

Mayo 2004

TÍTULO

Compatibilidad electromagnética (CEM)

Parte 2-4: Entorno

Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia en las instalaciones industriales

Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2-4: Environment. Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances.

Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 2-4: Environnement. Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 61000-2-4 de septiembre de 2002, que a su vez adopta la Norma Internacional CEI 61000-2-4:2002.

OBSERVACIONES

Esta norma anulará y sustituirá a la Norma UNE-EN 61000-2-4 de abril de 1997 antes de 2005-09-01.

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 22897:2004

© 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

38 Páginas

Grupo 23

Versión en español

Compatibilidad electromagnética (CEM)
Parte 2-4: Entorno
Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas
de baja frecuencia en las instalaciones industriales
(CEI 61000-2-4:2002)

Electromagnetic compatibility (EMC).
Part 2-4: Environment. Compatibility
levels in industrial plants for low-
frequency conducted disturbances.
(IEC 61000-2-4:2002).

Compatibilité électromagnétique (CEM).
Partie 2-4: Environnement. Niveaux de
compatibilité dans les installations
industrielles pour les perturbations
conduites à basse fréquence.
(IEC 61000-2-4:2002).

Elektromagnetische Verträglichkeit
(EMV). Teil 2-4: Umgebungsbedingungen.
Verträglichkeitspegel für niederfrequente
leitungsgeführte Störgrößen in
Industrieanlagen.
(IEC 61000-2-4:2002).

Esta norma europea ha sido aprobada por CENELEC el 2002-09-01. 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/378/FDIS, futura edición 2 de la Norma Internacional CEI 61000-2-4, 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 61000-2-4 el 2002-09-01.

Esta norma sustituye a la Norma Europea EN 61000-2-4:1994.

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) | 2003-06-01 |
| – Fecha límite en la que deben retirarse las normas nacionales divergentes con esta norma | (dow) | 2005-09-01 |

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 61000-2-4:2002 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 60038 NOTA – Armonizada como Documento de Armonización HD 472 S1:1989 (con modificaciones).

CEI 61000-4-7 NOTA – Armonizada como Norma EN 61000-4-7:1993 (sin ninguna modificación).

CEI 61000-4-15 NOTA – Armonizada como Norma EN 61000-4-15:1998 (sin ninguna modificación).

* 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.....	9
3 DEFINICIONES	9
3.1 Definiciones generales.....	9
3.2 Definiciones relativas a los fenómenos	10
4 CLASES DE ENTORNOS ELECTROMAGNÉTICOS	12
5 NIVELES DE COMPATIBILIDAD	13
5.1 Presentación general.....	13
5.2 Desviaciones de tensión.....	13
5.3 Huecos de tensión e interrupciones breves	14
5.4 Desequilibrio de tensión	14
5.5 Variaciones temporales de la frecuencia de red	14
5.6 Armónicos.....	14
5.7 Interarmónicos	15
5.8 Componentes de la tensión a frecuencias superiores (por encima del armónico de orden 50).....	16
5.9 Sobre tensiones transitorias	16
5.10 Componente continua	16
6 NIVELES DE COMPATIBILIDAD	16
ANEXO A (Informativo) EXPLICACIONES Y EJEMPLOS RELATIVOS A LOS INTERARMÓNICOS.....	20
A.1 Resolución de tensiones y corrientes no sinusoidales	20
A.2 Fenómenos que varían con el tiempo	21
A.3 Definición de términos complementarios.....	21
ANEXO B (Informativo) EJEMPLOS DE NIVELES DE PERTURBACIÓN PREVISIBLES EN REDES INDUSTRIALES TÍPICAS.....	22
B.1 Niveles de perturbación de tensión en redes industriales debidos a convertidores de gran potencia	22
B.2 Niveles de perturbación de la tensión en redes industriales con carga elevada.....	25
B.3 Huecos de tensión e interrupciones breves	27
B.4 Sobre tensiones transitorias	28
ANEXO C (Informativo) INTERARMÓNICOS Y TENSIONES A FRECUENCIAS MÁS ELEVADAS	30
C.1 Fuentes de interarmónicos	30
C.2 Métodos de atenuación	34
C.3 Tensiones a frecuencias más altas.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....	37

Figura 1	Niveles de compatibilidad de interarmónicos (Respuesta del medidor de flicker para $P_{st} = 1$, relativa a las lámparas de incandescencia de 60 W)	19
Figura B.1	Ejemplo de distribución de potencia en industrias con trenes de laminación.....	23
Figura B.2	Ejemplo de distribución de potencia en la industria papelera.....	24
Figura B.3	Ejemplo de distribución de potencia en una industria de fabricación típica	26
Figura B.4	Curva de tolerancia de los equipos de tecnología de la información según ITI (CEBEMA)	29
Tabla 1	Niveles de compatibilidad de las tolerancias de tensión, desequilibrios de tensión y variaciones de frecuencia	17
Tabla 2	Niveles de compatibilidad de armónicos. Componentes armónicos de tensión. Órdenes impares con exclusión de los múltiplos de 3.....	17
Tabla 3	Niveles de compatibilidad de armónicos. Componentes armónicos de tensión. Órdenes impares múltiplos de 3	18
Tabla 4	Niveles de compatibilidad. Componentes armónicas de tensión de orden par.....	18
Tabla 5	Niveles de compatibilidad de las tasas de distorsión armónica totales	18
Tabla B.1	Tipo de red	22
Tabla B.2	Niveles de perturbación de tensión en una industria de fabricación típica	25
Tabla C.1	Valores indicativos para tensiones interarmónicas en redes de baja tensión relacionados con el efecto del flicker	33

INTRODUCCIÓN

La Norma CEI 61000 se publica en partes separadas de acuerdo con la estructura 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
Niveles de inmunidad (en la medida en que no están bajo 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 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, algunos de los cuales han sido publicados como secciones. Otras serán publicadas con el número de la parte seguido de un guión y de un segundo número identificando la subdivisión (por ejemplo: 61000-3-11).

En las Normas CEI 61000-2-1 y CEI 61000-2-12 se puede encontrar información detallada de los distintos tipos de perturbaciones que se pueden esperar en las redes de suministro público.

Compatibilidad electromagnética (CEM)
Parte 2-4: Entorno
Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas
de baja frecuencia en las instalaciones industriales

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma CEI 61000 se refiere a las perturbaciones conducidas en el rango de frecuencias de 0 kHz a 9 kHz. Fija valores numéricos de los niveles de compatibilidad para las redes de distribución de energía industriales y no públicas a tensiones nominales de hasta 35 kV y frecuencias nominales de 50 Hz o 60 Hz.

No se incluyen las redes de distribución de energía en barcos, aviones, plataformas marítimas y ferrocarriles.

Los niveles de compatibilidad especificados en esta norma se aplican en el punto de conexión interno de la instalación. En los terminales de entrada de los equipos alimentados por los sistemas antes mencionados, los niveles de severidad de las perturbaciones pueden, en la mayoría de los casos, tomarse como iguales a los niveles en el punto de conexión interno de la instalación. En algunas situaciones esto no es así, particularmente en el caso de una línea de alimentación larga, dedicada al suministro de una carga en particular, o en el caso de una perturbación generada o amplificada dentro de la instalación de la que forma parte el equipo.

Los niveles de compatibilidad se especifican para los tipos de perturbaciones electromagnéticas que pueden esperarse en cualquier punto de conexión interno (PCI) dentro de las plantas industriales o en otras redes no públicas, como guía para:

- a) el establecimiento de los límites de emisión de perturbaciones en las redes industriales (incluyendo los niveles de planificación definidos en el apartado 3.1.5);

NOTA 1 – Se puede encontrar una amplia variedad de condiciones en los entornos electromagnéticos de redes industriales y en otras redes no públicas. Esta variedad se ha planteado en esta norma por las tres clases descritas en el capítulo 4. Sin embargo, es responsabilidad del operador de tal red considerar las condiciones particulares electromagnéticas y económicas, incluyendo las características del equipo, para el establecimiento de los límites arriba mencionados.

- b) la elección de los límites de inmunidad para el equipo dentro de estos sistemas.

Los fenómenos de las perturbaciones considerados son los siguientes:

- las desviaciones de tensión;
- los huecos de tensión y las interrupciones breves;
- los desequilibrios de tensión;
- las variaciones de frecuencia;
- los armónicos hasta el de orden 50;
- los interarmónicos hasta el armónico de orden 50;
- las componentes de tensión a frecuencias altas (superiores a la del armónico 50);
- la componente continua;
- las sobretensiones transitorias.

Los niveles de compatibilidad vienen dados para las distintas clases de entornos electromagnéticos determinados por las características de la red de distribución de energía.

NOTA 2 – Los niveles de compatibilidad en el punto de conexión común (PCC) en las redes públicas están especificados en la Norma CEI 61000-2-2 para las redes de baja tensión y en la Norma CEI 61000-2-12 para las redes de media tensión. Los Informes Técnicos CEI 61000-3-6 y CEI 61000-3-7 describen el enfoque de los responsables de la distribución eléctrica para limitar las emisiones de perturbaciones por las instalaciones y las cargas de gran potencia.

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 60050-101 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Parte 101: Matemáticas.*

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

CEI 60050-551 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Parte 551: Electrónica de potencia.*

CEI 61000-2-2 – *Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 2-2: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en baja tensión.*

CEI 61000-2-12 – *Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 2-12: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en media tensión.*

3 DEFINICIONES

Para el objeto de esta parte de la Norma CEI 61000, se aplican las definiciones dadas en el capítulo 161 y en las partes 101 y 551 de la Norma CEI 60050 (VEI), así como las siguientes definiciones.

3.1 Definiciones generales

3.1.1 perturbación (electromagnética): Cualquier fenómeno electromagnético que, por su presencia en el entorno electromagnético, puede hacer que un equipo eléctrico se desvíe de su funcionamiento previsto.

[VEI 161-01-05, modificada]

3.1.2 nivel de perturbación: Cantidad o magnitud de una perturbación electromagnética, medida y evaluada de una manera especificada.

[VEI 161-03-01, modificada]

3.1.3 compatibilidad electromagnética; CEM: Capacidad de un equipo o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin introducir él mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentre en ese entorno.

[VEI 161-01-07]

NOTA 1 – La compatibilidad electromagnética es una condición del entorno electromagnético tal que, para cada fenómeno, el nivel de emisión de perturbación sea lo suficientemente bajo y los niveles de inmunidad sean lo suficientemente elevados para que todos los aparatos, equipos y sistemas funcionen según lo previsto.

NOTA 2 – La compatibilidad electromagnética sólo se asegura si los niveles de emisión e inmunidad se controlan de tal modo que los niveles de inmunidad de los aparatos, equipos y sistemas, en cualquier lugar, no sean superados por el nivel de perturbación en ese lugar, resultante de la emisión acumulada de todas las fuentes emisoras y de otros factores como las impedancias de los circuitos. Por convención, se dice que existe compatibilidad si la probabilidad de desviación del funcionamiento normal o del efecto adverso es lo suficientemente baja. Véase el capítulo 4 de la Norma CEI 61000-2-1.

NOTA 3 – Cuando lo requiera el contexto, la compatibilidad se puede considerar como referente a una única perturbación o a una clase de perturbaciones.

NOTA 4 – La compatibilidad electromagnética es un término utilizado también para describir el campo de investigación de los efectos electromagnéticos adversos que afectan a los aparatos, equipos y sistemas provocados por otros aparatos, equipos y sistemas u otros fenómenos electromagnéticos.

3.1.4 nivel de compatibilidad (electromagnética): Nivel especificado de perturbación electromagnética utilizado como nivel de referencia en un entorno especificado para asegurar la coordinación del establecimiento de los límites de emisión e inmunidad.

[VEI 161-03-10, modificada]

NOTA – Por convención, el nivel de compatibilidad se escoge de modo que sólo haya una pequeña probabilidad de que será excedido por el nivel real de la perturbación.

3.1.5 nivel de planificación: Nivel de una perturbación dada en un entorno dado, adoptado como valor de referencia para determinar los límites de emisión de cargas de gran potencia y de instalaciones, para coordinar esos límites con todos los límites adoptados por los equipos destinados a ser conectados a la red de distribución de energía.

NOTA – El nivel de planificación es específico de cada lugar y se adopta por aquellos responsables de la planificación y operación de la red en el área relevante. (Para más explicaciones, véase el anexo A de la Norma CEI 61000-2-2).

3.1.6 punto de conexión común; PCC: El punto en una red de suministro público eléctricamente más próximo a una carga particular, y al cual están conectadas o se podrían conectar otras cargas.

[VEI 161-07-15, modificada]

3.1.7 punto de conexión interno; PCI: El punto en una red dentro de un sistema o instalación, eléctricamente más próximo a una carga particular, y al cual están conectadas o se podrían conectar otras cargas.

