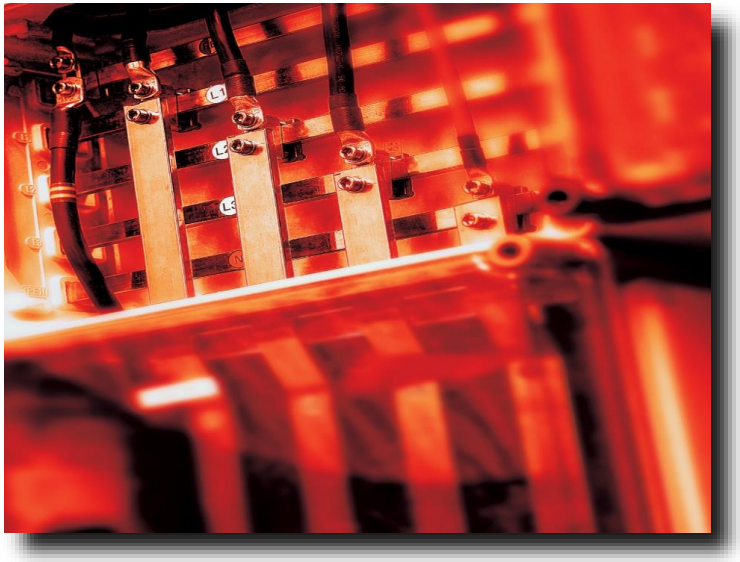
Calidad eléctrica y pérdidas de energía en el cableado



Roberto Poyato

Responsable de Soporte Técnico Fluke Ibérica e Italia

Ponentes

Acerca de Fluke y RS

RS, distribuidor de mantenimiento industrial con más de 20 años de experiencia en España y Portugal, es distribuidor autorizado de productos Fluke, desde hace más de 10 años.

La estrecha colaboración entre Fluke y RS permite ofrecer a los profesionales del mantenimiento productos de máxima calidad y tecnología punta con un alto nivel de servicio, disponibilidad y fiabilidad.

Los productos Fluke y la documentación de soporte técnico están disponibles en RS Online en es.rs-online.com

Ponentes

Carlos Cabezas

Technical & Development
Sales Support Specialist

Más de 20 años de experiencia en el sector de mantenimiento industrial y asesoramiento técnico en equipos de prueba y medida.

carlos.cabezas@rs-components.com

Roberto Poyato

Responsable Soporte Técnico
Fluke Ibérica & Italia

Licenciado en Ciencias Físicas, especialidad Electrónica
Más de 25 años de experiencia en las áreas del mantenimiento, instrumentación e instalaciones de potencia

roberto.poyato@fluke.com

Calidad Eléctrica

AGENDA

1.- Introducción a la Calidad Eléctrica

2.- Análisis de la Calidad Eléctrica. Perturbaciones

- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- Variaciones de la forma de onda
- Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico

3.- Normativas aplicables

4.- Pérdidas de energía en el cableado

5.- Soluciones Fluke

1.- Introducción a la Calidad Eléctrica

Introducción

Las perturbaciones eléctricas

- La **Calidad Eléctrica** en una instalación viene afectada por la presencia de las perturbaciones eléctricas.

- Las perturbaciones eléctricas son aquellos fenómenos o eventos que afectan a las características del suministro eléctrico.

- Pueden afectar a la tensión, corriente o frecuencia, y pueden estar originadas en las centrales eléctricas, sistemas de distribución o en las propias instalaciones de los usuarios.

- Se caracterizan por su magnitud y duración (transitorios de microsegundos, a perdidas de suministro de horas, etc.)

- Cuando una perturbación da lugar a un suministro eléctrico fuera de límites, las cargas eléctricas alimentadas pueden presentar un funcionamiento incorrecto o incluso dañarse

Introducción

Síntomas y causas

Síntomas

- Cortes del suministro
- Disparo de protecciones magneto-térmicas y diferenciales
- Incremento de la factura eléctrica
- Luces que parpadean
- Equipos que trabajan de forma ruidosa y se sobrecalientan
- Fallos prematuros en los equipos
- Rendimiento bajo & paradas no programadas
- Pérdida de datos en sistemas informáticos y de telecomunicaciones

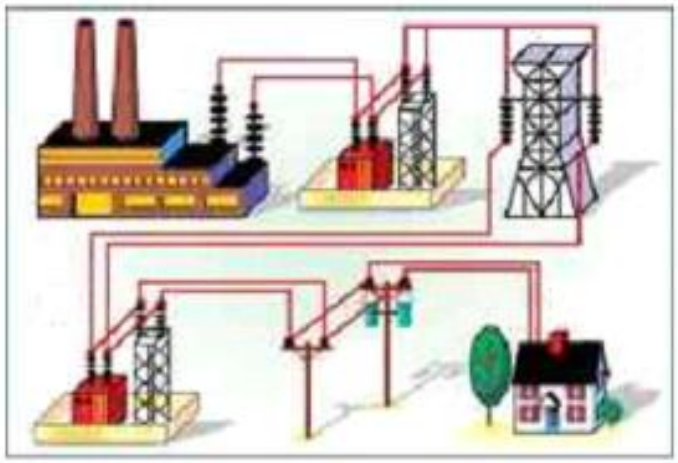
Causas

- Caídas y subidas de tensiones
- Transitorios
- Interferencias
- Distorsión armónica
- Desequilibrio de tensiones y corrientes

Origen de las perturbaciones

- **Causas internas:** Aproximadamente el 80% de las perturbaciones eléctricas se originan *en la propia instalación del usuario*.
  - Entre las causas potenciales se incluyen el arranque y parada de grandes cargas, cableado deficiente, sobrecargas, cortocircuitos y armónicos.

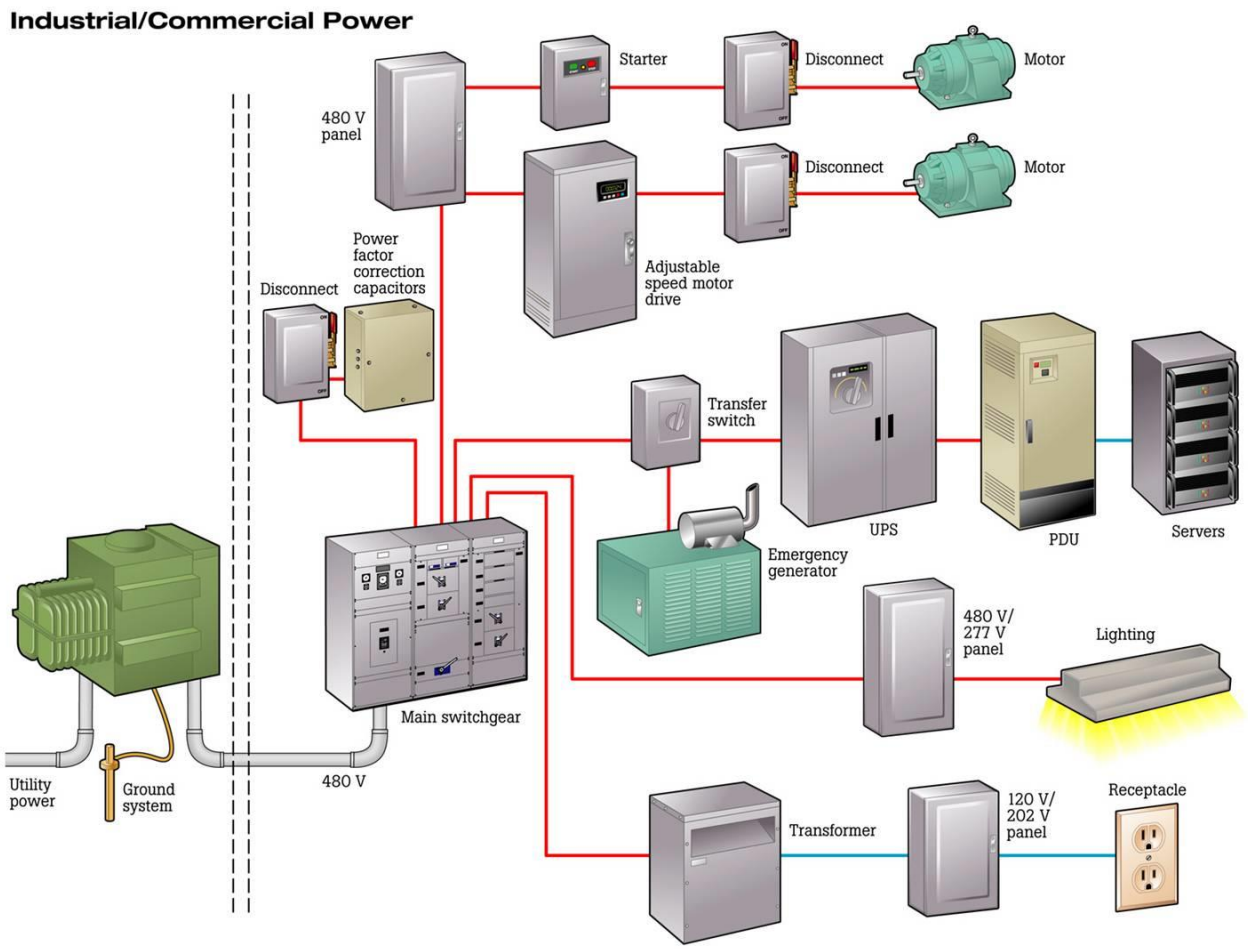
- **Causas externas:** Alrededor del 20% de los problemas asociados a una calidad eléctrica deficiente se originan en los sistemas de producción y distribución eléctrica.
  - Entre las causas principales podemos citar, por orden de importancia: rayos, fallos en los propios sistemas, otros fenómenos atmosféricos, sistemas de transferencia.



Introducción

Instalación del usuario

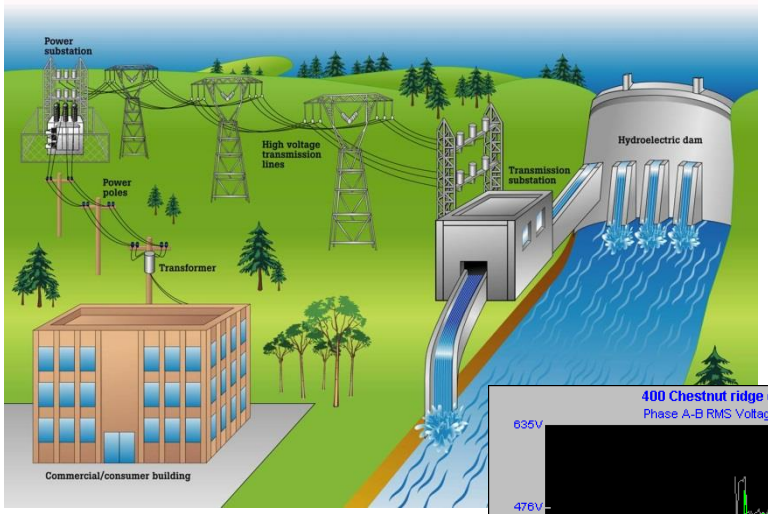
- Conexiones mal apretadas
- Circuitos y transformadores sobrecargados
- Cagas desequilibradas
- Armónicos causados por cargas electrónicas
- Conexiones neutro tierra incorrectas
- Bucles de tierra
- Neutros mal dimensionados y compartidos

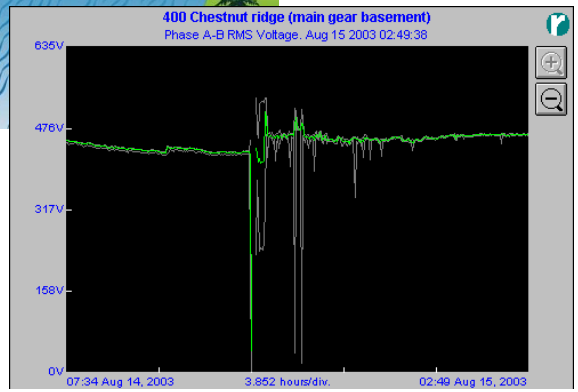


Introducción

Sistema de generación y distribución

- Disparo de fusibles e interruptores automáticos
- Conmutaciones en los sistemas de corrección del factor de potencia
- Transferencia de redes
- “Reconectadores”
- Equipos que fallan o presentan arcos de tensión
- Caídas de líneas
- Demanda excesiva (reducciones de tensión)





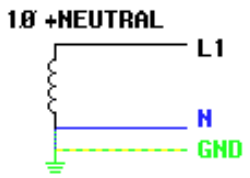
Ejemplo: Cuando los sistemas de reconexión automática operan de forma repetida, por ejemplo, debido a la caída de ramas de árboles en las líneas de distribución, causan fluctuaciones de tensión tal como se muestra en el gráfico anterior

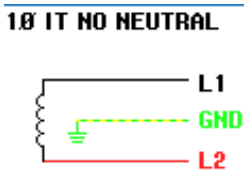
2.- Análisis de la Calidad Eléctrica. Perturbaciones

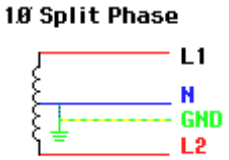
Análisis de la calidad Eléctrica

Sistema de distribución:

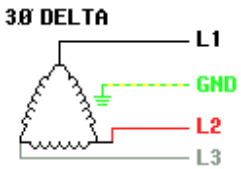
Sistemas monofásicos

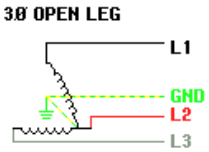


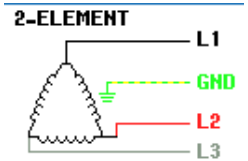


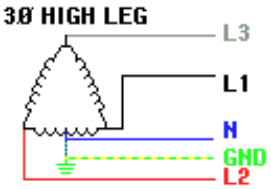


Sistemas trifásicos
3 hilos (triángulo)

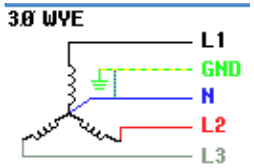


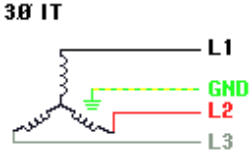


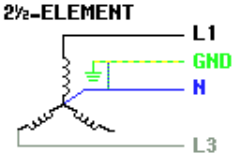




Sistemas trifásicos
4 hilos (estrella)



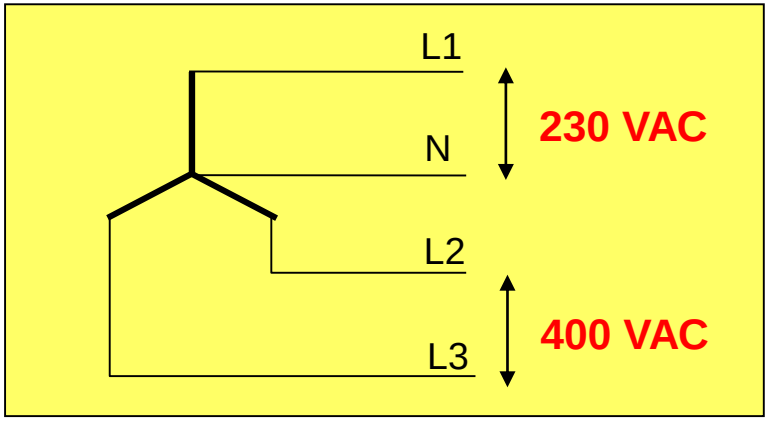




Análisis de la calidad Eléctrica

Sistema de distribución:

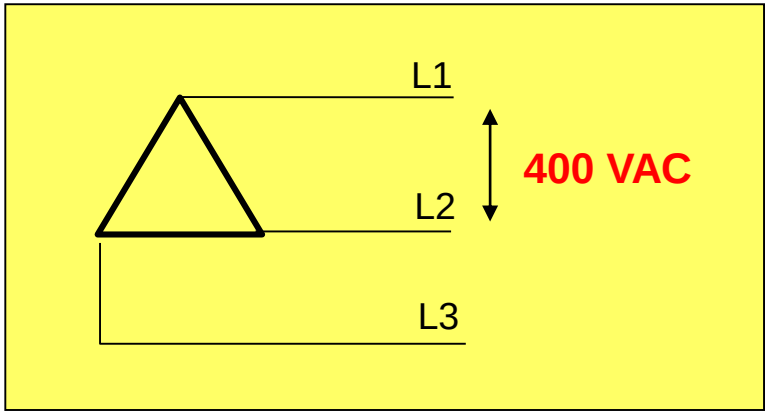
4 conductores (3F + N)



Tensión fase-neutro

- *En los sistemas 4 hilos, en estrella, la tensión se mide entre fase y neutro*

3 conductores (3F)

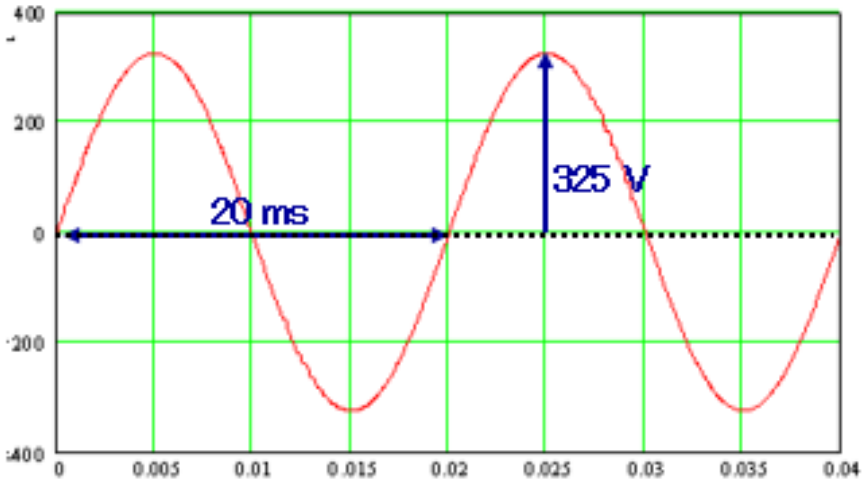


Tensión fase-fase

- *En los sistemas de 3 hilos, triángulo, la tensión se mide entre fases*

Análisis de la calidad Eléctrica

Caracterización de la alimentación eléctrica:



Forma de onda senoidal definida por:

- Función matemática:

$$u(t) = 325 \text{ sen } (2p.50.t)$$

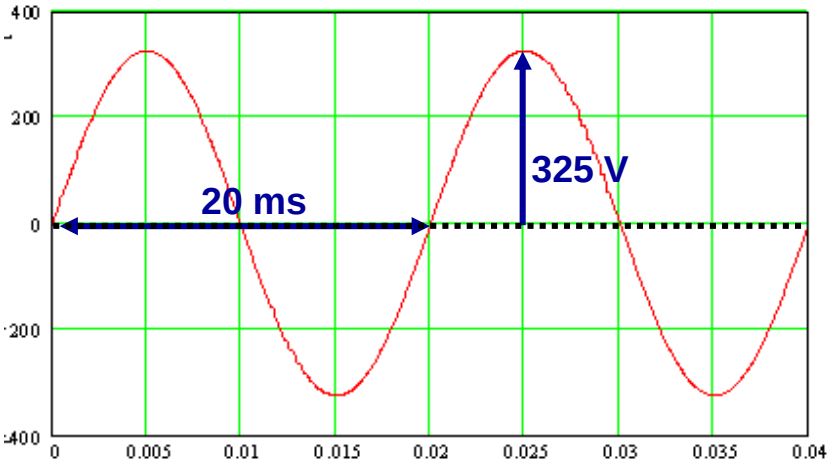
- Amplitud nominal: 325 V
- Frecuencia nominal: f = 1/T = 50 Hz
- Periodo nominal: T=20 ms

Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

RS

Para analizar la Calidad Eléctrica tendremos que **Medir**



Pero, ¿qué medir?

