectro de “potencia” es simétrico alrededor de la frecuencia $f=0$. Replegando la parte negativa del espectro sobre la parte positiva, la ecuación (C2) se simplifica:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = G_0^2 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} |G_k|^2 \quad (C3)$$

La definición de la amplitud c_k de las componentes de Fourier según la ecuación (3) de esta norma está relacionada con $T_w/2$, y no con T_w (excepto c_0 que está relacionada con T_w), es decir, que $c_k = 2 \times G_k$ o $C_k = \sqrt{2} \times G_k$. Por tanto, la ecuación (C3) se puede reescribir como:

$$\frac{1}{T_w} \int_{-T_w/2}^{+T_w/2} [g(t)]^2 dt = c_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} |c_k|^2 = \sum_{k=0}^{\infty} |C_k|^2 \quad (C4)$$

En la práctica, el número de coeficientes en la suma tiene que ser limitado: $k = 1...K$. Si la señal está “limitada en banda” a las frecuencias $f_k \leq K \times f_w$, no se asocia ninguna “potencia” a los coeficientes de orden $k > K$, y pueden descartarse de la suma en la ecuación (C4). La frecuencia f_k debería encontrarse bastante más allá del margen de operación de las frecuencias del instrumento.

C.2 Características de la realización digital

En esta norma se considera la instrumentación digital. Para cumplir con el teorema de Shannon, la señal temporal debería muestrear con una frecuencia de muestreo $f_s > 2 \times f_k$ de tal manera que, en principio, puedan calcularse todos los coeficientes inferiores o iguales a C_k . El número de muestras en una ventana temporal es $N = f_s \times T_w$.

En las condiciones ideales antes mencionadas, es decir, que la señal digital sea real, periódica y limitada en una banda de frecuencias, y que la ventana esté sincronizada con el periodo de la señal, la ecuación (C4) se puede escribir:

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(t_i)]^2} = \sqrt{\sum_{k=0}^{N/2} |C_k|^2} \quad (C5)$$

donde

$g(t_i)$ representa los valores de la función temporal en los puntos de muestreo; y

$$t_i = i \times T_w/N.$$

La ecuación (C5) significa que el contenido en valor eficaz de las componentes en el dominio de la frecuencia es igual al contenido en valor eficaz de la representación en el dominio del tiempo de la señal, en este caso una forma muestreada y digitalizada de la señal. La relación de Parseval puede utilizarse de forma útil para verificar si el espectro de potencia representa con precisión en determinadas circunstancias específicas la señal en el dominio del tiempo.

En las condiciones ideales definidas anteriormente, el espectro de potencia calculado por los métodos definidos en esta norma restituye la potencia media de las componentes espectrales presentes en la señal medida en una ventana temporal definida. El espectro de potencia representa exactamente la potencia total de la señal, la potencia de las componentes de frecuencia individuales y la frecuencia de estas componentes. Para situaciones reales, las condiciones ideales existen cuando todas las componentes de la señal medida son armónicos exactos de la frecuencia “básica” $f_w = 1/T_w$. Debido a los estrictos requisitos definidos en esta norma para la sincronización, estas condiciones casi ideales intervienen por definición para la componente fundamental de la red de suministro y para todos los componentes cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia “básica”. Esto incluye, obviamente, a los armónicos de la frecuencia fundamental.

NOTA – La frecuencia “básica” es la recíproca del ancho de la ventana. La frecuencia “fundamental” es el recíproco del ciclo de la red.

El ancho de la ventana temporal, $T_w \approx 200$ ms, se define como 10 o 12 ciclos fundamentales para redes de 50 Hz o 60 Hz, respectivamente, para aplicaciones futuras, y como 16 ciclos (≈ 320 ms o ≈ 267 ms) para los instrumentos diseñados para cumplir con los requisitos definidos en la primera edición de la Norma CEI 61000-4-7. La distancia en frecuencia de las barras espectrales (frecuencia “básica” f_w) es, por tanto, de ≈ 5 Hz, $\approx 3,125$ Hz o $\approx 3,75$ Hz respectivamente. El método de reagrupamiento, según la ecuación (8) de esta norma, permite evaluar con precisión la potencia total. Se tienen en cuenta todas las barras espectrales y no solamente las barras (“armónicos”) de los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. La ecuación (8) sólo se refiere a las barras con una distancia de ≈ 5 Hz, y por tanto ha de modificarse si se utilizan otras frecuencias “básicas”. Por la aplicación correcta de la ecuación (8) - modificada si fuera necesario – en condiciones ideales, el espectro de potencia representa exactamente la potencia media de la señal medida, como se define por la relación de Parseval.