NOTA – El PCI normalmente es el punto en el que se ha de considerar la compatibilidad electromagnética.

3.2 Definiciones relativas a los fenómenos

Las definiciones siguientes que están relacionadas con los armónicos están basadas en el análisis de las tensiones o corrientes del sistema mediante el método de la transformada discreta de Fourier (DFT). Esto es la aplicación práctica de la transformada de Fourier tal como se define en la definición VEI 101-13-09. Véase el anexo A.

NOTA – La transformada de Fourier de una función temporal, tanto periódica como no periódica, es una función en el dominio de la frecuencia llamada espectro de frecuencias de la función temporal, o simplemente espectro. Si la función temporal es periódica, el espectro está constituido por líneas (o componentes) discretas. Si la función temporal no es periódica, el espectro es una función continua que presenta componentes en todas las frecuencias.

Otras definiciones relacionadas con los armónicos o interarmónicos se dan en el VEI y en otras normas. Algunas de esas definiciones, aunque no se utilicen en esta norma, se discuten en el anexo A.

3.2.1 frecuencia fundamental: Frecuencia, obtenida en el espectro a partir de una transformada de Fourier de una función temporal, a la que se refieren todas las frecuencias del espectro. Para el propósito de esta norma, la frecuencia fundamental es la misma que la frecuencia de la red de distribución de energía.

[VEI 101-14-50, modificada]

NOTA 1 – Generalmente, en el caso de una función periódica, la frecuencia fundamental generalmente es igual a la frecuencia de la propia función. (Véase el capítulo A.1.)

NOTA 2 – En el caso de que subsista algún riesgo de ambigüedad, la frecuencia de la red de distribución de energía debería referirse a la polaridad y la velocidad de rotación de el/los generador/es síncronos que alimentan al sistema.

NOTA 3 – Se puede aplicar esta definición a cualquier red industrial de distribución de energía, sin importar la carga que alimenta (una carga única o una combinación de cargas, máquinas rotativas u otras cargas), e incluso si el generador que alimenta a la red es un convertidor de semiconductores.

3.2.2 componente fundamental (o fundamental): Componente cuya frecuencia es la frecuencia fundamental.

3.2.3 frecuencia armónica: Frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. La relación entre la frecuencia armónica y la frecuencia fundamental se denomina orden del armónico. (Notación recomendada: “*h*”).

3.2.4 componente armónica: Cualquier componente que tenga una frecuencia armónica. Su valor se expresa normalmente en valor eficaz.

Por brevedad, tal componente puede denominarse simplemente armónico.

3.2.5 frecuencia interarmónica: Cualquier frecuencia que no es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

NOTA 1 – Por extensión de orden del armónico, orden del interarmónico es la relación entre la frecuencia interarmónica y la frecuencia fundamental. Esta relación no es un número entero. (Notación recomendada: “*m*”).

NOTA 2 – En el caso en que $m < 1$, el término frecuencia subarmónica puede utilizarse igualmente.

3.2.6 componente interarmónica: Componente a una frecuencia interarmónica. Su valor se expresa normalmente en valor eficaz.

Por brevedad, tal componente puede denominarse simplemente interarmónico.

NOTA – A los efectos de esta norma, y según se establece en la Norma CEI 61000-4-7, la ventana temporal tiene una anchura de 10 periodos fundamentales (para sistemas de 50 Hz) o 12 periodos fundamentales (para sistemas de 60 Hz), es decir, alrededor de 200 ms. El intervalo de frecuencia entre dos componentes interarmónicas consecutivas es, por tanto, de alrededor de 5 Hz.

3.2.7 tasa de distorsión armónica total; THD: Relación entre el valor eficaz de la suma de todas las componentes armónicas hasta un orden especificado (notación recomendada “*H*”) y el valor eficaz de la componente fundamental.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

donde

Q representa la corriente o la tensión;

Q_1 es el valor eficaz de la componente fundamental;

h es el orden del armónico;

Q_h es el valor eficaz de la componente armónica de orden h ;

H es 50 para los niveles de compatibilidad definidos en esta norma.

NOTA – El *THD* sólo tiene en cuenta los armónicos. En el caso de que los interarmónicos hayan de tomarse en consideración, véase el apartado A.3.1.

3.2.8 desequilibrio de tensión: Condición en un sistema polifásico en el que los valores eficaces de las tensiones entre fases (componentes fundamentales), o los ángulos entre tensiones entre fases consecutivas, no son todos iguales. Habitualmente se expresa el grado de desigualdad como las relaciones de la componente inversa y la componente homopolar a la componente directa.

[VEI 161-08-09, modificada]

NOTA 1 – Generalmente el desequilibrio de tensión, en relación con los sistemas trifásicos, no se considera más que desde el punto de vista de la componente inversa. Sin embargo, en algunas circunstancias, se debería considerar también la componente homopolar.

NOTA 2 – Varias aproximaciones dan resultados suficientemente precisos para los niveles de desequilibrio (relación entre las tensiones inversa y directa) normalmente encontradas:

$$\text{por ejemplo, desequilibrio de tensión} = \sqrt{6 \times \frac{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})^2} - 2}$$

donde U_{12} , U_{23} y U_{31} son las tres tensiones fundamentales entre fases.

3.2.9 desviación de tensión: Aumento o disminución del valor eficaz de la tensión de alimentación normalmente debida a una variación de carga en la red o en parte de ella, o a un cambio rápido de tensión, repetitivo o no, debido a un cambio rápido de la carga (véase el primer párrafo del apartado 4.2 de la Norma CEI 61000-2-2); se excluyen los transitorios sin efectos remanentes.

NOTA – Algunas desviaciones de la tensión pueden ser cambios rápidos debidos a la adaptación de la red de tensión a las condiciones de la carga (por ejemplo, cambios rápidos de los reguladores de carga en los transformadores, efectos permanentes por conmutación en bancos de condensadores). Un fenómeno diferente son las fluctuaciones de tensión, que pueden causar flicker (series de cambios de tensión o cambios cíclicos de tensión). Las variaciones de tensión y las fluctuaciones de tensión son los tipos más importantes de cambios de tensión.

3.2.10 hueco de tensión: Reducción repentina de la tensión en un punto particular de una red de alimentación, por debajo de un umbral de hueco de tensión, seguida de su recuperación tras un breve intervalo.

NOTA 1 – Normalmente se asocia un hueco con el comienzo y final de un cortocircuito u otro fuerte aumento de la corriente en la red o en las instalaciones conectadas a ésta.

NOTA 2 – Generalmente, el umbral corresponde al valor mínimo del margen de tolerancia de la tensión.

3.2.11 sobretensión transitoria: Sobretensión oscilatoria o no oscilatoria, fuertemente amortiguada y con una duración de hasta unos pocos milisegundos. El nivel de compatibilidad se relaciona con el valor de cresta entre fase y tierra.

NOTA – Generalmente una sobretensión transitoria es de origen atmosférico o debida a operaciones en la red (conmutación, fusibles). Su tiempo de subida puede ir desde menos de 1 μ s a unos pocos ms.

4 CLASES DE ENTORNOS ELECTROMAGNÉTICOS

Se pueden definir varias clases de entornos electromagnéticos, pero con el fin de simplificar su utilización, sólo se consideran y definen en esta norma tres tipos, que son los siguientes.

Clase 1 Esta clase se aplica a las redes protegidas y tiene niveles de compatibilidad inferiores a los de las redes de distribución pública. Se relaciona con el uso de equipos muy sensibles a las perturbaciones en la red, por ejemplo la instrumentación eléctrica de los laboratorios tecnológicos, ciertos equipos de automatización y de protección, algunos ordenadores, etc.

Clase 2 Esta clase se aplica generalmente a los PCC y PCI en el entorno de redes industriales en general y otras redes no públicas. Los niveles de compatibilidad en esta clase son generalmente idénticos a los correspondientes a los de las redes públicas. Por tanto, los componentes diseñados para su aplicación en las redes de distribución pública pueden también utilizarse en esta clase de entorno industrial.

Clase 3 Esta clase se aplica sólo a los PCI en los entornos industriales. Tiene mayores niveles de compatibilidad que los correspondientes a la clase 2 para algunos tipos de perturbaciones. Por ejemplo, se debería considerar esta clase cuando se presenta alguna de las condiciones siguientes:

- la mayor parte de la carga se alimenta a través de convertidores;
- hay máquinas de soldar;

- los grandes motores se arrancan frecuentemente;
- las cargas varían rápidamente.

No se puede determinar *a priori* la clase aplicable a las nuevas instalaciones o ampliación de las existentes y deberían tenerse en cuenta para ello los tipos de equipos y el proceso que se está considerando.

NOTA 1 – Los entornos de clase 1 contienen normalmente equipos que requieren una protección por aparatos tales como los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), filtros o pararrayos.

NOTA 2 – En algunos casos, los equipos altamente sensibles pueden requerir niveles de compatibilidad más bajos que los del entorno de clase 1. Entonces, los niveles de compatibilidad se han de acordar según cada caso (entorno controlado).

NOTA 3 – La alimentación de cargas altamente perturbadoras, tales como hornos de arco y grandes convertidores, alimentados generalmente por barras separadas, presenta frecuentemente niveles de perturbación que exceden los correspondientes a la clase 3 (entorno severo). En estas condiciones, también deberían ser motivo de acuerdo los correspondientes niveles de compatibilidad.

NOTA 4 – Teniendo en cuenta la diversidad de entornos industriales, puede que se apliquen clases diferentes para distintos fenómenos en una red dada cualquiera.

5 NIVELES DE COMPATIBILIDAD

5.1 Presentación general

Los niveles de compatibilidad vienen indicados para las diversas perturbaciones y únicamente sobre la base de las perturbaciones consideradas individualmente. Sin embargo, el entorno electromagnético comporta generalmente varias perturbaciones simultáneas y el funcionamiento de determinados equipos puede verse afectado por una combinación particular de perturbaciones. Véase el capítulo A.2 de la Norma CEI 61000-2-2.

Los niveles vienen indicados en las tablas 1 a 5. Véase igualmente la guía para interarmónicos en el anexo C.

Los PCI se deberían clasificar de acuerdo con sus niveles de compatibilidad. Puede ser necesario disponer de una descripción detallada de las desviaciones de tensión que se puedan presentar en los terminales de los equipos a fin de permitir la selección de equipos o aparatos específicos tales como máquinas rotativas, bancos de condensadores y filtros. Los comités técnicos responsables de las normas de productos aplicables especificarán la información para facilitar la selección adecuada de los componentes. También deberían tener en cuenta en su norma los niveles de compatibilidad cuando especifiquen las condiciones de operación de la alimentación del equipo.

Se dan los niveles de compatibilidad en los PCI, pero esto no implica que las perturbaciones a estos niveles cumplirán los requisitos de emisión en el PCC. Este hecho ha de tenerse muy en cuenta durante la selección de los equipos.

NOTA 1 – Los equipos que funcionan en la clase 1 son generalmente equipos de baja tensión.

NOTA 2 – En el anexo B se dan los resultados del cálculo de unos pocos ejemplos, a fin de ilustrar los niveles de perturbación causados por convertidores de potencia en varios entornos industriales.

NOTA 3 – Los niveles de compatibilidad de la clase 3 cubren las posibles perturbaciones en entornos industriales. Para una determinada instalación, es de esperar que sólo algunos tipos de perturbaciones ocurren con el nivel correspondiente a la clase 3. Puesto que los equipos o aparatos tienen diferentes sensibilidades a los distintos tipos de perturbación, puede emplearse condicionalmente un equipo o aparato específico con una alimentación de clase 3 dependiendo de los niveles de perturbación reales.

NOTA 4 – Los niveles de perturbación, que varían a la vez con el tiempo y el lugar, no pueden ser controlados en cualquier lugar y en cualquier instante. Por tanto, debería hacerse una evaluación en la totalidad del sistema industrial considerado, en vez de en un lugar específico de ese sistema.

5.2 Desviaciones de tensión

Véase la tabla 1. En la clase 3, se esperan desviaciones de la tensión que causen tensiones de alimentación en un margen de $0,85 U_C$ a $0,9 U_C$ con una duración no superior a 60 segundos. Para tiempos mayores se aplica el margen de $0,9 U_C$ a $1,1 U_C$.

NOTA 1 – Las fluctuaciones de tensión conducentes al flicker en general sólo afectan a los equipos de iluminación. Se deberían conectar éstos a una alimentación de clase 2. Se aplican los niveles de compatibilidad de la Norma CEI 61000-2-2.

NOTA 2 – En determinadas circunstancias, algunos equipos podrían verse afectados por los cambios rápidos de tensión.