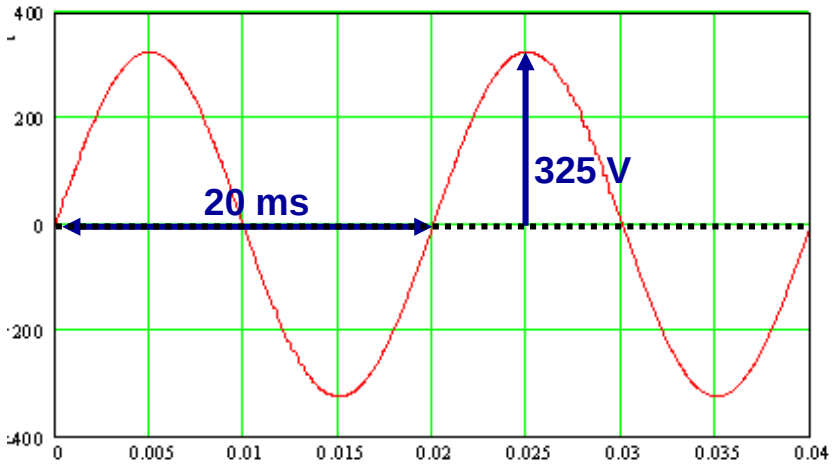
- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- Variaciones de la forma de onda
- Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico
- …

Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

RS

Para analizar la Calidad Eléctrica tendremos que **Medir**

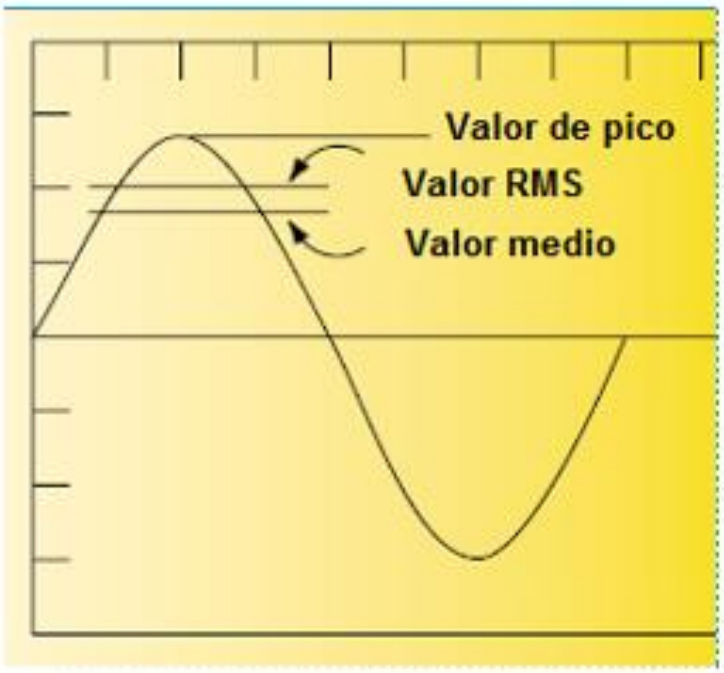


Pero, ¿qué medir?

- **Variaciones asociadas a la amplitud**
- Variaciones de la frecuencia
- Variaciones de la forma de onda
- Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico
- …

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Amplitud: Valor de pico, Valor medio, **Valor Eficaz**



En relación a la amplitud podemos medir:

Valor de pico
Valor $_{RMS}$
Valor medio

Para una onda senoidal perfecta tendremos:

$$\frac{\text{Valor}_{RMS}}{\text{Valor medio}} = 1{,}1$$

$$\textit{Factor} \text{ de cresta} = \frac{\text{Valor de pico}}{\text{Valor}_{RMS}} = 1{,}414$$

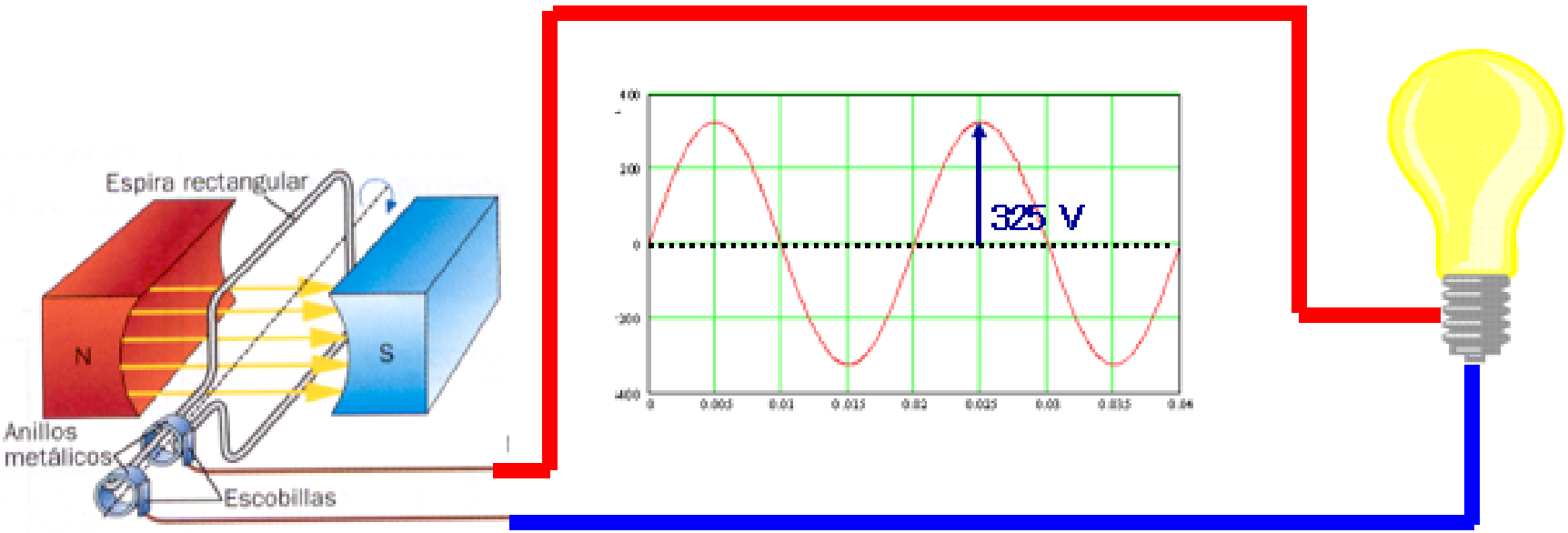
El valor más ampliamente utilizado es el Valor $_{RMS}$ o Valor Eficaz

Valor eficaz. Medida y Cálculo

Para un sistema de alterna tenemos: S = V $_{eficaz}$ x I $_{eficaz}$

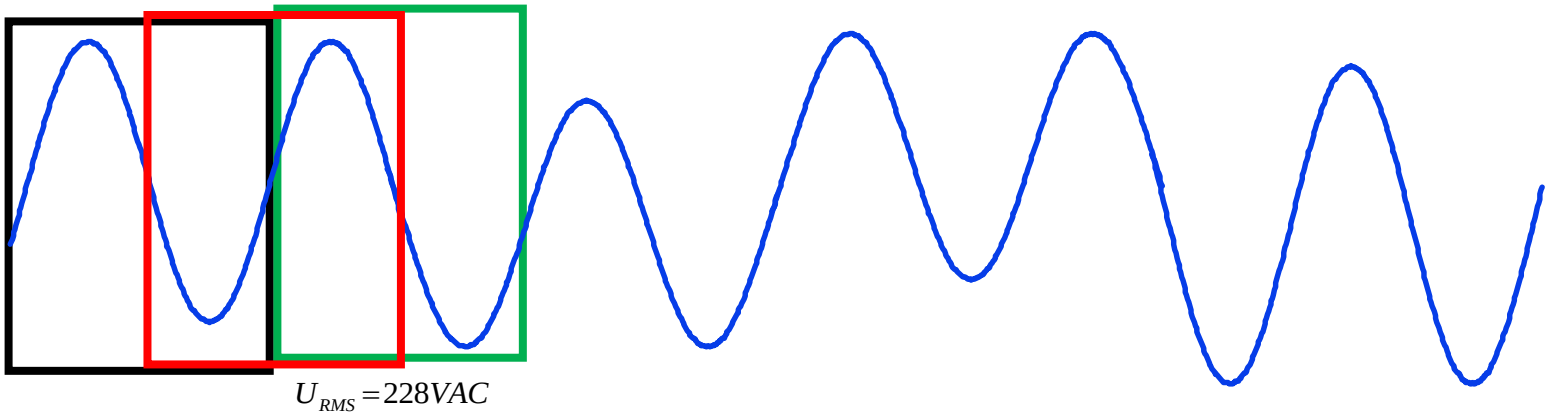
Con $$V_{eficaz} = V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,dt} = \frac{325}{\sqrt{2}} = 230\,VAC$$

V nominal = 230 V



Valor eficaz. Registro

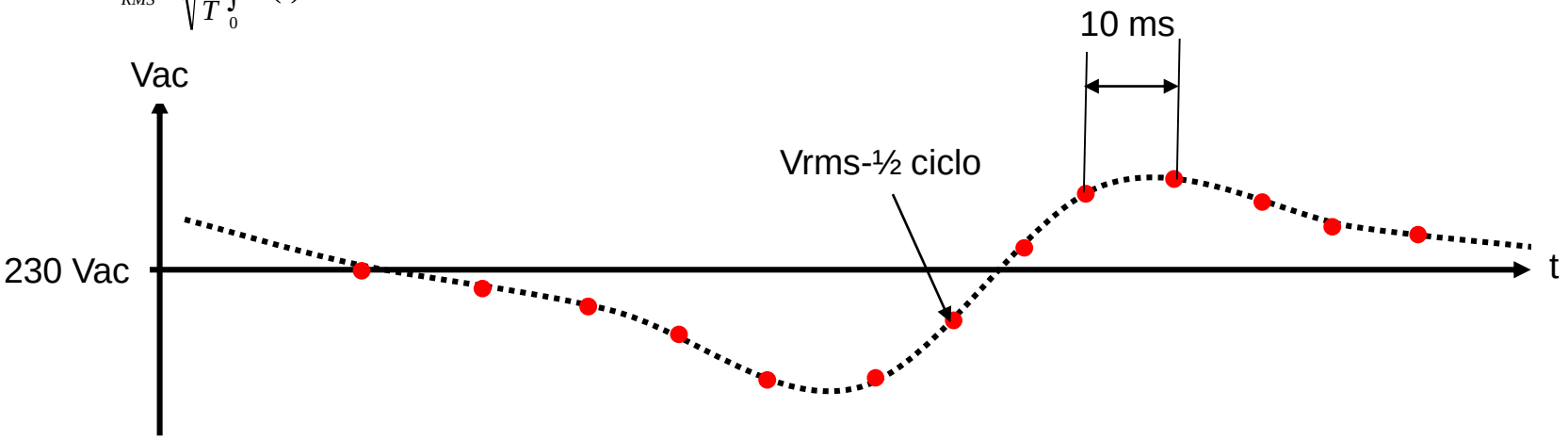
Registro Valor Eficaz. **Actualización cada 1/2 ciclo**



$U_{RMS} = 228VAC$

$U_{RMS} = 227VAC$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,dt} = 230VAC$$



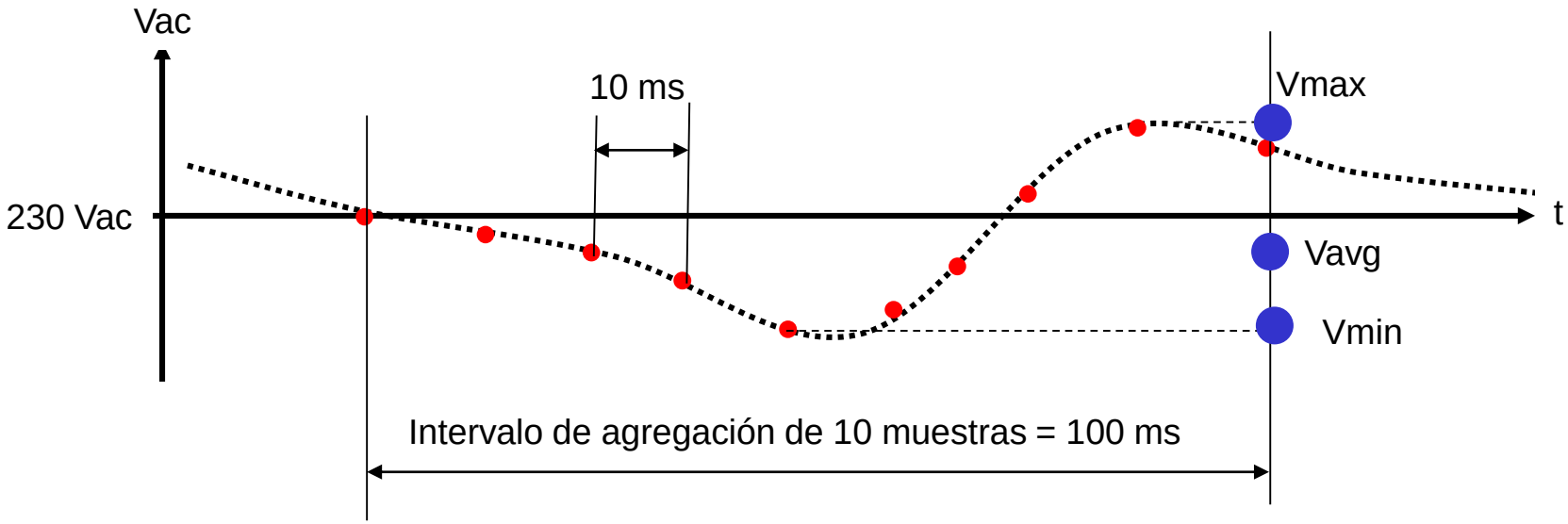
Valor eficaz. Registro

Registro del Valor Eficaz. **Intervalos de agregación**

- Si registraramos la tensión cada 10 ms, en 1 semana de registro tendríamos en memoria

  7x24x60x60x100= 60.480.000 muestras

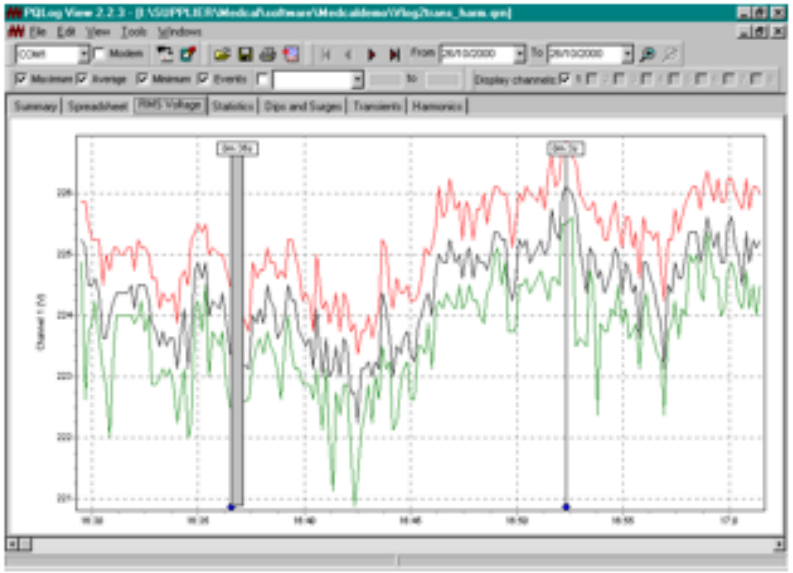
- Para ahorrar memoria, se definen los intervalos de agregación de medidas



- Si el intervalo de agregación es de 10 min, se promedian 10x60x100=60.000 ciclos, y en una semana sólo se vuelcan a memoria 7 x 24 x 6 = 1.008 ternas de puntos

Valor eficaz. Registro

Registro del Valor Eficaz. Consideraciones



Para potencias: 15 minutos

- En los registros de tensión eficaz hay que conocer:
  - Cómo se actualiza la medida
    - Vrms-1ciclo
    - Vrms-½ ciclo
    - Vrms-¼ciclo
  - Cuál es el intervalo de agregación
    - 1 segundo
    - 10 segundos
    - 1 minuto
    - 10 minutos
- Los valores normalizados (EN50160) son:
  - Vrms-½ ciclo
  - 10 minutos

Configuración de un registro.
Sondas de corriente

Las sondas de corriente pueden ser del tipo flexibles y del tipo rígidas aunque estas están en desuso utilizándose solamente en casos de medida de corrientes muy pequeñas

Fluke 435 SII con sondas de corriente flexibles

Sonda rígida i40s-EL

Configuración de un registro.
Sondas de corriente

Rangos de medida de la corriente y tamaños de la sonda

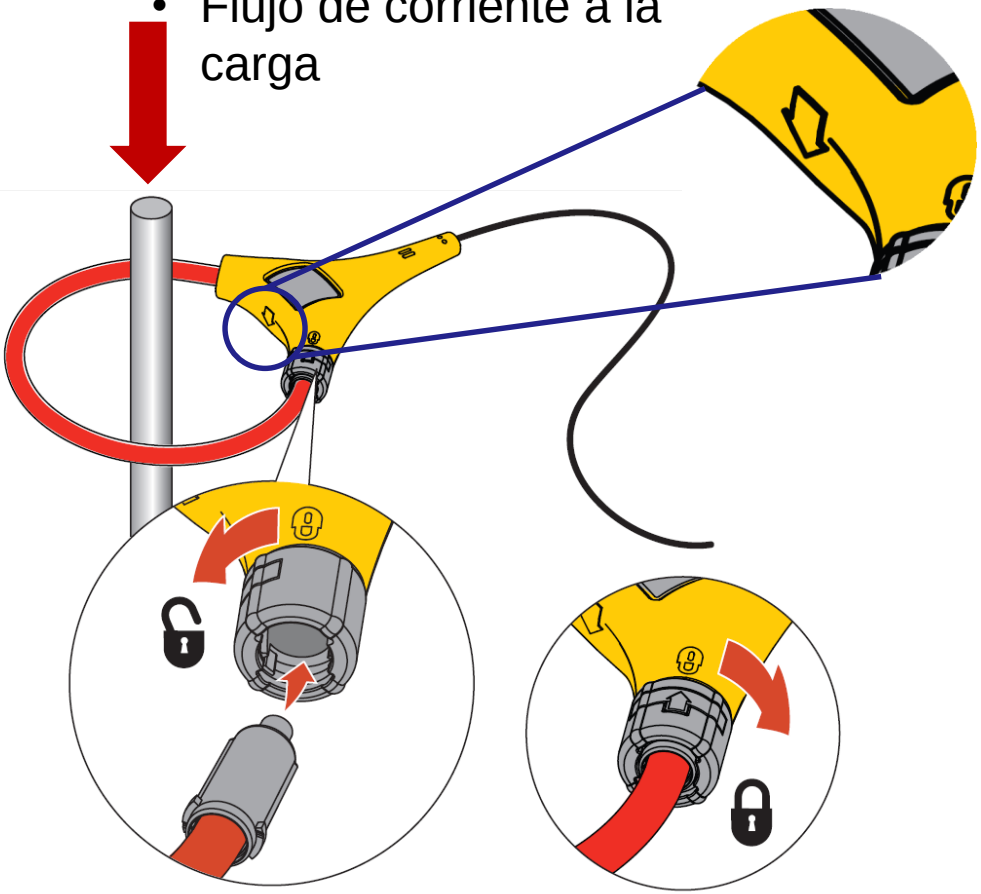
4 x iFlex 1500-12 suministras de forma estándar con el 1736
Rango nominal hasta 1500 A