En condiciones menos ideales, por ejemplo cuando hay presente un contenido de señales no armónicas, con frecuencias $f \neq k \times f_w$ (k : número entero), se produce el fenómeno de fuga espectral, que causa una pérdida de información relativa al contenido en frecuencia, pero generalmente, la potencia de la señal queda representada con precisión. Considerando el caso de una ventana temporal igual a 200 ms, se presenta un contenido de señal no armónica cuando hay señales interarmónicas a frecuencias que no son múltiplos enteros de 5 Hz, por ejemplo 287 Hz, o cuando se produce una fluctuación de la amplitud en la ventana temporal analizada. Los métodos de reagrupamiento definidos en esta norma permiten garantizar la precisión de la evaluación, en su mayor parte, de la potencia total. La atribución de potencia a un grupo de señales específicas depende de la naturaleza de las señales implicadas.

Unos pocos ejemplos ayudarán a ilustrar esta cuestión. Los ejemplos dados en el capítulo C.3 muestran el efecto de la fluctuación de la amplitud de la tensión y de la corriente. Los efectos interarmónicos se muestran en el capítulo C.4. La componente fundamental que predomina de hecho en la práctica, en las señales de la tensión y de la corriente, se aparta de los ejemplos con el fin de usar la escala completa en las figuras, para una representación más clara de las barras espectrales de interés y del efecto de reagrupamiento.

C.3 Armónicos fluctuantes

EJEMPLO 1

En la figura C.1 se muestra el caso del valor eficaz del 5º armónico de corriente que fluctúa de 3,536 A a 0,7071 A. El escalón en la corriente aparece después de 21,25 periodos del 5º armónico. El valor eficaz esperado de la corriente calculado para este caso es de 2,367 A. La medida del 5º armónico (una sola barra) solamente da un valor de 1,909 A, es decir que despreciando las otras barras se produce un error del 19,3%. El valor del subgrupo armónico medido en este caso da un valor de 2,276 A, y reduciría el error a 3,84%, pero el grupo armónico de las barras medidas da un valor de 2,332 A, lo que corresponde al pequeño error restante de sólo el 1,47%.

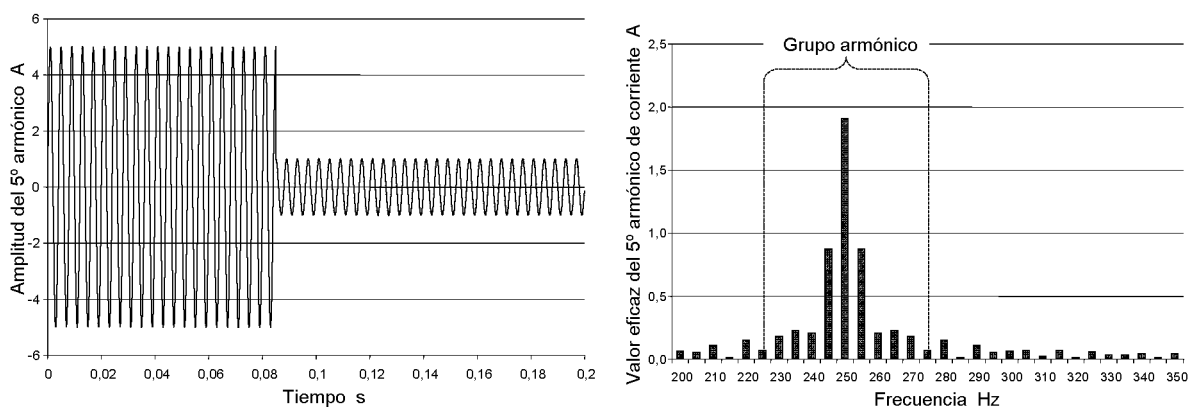


Fig. C.1 – Fluctuación grande de corriente del 5º armónico

EJEMPLO 2

Los armónicos de tensión de la red de suministro resultan normalmente de la combinación de corrientes armónicas emitidas producidas por diversas cargas no lineales. Estas cargas son generalmente no fluctuantes con una correlación significativa. Por otra parte, también se conectan cargas cuasi estacionarias a la red de suministro. Así, los niveles de tensión armónica de fluctuación rápida con una gran amplitud de fluctuación constituyen una excepción y se producen raramente en la red de suministro. Por ejemplo, en la figura C.2 se muestra un 5º armónico de tensión en valor eficaz que se reduce de 13,225 V a 9,775 V. En este caso, el valor eficaz total esperado es de 11,37 V, pero la barra única del armónico es solamente de 11,24 V. Los algoritmos propuestos en esta norma dan 11,33 V para el subgrupo y 11,34 V para el grupo, lo que representa, respectivamente, un error de sólo 0,35% o 0,24%. Estos errores están muy por debajo de la incertidumbre del instrumento mismo.