5.3 Huecos de tensión e interrupciones breves

Para los PCI de clase 1, se considera la protección proporcionada por un SAI y no se esperan huecos de tensión.

En el capítulo B.3 se discute a propósito de otros aspectos de estos fenómenos.

5.4 Desequilibrio de tensión

En esta norma, sólo se considera el desequilibrio de tensión con relación a la componente inversa, que es la componente a tener en cuenta, por las posibles interferencias en los equipos conectados a las redes de distribución pública cubiertos por esta norma. En esta norma se considera el desequilibrio de tensión en relación con sus efectos a largo plazo, es decir, para duraciones iguales o superiores a 10 minutos.

NOTA 1 – Algunos equipos de protección pueden ser sensibles a la componente homopolar de la tensión. Se debería tener cuidado sobre este aspecto en el ámbito de la instalación.

NOTA 2 – Las componentes homopolares de la tensión afectan principalmente a los armónicos múltiplos de 3.

NOTA 3 – Los convertidores electrónicos producen armónicos de órdenes característicos en razón de su topología cuando funcionan en condiciones asignadas de operación. En condiciones diferentes de operación, tales como presentando un desequilibrio de la tensión de alimentación, instantes de conmutación no ideales, etc., pueden causar la producción de armónicos de otros órdenes.

El desequilibrio de tensión causado por una carga monofásica conectada entre dos fases es prácticamente igual a la relación entre la potencia de esta carga y la potencia de cortocircuito de la red trifásica. En ausencia de una carga monofásica significativa, se pueden aplicar los niveles de compatibilidad de la clase 2.

5.5 Variaciones temporales de la frecuencia de red

Los niveles de compatibilidad de las desviaciones de frecuencia de las redes públicas se aplican a las plantas industriales alimentadas por las redes públicas.

En la mayoría de los casos, la variación está situada en un margen de 1 Hz de la frecuencia nominal según se define en el apartado 4.8 de la Norma CEI 61000-2-2. Cuando se implanta una interconexión síncrona a escala continental, la variación normalmente es mucho menor.

El nivel de compatibilidad para las variaciones temporales de la frecuencia con relación a la frecuencia nominal es de ± 1 Hz. La desviación cuasiestacionaria de la frecuencia con relación a la frecuencia nominal es mucho menor.

NOTA 1 – La tasa de cambio de la frecuencia es un parámetro significativo para algunos equipos.

NOTA 2 – En el caso de sistemas de alimentación aislados de la red pública, se esperan variaciones de frecuencia de hasta $\pm 4\%$. Los niveles reales de compatibilidad en este caso han de ser objeto de un acuerdo.

5.6 Armónicos

Los niveles de compatibilidad de las componentes armónicas individuales de tensión deben entenderse referidos a los estados estacionarios o cuasiestacionarios y vienen dados como valores de referencia tanto para los efectos a largo plazo como los a muy corto plazo.

Los efectos a largo plazo están relacionados principalmente con los efectos térmicos sobre los cables, los transformadores, los motores, los condensadores, etc. Proviene de los niveles de armónicos mantenidos durante periodos iguales o superiores a 10 minutos.

En lo que concierne a los efectos a largo plazo, los niveles de compatibilidad para las componentes armónicas individuales de la tensión vienen dados en las tablas 2 a 4. Los correspondientes niveles de compatibilidad para las tasas de distorsión armónica totales vienen dadas en la tabla 5.

Los efectos a muy corto plazo conciernen principalmente a los efectos perturbadores en los equipos electrónicos que pueden ser susceptibles a niveles de armónicos de una duración de 3 segundos o menos. Los transitorios no están incluidos.

En lo que concierne a los efectos a muy corto plazo para las clases 1 y 3, los niveles de compatibilidad relativos a las tasas de distorsión armónica individual y total son iguales a 1,5 veces los valores dados en las tablas 2 a 5.

Para la clase 2, éstos valen k veces el valor en las tablas 2 a 4, determinándose k como sigue:

$$k = 1,3 + \frac{0,7}{45} \times (h - 5)$$

En lo que concierne a los efectos a muy corto plazo, el nivel de compatibilidad de la tasa de distorsión armónica total en la clase 2 es del 8% ($THD = 8\%$).

NOTA 1 – Los cortes de conmutación están incluidos aquí en función de su contribución al contenido armónico de la tensión. Otros aspectos (por ejemplo, la influencia sobre la conmutación de otros convertidores, o cualquier influencia sobre otros equipos que implica las componentes armónicas mayores del espectro) requieren una descripción en el dominio temporal (véase la norma de producto aplicable).

NOTA 2 – En cualquier lugar donde se utilicen condensadores de corrección del factor de potencia en las redes industriales, y especialmente para aquellos destinados a conectarse a los PCI de clase 3, deberían conectarse a la red a través de reactancias en serie. En el lugar donde pueda haber presencia de interarmónicos, hay riesgo de efectos de resonancia y se debería evaluar este riesgo con atención. En el lugar donde está claramente probado la ausencia de efectos de resonancia y la amplitud máxima de los armónicos es bastante inferior a los niveles de compatibilidad de la clase 3, puede que no sean necesarias las reactancias serie, pero este aspecto ha de verificarse cuidadosamente.

NOTA 3 – Los valores especificados para las tasas de distorsión armónica total no presentan relación con equipos o aparatos específicos, pero tienen por objetivo impedir la presencia simultánea de varias componentes armónicas de amplitud significativa.

5.7 Interarmónicos

En el anexo C se da información sobre las fuentes, los efectos y los métodos de atenuación de los interarmónicos. Se suministran igualmente niveles como guía, hasta que más experiencia haga posible la publicación de niveles de compatibilidad.

En esta norma, los niveles de compatibilidad se dan sólo para el caso de una tensión interarmónica de frecuencia cercana a la frecuencia fundamental (50 Hz o 60 Hz), que causa una modulación de la amplitud de la tensión de alimentación.

En estas condiciones, ciertas cargas que son sensibles al cuadrado de la tensión, especialmente los dispositivos de iluminación, ponen en evidencia un efecto de batido de frecuencias que provoca flicker (véase la nota 1 en el apartado 5.2). La frecuencia de batido es la diferencia entre las frecuencias de las dos tensiones presentes simultáneamente, es decir, la fundamental y la interarmónica.

NOTA 1 – Para los interarmónicos por debajo del orden 0,2 los niveles de compatibilidad se definen por los requisitos relativos al flicker, con $P_s = 1$. A este efecto, se debería calcular la severidad del flicker conforme al anexo A de la Norma CEI 61000-3-7 utilizando el factor de forma dado para las fluctuaciones de tensión periódicas o sinusoidales. El valor conservador del factor de forma es 0,8 para $0,04 < m \leq 0,2$, y 0,4 para $m \leq 0,04$.

NOTA 2 – Es posible una situación similar cuando hay un nivel apreciable de tensión a una frecuencia armónica (particularmente de orden 3 ó 5) coincidente con una tensión interarmónica a una frecuencia próxima a una frecuencia armónica. Debería evaluarse el efecto por medio de la figura 1, en donde la amplitud viene dada por el producto de las amplitudes relativas del armónico y del interarmónico al origen de la frecuencia de batido. Es poco probable que el resultado sea significativo.

Los niveles de compatibilidad correspondientes a la tensión interarmónica del caso anterior están establecidos en la figura 1. Se expresan por la relación entre la amplitud del interarmónico y la del fundamental en función de la frecuencia de batido. Están basados en un nivel de perceptibilidad de flicker de $P_{st} = 1$ para lámparas funcionando a 120 V o a 230 V, y sólo se aplican a circuitos que contienen aparatos de iluminación.

5.8 Componentes de la tensión a frecuencias superiores (por encima del armónico de orden 50)

La distorsión de la onda de tensión puede ser equivalente a la superposición de tensiones a frecuencias, algunas de las cuales exceden ampliamente la del armónico de orden 50. En el caso de estas tensiones de mayores frecuencias, la distinción entre armónicos e interarmónicos no es por lo general significativa. Estas tensiones pueden aparecer a la vez en frecuencias discretas y en bandas de frecuencias relativamente anchas.

El capítulo C.3 facilita niveles como guía, hasta que una experimentación más profunda haga posible la publicación de niveles de compatibilidad.

5.9 Sobretensiones transitorias

La amplitud relativa de los transitorios es generalmente función de su duración, de su frecuencia y del nivel de tensión de la red. Estos fenómenos se contemplan en el capítulo B.4.

5.10 Componente continua

Normalmente, no hay componente continua significativa en la tensión de las redes de alimentación industriales cubiertas por esta norma. Puede no obstante aparecer, debido a ligeros defectos de simetría de cargas controladas conectadas directamente a la red sin un transformador dedicado.

El nivel de corriente continua es el elemento crítico. El valor de la componente continua de la tensión depende no solamente de la corriente continua sino también de otros factores, especialmente de las resistencias de la red en el punto considerado. En consecuencia, no se define el nivel de compatibilidad para la componente continua de la tensión.

Una componente continua puede causar una magnetización asimétrica de los transformadores, que entraña calentamientos suplementarios y que da nacimiento a tensiones armónicas. Además, si tales corrientes continuas pasan por los circuitos de tierra, provocan un aumento de la corrosión de las partes metálicas enterradas.

6 NIVELES DE COMPATIBILIDAD

Los niveles de compatibilidad de las tolerancias de tensión, desequilibrios de tensión y variaciones de frecuencia se dan en la tabla 1 siguiente.

Los niveles de compatibilidad para los armónicos se indican en las tablas 2 a 4.

Los niveles de compatibilidad de las tasas de distorsión armónica total figuran en la tabla 5.

Los niveles de compatibilidad de los interarmónicos están representados en la figura 1.

Tabla 1
Niveles de compatibilidad de las tolerancias de tensión, desequilibrios de tensión y variaciones de frecuencia

Perturbación		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Tolerancias de tensión, definidas con relación a la tensión nominal U_N :	$\Delta U/U_N$	$\pm 8\%$	$\pm 10\%$ ^a	+10% a - 15% ^b
Desequilibrio de tensión:	U_{inv}/U_{dir}	2%	2%	3%
Variaciones de frecuencia ^c	Δf	± 1 Hz	± 1 Hz	± 1 Hz
^a Estos valores no se definen en la Norma CEI 61000-2-2. ^b Véase el apartado 5.2. ^c ± 2 Hz en el caso de redes aisladas.				

Tabla 2
Niveles de compatibilidad de armónicos – Componentes armónicas de tensión
Órdenes impares con exclusión de los múltiplos de 3

Orden h	Clase 1 U_h %	Clase 2 U_h %	Clase 3 U_h %
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
$17 < h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$4,5 \times (17/h) - 0,5$
NOTA – En algunos casos en que una parte de la red industrial se dedica a cargas no lineales importantes, los niveles de compatibilidad de la clase 3 para esa parte de la red pueden valer 1,2 veces los valores arriba indicados. Entonces se deberían tomar las precauciones necesarias en lo que concierne a la inmunidad de los equipos que se conectan allí. Sin embargo, en el PCC (red pública), prevalecen los valores de los niveles de compatibilidad dados en la Norma CEI 61000-2-2 y en la Norma CEI 61000-2-12.			

Tabla 3
Niveles de compatibilidad de armónicos – Componentes armónicas de tensión
Órdenes impares múltiplos de 3

Orden h	Clase 1 U_h %	Clase 2 U_h %	Clase 3 U_h %
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,4	2
21	0,2	0,3	1,75
$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	1

NOTA 1 – Estos niveles se aplican a los armónicos homopolares.

NOTA 2 – En algunos casos en que una parte de la red industrial está dedicada a las cargas no lineales importantes, los niveles de compatibilidad de la clase 3 para esa parte de la red pueden valer 1,2 veces los valores arriba indicados. Entonces se deberían tomar las precauciones necesarias en lo que concierne a la inmunidad de los equipos que están conectados. Sin embargo, en el PCC (red pública), prevalecen los valores de los niveles de compatibilidad dados en la Norma CEI 61000-2-2 y en la Norma CEI 61000-2-12.