iFLEX 3000A 24” (60cm)
Rango nominal hasta 3000 A

iFLEX, 6000A 36” (90cm)
Rango nominal hasta 6000 A

Configuración de un registro.
Instalación sondas de corriente

- Flujo de corriente a la carga



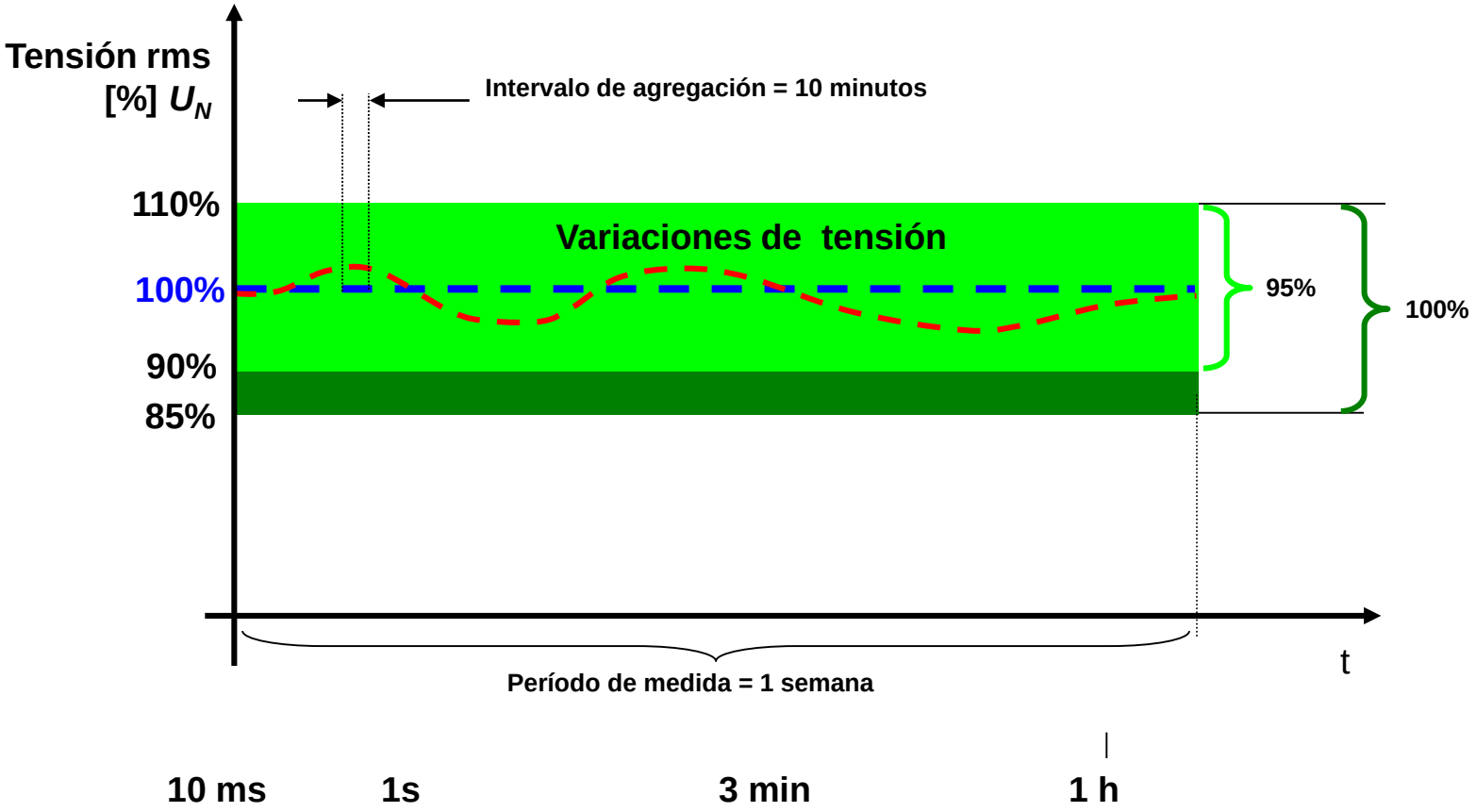
Nota: la flecha que aparece en la parte interior de la sonda flexible debería apuntar hacia la carga que se está analizando para asegurar unas lecturas correctas

Configuración de un registro.
Instalación cables de tensión

Cables con conectores tipo pinzas cocodrilo

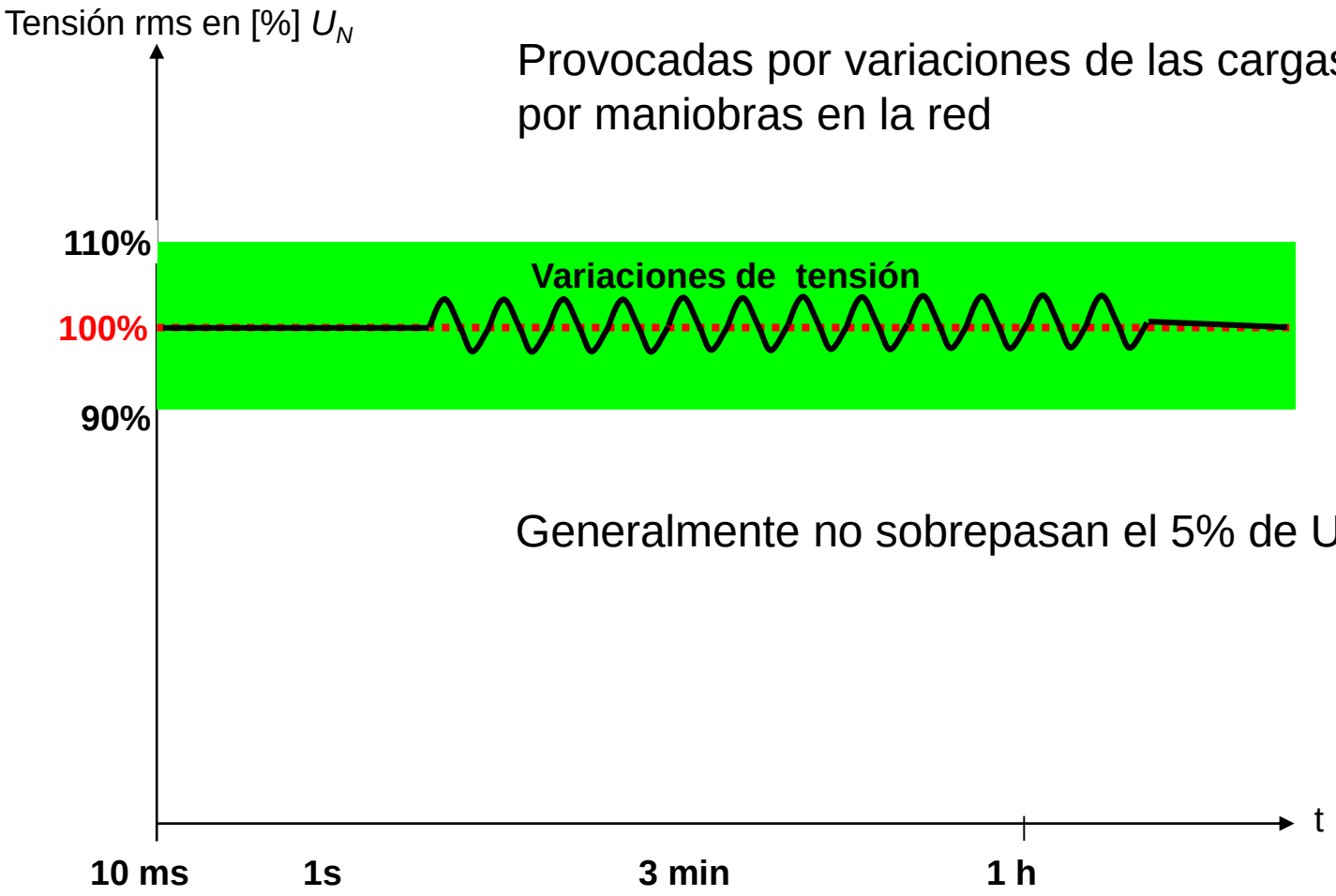
Cables con conectores magnéticos para su instalación en protecciones eléctricas

Perturbaciones. Amplitud de la tensión



Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Fluctuaciones rápidas

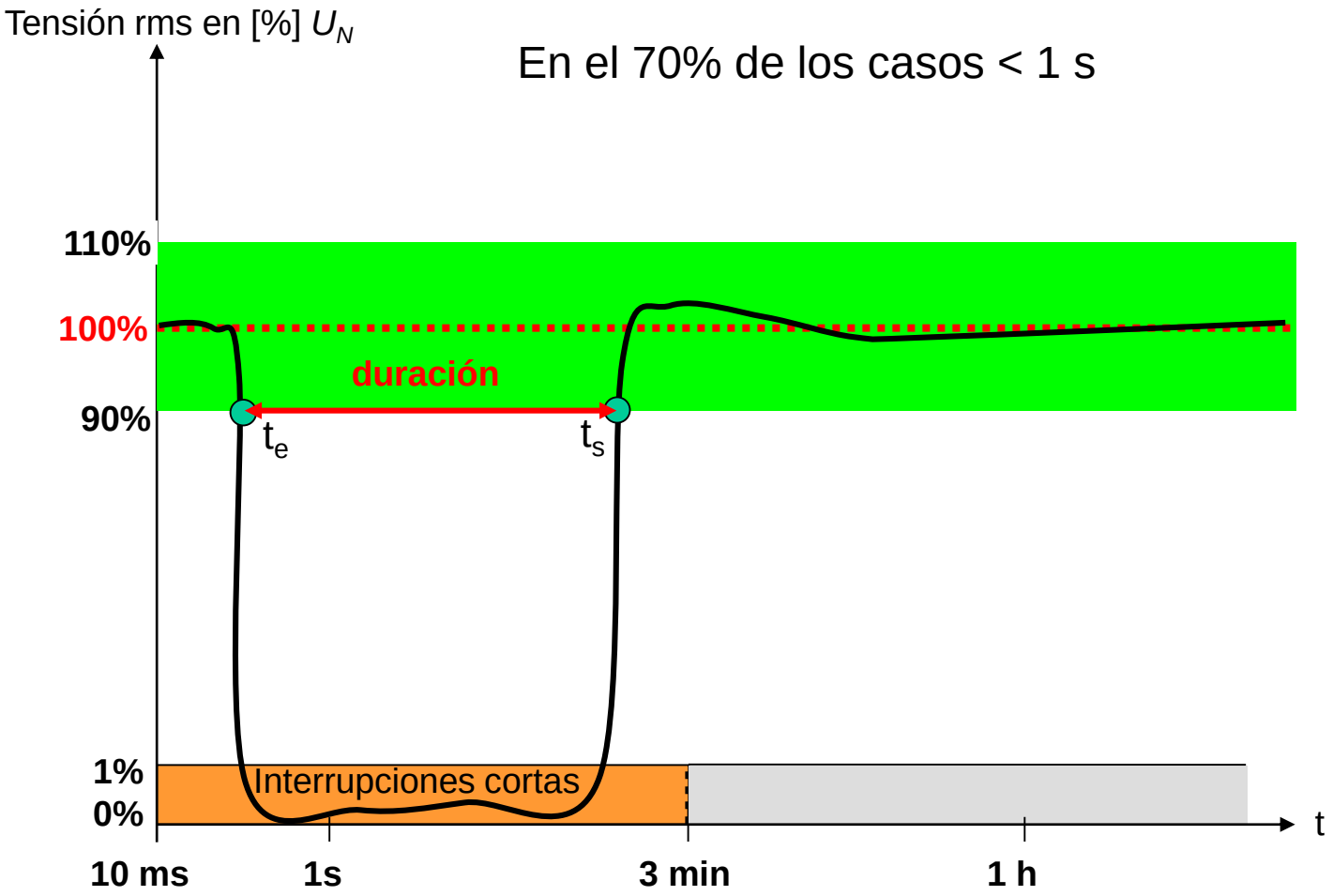


Provocadas por variaciones de las cargas o por maniobras en la red

Generalmente no sobrepasan el 5% de Un

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

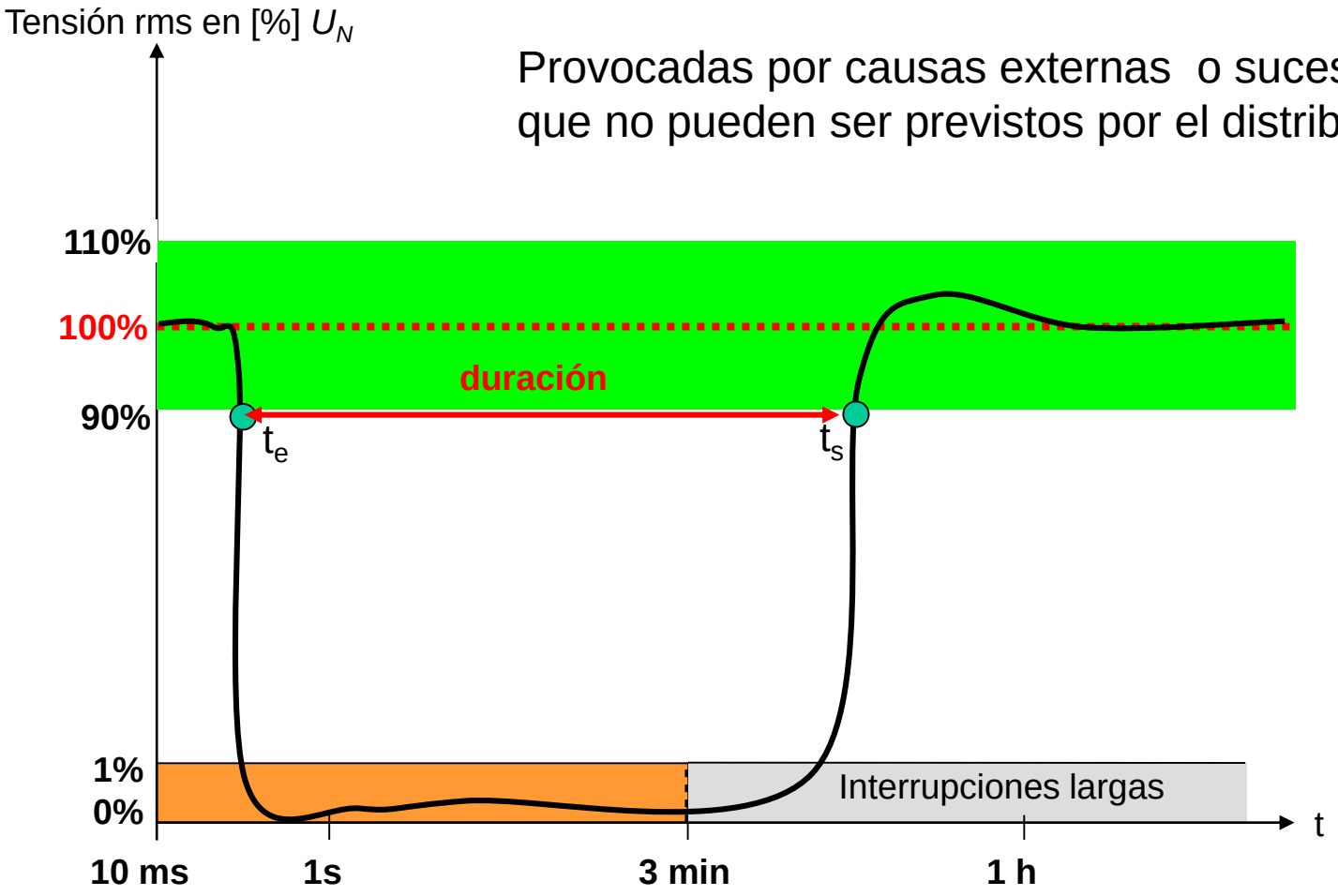
Interrupciones cortas



Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Interrupciones largas

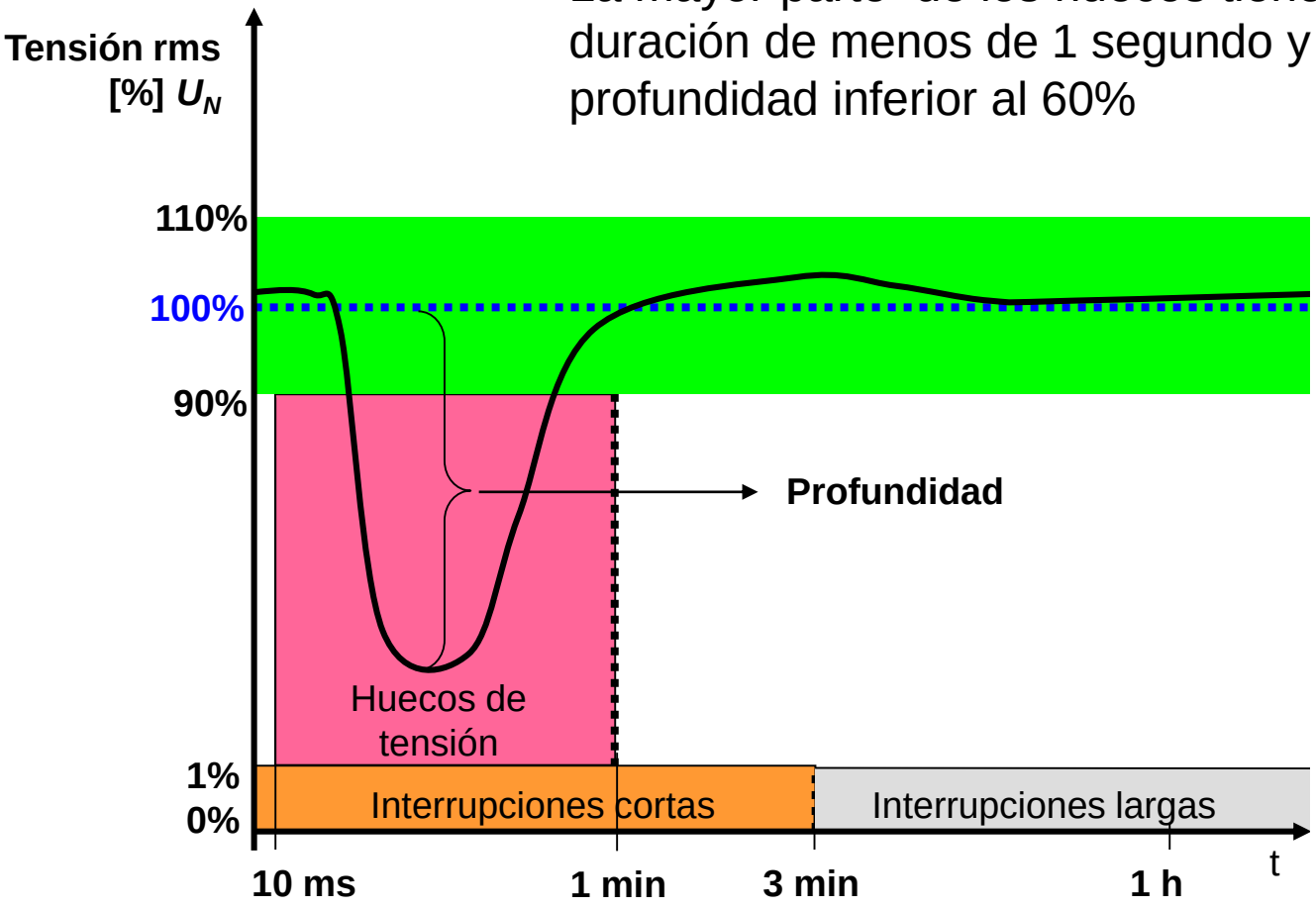
Provocadas por causas externas o sucesos que no pueden ser previstos por el distribuidor



Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Huecos

La mayor parte de los huecos tienen una duración de menos de 1 segundo y una profundidad inferior al 60%



Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Causas y efectos de los huecos de tensió