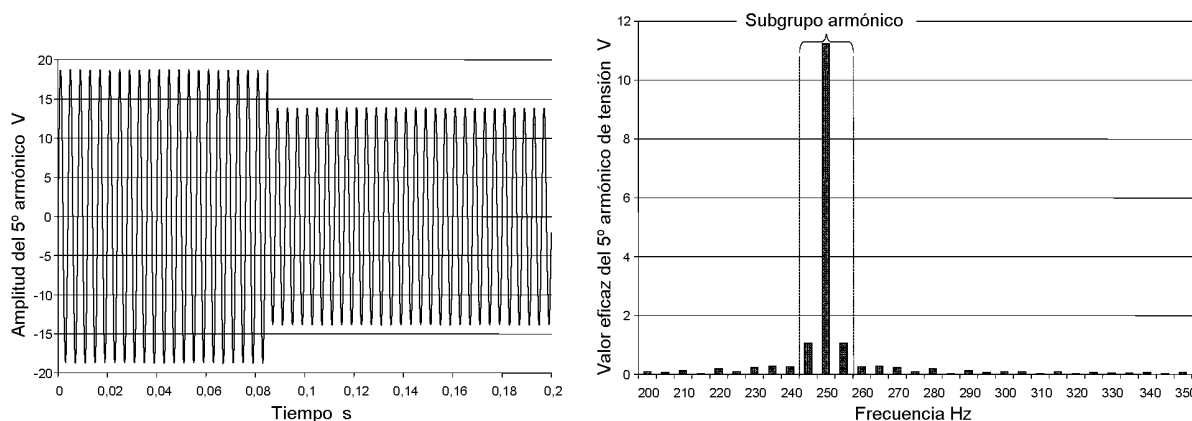


Fig. C.2 – Fluctuación grande de tensión del 5º armónico

EJEMPLO 3

Un aparato de microondas produce (entre otros) un armónico de corriente de orden 3, por ejemplo, 1 A, durante su funcionamiento continuo. Su potencia media se controla por el método multiciclo de paso por cero con, por ejemplo, una tasa de repetición de 5 Hz y un ciclo de trabajo del 50%. La figura C.3 muestra la función temporal del 3º armónico de corriente y el espectro correspondiente. La corriente eficaz total es de 0,707 A. El valor eficaz de la barra espectral del 3º armónico es de 0,5 A, lo que da un error del 29,3%. El subgrupo armónico da, sin embargo, 0,673 A, y el error sólo es del 4,8%. El valor del grupo armónico es de 0,692 A, lo que reduce el error al 2,0%.