Tabla 4
Niveles de compatibilidad – Componentes armónicas de tensión de orden par

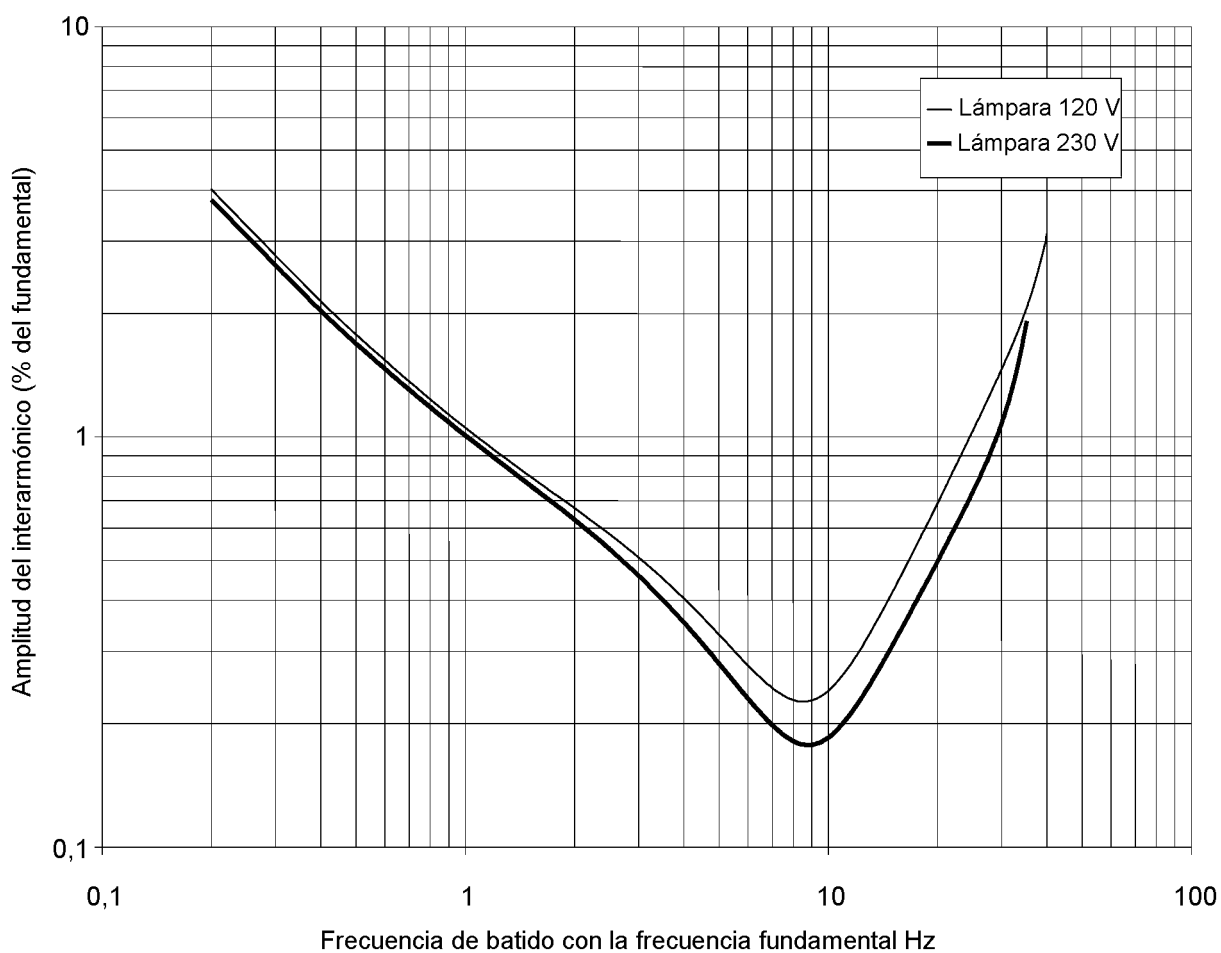
Orden h	Clase 1 U_h %	Clase 2 U_h %	Clase 3 U_h %
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
$10 < h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	1

NOTA – En algunos casos en que una parte de la red industrial está dedicada a las cargas no lineales importantes, los niveles de compatibilidad de la clase 3 para esa parte de la red pueden valer 1,2 veces los valores arriba indicados. Entonces se deberían tomar las precauciones necesarias en lo que concierne a la inmunidad de los equipos que están conectados. Sin embargo, en el PCC (red pública), prevalecen los valores de los niveles de compatibilidad dados en la Norma CEI 61000-2-2 y en la Norma CEI 61000-2-12.

Tabla 5
Niveles de compatibilidad para las tasas de distorsión armónica totales

	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Tasa de distorsión armónica total (THD)	5%	8%	10%

NOTA – En algunos casos en que una parte de la red industrial está dedicada a las cargas no lineales importantes, los niveles de compatibilidad de la clase 3 para esa parte de la red pueden valer 1,2 veces los valores arriba indicados. Entonces se deberían tomar las precauciones necesarias en lo que concierne a la inmunidad de los equipos que están conectados. Sin embargo, en el PCC (red pública), prevalecen los valores de los niveles de compatibilidad dados en la Norma CEI 61000-2-2 y en la Norma CEI 61000-2-12.



En la figura 1 se dan los niveles de compatibilidad para los interarmónicos próximos a la frecuencia fundamental –en las redes de 120 V y de 230 V– que corresponden a la percepción del flicker, en función de la frecuencia de batido, lo que da un resultado independiente de la frecuencia de la red.

**Fig. 1 – Niveles de compatibilidad de interarmónicos
(Respuesta del medidor de flicker para $P_{st} = 1$, relativa a las lámparas de incandescencia de 60 W)**

ANEXO A (Informativo)

EXPLICACIONES Y EJEMPLOS RELATIVOS A LOS INTERARMÓNICOS

A.1 Resolución de tensiones y corrientes no sinusoidales

La distorsión de la tensión de alimentación comparada con la forma de onda sinusoidal es equivalente a la superposición sobre la tensión ideal de una o varias tensiones sinusoidales a frecuencias no deseadas. (El mismo análisis es válido tanto para la tensión como para la corriente, utilizándose por tanto el término *magnitud* en lo que sigue).

El análisis en series de Fourier (VEI 101-13-08) permite resolver cualquier función no sinusoidal pero periódica en una suma de componentes sinusoidales a frecuencias crecientes así como una componente continua. La frecuencia más baja de la serie se denomina frecuencia fundamental f_f (VEI 101-14-50). Las demás frecuencias de la serie son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y se denominan frecuencias armónicas. Se hace referencia a estas componentes de la magnitud periódica respectivamente como componente fundamental y componentes armónicas.

La transformada de Fourier (VEI 101-13-09) se puede aplicar a cualquier función, periódica o no periódica. El resultado de la transformación es un espectro en el dominio de la frecuencia, que en el caso de una función de tiempo no periódica es una función continua sin componente fundamental. El caso particular de la aplicación a una función periódica muestra unas líneas espectrales en el dominio de la frecuencia, donde las líneas del espectro son la fundamental y los armónicos de la serie de Fourier correspondiente.

La transformada discreta de Fourier (DFT) es la aplicación práctica de la transformada de Fourier. En la práctica, la señal se analiza en un periodo de tiempo limitado (una *ventana* de observación de duración T_w) que utiliza un número finito (M) de muestras de la señal real. El resultado de la DFT depende de la elección de los parámetros T_w y M . La inversa de T_w es la frecuencia básica f_b de la DFT.

La DFT se aplica a la señal real dentro de la ventana de observación. La señal no se analiza fuera de la ventana de observación, pero se supone es una repetición idéntica de la señal dentro de la ventana. Esto produce una aproximación de la señal real por una señal virtual que es rigurosamente periódica y cuyo periodo es la duración de la ventana de observación.

La transformada rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo particular, ejecutable en un tiempo de cálculo corto. Se requiere que el número de muestras (M) sea un múltiplo entero de 2 ($M = 2^i$). (En otras palabras, requiere que la frecuencia de muestreo sea exactamente una potencia entera de 2 de la frecuencia fundamental). Sin embargo, los procesadores de señales digitales modernos tienen tal capacidad de tratamiento que la complejidad añadida por la aplicación de una DFT (tablas de funciones senos y cosenos) puede ser más económica y flexible que la fijación de frecuencias impuesta por la FFT.

Para que el resultado de la DFT, aplicado a una función considerada como periódica (véase el capítulo A.2), sea el mismo que el resultado dado por un análisis en series de Fourier, la frecuencia fundamental f_f es un múltiplo entero de la frecuencia básica de la DFT (lo que requiere que la frecuencia de muestreo sea exactamente un múltiplo entero de la frecuencia básica [$f_s = M \times f_b$]). El muestreo sincrónico es esencial. La pérdida de sincronismo puede cambiar la naturaleza del espectro, que conduce a nuevas líneas y cambios de la amplitud de las líneas auténticas.

En consecuencia, las técnicas de medida definidas en la segunda edición de la Norma CEI 61000-4-7 así como la definición de la frecuencia fundamental dada en el apartado 3.2.1, son coherentes para la aplicación en el campo de la electrotecnia y de la electrónica de potencia. Los demás casos necesitan un examen complementario.

Para ilustrar este propósito, puede considerarse la superposición de un sistema de control centralizado cuya señal es sinusoidal de 175 Hz sobre la tensión sinusoidal de 50 Hz de una red de distribución de energía. Resulta así una tensión periódica cuyo periodo es de 40 ms y con una frecuencia de 25 Hz. La aplicación del análisis en series de Fourier de esta tensión, lleva a una componente fundamental de 25 Hz, de amplitud nula, y dos componentes armónicas de amplitud no nula, el armónico de orden 2 (50 Hz) con una amplitud igual a la de la red de distribución y el armónico de orden 7 (175 Hz) con una amplitud igual a la del sistema de control centralizado. Las definiciones del apartado 3.2 evitan la confusión implícita que resulta de este análisis y dan un resultado conforme a la práctica de la DFT (tal como se describe en la Norma CEI 61000-4-7), estableciéndose una frecuencia fundamental a 50 Hz y un interarmónico de orden 3,5.

NOTA 1 – Cuando se analiza la tensión de un sistema de distribución de energía, la componente de la frecuencia fundamental es la componente de mayor amplitud. Ésta no es necesariamente la primera línea del espectro obtenida aplicando una DFT a la función temporal.

NOTA 2 – Cuando se analiza una corriente, la componente a la frecuencia fundamental no es necesariamente la componente de mayor amplitud.

A.2 Fenómenos que varían con el tiempo

Las tensiones y corrientes de un sistema típico de distribución de electricidad están afectadas por conmutaciones incesantes y variaciones de carga tanto lineales como no lineales. Sin embargo, para poder efectuar el análisis, las tensiones y corrientes se consideran estacionarias dentro de la ventana de observación (aproximadamente 200 ms), que es un múltiplo entero del periodo de la tensión de la red de distribución de energía. Los analizadores armónicos se definen para dar el mejor compromiso que la tecnología pueda ofrecer (véase la Norma CEI 61000-4-7).

A.3 Definición de términos complementarios

Las definiciones siguientes son complementarias a las dadas en el apartado 3.2 y pueden ser de uso práctico.

A.3.1 residuo de distorsión total: Magnitud obtenida restando de una magnitud alterna su componente fundamental, siendo todas las magnitudes tratadas como funciones del tiempo.

NOTA – El valor eficaz del residuo de distorsión total es:

$$TDC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

donde

Q_1 es el valor eficaz de la componente fundamental;

Q es el valor eficaz total;

Q puede representar bien una corriente o una tensión.

Incluye tanto las componentes armónicas como las interarmónicas.

Véase también las definiciones VEI 101-14-54 (Norma CEI 60050-101) y VEI 551-20-11 (Norma CEI 60050-551-20).

A.3.2 relación de distorsión total; TDR: Relación entre el valor eficaz del residuo de distorsión total de una magnitud alterna y el valor eficaz de la componente fundamental de esta magnitud.

[VEI 551-20-14 modificada]

$$TDR = \frac{TDC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

donde

Q_1 es el valor eficaz de la componente fundamental;

Q es el valor eficaz total de la magnitud;

Q puede representar bien una corriente, bien una tensión.

ANEXO B (Informativo)

EJEMPLOS DE NIVELES DE PERTUBACIÓN PREVISIBLES EN REDES INDUSTRIALES TÍPICAS

Este anexo da los resultados del cálculo de los niveles de perturbación en los PCI para algunas redes industriales típicas. Los casos estudiados son los siguientes:

- trenes de laminación (tabla B.1; figura B.1);
- industria papelera (tabla B.1; figura B.2);
- industria de fabricación (tabla B.2; figura B.3).

B.1 Niveles de perturbación de tensión en redes industriales debidos a convertidores de gran potencia

Se puede ver que algunos PCI, especialmente aquellos que alimentan convertidores de gran potencia, pueden alcanzar niveles de perturbación sensiblemente mayores que los especificados para redes públicas.

Son especialmente los niveles de armónicos de orden más elevado (el 11^o se da como ejemplo), el factor de distorsión armónica total (THD) o los cambios de tensión los que sobrepasan los niveles correspondientes para redes públicas.

Los resultados indicados no son los niveles de perturbación total, puesto que no se considera la contribución ocasionada por las perturbaciones presentes en la red pública alimentación.