Causas

- Cortocircuitos
- Sobrecargas
- Conexión de grandes motores

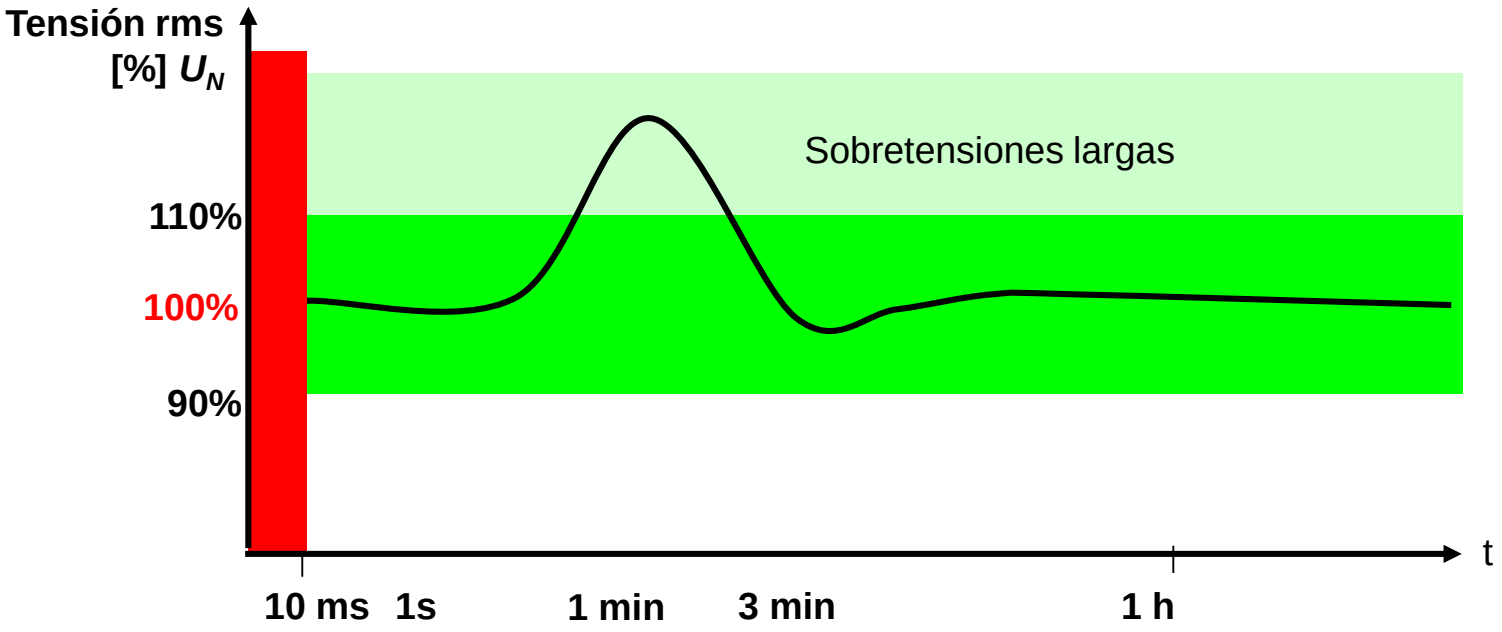
Sobrecargas. La puesta en servicio de grandes cargas (sistemas de aire acondicionado, elevadores, máquinas de soldar, etc.), arranque de grandes motores bien sea en la instalación del propio usuario afectado o en la de otro usuario conectado al mismo circuito.

Cortocircuitos y fallos en otras partes de la red de distribución.

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Sobretensiones temporales

Generalmente U eficaz < 1,5 kV

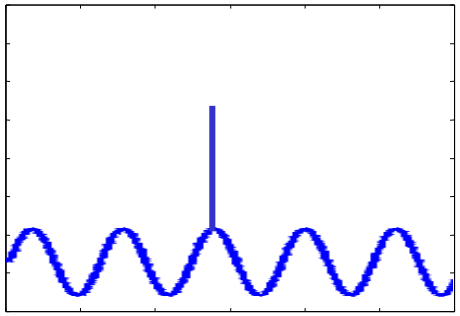


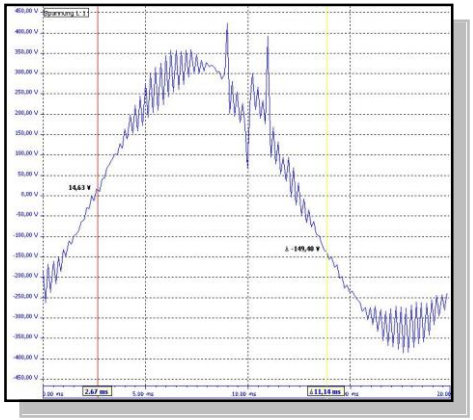
Perturbaciones. Amplitud de la tensión

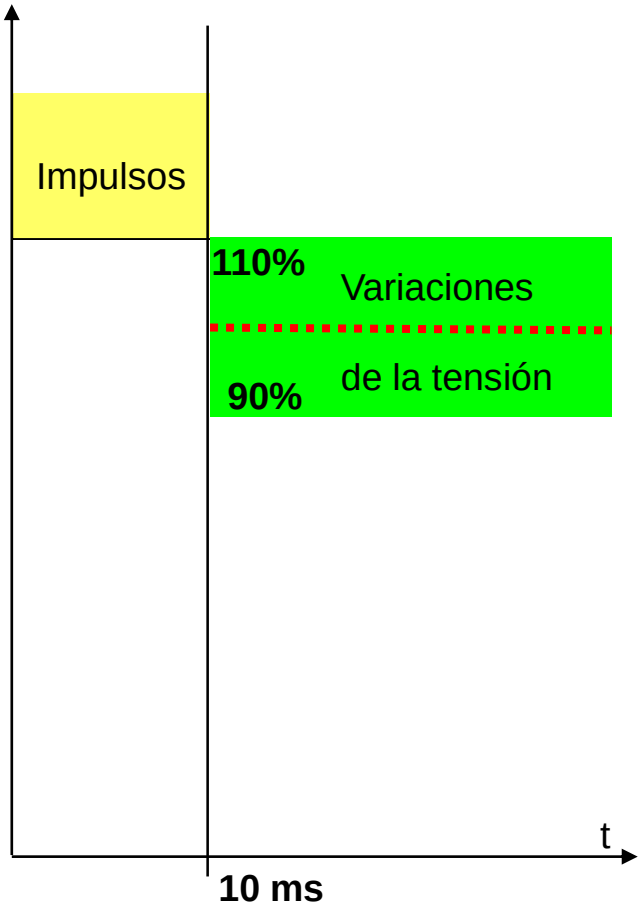
Sobretensiones transitorias . Transitori

Generalmente U cresta < 6 kV

Tensión en V_{pico}







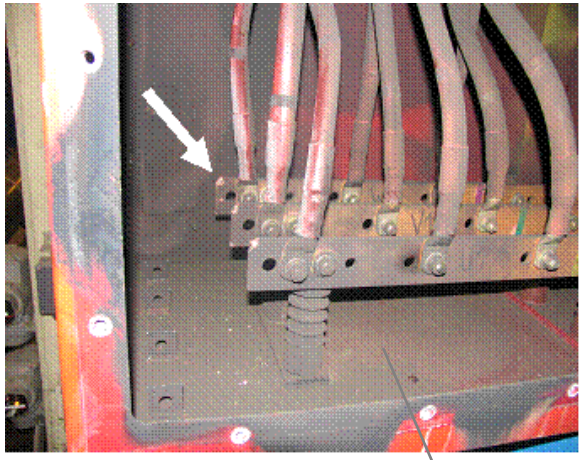
Características:
- Aleatorio
- corta duración(µs)

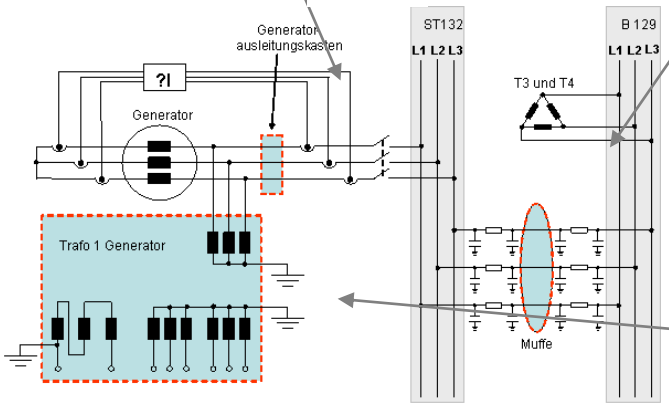
Causas:
- Rayos
- Maniobras con interruptores

Efectos:
- Daños a equipos
- Paros imprevistos
- Pérdida de datos

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

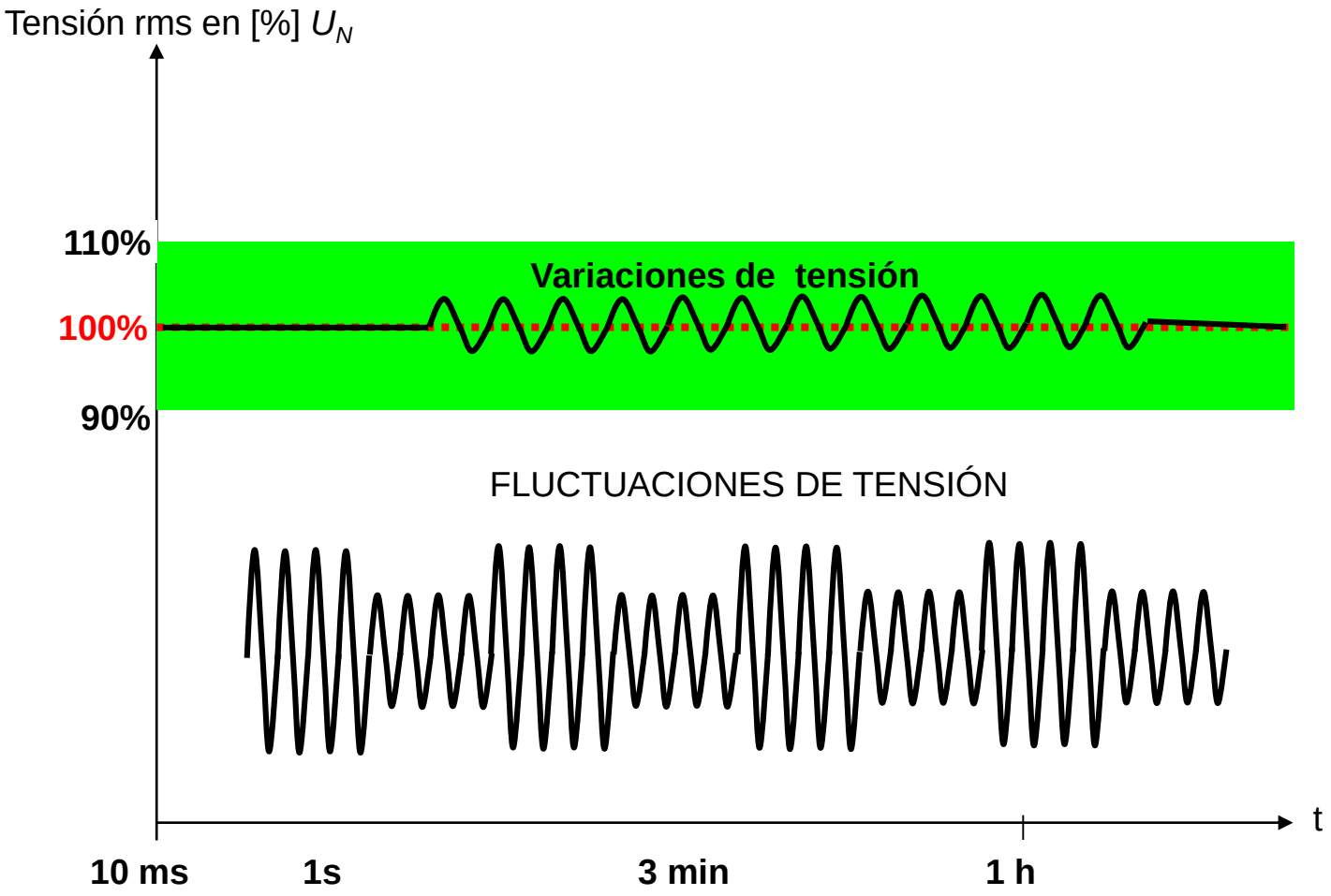
Daños del aislamiento





Perturbaciones. Amplitud de la tensión

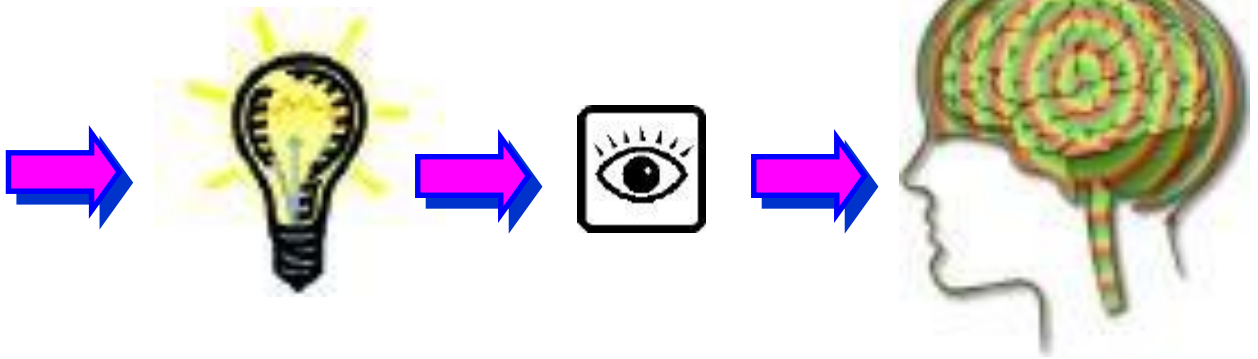
Fluctuaciones rápidas



Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Flicker

Fluctuación de la tensión



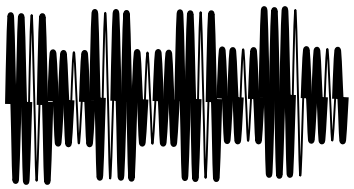
Perturbaciones. Amplitud de la tensión

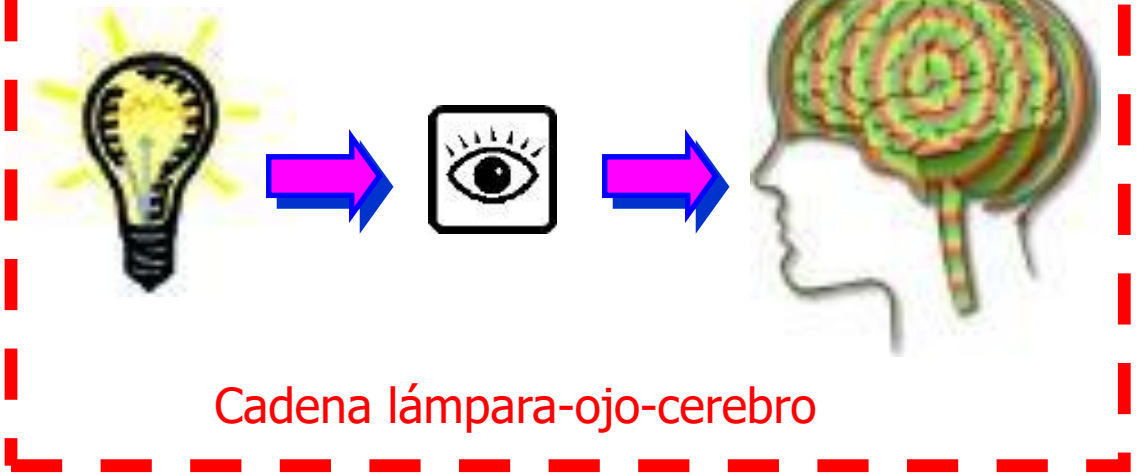
Flicker

Medida

¿Qué nivel de molestia produce?

Fluctuación de la tensión





Cadena lámpara-ojo-cerebro

Medidor de flicker
CEI 61000-4-15

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLICKER

"Impresión de **inestabilidad de la sensación visual** debida a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo" (EN 50160)

Fluctuación de tensión

"Serie de variaciones de tensión o variación cíclica de la envolvente de la tensión"

Evaluación

(CEI 61000-4-15) Intensidad de la molestia :

P_{st} : Severidad de corta duración (10 minutos)

P_{lt} : Severidad de larga duración (2 horas)

Límites

$P_{st} \leq 1$ $P_{lt} \leq 1$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^{3}}{12}\right)}$$

Perturbaciones. Amplitud de la tensión

Origen del Flicker

Cargas fluctuantes

CARGAS INDUSTRIALES

- Hornos de arco (c.a. y c.c.)
- Equipos de soldadura

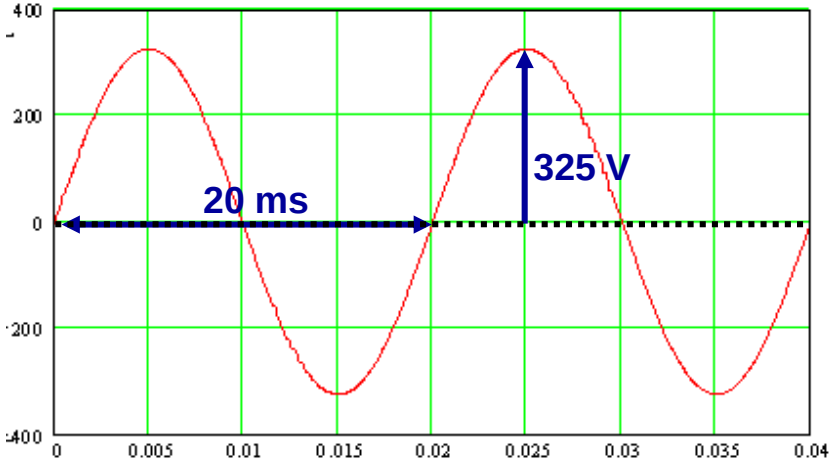
CARGAS CONECTADAS EN BAJA TENSIÓN

- Grandes fotocopiadoras
- Motores
- Equipos de rayos X

SISTEMAS EÓLICOS

Análisis de la calidad Eléctrica

Para analizar la Calidad Eléctrica tendremos que **Medir**



Pero, ¿qué medir?