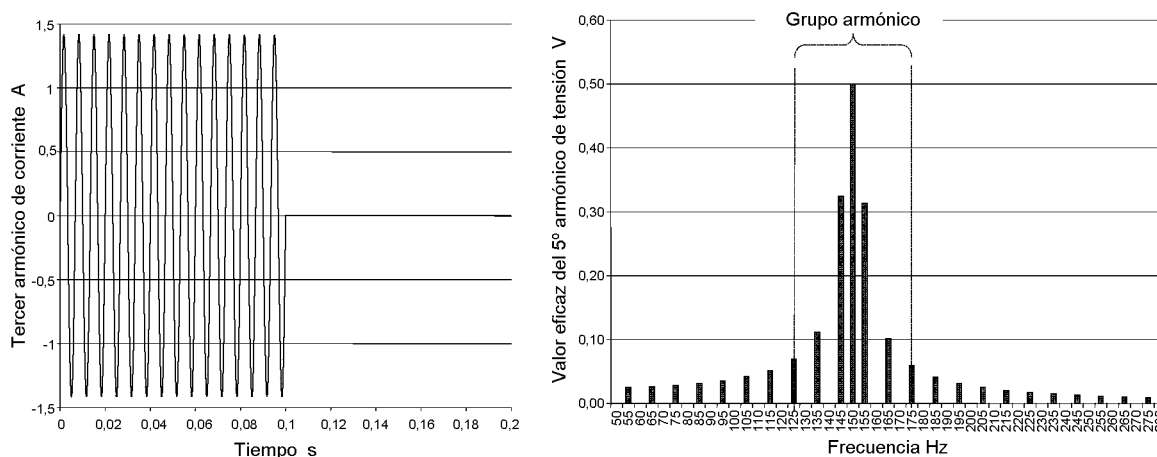


Fig. C.3 – 3º armónico fluctuante de corriente de un aparato de microondas

Es evidente, a partir de estos ejemplos, que el procedimiento de reagrupamiento se adapta bien para dar resultados en perfecta conformidad con la ecuación de Parseval.

C.4 Interarmónicos

EJEMPLO 1

También pueden conectarse a la red los sistemas de comunicación (de señalización). Para impedir que no se vean perturbados por los armónicos, las frecuencias utilizadas se sitúan generalmente entre dos frecuencias armónicas, es decir, son frecuencias interarmónicas. Si estas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia "básica" f_w y si tienen una amplitud constante en la ventana temporal, entonces el espectro presenta una barra suplementaria justamente a esta frecuencia, y puede no ser necesario un reagrupamiento. Pero para transmitir la información, se modula la señal. El efecto en el espectro es semejante al de los ejemplos anteriores, con la sola diferencia de que las barras producidas por la modulación se mantienen centradas en la frecuencia de la señalización. El "reagrupamiento interarmónico", según el anexo A, reduce el error de la misma manera que el reagrupamiento armónico mostrado en el capítulo C.3.

En muchos casos, se utilizan frecuencias de señalización que no son múltiplos enteros de f_w . Por ejemplo, en la figura C.4 se muestra una señal de comunicación de 178 Hz, con una amplitud constante de 23 V en valor eficaz superpuesta a un 3º y 5º armónicos de 11,5 V cada uno, que podrían existir ya en la red. La transformada discreta de Fourier, que no puede resolver la barra de 178 Hz, extiende la energía a las barras vecinas ("fuga"). En este caso, el grupo interarmónico de orden 3,5 (véase el anexo A), recoge la mayor parte de la "energía" extendida de la señal de comunicación, con un valor resultante de 22,51 V, y un error sólo del 2,15%.