Tabla B.1
Tipo de red

	Trenes de laminación			Industria papelera		
	PCI 1	PCI 2	PCC	PCI 1	PCI 2	PCC
Tensiones armónicas						
Valores medios						
U_5 (%)	3 a 6,5	2 a 3,9	1 a 2,2	1 a 1,7	1 a 2,3	0,5 a 1,1
U_{11} (%)	3 a 6,8	1,5 a 2,9	1 a 2	0,5 a 1,1	0,7 a 1,4	0,4 a 0,7
THD (%)	7 a 14,3	3,5 a 7,3	2 a 4,7	1,5 a 2,9	2 a 4	1 a 1,9
Tensiones armónicas						
Valores de cresta						
U_5 (%)	6 a 11,4	2,5 a 5,1	2 a 3,5	1 a 1,9	1,5 a 2,7	0,6 a 1,3
U_{11} (%)	6 a 11,5	2 a 4,2	2 a 3,3	0,5 a 1,2	0,8 a 1,6	0,4 a 0,8
THD (%)	12 a 24,7	5 a 9,9	4 a 7,3	1,5 a 3,3	2 a 4,6	1 a 2,3
Cambios de tensión ΔU (%)	2 a 4,7	0,5 a 1,2	0,5 a 1,2	<0,1	<0,3	<0,1
Intervalo de tiempo entre dos cambios de tensión ΔT (s)	5 a 100	5 a 100	5 a 100	>600	>600	>600

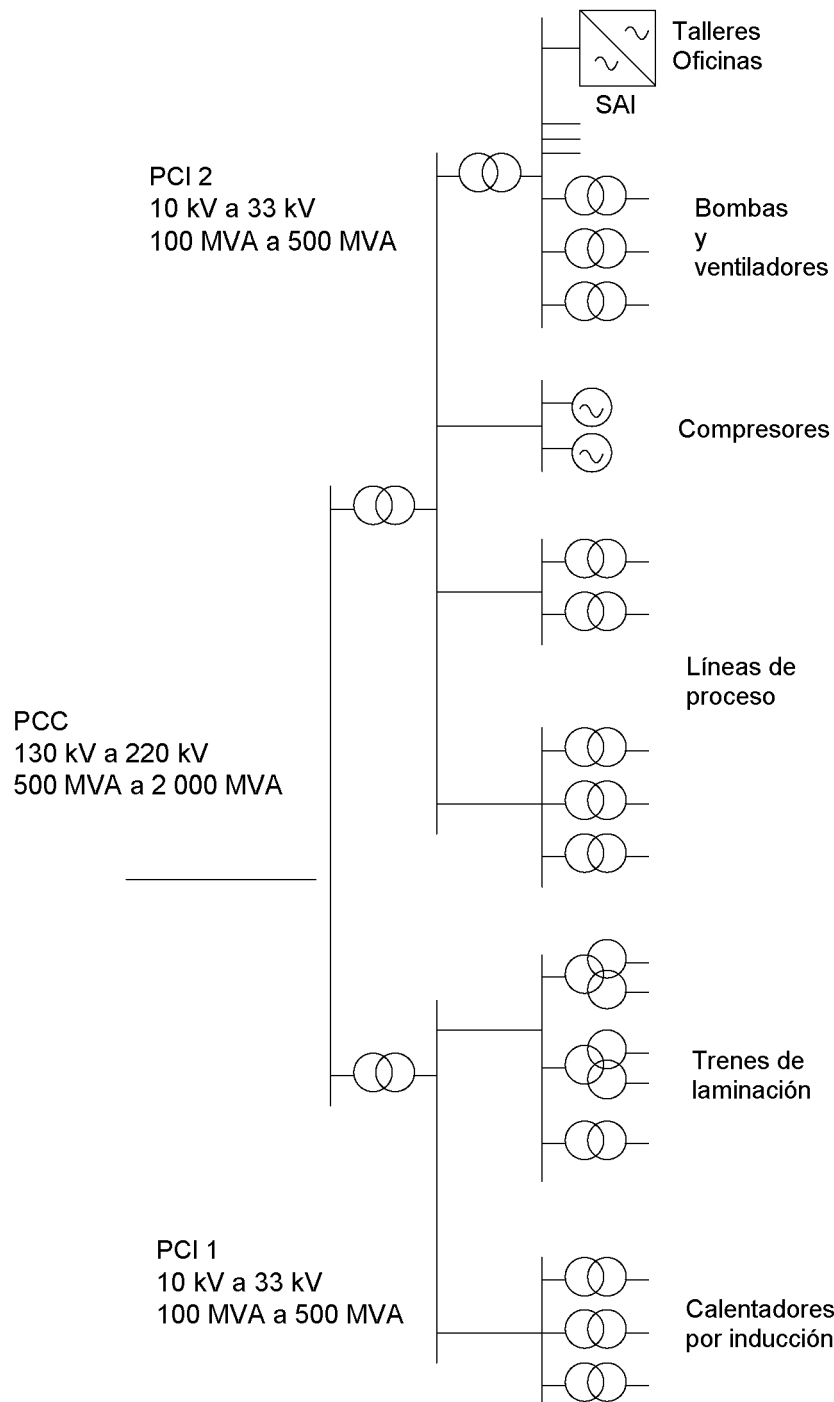


Fig. B.1 – Ejemplo de distribución de potencia en industrias con trenes de laminación

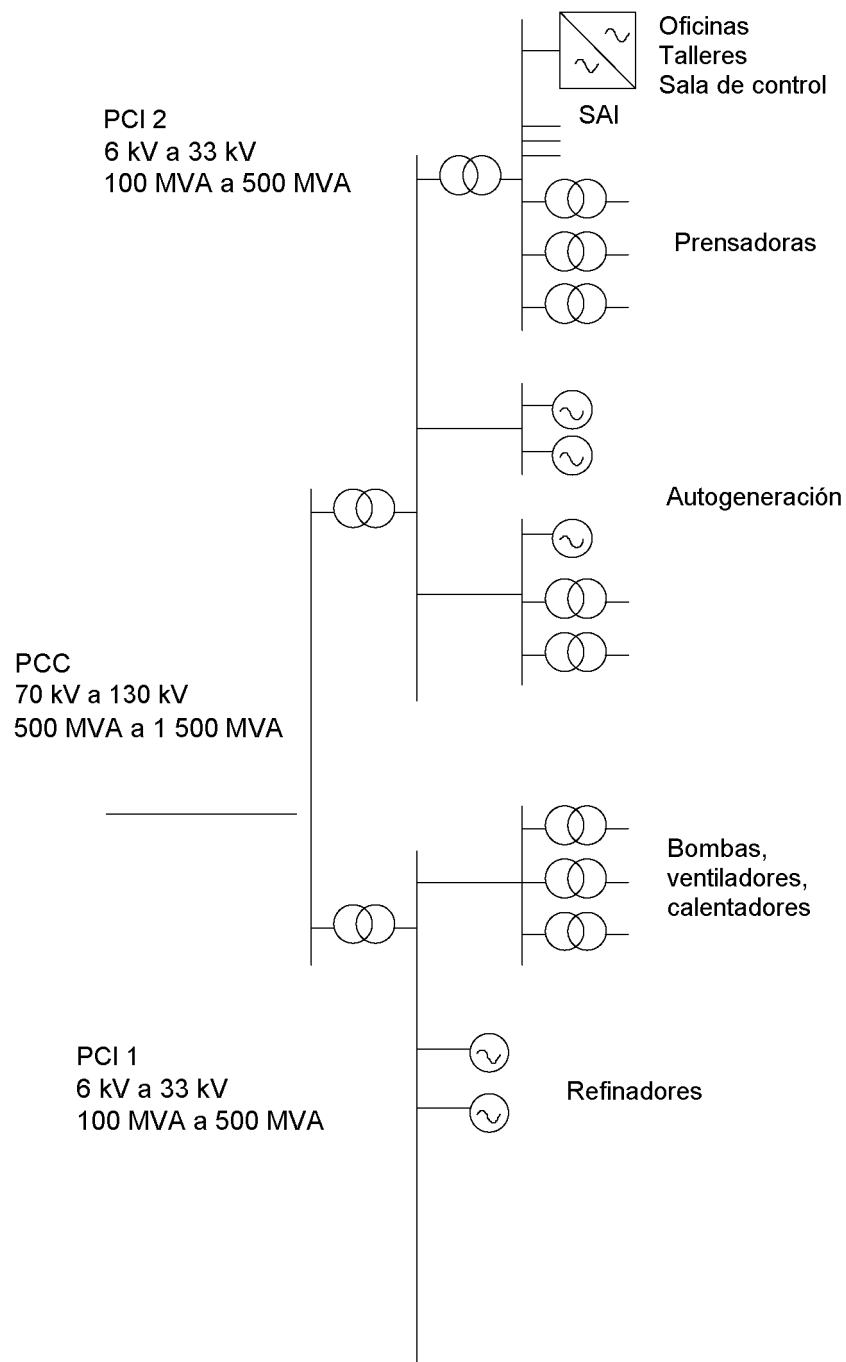


Fig. B.2 – Ejemplo de distribución de potencia en la industria papelera

B.2 Niveles de perturbación de la tensión en redes industriales con carga elevada

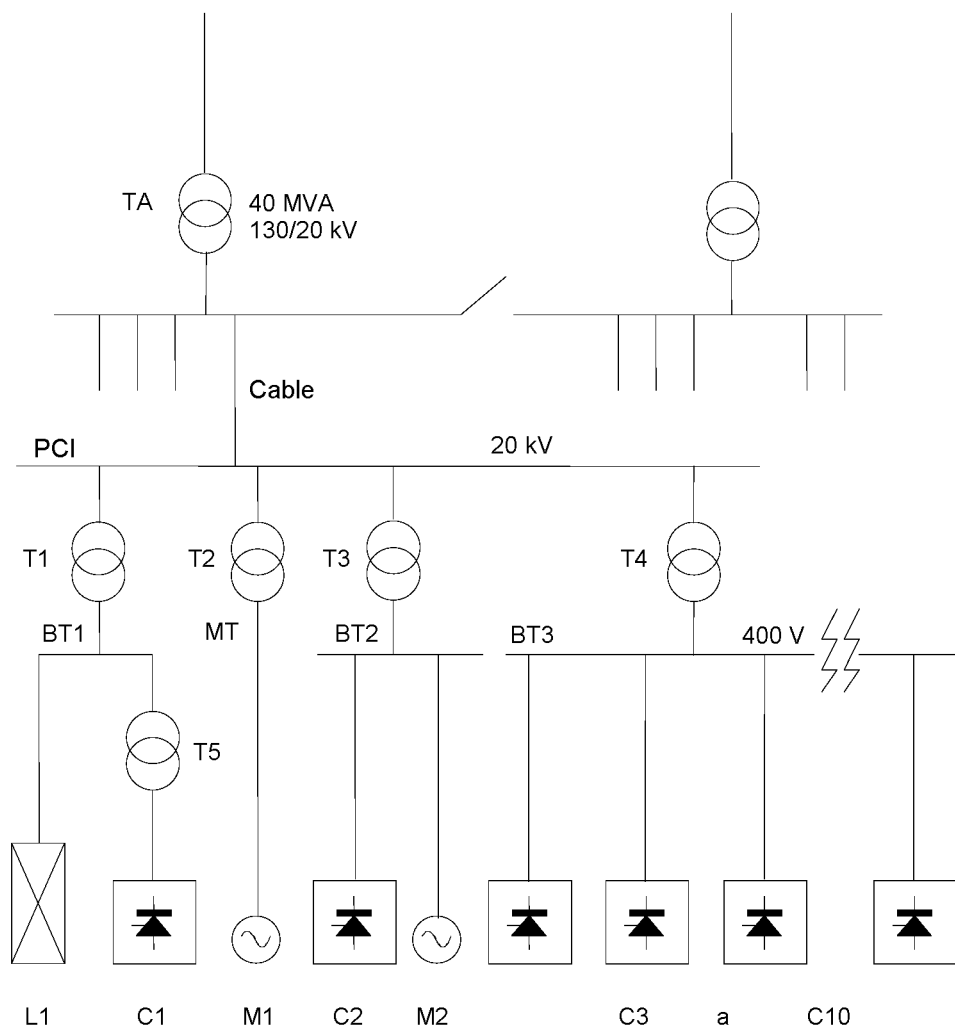
El rango de los valores dados depende del rango supuesto de variación de los parámetros del sistema y de los factores de coincidencia.

No hay presentes condensadores de potencia por lo que no se tiene en cuenta cualquier posible amplificación de las tensiones armónicas.