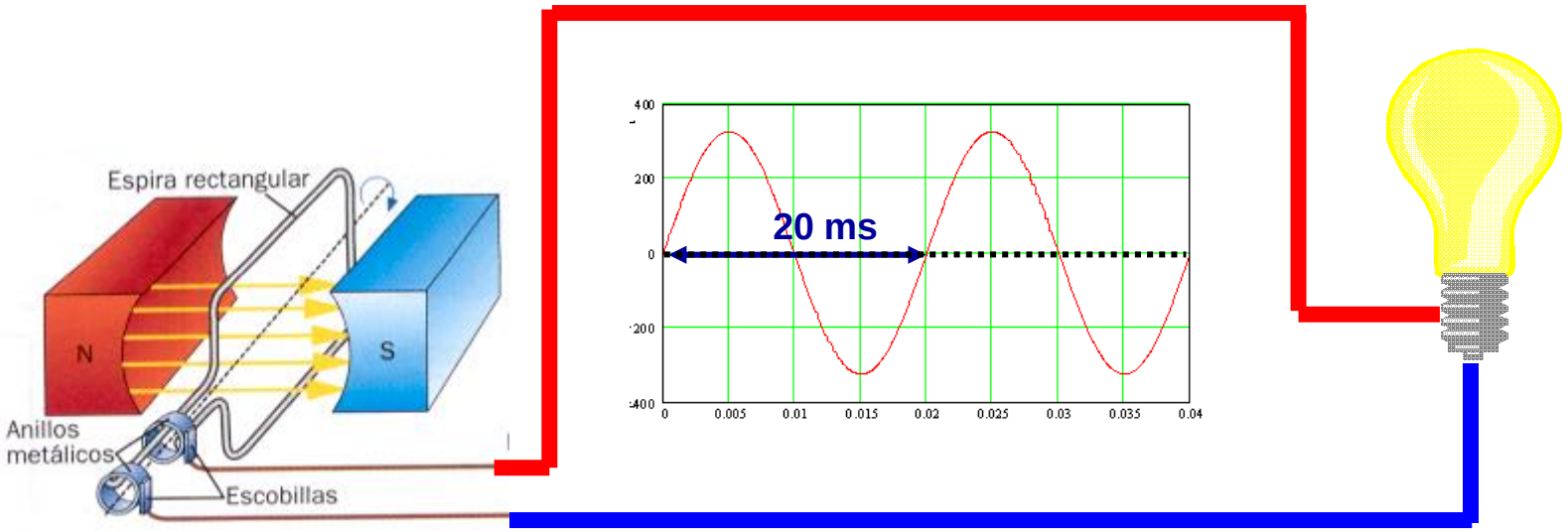
- Variaciones asociadas a la amplitud
- **Variaciones de la frecuencia**
- Variaciones de la forma de onda
- **Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico**
- …

Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia

Frecuencia nominal: f = 1/T
Frecuencia nominal = 50 Hz

Dos casos principales:

- Islas
- Grupos generadores



Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia

Causas y efectos de las variaciones de frecuenc

- Cambio en la velocidad de las máquinas rotativas:
  Los motores transmiten más o menos potencia.
  Los relojes eléctricos sincronizados con red, atrasan o adelantan.

- Los filtros de armónicos sufren un efecto distorsionador.

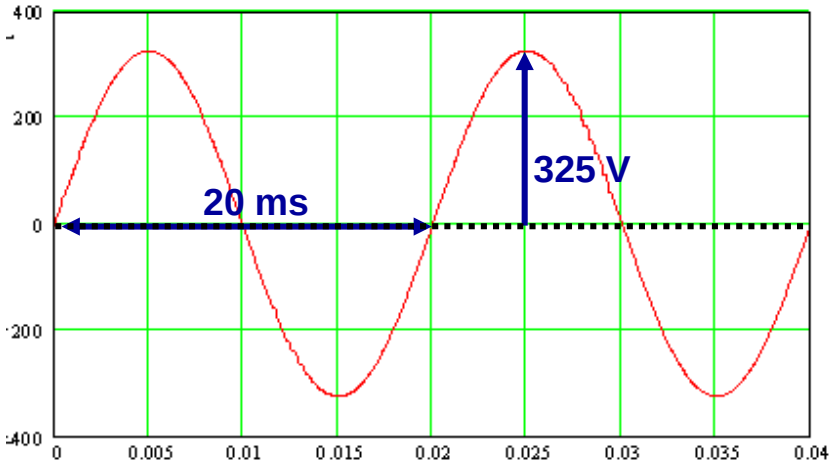
- Los equipos electrónicos que utilizan la frecuencia como referencia de tiempo se ven alterados.

- Las turbinas de las centrales eléctricas se encuentran sometidas a fuertes vibraciones que suponen un severo esfuerzo de fatiga.

- Posibles problemas en el funcionamiento de instalaciones de autogeneración.

Análisis de la calidad Eléctrica

Para analizar la Calidad Eléctrica tendremos que **Medir**



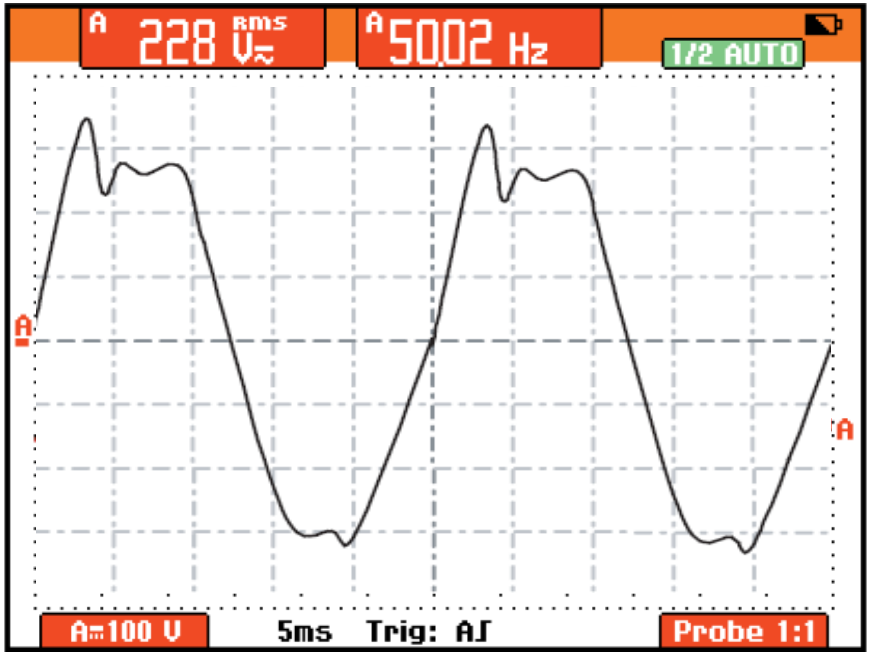
Pero, ¿qué medir?

- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- **Variaciones de la forma de onda**
- **Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico**
- …

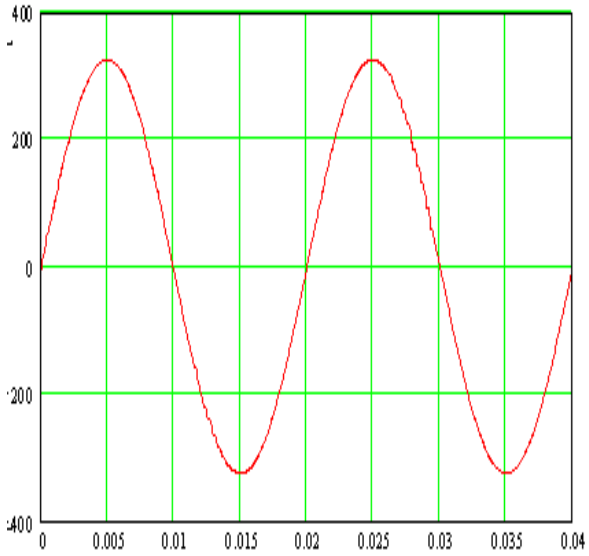
Perturbaciones. Armónicos

Medida de los armónicos, THD, FD

¿Cómo medir las diferencias con la forma de onda ideal?



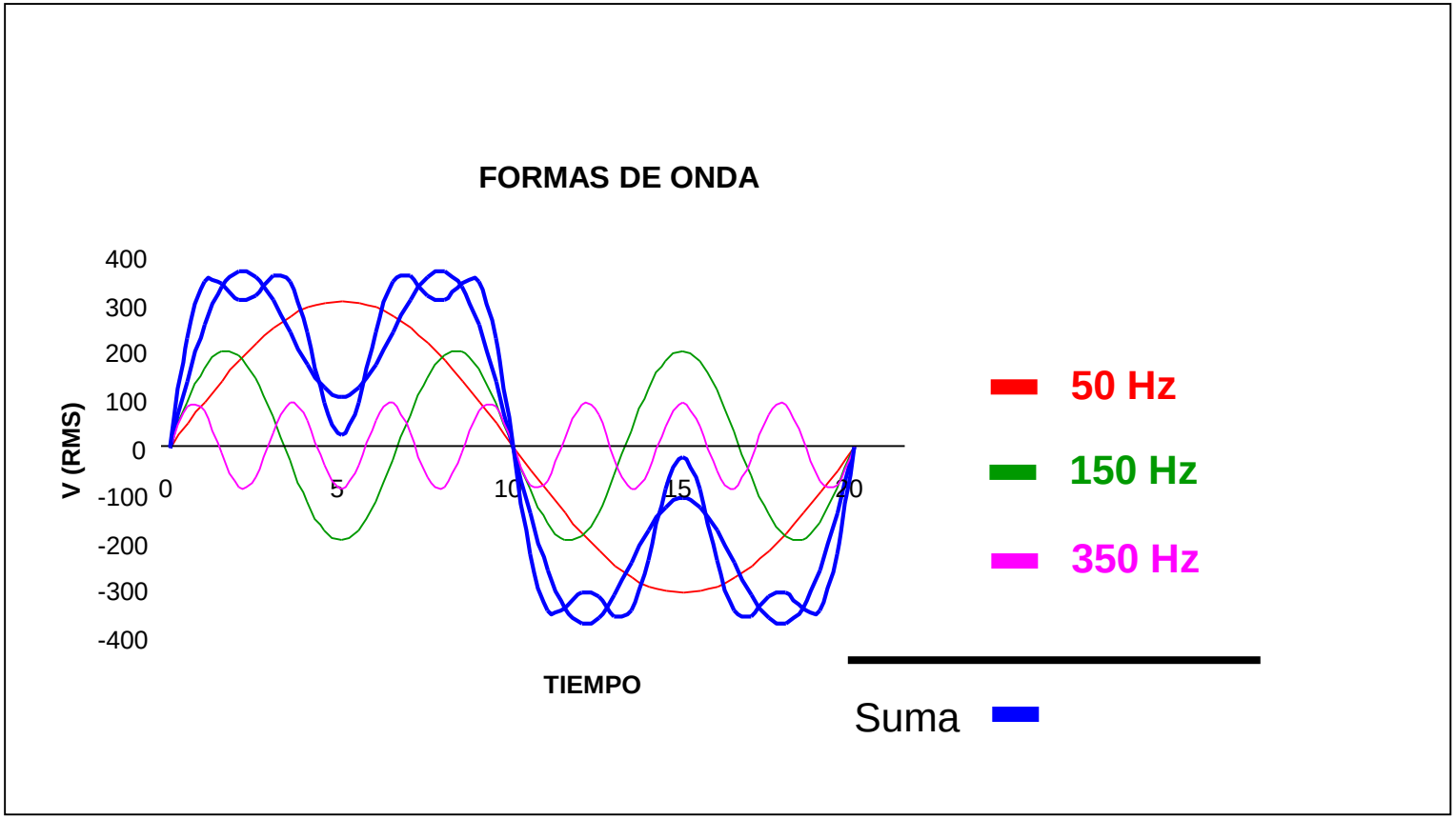
Forma de onda distorsionada



Senoide ideal

Perturbaciones. Armónicos

Descomposición Serie de Fourier



Perturbaciones. Armónicos

Descomposición Serie de Fourier

Toda función periódica se puede descomponer como suma de formas de onda senoidales, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la señal analizada.

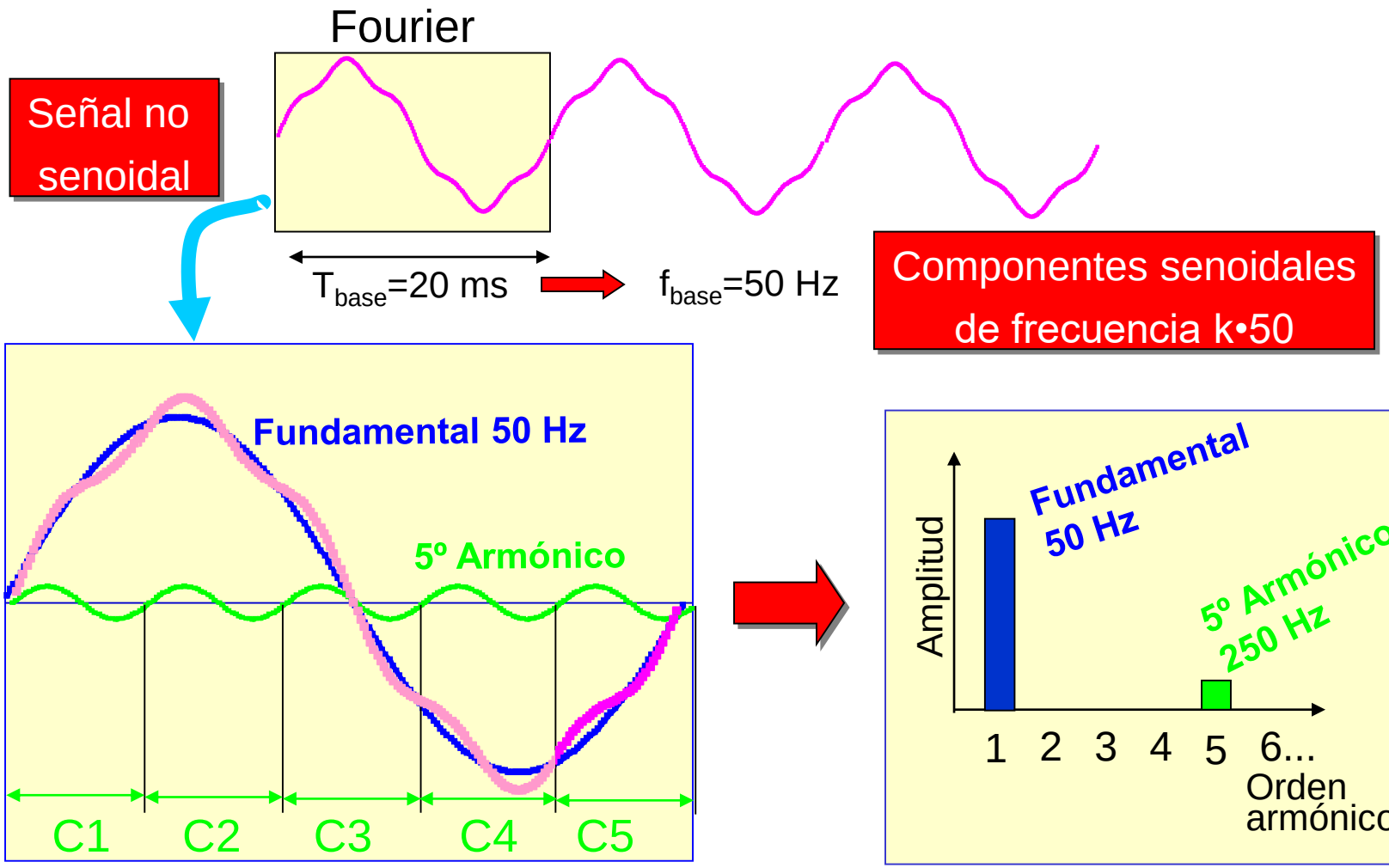
Componente fundamental. La forma de onda senoidal cuya frecuencia coincide con la de la señal analizada.

Componentes armónicas. Las formas de onda senoidales resultantes con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Jean-Baptiste-Joseph Fourier (21 de marzo 1768 Auxerre – 16 mayo 1830 París), matemático y físico francés conocido por sus trabajos sobre la descomposición de funciones periódicas en series trigonometricas convergentes llamadas series de Fourier.

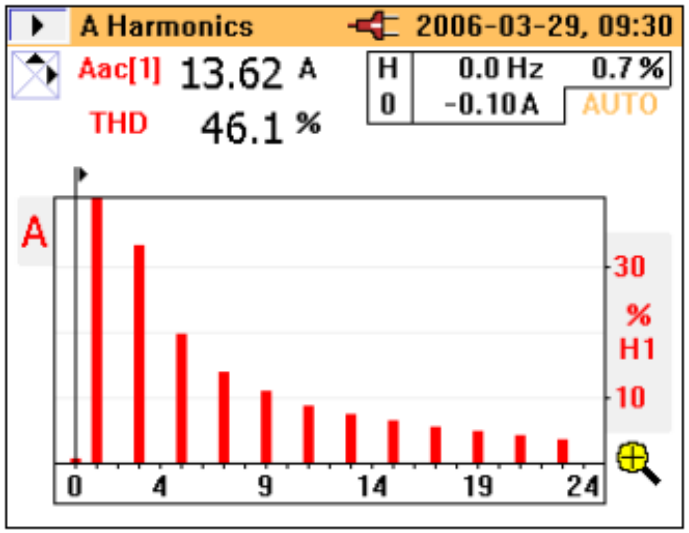
Perturbaciones. Armónicos

Descomposición Serie de Fourier



Perturbaciones. Armónicos

Descomposición Serie de Fourier



- Los armónicos se caracterizan por su orden, su frecuencia, su secuencia y su fase
- La fase de un armónico se puede dar con respecto a la fase de la componente fundamental de la tensión, o a la fase del armónico de tensión correspondiente (depende del equipo de medida)
- En las instalaciones eléctricas generalmente no hay armónicos pares. Estos armónicos aparecen cuando en la forma de onda no hay antisimetría (simetría invertida entre los dos semiciclos de la señal)

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frecuencia (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Perturbaciones. Armónicos

Medida de los armónicos, THD, FD

Tensión armónica

Tensión senoidal cuya frecuencia es un **múltiplo entero** de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación

EVALUACION

Individualmente

Amplitud relativa (Uh) de cada armónico con relación a la tensión fundamental (U1)

Valor rms de cada armónico

Globalmente

Distorsión armónica total

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_1}$$

Factor de Distorsión

$$FD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_{TotalRMS}}$$

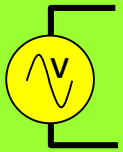
Con U_h el valor rms correspondiente al armónico h

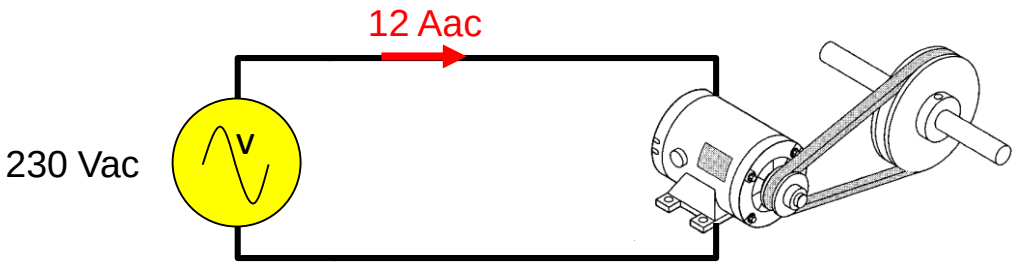
Perturbaciones. Armónicos

Circuito eléctrico generador - carg

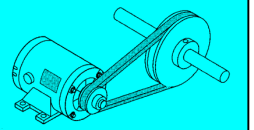
CARGAS LINEALES

El generador asigna la tensión en la carga





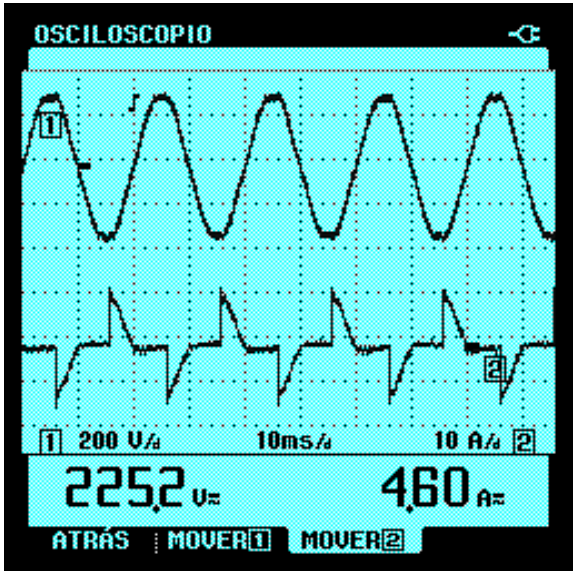
La carga asigna la corriente a través del generador



- El generador proporciona la tensión de alimentación, mientras que la carga determina la corriente en la red
- Si la corriente demandada por la carga tiene la misma forma de onda que la tensión del generador, la carga recibe el nombre de **carga lineal**
- Hay 3 tipos de cargas lineales: **Resistencia, bobinas y condensadores**