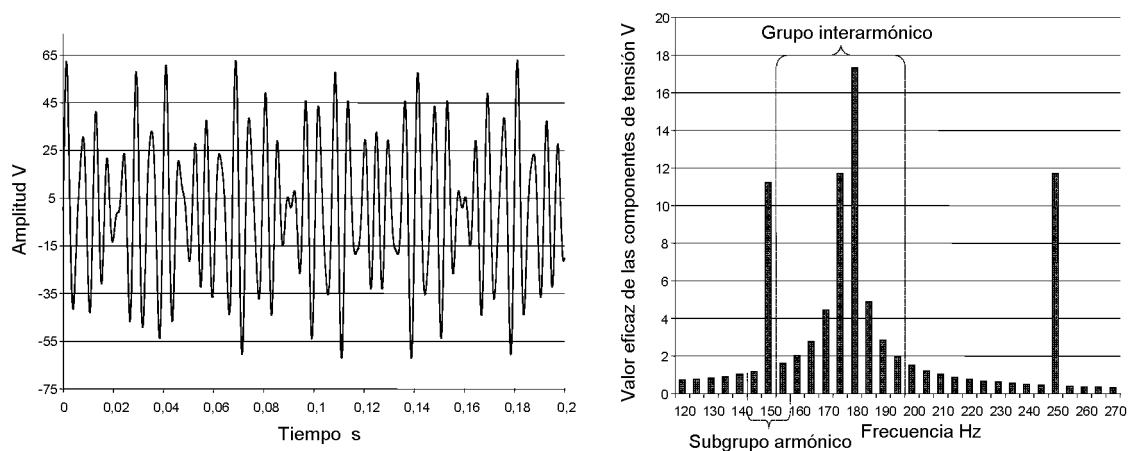


Fig. C.4 – Señal de comunicación de 178 Hz junto con un 3º y 5º armónicos

NOTA 1 – El efecto de "fuga" de la señal con un múltiplo no entero de la frecuencia "básica" superpone vectores adicionales sobre los vectores de los armónicos originales (véase la figura C.7). El ángulo de fase entre el vector adicional y el vector original de la misma frecuencia aumenta (o disminuye) aproximadamente el mismo valor de una ventana a otra. Dependiendo del ángulo de fase actual, el vector resultante puede variar entre la diferencia y la suma de las amplitudes del vector. En el ejemplo dado, las amplitudes son de 11,5 V para los vectores originales y $\approx 1,2$ V a 150 Hz o $\approx 0,4$ V a 250 Hz (véase la figura C.4). Los vectores resultantes pueden variar entre $\approx 10,3$ V y $\approx 12,7$ V a 150 Hz y entre $\approx 11,1$ V y $\approx 11,9$ V a 250 Hz. El valor eficaz del vector resultante evaluado en varias ventanas contiguas es igual al valor eficaz "común" del vector original y del vector adicional, en el ejemplo, 11,56 V a 150 Hz y 11,51 V a 250 Hz. El procedimiento de alisado, aplicado después del reagrupamiento, reduce considerablemente la variación y da una salida media próxima a este valor eficaz común.

NOTA 2 – La amplitud de la señal de comunicación será, en la práctica, menor que en el ejemplo, por lo que el efecto de fuga se reduce de la misma manera.

EJEMPLO 2:

Los interarmónicos pueden aparecer también en la emisión de corriente eficaz y, en consecuencia, en la tensión eficaz de la red. Ello puede ocurrir de manera aleatoria entre dos armónicos contiguos. Por ejemplo, en la figura C.5 se muestran 9,8 V a 287 Hz, 13,2 V para el 5º armónico y 10 V para el 6º. El efecto de “fuga” puede verse en el espectro. El grupo interarmónico de orden 5 (véase el apartado 3.4) da un valor de 9,534 V, con un error restante de 2,7%.