Tabla B.2
Niveles de perturbación de tensión en una industria de fabricación típica

	Impedancia	Potencia de cortocircuito (S_{cc})	Carga total	Carga del convertidor	THD	Cambios de tensión
	1/MVA^a	MVA	MVA	MVA	%	%
Línea 130 kV	1/2 000	2 000				
Transformador TA	1/320	275,8				
Cable MT	1/6 000					
PCI		266,6	2,3	1,25	1,08	0,6
Transformador T1	1/8,9					
Línea BT1		8,6	0,3	0,05	1,34	2,4
Transformador T5	1/1,25					
Convertidor C1		1,09		0,05	10,6	
Transformador T3	1/12					
Línea BT2		11,5	0,6	0,3	5,0	3,0
Motores 350 kVA		2,275	0,3			
Reactancia 60 µH	1/8,5					
Convertidor C2		5,25		0,3	13,2	
Transformador T4	1/22,2					
Línea BT3		20,5	0,9	0,9	10,1	3,1
Cable 400 V	1/582					
Convertidores C3 ... C10		20		0,9	10,4	

^a Las impedancias se expresan en unidad relativa ("por unidad" o "p.u.") sobre una base de 1 MVA.



L1 250 kVA, C1 50 kVA, M1 500 kVA,
 C2 300 kVA, M2 300 kVA,
 C3 a C10 8 × 300 kVA

Fig. B.3 – Ejemplo de distribución de potencia en una industria de fabricación típica

B.3 Huecos de tensión e interrupciones breves

B.3.1 Descripción

Los huecos de tensión e interrupciones breves en el PCC ejercen una influencia preponderante sobre estos fenómenos dentro de la instalación. No se pueden predecir, siendo sucesos muy aleatorios cuyo origen está unido principalmente a los fallos en la red de distribución de energía o dentro de las grandes instalaciones. Se describen muy bien en términos estadísticos. Véase la Norma CEI 61000-2-8.

Un hueco de tensión es una perturbación de dos dimensiones, dado que el nivel de perturbación crece tanto con la amplitud del hueco como con su duración.

La profundidad del hueco de tensión depende de la proximidad del punto de observación al punto de la red en que ocurre el cortocircuito. En este punto la tensión cae aproximadamente a cero, por lo que la profundidad del hueco alcanza así el 100%. La profundidad es probable que sea menor para otros orígenes, tales como las fluctuaciones debidas a una carga de gran valor.

Un hueco de tensión puede tener una duración inferior a 0,1 s si el fallo sobreviene en la red de transporte y se elimina por un dispositivo de protección muy rápido, o si se trata de un fallo fugitivo. Si el fallo afecta a un nivel inferior de la red, y se elimina por ciertos dispositivos de protección usados en esas redes, puede durar hasta unos pocos segundos. La mayor parte de los huecos de tensión tiene una duración comprendida entre un semiperiodo y 1 000 ms.

El número de huecos de tensión sólo es significativo si la inmunidad de un aparato dado es insuficiente para el binomio profundidad-duración susceptible de aparecer. Este número viene a ser un parámetro importante para elegir el nivel de inmunidad adecuado de un proceso dado. Para una línea particular, este número incluye no solamente los huecos de tensión que provienen de los fallos en las otras líneas de la misma red, sino también los huecos de tensión que provienen aguas arriba de la red. (Véase también la Norma CEI 61000-2-8).

En zonas rurales alimentadas por líneas aéreas, el número de huecos de tensión puede alcanzar varios centenares por año, dependiendo en particular del número de rayos caídos y de otras condiciones meteorológicas propias de la zona considerada.

En las redes por cables, las informaciones más recientes muestran que un usuario individual de electricidad, cuya instalación está conectada a baja tensión, puede observar huecos de tensión que sobrevienen con una cadencia que va de diez a cien por año, en función de las condiciones locales. La duración de estos huecos de tensión va usualmente de un semiperiodo a 3 s.

Las interrupciones breves duran hasta 180 s, en función del tipo de reenganche o sistema de transferencia utilizado en las redes aéreas. En algunos casos especiales, es posible reducir este tiempo. Frecuentemente las interrupciones breves están precedidas de huecos de tensión. La distinción entre interrupción breve y hueco de tensión puede ser a veces difícil. Convencionalmente, una tensión residual inferior a un umbral dado (por ejemplo, 10%) puede ser un criterio de distinción. Sin embargo, en un sistema trifásico, este criterio se ha de aplicar simultáneamente a cada una de las fases para que se considere que hay una interrupción breve.

B.3.2 Adaptación

La coordinación de los niveles de inmunidad es el requisito principal relativo a los niveles de compatibilidad. Sin embargo, el nivel de compatibilidad se tendría que expresar de una manera bidimensional, para reflejar el nivel de perturbación. No hay disponibles aún datos suficientes que permitan hacer esto.

La inmunidad de un equipo eléctrico a estos fenómenos no es en sentido estricto el concepto adecuado, ya que ningún aparato eléctrico puede continuar funcionando normalmente sin su alimentación de energía, en particular en el caso de las interrupciones breves y los huecos de tensión más severos. La inmunidad a estas perturbaciones es por tanto una cuestión de restauración rápida de la energía a partir de una fuente alternativa de energía, o una cuestión de disposición del equipo y su proceso asociado para adaptarse debidamente a la interrupción breve o disminución de potencia. Se trata de una cuestión compleja que concierne a la vez a los aspectos técnicos y económicos y que rebasa el campo de aplicación de esta norma (véase la bibliografía).

Se puede establecer valores que describen los huecos de tensión y las interrupciones breves en los PCI de clase 3 examinando cuidadosamente los aspectos siguientes:

- se pueden adoptar los valores de nivel de perturbación que corresponden a los PCC de la planta, pero se debería recordar que estos valores pueden variar considerablemente con el tipo de alimentación, por ejemplo una red de alta tensión o media tensión constituida por líneas aéreas o por cables, que sea un circuito simple o doble, así como en función del lugar, por ejemplo, expuesto y propenso a caída de rayos;
- la presencia de un generador dentro de la instalación puede reducir la severidad de los huecos de tensión y las interrupciones breves;
- se debería considerar la contribución a los huecos de tensión e interrupciones breves de la instalación y de los equipos que conlleva; por ejemplo, como consecuencia de un fallo severo, se pueden producir caídas de tensión de gran amplitud por el arranque simultáneo de varios motores de inducción en la fábrica;
- las interrupciones breves en los PCI de clase 3 hacen referencia a las instalaciones que tienen una sola fuente de alimentación.

Como base, los resultados de la Norma 61000-2-8 se pueden adoptar.

B.4 Sobretensiones transitorias

Varios fenómenos, incluyendo las maniobras de interruptores, la actuación de fusibles y la caída de rayos cerca de las redes de alimentación de energía, dan origen a sobretensiones transitorias en las redes de distribución de energía de baja tensión y en las instalaciones conectadas a ellas. Las sobretensiones que pueden ser oscilatorias o no, son generalmente muy amortiguadas y comportan tiempos de subida que van de menos de 1 μ s a varios milisegundos.

La amplitud, la duración y el contenido en energía de las sobretensiones transitorias varían en función de su origen. Generalmente, las que son de origen atmosférico son las de mayor amplitud, y las que son debidas a maniobras de interruptores son de más larga duración y contienen mayor energía. Los equipos críticos necesitan estar protegidos por medio de dispositivos contra las sobretensiones, que se deberían seleccionar por regla general de manera que soporten la mayor energía que corresponde a las sobretensiones de maniobra.

La conmutación de baterías de condensadores es una causa habitual de sobretensiones transitorias. El valor típico de la tensión transitoria en el punto de incidencia es inferior a dos veces la tensión nominal. Sin embargo, pueden aparecer reflexiones de onda y amplificación de tensión, al propagarse el transitorio a lo largo de las líneas, amplificando la tensión incidente en los equipos conectados.

La figura B.4 muestra un ejemplo de una curva de tolerancia para los equipos de tecnología de la información, aplicable a una fase de 120 V. Otros tipos de equipos pueden presentar características de tolerancia diferente.

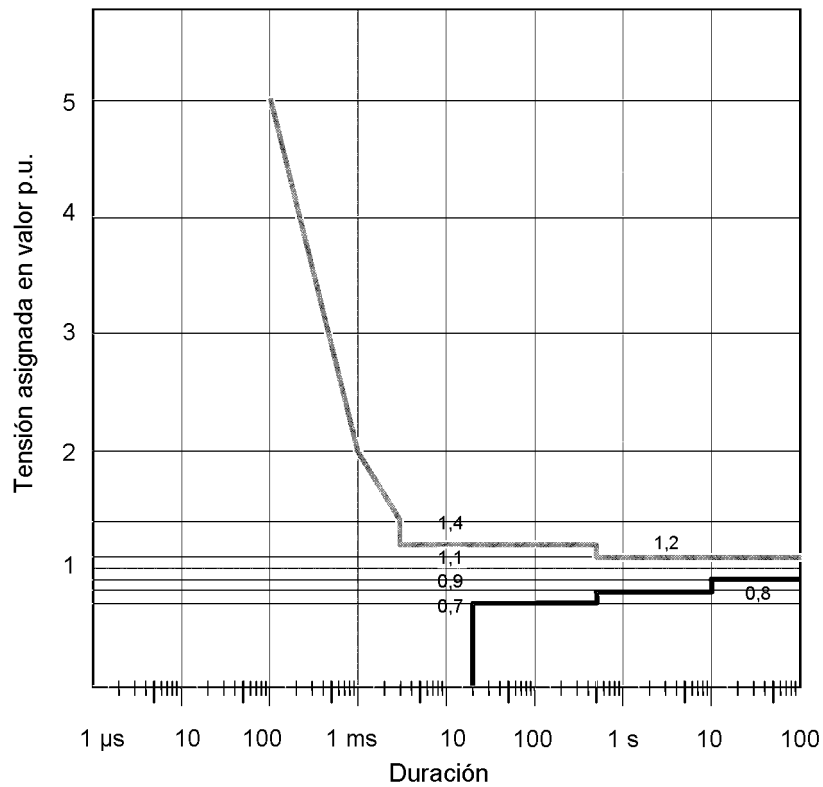


Fig. B.4 – Curva de tolerancia de los equipos de tecnología de la información – según ITI (CEBEMA)

Se han registrado transitorios de origen atmosférico con amplitudes de hasta 6 kV en las redes de baja tensión. Debería tenerse en cuenta este valor para definir la coordinación del aislamiento.

Considerando que la atenuación entre el PCC y la entrada de la instalación desde un punto de vista práctico no se conoce suficientemente, y considerando que la inmunidad del 100% es una ficción muy costosa (si no imposible), se debería definir el nivel de compatibilidad para los fines de la CEM a un valor netamente muy inferior.

Las sobretensiones transitorias de origen externo (provenientes de la red pública de distribución de energía) se pueden atenuar de acuerdo con el lugar en que está situado el PCI dentro de la instalación.

ANEXO C (Informativo)

INTERARMÓNICOS Y TENSIONES A FRECUENCIAS MÁS ELEVADAS

C.1 Fuentes de interarmónicos**C.1.1 Identificación**

Se pueden encontrar fuentes de interarmónicos en las redes de baja tensión así como en las redes de media y alta tensión. Los interarmónicos producidos por equipos de baja tensión (máquinas de soldar, convertidores de potencia, motores de inducción) influyen principalmente en los dispositivos cercanos; los interarmónicos producidos en las redes de media y/o alta tensión (hornos de arco, convertidores de potencia, motores de inducción) se propagan hacia las redes de baja tensión que alimentan.

Existe también un ruido de fondo gaussiano de bajo nivel, que presenta un espectro de frecuencia continuo regular, que se superpone también en baja tensión, incluso en ausencia de una fuente local de interarmónicos. En una red de baja tensión de 230 V, los niveles de tensión típicos parecen situarse en un rango de 40 mV a 50 mV cuando se mide con un filtro con un ancho de banda de 10 Hz, y de 20 mV a 25 mV con un filtro con un ancho de banda de 3 Hz.

Se pueden distinguir cuatro orígenes de interarmónicos:

- los hornos de arco, las máquinas de soldar por arco y los calentadores de plasma, conocidos desde hace muchos años como las mayores fuentes de potencia de interarmónicos o subarmónicos, cuyo origen está en su proceso mismo, y/o en el control de la posición de los electrodos cuyo proceso no guarda ningún sincronismo con la frecuencia de la red de alimentación;
- los convertidores estáticos de potencia con la parte activa conectada a la red pueden funcionar a una frecuencia de conmutación que generalmente es una frecuencia interarmónica; las conmutaciones producen tensiones o corrientes interarmónicas;
- el acoplamiento imperfecto entre circuitos para los que las frecuencias fundamentales son diferentes; es el caso de los convertidores estáticos de frecuencia;
- la producción intencional de tensiones interarmónicas utilizadas para la transmisión de señales.