Perturbaciones. Armónicos

Descripción de las cargas no lineale



CARGAS NO LINEALES

- Las cargas no lineales son aquellas que alimentadas por una tensión senoidal, demandan una corriente distorsionada o no senoidal
- Las cargas no lineales contienen electrónica en su etapa de entrada (diodos, transistores, tiristores, IGBT, etc.)
- Son ejemplos las máquinas informáticas, variadores de velocidad, reguladores de luz, etc.
- Suponen más del 50% de la potencia instalada en las instalaciones modernas

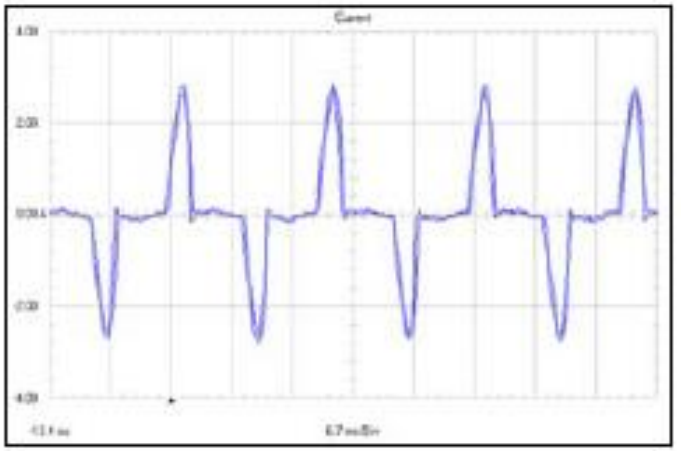
Perturbaciones. Armónicos

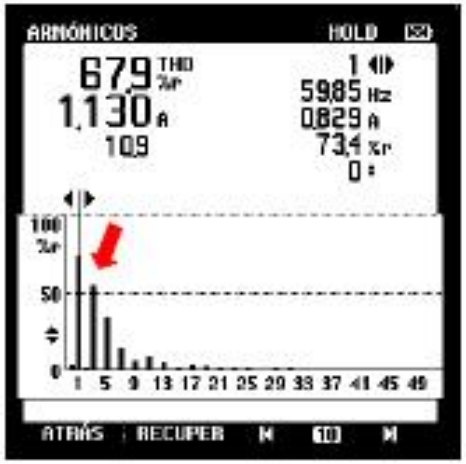
Descripción de las cargas no lineale

Computador Personal

I_{RMS} = 1.13 A

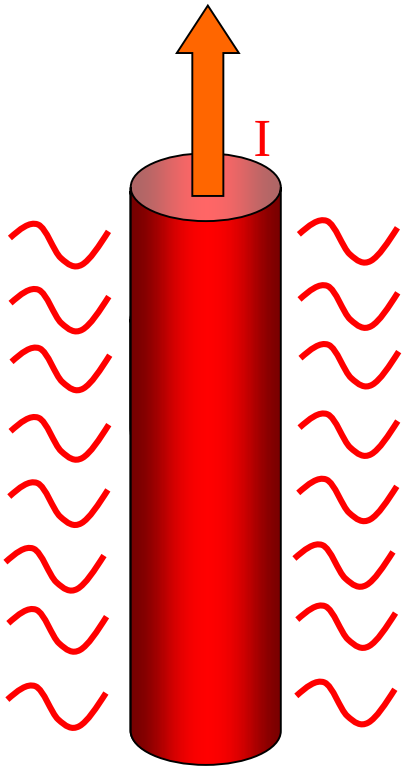
THDi = 67.9%



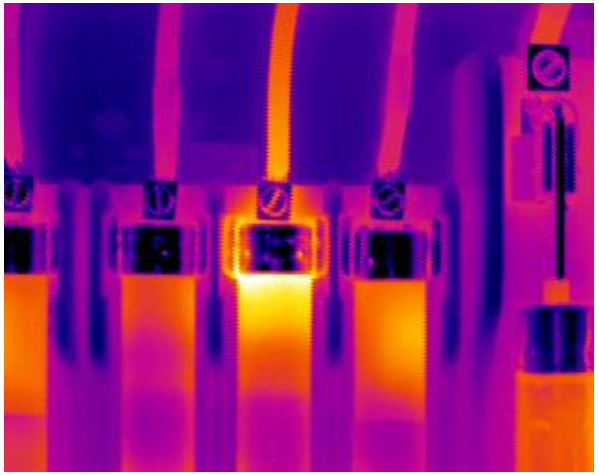


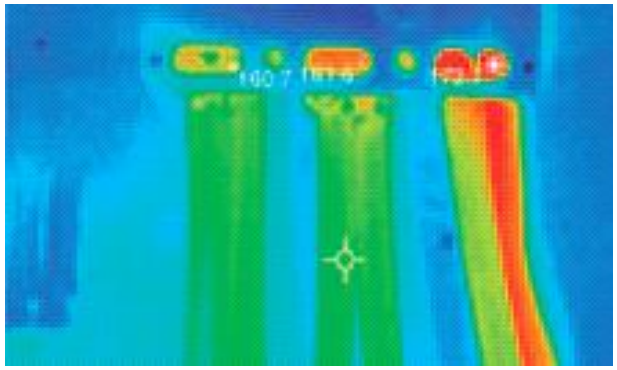
Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Efecto “Skin’



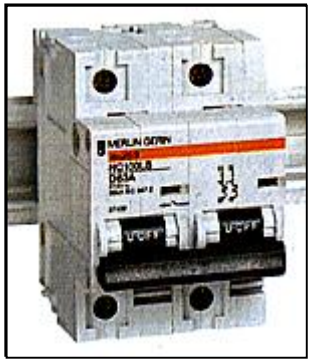
- Las corrientes armónicas tienden a circular a través de una fina corona externa del conductor, reduciendo la sección eficaz del mismo, y provocando, en definitiva, su sobrecalentamiento.
- 1 amperio del armónico de orden n provoca un calentamiento n^2 veces superior al de la misma corriente de la componente fundamental
- Este sobrecalentamiento es patente en conductores, maquinas eléctricas y protecciones

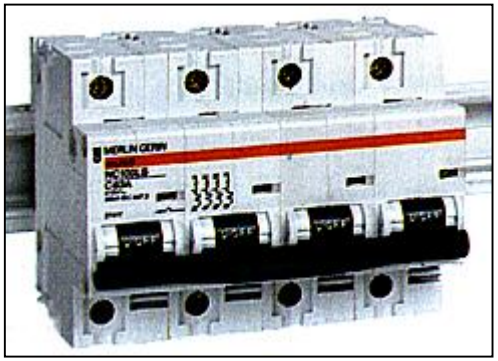




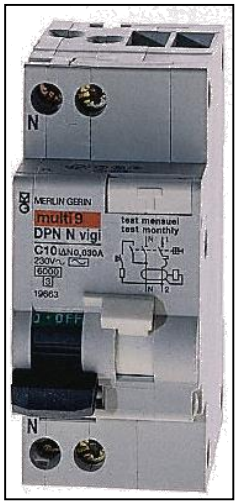
Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Disparo intempestivo de las protecciones





- Las protecciones magnetotérmicas disparan de forma intempestiva ante presencia de armónicos, aunque la corriente no exceda del valor de disparo, por dos posibles motivos:
  - Disparo térmico por sobrecalentamiento excesivo de la bilámina por el efecto skin
  - Disparo magnético por el excesivo valor de pico de la corriente



- Las protecciones diferenciales disparan de forma intempestiva ante la presencia de armónicos, porque las corrientes armónicas encuentran en las:

  - capacidades parásitas de la electrónica de entrada de las cargas no lineales
  - y en los filtros capacitivos de dichos dispositivos

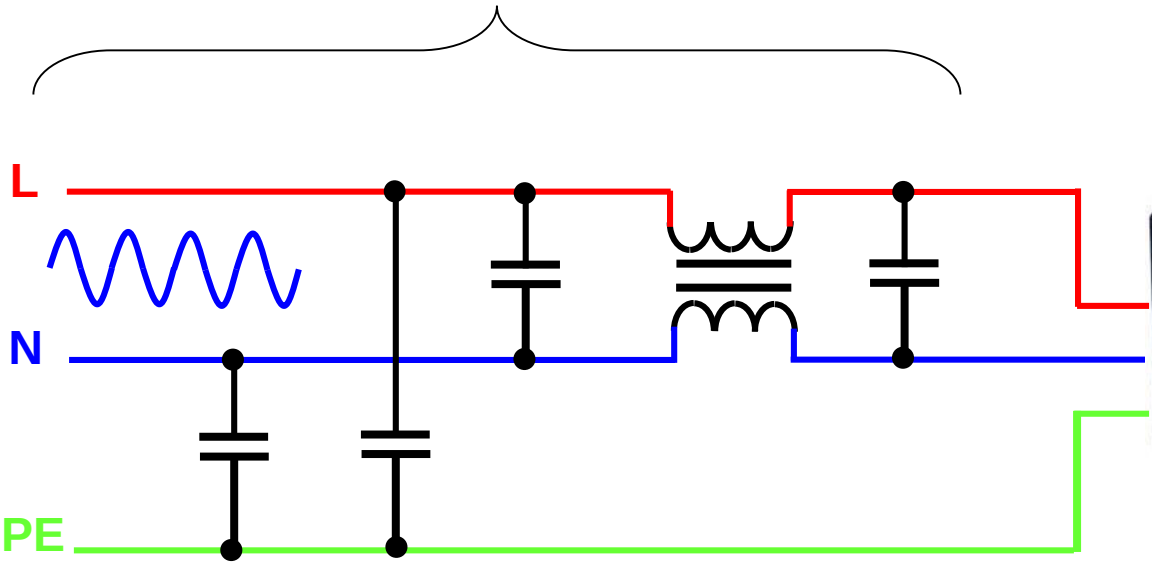
  una derivación de muy baja impedancia a tierra. Hay que tener en cuenta que la impedancia de un condensador disminuye de forma inversamente proporcional con la frecuencia:

$$Z = 1/wC = 1/(2pfC) \Rightarrow \text{si } f\uparrow \text{ entonces } Z\downarrow$$

Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Disparo intempestivo de las protecciones

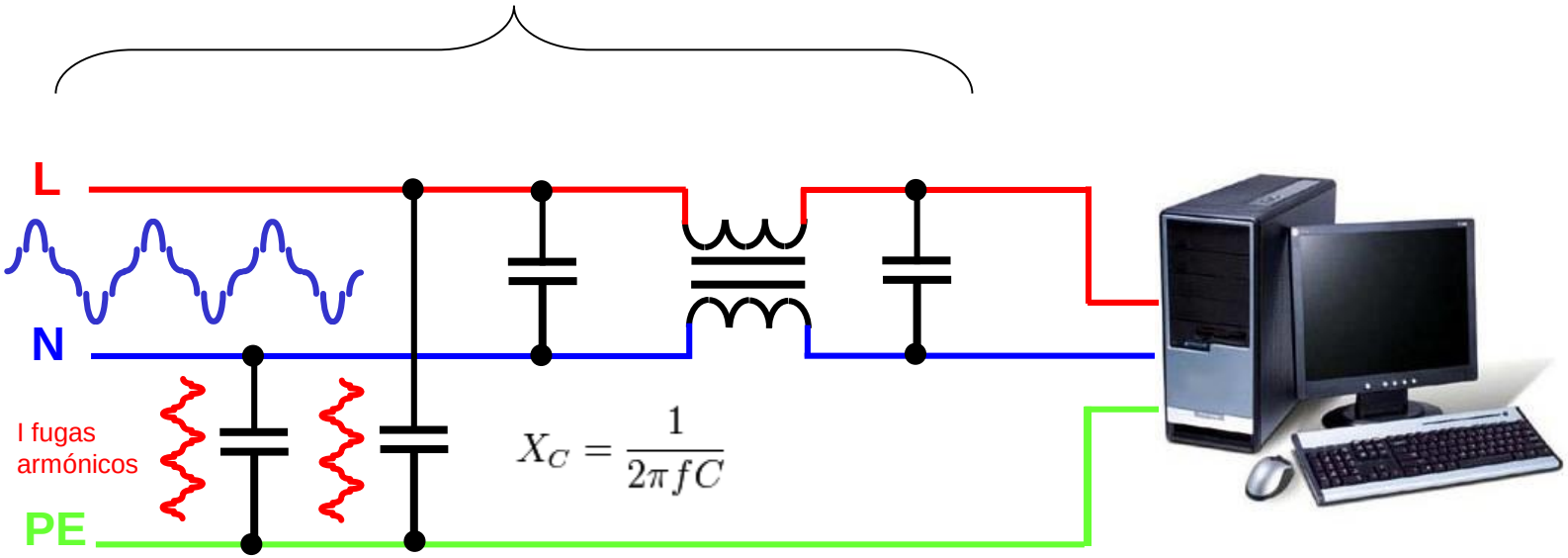
Filtro de entrada de las fuentes de alimentación de equipos informáticos



Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Disparo intempestivo de las protecciones

Filtro de entrada de las fuentes de alimentación de equipos informáticos

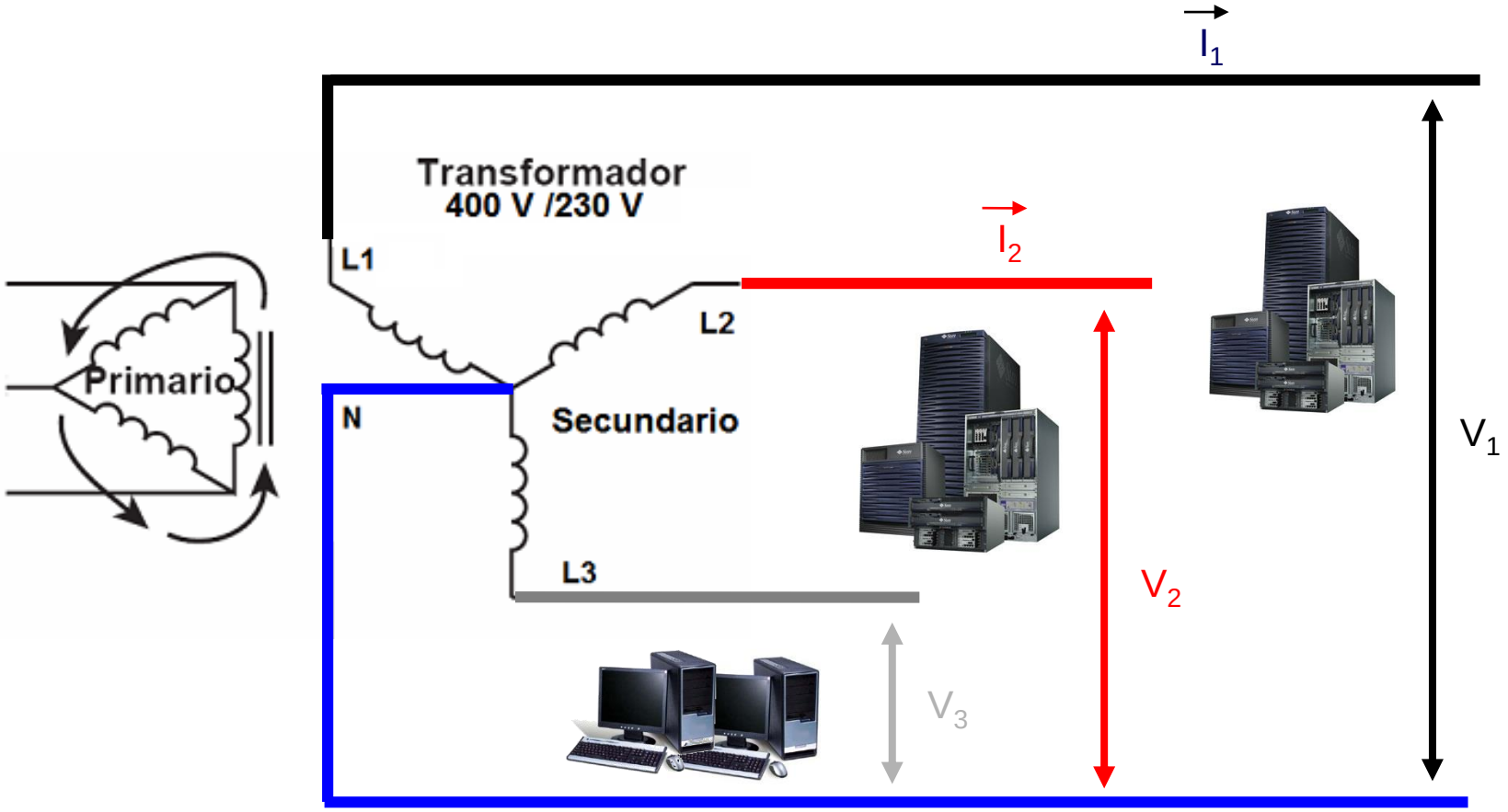


La impedancia de los condensadores disminuye a medida que aumenta la frecuencia. De esta forma, los armónicos de alta frecuencia dan lugar a corrientes a tierra a través de los condensadores, las cuales pueden dar lugar al disparo de las protecciones diferenciales

Perturbaciones. Armónicos. Problemas

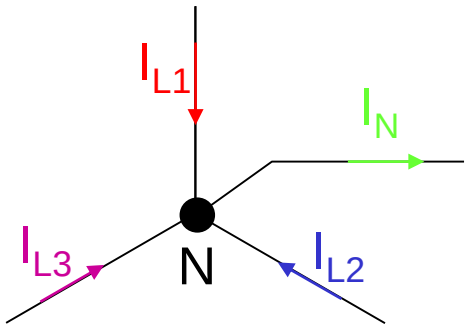
Corrientes armónicas en el neutr

¿Y en un sistemas con cargas no lineales?



Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Corrientes armónicas en el neutr

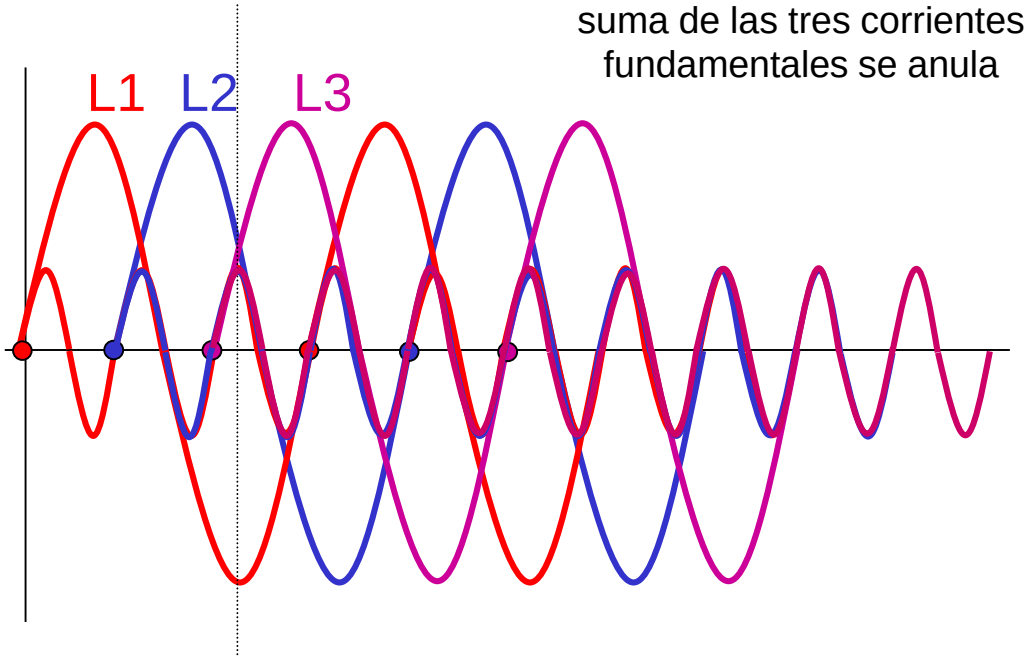


En todo momento,

$I_N = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$

(1º ley de Kirchoff)

Para cada instante t, la suma de las tres corrientes fundamentales se anula

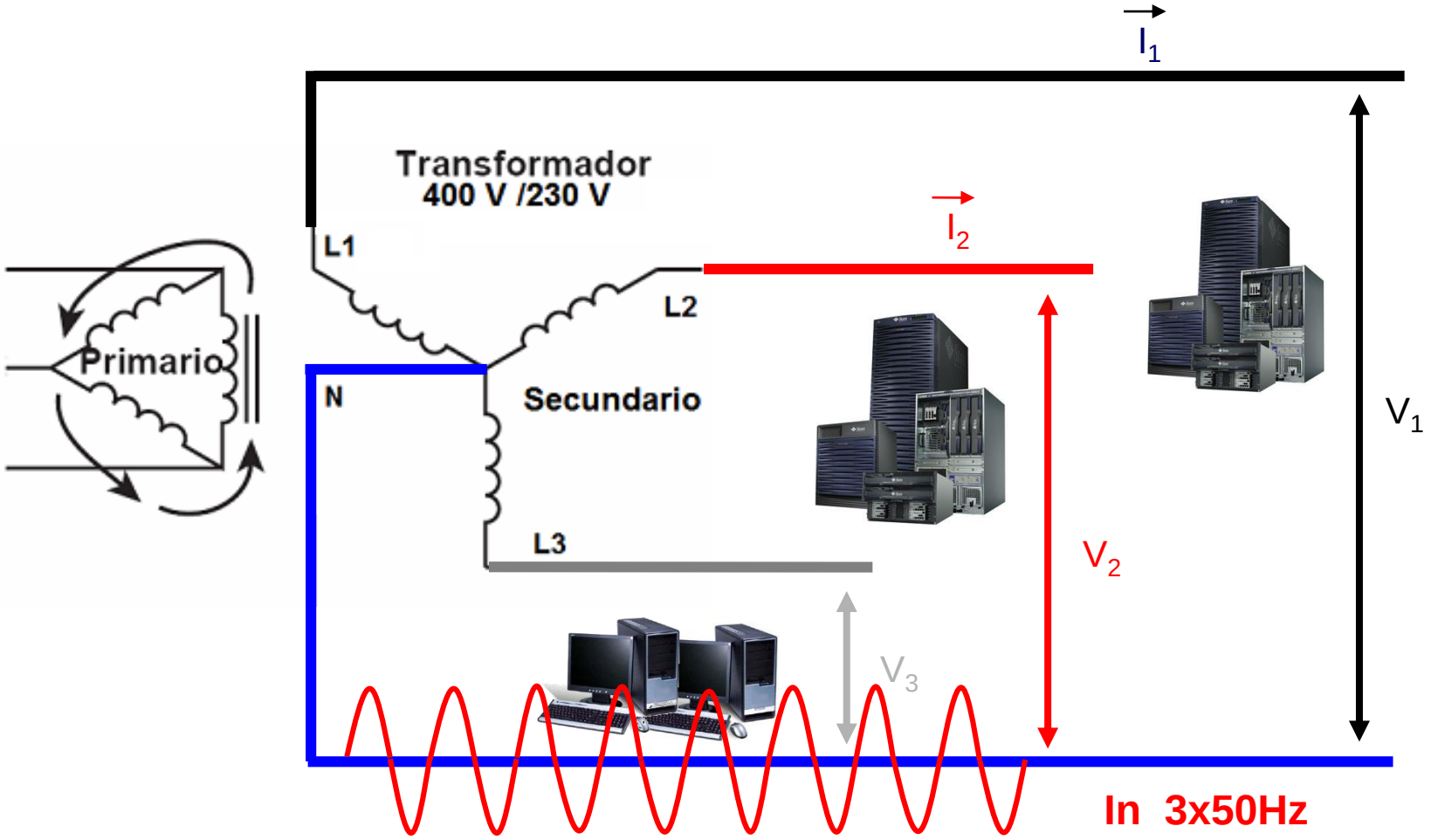


Para cada instante t, la suma de las tres corrientes triplen se refuerza en el neutro dando lugar a corrientes iguales o mayores a las de las fases

Lo producen los armónicos de secuencia cero (3 y sus múltiplos)

Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Corrientes armónicas en el neutr



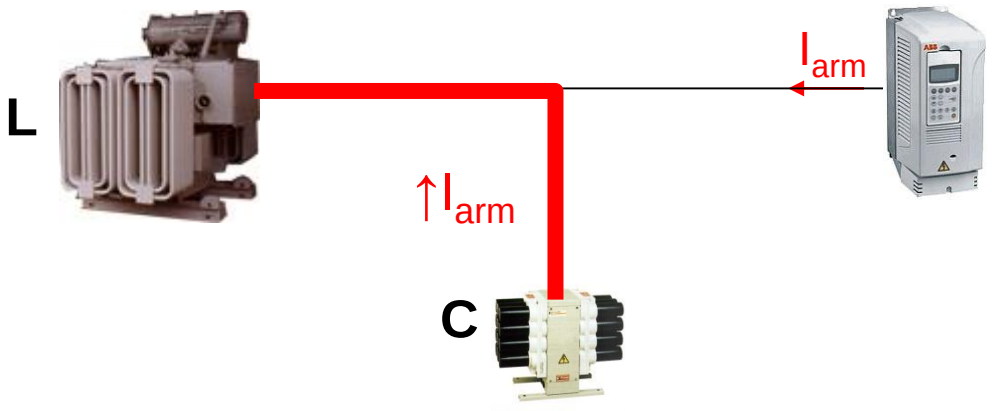
Perturbaciones. Armónicos. Problemas

Resonancia en las baterías de condensadore

- Los condensadores no generan armónicos (son cargas lineales), pero forman circuitos resonantes L-C con la inductancia del transformador de la instalación
- La característica de un circuito resonante es la de amplificar las corrientes cuya frecuencia coincide con la frecuencia de resonancia del circuito L-C:

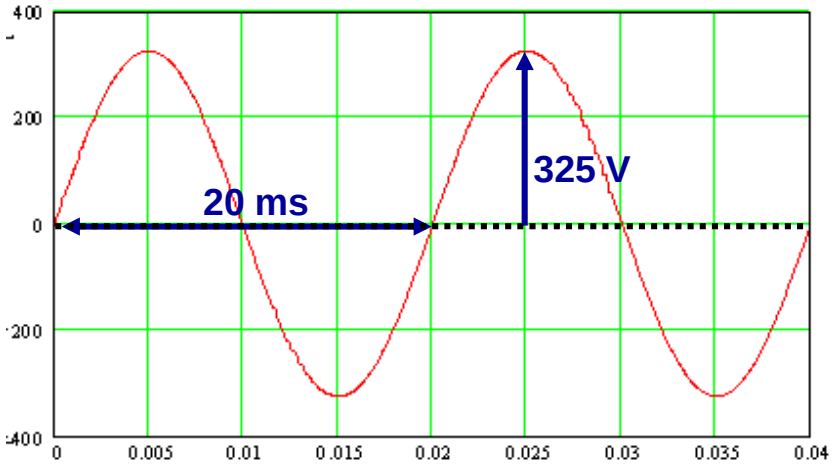
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Si en la instalación hay corrientes armónicas a la frecuencia de resonancia, se amplificarán de forma desproporcionada, provocando la apertura de las protecciones de la batería de condensadores, o su explosión



Análisis de la Calidad Eléctrica

Para analizar la Calidad Eléctrica tendremos que **Medir**

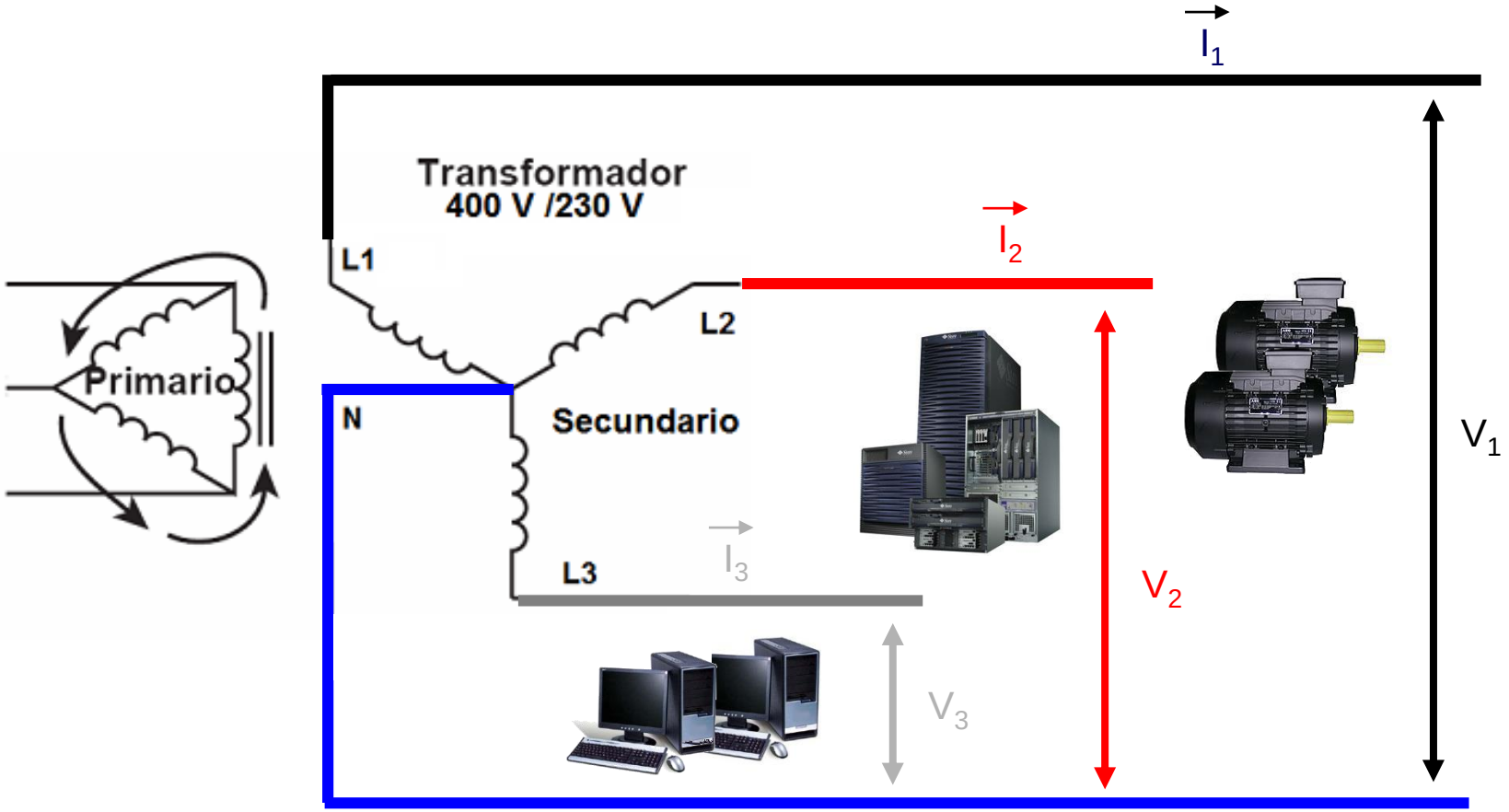


Pero, ¿qué medir?

- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- Variaciones de la forma de onda
- **Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico**
- …

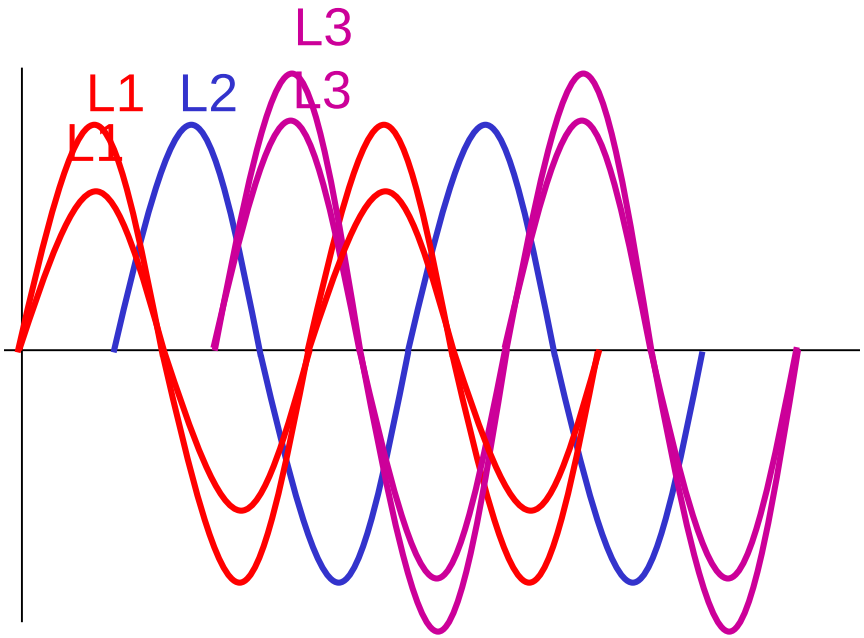
Desequilibrios entre fases. Medida

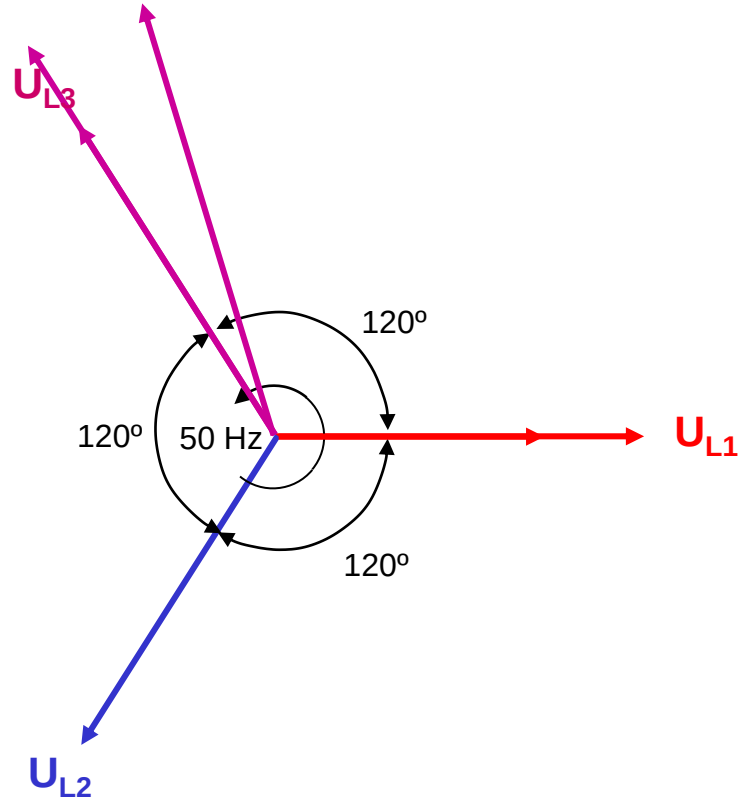
Grado de desequilibro y simetría



Desequilibrios entre fases. Medida

Grado de desequilibro y simetría



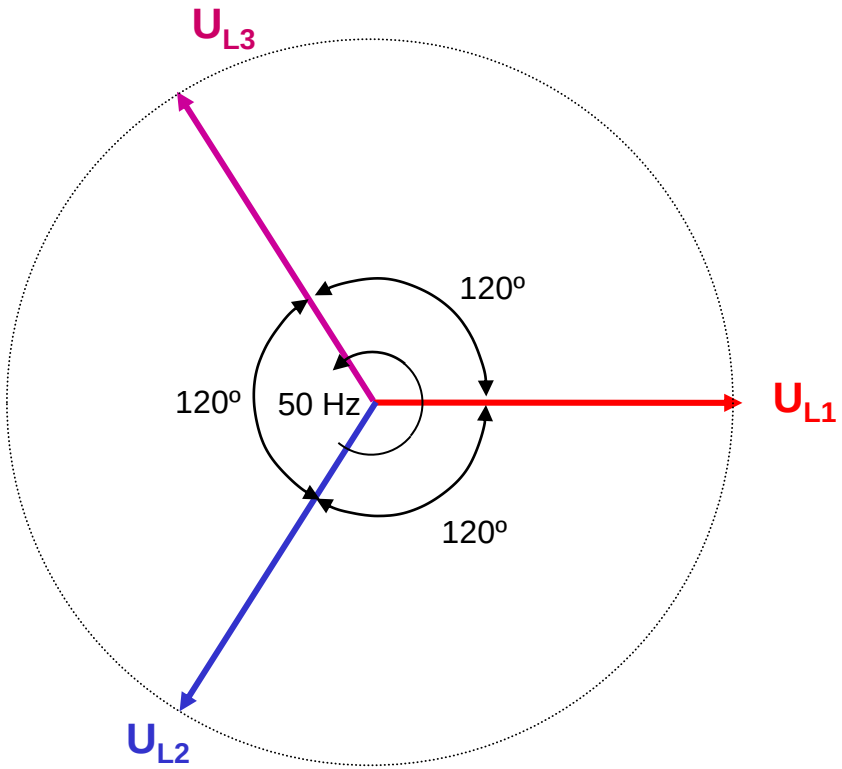


Tensiones desequilibradas

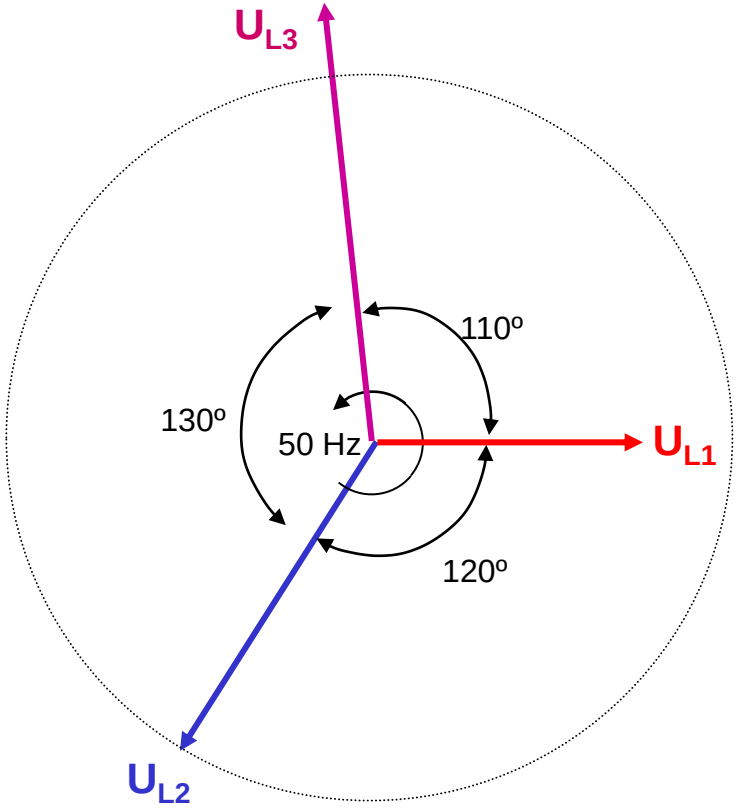
- **Distinta amplitud**
- **Desfase distinto de 120º eléctricos**