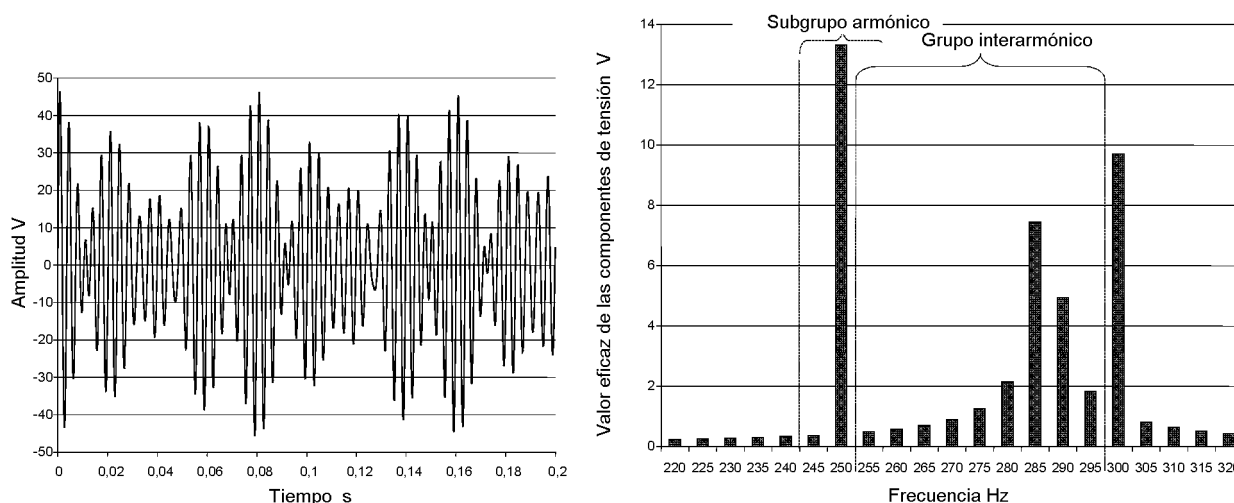


Fig. C.5 – Interarmónico de 287 Hz, 5º y 6º armónicos

EJEMPLO 3

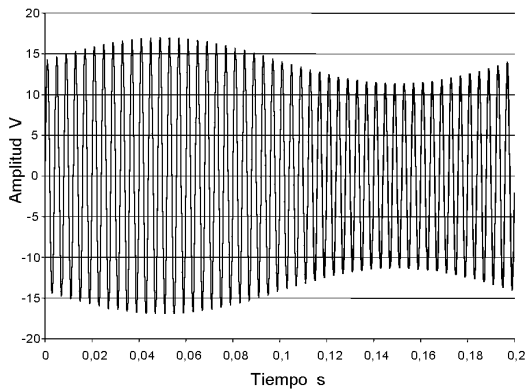
Un motor electrónico con un par de torsión variable, por ejemplo una bomba de pistón, produce un 5º armónico de tensión en la red de suministro que fluctúa alrededor del valor eficaz medio de 10 V, con una modulación sinusoidal del 20% y 5 Hz (véase la figura C.6 a). El valor eficaz total de la función temporal, evaluada en 0,2 s es 10,10 V. El espectro contiene la barra “portadora” de 250 Hz con un valor eficaz de 10 V y dos barras laterales a 245 Hz y 255 Hz de 1 V cada una (véase la figura C.6 c). El error de la barra única de 250 Hz es de 0,99%, no resultando error alguno del subgrupo armónico.

Puede utilizarse una señal de comunicación de 9,8 V y 287 Hz en la misma red (véase la figura C.6b). El efecto de “fuga” en el espectro (véase la figura C.6 d), proviene del número no entero de 57,4 periodos de esta señal en la ventana temporal de 200 ms. El valor eficaz del grupo interarmónico es 9,538 V y el error resultante 2,7%.

La fluctuación del armónico y la señal de comunicación se superponen ambas en la tensión (véase la figura C.6 e). El valor eficaz total es 14,07 V. Para el reagrupamiento de las barras espectrales resultantes, existen diferentes opciones (véase la figura C.6 f). Dado que es obvia la presencia de un armónico a 250 Hz y de una señal próxima de 285 Hz en la envolvente del espectro, son razonables dos reagrupamientos (ninguna barra tiene que completarse más de una vez):

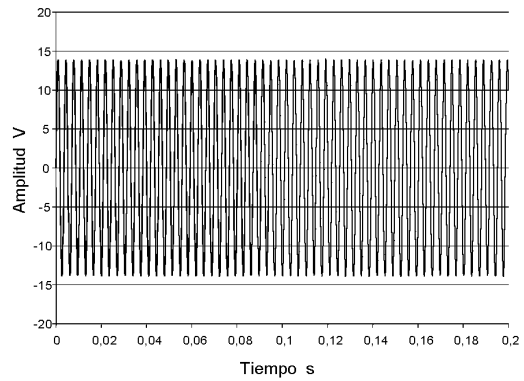
- un grupo interarmónico de 9,36 V (error del 4,5% referido a 9,8 V) y una única barra armónica a 10,16 V (error de 1,6% referido a 10,0 V), resultando un valor eficaz total de 13,81 V (error del 1,8% referido a 14,07 V) o
- un subgrupo interarmónico de 9,34 V (error del 4,7% referido a 9,8 V) y un subgrupo armónico de 10,23 V (error de 1,29% referido a 10,1 V), resultando un valor eficaz total de 13,85 V (error del 1,5% referido a 14,07 V).

El 2º reagrupamiento corresponde mejor a la “física” ya que las barras de 245 Hz y 255 Hz no se corresponden con la envolvente de “fuga”. Esto aparece claramente cuando se observen varios espectros de ventanas adyacentes.