C.1.2 Diferentes tipos de fuentes interarmónicas

C.1.2.1 Fuentes aleatorias. Las máquinas de soldar por arco generan un espectro continuo de frecuencia de banda ancha, asociado a un proceso intermitente cuya duración de las operaciones de soldar individuales varía de 1 s a varios segundos. Están en su mayoría conectadas en baja tensión, preferentemente a una red de baja impedancia para evitar los efectos del flicker.

Los hornos de arco producen un espectro continuo, con espectros de frecuencia de interarmónicos que varían aleatoriamente debido a la irregularidad de la corriente de entrada. Su gran potencia (50 MW a 120 MW) hace que se conecten siempre en media o alta tensión. La fase de arranque del proceso de fundido es aquella en que los niveles de emisión son más fuertes.

C.1.2.2 Subarmónicos o interarmónicos producidos por la carga de un convertidor. Los convertidores estáticos de frecuencia tienen comportamientos diferentes en función de su estructura. Los convertidores directos, tales como los cicloconvertidores, están constituidos por un conjunto de dispositivos de semiconductores y sus circuitos auxiliares que, por medio de conmutaciones cíclicas, transforman la tensión de entrada a la frecuencia fundamental de la red de alimentación del convertidor, en una tensión de salida a una frecuencia fundamental que se define por el dispositivo de control del convertidor de manera que alimente correctamente a la carga. (La carga puede ser un motor de velocidad variable o una red particular de frecuencia fija, por ejemplo 25 Hz o 16 Hz 2/3). Estos cicloconvertidores están desprovistos de función de desacoplamiento entre las dos frecuencias fundamentales diferentes. En consecuencia, circulan corrientes de frecuencias múltiples de la frecuencia de la carga directamente en las fases del lado de la red del convertidor. Esta corriente tiene la forma de una corriente a la frecuencia de la red de alimentación (con sus armónicos regulares), y una amplitud modulada en función de la frecuencia de la carga.

NOTA – Por ejemplo, en un cicloconvertidor que alimenta una carga trifásica equilibrada a la frecuencia f_L , las corrientes de línea se combinan en cada fase en el punto de acoplamiento de los tres convertidores polifásicos individuales (de índice de pulsación p), que alimentan cada uno a una fase de la carga trifásica. La combinación de las corrientes de línea puede plantearse al considerar la potencia activa total y la potencia reactiva total. En el caso de una carga puramente activa y de un convertidor ideal, la potencia activa total es constante (sin potencia fluctuante) y la potencia reactiva total es una constante a la que se añade una componente fluctuante de baja amplitud de frecuencia $2pf_L$. En el caso de una carga puramente reactiva y de un convertidor ideal, la potencia activa total es nula y la potencia reactiva total es una constante. Las corrientes de línea que resultan de estas combinaciones contienen una modulación a la frecuencia $2pf_L$ y sus múltiplos. Adicionalmente resultan corrientes interarmónicas suplementarias por un control no lineal con el propósito de optimizar el dimensionamiento, así como las imperfecciones inevitables del sistema.

Los convertidores de frecuencia indirectos conllevan un enlace intermedio de corriente continua, con un convertidor de entrada del lado de la red y un convertidor de salida (trabajando más frecuentemente como inversor) del lado de la carga. Para ambas estructuras, como fuente de corriente y como fuente de tensión, el enlace de corriente continua conlleva un filtro que desconecta la corriente o la tensión entre la red de alimentación y la carga. En consecuencia, las dos frecuencias fundamentales (red y carga) se desacoplan. Pero no existe un filtrado infinito, y el camino de acoplamiento remanente produce corrientes en la red de alimentación a frecuencias presentes en el enlace de corriente continua y debidas a la carga. Estas frecuencias son subarmónicos e interarmónicos de la frecuencia de la red de alimentación. Sin embargo debería señalarse que este fenómeno es despreciable para los inversores como fuente de tensión.

Los convertidores estáticos de frecuencia electrónicos inyectan en la red corrientes a frecuencias subarmónicas e interarmónicas principalmente situadas en un rango de 0 Hz a 150 Hz o 300 Hz. Esto corresponde a la frecuencia fundamental de la carga, que es a menudo un motor de velocidad variable. El rango más alto de las frecuencias, hasta 2 500 Hz, es de amplitud netamente más baja. La principal dificultad es que estos subarmónicos o interarmónicos no están a una frecuencia fija.

Algunos convertidores de semiconductores, utilizados para alimentar redes particulares a una frecuencia fija, producen también subarmónicos o interarmónicos a una frecuencia fija.

Las frecuencias armónicas e interarmónicas de tales convertidores, cuya frecuencia fundamental de entrada es f y la frecuencia fundamental de salida es F , se definen por la ecuación siguiente:

$$f_{h,m} = [(p_1 \times k_1) \pm 1] \times f \pm [(p_2 \times k_2)] \times F$$

donde

p_1 es el número de pulsos del convertidor de entrada;

p_2 es el número de pulsos del convertidor de salida;

k_1, k_2 representan las series de enteros naturales (0, 1, 2, 3 ...); y

si $k_2 = 0$, $f_{h,m} = f_h$ (frecuencias armónicas).

C.1.2.3 Subarmónicos o interarmónicos producidos por el funcionamiento interno de un convertidor. Algunos convertidores estáticos de potencia auto-conmutados comportan una parte activa del lado de la red (utilizando transistores o tiristores bloqueables o de desactivación de puerta) cuya frecuencia de conmutación no es un múltiplo entero de la frecuencia de la red. Esta frecuencia de conmutación puede ser constante o variable en función de criterios relacionados con el funcionamiento del propio convertidor. Cada conmutación modifica el camino de la corriente, presentando así en la red una no linealidad. Esto produce tensiones interarmónicas que se superponen a la tensión de la red cuando la impedancia interna de los circuitos de conmutación del convertidor es baja comparada con la impedancia interna de la red. Puede producir también corrientes armónicas inyectadas en la red cuando la impedancia interna de los circuitos de conmutación del convertidor es grande comparada con la impedancia interna de la red. Las frecuencias interarmónicas están relacionadas con la frecuencia de conmutación, generalmente comprendida en un rango que va de algunos centenares de hercios a algunas decenas de kilohercios.

C.1.2.4 Otras fuentes diversas. Los motores de inducción pueden producir una corriente magnetizante irregular debido a las ranuras del estator y del rotor – posiblemente asociada con la saturación del hierro – que genera corrientes interarmónicas en la red de baja tensión. A la velocidad normal del motor, las frecuencias perturbadoras están prácticamente en el rango del orden 10 al 40, pero en el periodo de arranque, éstas recorren cualquier gama de frecuencias hasta su valor final.

Los emisores de control centralizado producen intencionalmente tensiones a frecuencias interarmónicas predefinidas. El propósito y práctica de estos emisores de control se describe en el apartado 4.7 de la Norma CEI 61000-2-2. Su gama de frecuencias va de 110 Hz a 3 000 Hz con un nivel de tensión relativa máxima U_s/U_N del 9% hasta 500 Hz y decreciendo (20 dB por década) entre 500 Hz y 3 000 Hz (1,5%). Otros sistemas de transmisión de señales en la red trabajan en gamas de frecuencias más altas (3 kHz a 20 kHz y 20 kHz a 148,5 kHz).

C.1.3 Efectos de los interarmónicos y compatibilidad

Los interarmónicos introducen fenómenos no periódicos o cuasi no periódicos que se superponen a la forma de onda periódica de la tensión de la red. En consecuencia, el valor de cresta de la tensión cambia a una frecuencia más baja donde la diferencia entre las frecuencias involucradas constituye la perturbación. Cualquier uso de la electricidad para el que el valor de cresta es importante se encuentra perturbado. Los receptores de televisión, por ejemplo, pueden ser perturbados, y los aparatos de iluminación pueden sufrir flicker.

Es probable que los receptores de control centralizado estén perturbados por los interarmónicos. Para tener en cuenta las diferentes atenuaciones entre los emisores y los receptores en la red de distribución de energía, su nivel de recepción operacional mínimo es muy bajo: 0,3%. En consecuencia, los usuarios de electricidad deberían saber si un dispositivo de control está funcionando en la zona donde están instalados y cuál es la frecuencia de funcionamiento de este dispositivo. Se requiere esta información mínima para asegurar la compatibilidad.

La frecuencia de una corriente interarmónica puede sobrevenir y barrer sin discontinuidad una extensa banda de frecuencias. La tensión interarmónica resultante se define por la corriente y la impedancia a esta frecuencia particular. El efecto más pernicioso es la capacidad de excitar las frecuencias antiresonantes procedentes de filtros pasivos o de bancos de condensadores de compensación de factor de potencia que están conectados a la red.

C.1.4 Guía relativa a los niveles

C.1.4.1 Niveles relacionados con el efecto del flicker. En el apartado 5.7 se trata el caso de las tensiones cuya frecuencia se combina con la componente de frecuencia fundamental resultando una frecuencia de batido. La tabla C.1 indica los niveles de tensiones interarmónicas que corresponden a los niveles de compatibilidad dados en la figura 1.

Tabla C.1
Valores indicativos para tensiones interarmónicas en redes de baja tensión relacionados con el efecto del flicker

Orden <i>m</i>	Red a 50 Hz			Red a 60 Hz		
	Frecuencia interarmónica f_m Hz	U_m %		Frecuencia interarmónica f_m Hz	U_m %	
		Red a 120 V	Red a 230 V		Red a 120 V	Red a 230 V
$0,20 < m \leq 0,60$	$10 < f_m \leq 30$	0,68	0,51	$12,0 < f_m \leq 36,0$	0,95	0,69
$0,60 < m \leq 0,64$	$30 < f_m \leq 32$	0,57	0,43	$36,0 < f_m \leq 38,4$	0,79	0,58
$0,64 < m \leq 0,68$	$32 < f_m \leq 34$	0,46	0,35	$38,4 < f_m \leq 40,8$	0,64	0,48
$0,68 < m \leq 0,72$	$34 < f_m \leq 36$	0,37	0,28	$40,8 < f_m \leq 43,2$	0,50	0,38
$0,72 < m \leq 0,76$	$36 < f_m \leq 38$	0,29	0,23	$43,2 < f_m \leq 45,6$	0,39	0,30
$0,76 < m \leq 0,84$	$38 < f_m \leq 42$	0,23	0,18	$45,6 < f_m \leq 50,4$	0,23	0,18
$0,84 < m \leq 0,88$	$42 < f_m \leq 44$	0,23	0,18	$50,4 < f_m \leq 52,8$	0,22	0,18
$0,88 < m \leq 0,92$	$44 < f_m \leq 46$	0,28	0,24	$52,8 < f_m \leq 55,2$	0,22	0,20
$0,92 < m \leq 0,96$	$46 < f_m \leq 48$	0,40	0,36	$55,2 < f_m \leq 57,6$	0,34	0,30
$0,96 < m < 1,04$	$48 < f_m \leq 52$	0,67	0,64	$57,6 < f_m \leq 62,4$	0,59	0,56
$1,04 < m \leq 1,08$	$52 < f_m \leq 54$	0,40	0,36	$62,4 < f_m \leq 64,8$	0,34	0,30
$1,08 < m \leq 1,12$	$54 < f_m \leq 56$	0,28	0,24	$64,8 < f_m \leq 67,2$	0,22	0,20
$1,12 < m \leq 1,16$	$56 < f_m \leq 58$	0,23	0,18	$67,2 < f_m \leq 69,6$	0,22	0,18
$1,16 < m \leq 1,24$	$58 < f_m \leq 62$	0,23	0,18	$69,6 < f_m \leq 74,4$	0,23	0,18
$1,24 < m \leq 1,28$	$62 < f_m \leq 64$	0,29	0,23	$74,4 < f_m \leq 76,8$	0,39	0,30
$1,28 < m \leq 1,32$	$64 < f_m \leq 66$	0,37	0,28	$76,8 < f_m \leq 79,2$	0,50	0,38
$1,32 < m \leq 1,36$	$66 < f_m \leq 68$	0,46	0,35	$79,2 < f_m \leq 81,6$	0,64	0,48
$1,36 < m \leq 1,40$	$68 < f_m \leq 70$	0,57	0,43	$81,6 < f_m \leq 84,0$	0,79	0,58
$1,40 < m \leq 1,80$	$70 < f_m \leq 90$	0,68	0,51	$84,0 < f_m \leq 108,0$	0,95	0,69

C.1.4.2 Niveles generales. Los niveles dados en la tabla 4, que corresponden al orden par inmediatamente superior, pueden tomarse como guía para cada frecuencia interarmónica.