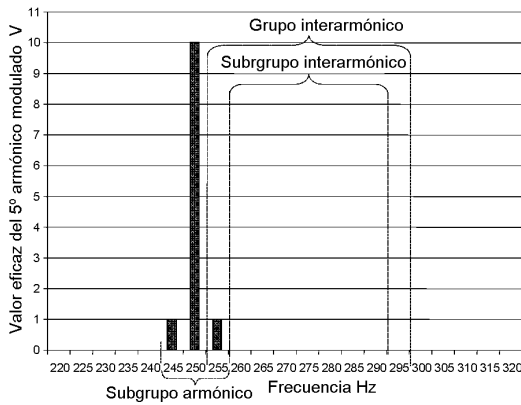


a) 5º armónico con una fluctuación de amplitud del 20%

+

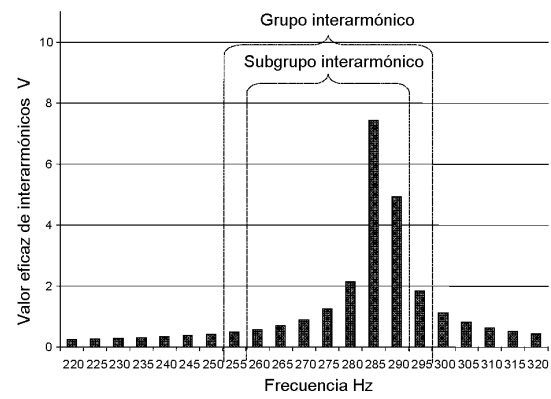


b) Interarmónico de 287 Hz

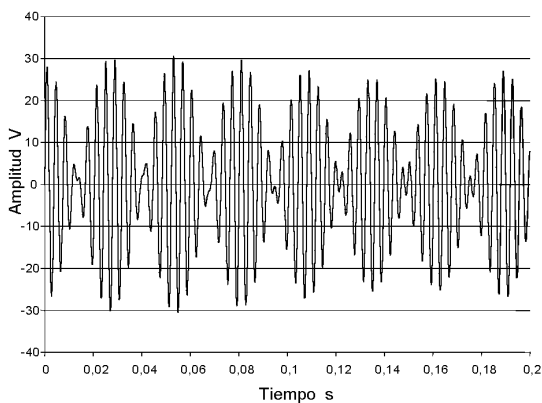
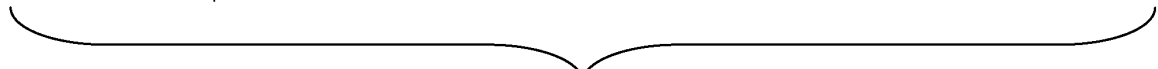


c) Espectro: 5º armónico, fluctuación de amplitud del 20%

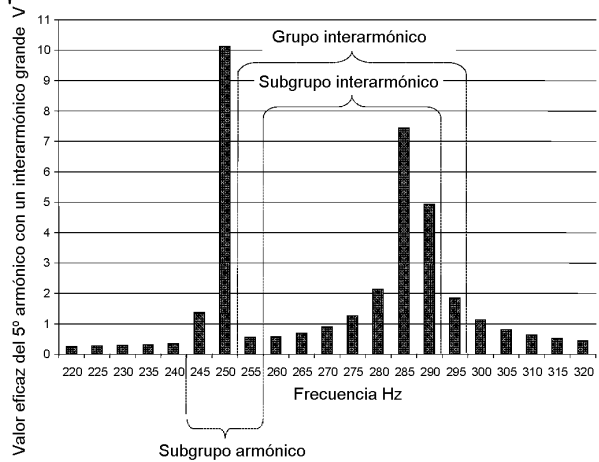
+



d) Espectro: Interarmónico de 287 Hz



e) Suma de armónico e interarmónico



f) Espectro: resultado de la suma de las señales

Fig. C.6 – 5º armónico modulado e interarmónico de 287 Hz

Las barras espectrales debidas a las bandas laterales alrededor del 5º armónico son las más afectadas por el efecto de fuga. Para un armónico fluctuante, los vectores de las componentes a la misma distancia de la frecuencia armónica, es decir, 245 Hz y 255 Hz, tienen amplitudes idénticas pero sentidos opuestos. Las amplitudes de los vectores permanecen constantes para una profundidad de la modulación constante pero sus ángulos giran etapa por etapa desde una ventana a otra ventana si la frecuencia de la modulación no es un múltiplo entero de la frecuencia básica. Las amplitudes de los vectores resultantes del interarmónico de 287 Hz permanecen también casi constantes pero sus ángulos cambian de ventana en ventana ya que cambia la posición del interarmónico en las ventanas. Los vectores que resultan de la combinación de la modulación y de la fuga varían obviamente de ventana a ventana, por supuesto, en ángulo y en amplitud. La figura C.7 muestra las dos componentes de 5 Hz por encima y por debajo del 5º armónico, para la ventana temporal de la figura C.6. En este caso, la amplitud del vector “combinado” de 245 Hz aumenta y la del vector “combinado” de 255 Hz disminuye, comparado con el vector “modulado”. Otras ventanas temporales darían otros ángulos para los vectores que resulten de la señal de 287 Hz y, en consecuencia, cambian las amplitudes de los vectores “combinados”. La representación temporal del espectro muestra la fluctuación de las barras de 245 Hz y de 255 Hz, y la media en el tiempo se aproximaría al valor eficaz común de los vectores “modulación” y “fuga”.

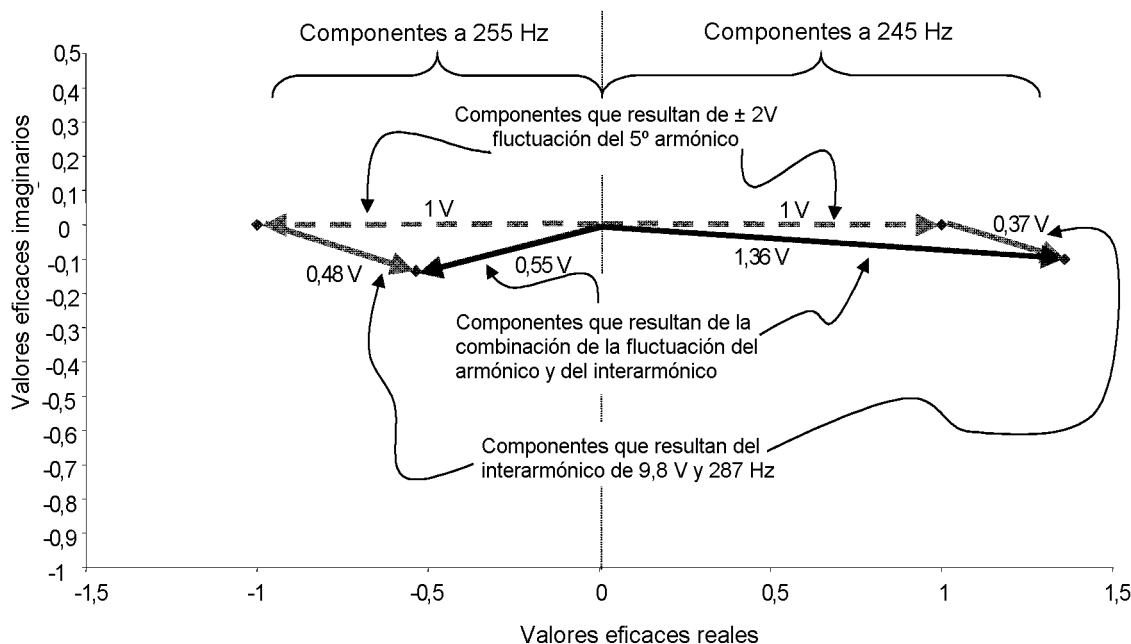


Fig. C.7 – Vectores componentes a las frecuencias de 245 Hz y de 255 Hz

BIBLIOGRAFÍA

CEI 61000-3 (todas las partes) – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites.*

| NOTA – Parcialmente armonizada en la serie de la Norma EN 61000-3 (sin modificaciones).

CEI 61000-3-4:1998 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-4: Límites. Limitación de las emisiones de corrientes armónicas en las redes de baja tensión para equipos con corriente asignada superior a 16 A.*

CEI 61000-4-30 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida - Métodos de medida de la calidad de la alimentación.*

CEI 61010-1:2001 – *Normas de seguridad para los aparatos eléctricos de medida, de regulación y de laboratorio. Parte 1: Requisitos generales.*

| NOTA – Armonizada como Norma EN 61010-1:2001 (sin modificaciones).

CISPR 16-1:1999 – *Especificaciones de las perturbaciones radioeléctricas e inmunidad de los aparatos de medida. Parte 1: Perturbaciones radioeléctricas e inmunidad de los aparatos de medida.*

ANEXO ZA (Normativo)

**OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA
CON LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES**

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras normas por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las normas citadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa norma (incluyendo sus modificaciones).

NOTA – Cuando una norma internacional haya sido modificada por modificaciones comunes CENELEC, indicado por (mod), se aplica la EN/HD correspondiente.

Norma Internacional	Fecha	Título	EN/HD	Fecha	Norma UNE correspondiente ¹⁾
CEI 60050-161	– ²⁾	Vocabulario Electrotécnico Internacional. Capítulo 161: Compatibilidad electromagnética.	–	–	UNE 21302-161:1992 ⁴⁾
CEI 61000-3-2	– ²⁾	Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase).	EN 61000-3-2	2000 ³⁾	UNE-EN 61000-3-2:2001
CEI 61967-1	– ²⁾	Circuitos integrados. Mediciones de las emisiones electromagnéticas de 150 kHz a 1 GHz. Parte 1: Definiciones y condiciones generales.	EN 61967-1	2002 ³⁾	EN 61967-1:2002 (Ratificada por ANOR en noviembre de 2002)

1) Esta columna se ha introducido en el anexo original de la norma europea únicamente con carácter informativo a nivel nacional.

2) Referencia sin fecha.

3) Edición válida en la fecha de publicación.

4) El título de la norma UNE es *Vocabulario electrotécnico. Capítulo 161: Compatibilidad electromagnética.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DE VIGO