Los niveles aplicables a la clase 2 se establecen en función de la presencia de los dispositivos de control centralizados. Ya que los receptores de control centralizados, equipos de alumbrado y receptores de televisión no están generalmente presentes en áreas industriales, se espera que los niveles de compatibilidad para la clase 3 sean valores superiores.

NOTA – Si existen tales equipos en las áreas industriales, no se acoplan directamente al circuito de clase 3. Véanse los métodos de atenuación indicados en el capítulo C.2.

Cuando hay riesgo de interferencia con los sistemas de transmisión de señales en la red, los sistemas de control centralizado, u otros equipo especiales susceptibles, se debería tener un cuidado especial con respecto a los interarmónicos. Se debería elegir preferentemente un entorno de clase 2. Para esta clase, la frecuencia de funcionamiento de los receptores de control centralizados se especifica localmente. El nivel de respuesta de estos receptores puede ser tan bajo como del 0,3% de la tensión nominal de la red de distribución. Un receptor puede ser perturbado por una tensión interarmónica no intencional que sobrepase este valor, a su propia frecuencia de funcionamiento.

El nivel de compatibilidad interarmónica a la frecuencia de funcionamiento de los sistemas de transmisión de señales en la red o sistemas de control centralizado no está definido. A esta frecuencia de funcionamiento, los niveles de emisión se deberían limitar al 0,2% de la tensión nominal de la red de distribución y la inmunidad de los equipos se debería definir de acuerdo con las especificaciones particulares de los transmisores correspondientes y en las condiciones de la red. Véase el apartado 4.7.1 de la Norma CEI 61000-2-2.

El uso de un entorno de clase 3 requiere de estudios complementarios como la identificación del camino del acoplamiento entre el entorno de clase 3 y la red pública de distribución de energía, o la definición de un sistema de desacoplamiento.

Se pueden encontrar grandes valores de interarmónicos en los PCI de clase 3, especialmente debido a ciertas categorías de convertidores. Pueden alcanzar hasta el 2,5% para frecuencias por debajo del orden 11, y hasta el 1% para órdenes por encima del 25. En función de su origen, estos valores fluctúan generalmente y cambian rápidamente tanto en amplitud como en frecuencia. Por esta razón pueden provocar resonancias en los bancos de condensadores y en los filtros pasivos.

NOTA – Cuando se utilizan condensadores de corrección del factor de potencia en las redes industriales, se deberían conectar a la red a través de reactancias en serie, en particular aquellos destinados a conectarse a PCI de clase 3.

C.2 Métodos de atenuación

Atenuar las emisiones de los convertidores de potencia generalmente es complejo. La instalación de un desacoplo eficaz entre los circuitos de alimentación de equipos susceptibles y los circuitos de alimentación de los convertidores de potencia por medio de filtros o incluso de un SAI es una solución posible en los casos en que es previsible e inevitable la presencia de equipos susceptibles.

Cuando el propósito de la conversión de potencia es producir una frecuencia fundamental regulable, se puede esperar la presencia de un gran espectro de frecuencias interarmónicas. El aspecto más complejo reside en el barrido por interarmónicos de la totalidad del espectro cuando la salida del convertidor trabaja a frecuencia variable.

Los interarmónicos de esta naturaleza resultan de la imposibilidad de obtener un desacoplo perfecto entre la entrada y la salida del convertidor. Las componentes de mayor amplitud son generalmente de baja o muy baja frecuencia.

Otro tipo de interarmónicos se genera por el modo de funcionamiento interno del convertidor. El ejemplo bien conocido de los convertidores de modulación por ancho de impulso (PWM) muestra una emisión interarmónica relacionada con la frecuencia de conmutación que controla los dispositivos de semiconductores. Esta frecuencia de conmutación puede ser fija o ajustable en función de las técnicas de control. Los interarmónicos de esta última clase son de frecuencias más altas que los anteriores. Son generalmente más fáciles de filtrar.

C.2.1 Atenuación de los niveles de emisión

La selección de convertidores indirectos facilita el simple filtrado de los interarmónicos emitidos por el proceso de conversión de potencia cuando se dedica a la generación de una frecuencia variable. De hecho, el filtrado simple puede darse aumentando la eficacia del filtrado interno presente en la estructura natural del convertidor. Tal aumento del desacoplo entre la salida y la entrada permite reducir la amplitud de las corrientes interarmónicas.

En el caso de los convertidores de gran potencia puede tratarse de una solución costosa, pero se debería examinar como alternativa a un filtrado exterior. Este último puede utilizar un filtrado pasivo o un filtrado activo.

Un filtrado pasivo requiere prestar una especial atención a la anchura del espectro de emisión, especialmente cuando los interarmónicos barren el espectro de frecuencia. El riesgo de excitación de antirresonancia es tan alto que se deberían amortiguar los filtros pasivos, si se usan. Generalmente las instalaciones de gran potencia requieren ser examinadas cuidadosamente en todos los detalles, para definir el sistema de filtrado. Además, los filtros pasivos no pueden funcionar independientemente unos de otros, o independientemente del sistema de compensación de energía reactiva. En consecuencia, se debería examinar la totalidad de la instalación cuando se utiliza un filtro pasivo.

El filtrado activo puede dar soluciones eficaces, en particular para las frecuencias bajas o muy bajas. Este filtrado es también eficaz para los subarmónicos o interarmónicos. La mayor ventaja del filtrado activo reside en su autoadaptabilidad a la frecuencia a filtrar. Se trata de una propiedad intrínseca de su control, que se diseña para extraer el residuo armónico de una corriente a compensar o el residuo armónico de una tensión a limpiar. La segunda función del control de los dispositivos de semiconductores es compensar o limpiar, por medio de una técnica de modulación por ancho de impulso adaptada al escalonado de potencia. Así, al contrario que en los filtros pasivos que se sintonizan con órdenes particulares, los filtros activos pueden considerarse como filtros de banda ancha. Dan una atenuación de las emisiones armónicas o interarmónicas desde continua hasta unos pocos kilohercios, sin afectar a la tensión o a la corriente de la frecuencia fundamental.

No obstante, los convertidores controlados por ancho de impulso introducen una emisión interarmónica a frecuencias asociadas a la frecuencia de conmutación, que pueden filtrarse si fuera necesario.

C.2.2 Aumento de la inmunidad

Las normas de producto definen los límites de inmunidad con referencia a los niveles de compatibilidad. Sin embargo, cuando los niveles de compatibilidad están todavía en estudio, o cuando no hay norma de producto aplicable, un filtrado adecuado de la alimentación de la parte de control de un equipo perturbado puede ofrecer a menudo una solución al mal funcionamiento de este equipo susceptible. Además, un filtrado adecuado se puede limitar al circuito de sincronización por medio de un filtro pasabanda sintonizado a la frecuencia fundamental, en el caso de un equipo cuyo funcionamiento necesita una sincronización con la red de alimentación de energía. Generalmente estas soluciones afectan a los circuitos de baja potencia.

La solución más eficaz reside en la separación adecuada de los circuitos de alimentación en función de su uso. En una red industrial, esta separación debería establecerse siempre entre las aplicaciones industriales y las oficinas, y dentro incluso de las aplicaciones industriales, entre las diferentes cargas que deberían clasificarse de manera adecuada. Esta clase de separación facilita el diseño de desacoples y filtrados correctos que conciernen al conjunto de la instalación, teniendo como objetivo el mejor compromiso técnico-económico posible.

C.2.3 Protección de los dispositivos de control centralizados

El distribuidor de energía debería hacer disponible la identificación de la frecuencia de funcionamiento del dispositivo de control centralizado o del sistema de transmisión de señales en la red.

Deberían considerarse dos aspectos en el PCC de la instalación:

- la emisión máxima autorizada para la totalidad de la instalación de manera que el sistema de señalización no se vea perturbado;
- la impedancia mínima aceptable para el funcionamiento de las transmisiones del sistema de señalización a la frecuencia particular de éste.

Si se utiliza un filtrado pasivo o un dispositivo de desacoplo, se debería tener cuidado de evitar la antirresonancia en caso de interarmónicos de barrido.

C.3 Tensiones a frecuencias más elevadas

La distorsión de la onda de tensión en la banda de frecuencias por encima del armónico de orden 50 e inferior a 9 kHz se representa también por componentes sinusoidales, que pueden aparecer a la vez como frecuencias discretas y en bandas relativamente anchas de frecuencias. En caso de tales tensiones a alta frecuencia, en general no es significativo clasificarlas en armónicos o interarmónicos.

Para una frecuencia discreta en la banda situada por encima del armónico de orden 50 y hasta 9 kHz, los niveles de compatibilidad se expresan como la relación entre el valor eficaz de la tensión u a esta frecuencia particular y el valor eficaz de la componente fundamental de la tensión.

Para una banda de frecuencias comprendida entre el armónico de orden 50 y hasta 9 kHz, los niveles se corresponden a una banda cualquiera con un ancho de banda de 200 Hz centrada en la frecuencia F y se expresan por:

$$u_b = \frac{1}{V_{IN}} \times \sqrt{\frac{1}{200 \text{ Hz}}} \times \int_{F-100 \text{ Hz}}^{F+100 \text{ Hz}} V^2(f) \times df$$

donde

V_{IN} es el valor eficaz de la tensión asignada de la componente fundamental;

$V(f)$ es el valor eficaz de la tensión a la frecuencia f ;

F es la frecuencia central de la banda (la banda se sitúa por encima del armónico de orden 50).

La experiencia ha demostrado que niveles de hasta el 80% o el 90% de los valores de referencia indicados a continuación se han encontrado ya en las redes industriales:

$u = 0,2\%$ para los PCI de clase 2;

$u = 1\%$ para los PCI de clase 3;

$u_b = 0,3\%$ para los PCI de clase 2;

$u_b = 1,5\%$ para los PCI de clase 3.

Se ha informado de pocos problemas en las redes que presentan niveles que sobrepasan los valores anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

CEI 60038:1983 – *Tensiones normales de CEI*.
Modificación 1 (1994)
Modificación 2 (1997)

| NOTA – Armonizada como Documento de Armonización HD 472 S1:1989 (con modificaciones).

CEI 60050-551-20:2001 – *Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Parte 551-20: Electrónica de potencia. Análisis armónico.*

CEI 61000-2-1:1990 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2: Entorno. Sección 1: Descripción del entorno. Entorno electromagnético para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes públicas de alimentación.*

CEI/TR 61000-2-8 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-8: Entorno. Huecos de tensión e interrupciones breves en las redes de electricidad públicas que incluyen resultados de medidas estadísticas.*

CEI 61000-3-6:1996 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites - Sección 6: Evaluación de los límites de emisión para las cargas que provocan distorsión conectadas a las redes MT y AT.* Publicación básica en CEM.

CEI 61000-3-7:1996 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites. Sección 7: Evaluación de los límites de emisión de las cargas fluctuantes en las redes MT y AT.* Publicación básica en CEM.

CEI 61000-4-7:1991 – *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 7: Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de alimentación y a los aparatos conectados a éstas.*

| NOTA – Armonizada como Norma EN 61000-4-7:1993 (sin ninguna modificación).

CEI 61000-4-15:1997, *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y medida. Sección 15: Medidor de flicker. Especificaciones funcionales y de diseño.*

| NOTA – Armonizada como Norma EN 61000-4-15:1998 (sin ninguna modificación).

Norma IEE 1346:1998 – *IEEE Recommended Practice For Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment.*

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 correspondiente¹⁾
CEI 60050-101	– ²⁾	Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Parte 101: Matemáticas	–	–	UNE 21302-101 ⁵⁾
CEI 60050-161	– ²⁾	Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Capítulo 161: Compatibilidad electromagnética	–	–	UNE 21302-161 ⁶⁾
CEI 60050-551	– ²⁾	Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI). Parte 551: Electrónica de potencia	–	–	UNE 21302-551 ⁷⁾
CEI 61000-2-2	– ²⁾	Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 2-2: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en baja tensión	EN 61000-2-2	2002 ³⁾	UNE-EN 61000-2-2:2003
CEI 61000-2-12 ⁸⁾	– ⁴⁾	Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 2-12: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en media tensión	–	–	PNE-EN 61000-2-12 ⁹⁾

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) En preparación.

5) El título de la Norma UNE es "Vocabulario electrotécnico. Matemáticas".

6) El título de la Norma UNE es "Vocabulario electrotécnico. Compatibilidad electromagnética".

7) El título de la Norma UNE es "Vocabulario electrotécnico. Electrónica de potencia".

8) La Norma CEI 61000-2-12 se editó en 2003, es decir, posteriormente a la edición de las Normas CEI 61000-2-4:2002 y EN 61000-2-4:2002.

9) En fase de proyecto.

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