Desequilibrios entre fases. Medida

Grado de desequilibro y simetría



Sistema equilibrado

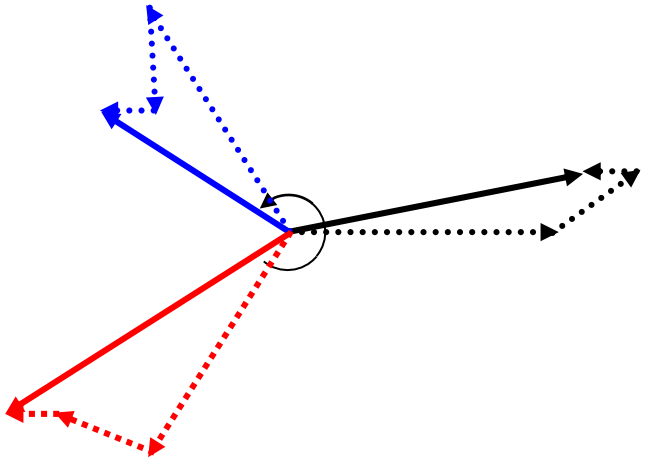


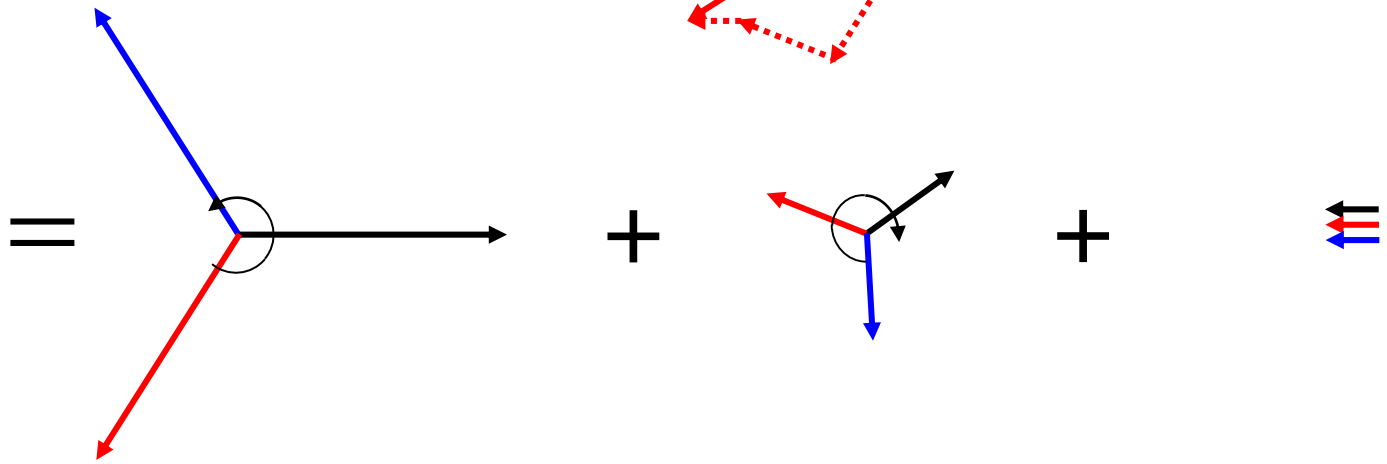
Sistema desequilibrado

Desequilibrios entre fases. Medida

Grado de desequilibro y simetría

¿Cómo medir el desequilibrio de una instalación? ¿qué parámetros se deben MEDIR?





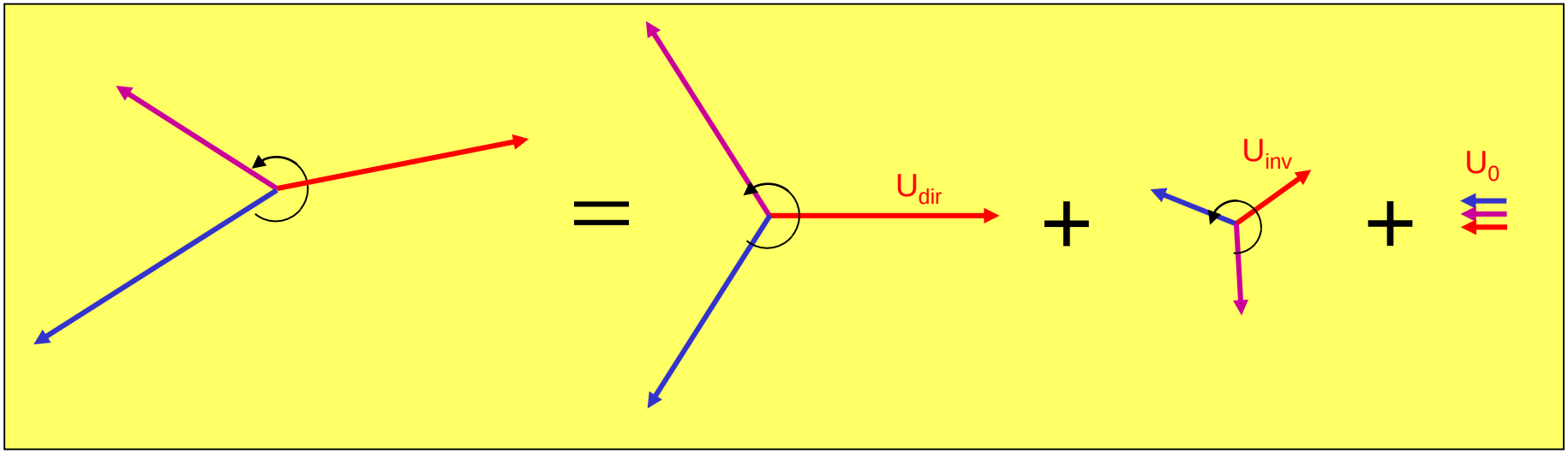
Secuencia positiva
(L1 – L2 – L3)

Secuencia negativa
(L1 – L3 – L2)

Secuencia cero
(L1=L2=L3)

Desequilibrios entre fases. Medida

Grado de desequilibro y simetría

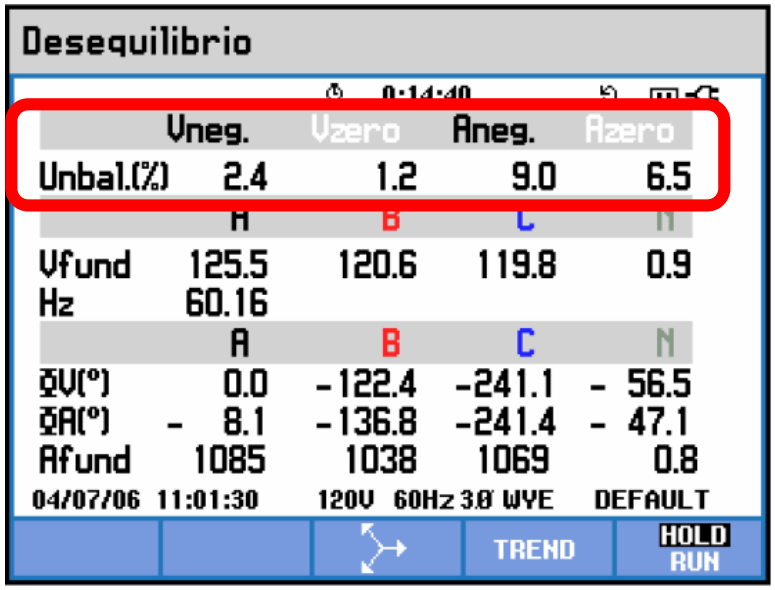


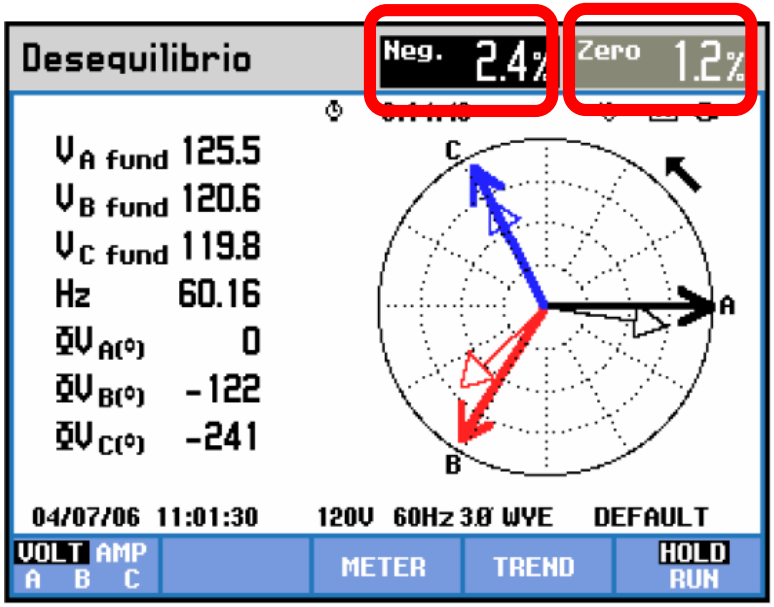
Grado de desequilibrio $\delta_d = \frac{U_{neg}}{U_{pos}} =$

Grado de asimetría $\delta_a = \frac{U_{cero}}{U_{pos}} =$

Desequilibrios entre fases. Medida

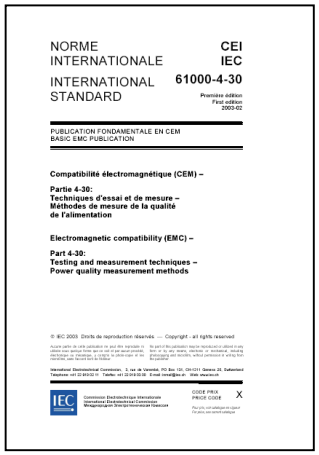
Grado de desequilibro y simetría





3.- Normativas aplicables

Normativas Calidad Eléctrica



NORME INTERNATIONALE
CEI IEC
INTERNATIONAL STANDARD
61000-4-30
Première édition
First edition
2003-02

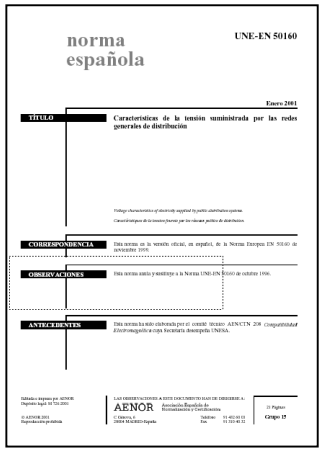
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 4-30:
Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 4-30:
Testing and measurement techniques –
Power quality measurement methods



norma española

UNE-EN 50160

Enero 2001

TÍTULO

Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución

Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems

Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 50160 de noviembre 1999.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 50160 de octubre 1996.

ANTECEDENTES

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

Editado e impreso por AENOR
Depósito legal: M 754-2001

© AENOR 2001
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

31 Páginas
Grupo 15

NORMATIVAS APLICABLES A LA

CALIDAD ELÉCTRICA

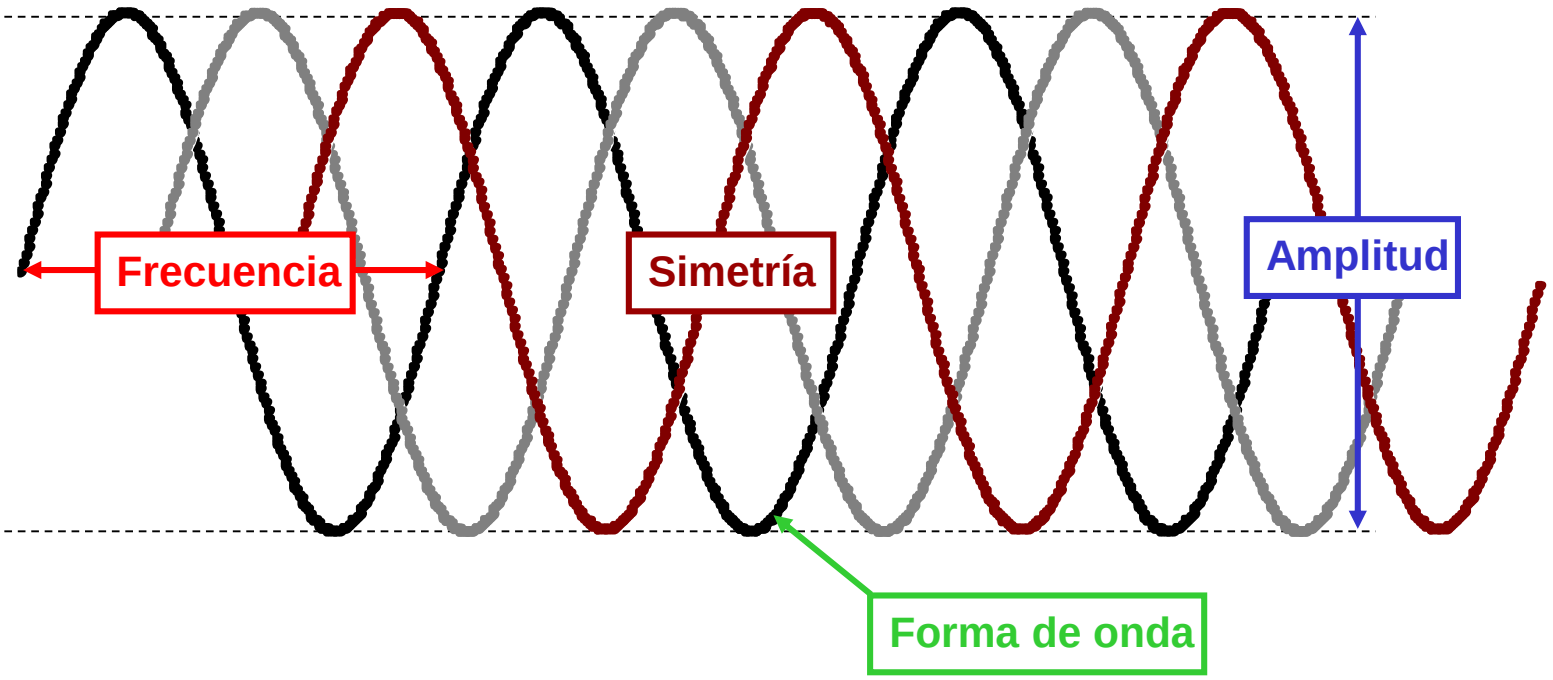
- **UNE-EN 50160**
- **CEI 61000-4-30**

EN-UNE 50160

Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución

Normativas Calidad Eléctrica EN50160

1.2 Objeto



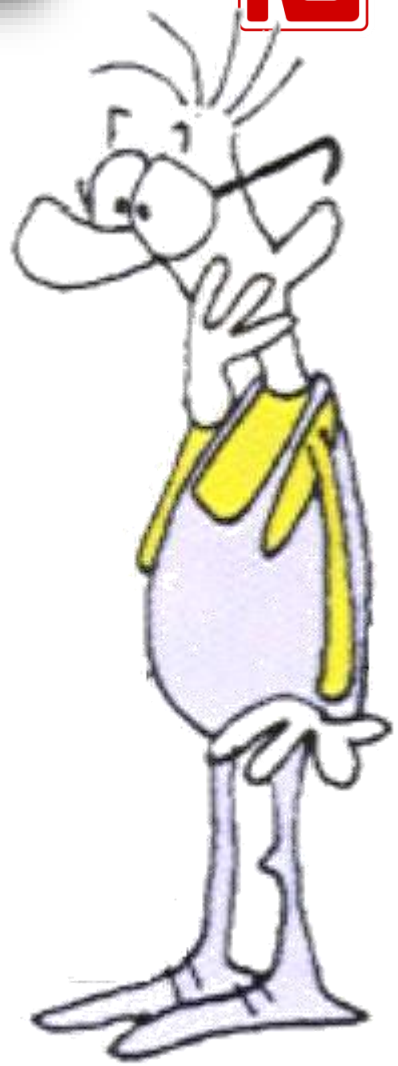
Da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar…

Normativas Calidad Eléctrica EN50160

Ejemplo de límites en la 50160

2.1 Variaciones de la tensión suministrada

- Para cada periodo de una semana, el 95% de los valores eficaces de la tensión promediados en 10 minutos deben situarse en un intervalo $U_n \pm 10\%$
- Para todos los periodos de 10 min, todos los valores promediados de valor eficaz de la tensión deben situarse en el intervalo Un + 10%/-15%



Normativas Calidad Eléctrica EN50160

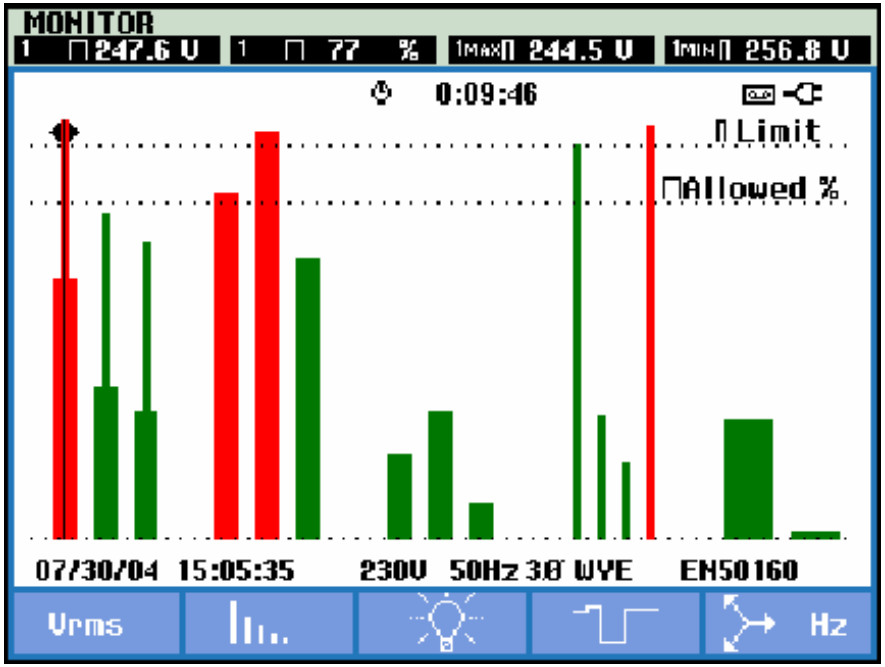
Tabla resumida

Perturbación	Medida	Límites	Intervalos de evaluación	Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s	±1%	al año	99,5%
		+4%/-6%		100,0%
Variaciones de la tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	±10%	cada semana	95%
		+10%/-15%		100,0%
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de U_N	Indicación 1		
Severidad del parpadeo	P_{lt} (2 horas)	<1	cada semana	95%
Huecos de tensión	Número de eventos (con U < 0,9U_N)	Indicación 2	al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con U <0,01U_N y t < 3 min)	Indicación 3		
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con U <0,01U_N y t > 3 min)	Indicación 4		
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con U>1,1U_N y t>10 ms)	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con U>1,1U_N y t<10 ms)	Indicación 6		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la U_{inv}/U_{dir} de cada ciclo durante 10 min	<2%	cada semana	95%
Tensiones armónicas	Para cada armónico i, promedio de la U_i/U_N en cada ciclo durante 10 min	Ver tabla 1		
	Promedio del THD de la tensión referido a U_N en cada ciclo durante 10 min	<8%		
Tensiones interarmónicas	Por estudiar			
Transmisión de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s	Ver gráfica 1	cada día	99%

Nº	Indicación
1	Escalones del 5% de U_N son normales. Escalones del 10% de U_N pueden producirse varias veces al día
2	De 10 a 1.000. La mayoría duran menos de 1 s y tienen una profundidad inferior al 60% de U_N
3	De 10 a 1.000. El 70% de las interrupciones duran menos de 1 s
4	De 10 a 50
5	Generalmente no sobrepasan los 1,5 kV AC
6	Generalmente no sobrepasan los 6 kV de cresta

Modo Monitor Norma EN50160

- Monitorización online de la acordancia con la EN50160
- Chequeo de:
  - Tensión RMS
  - Armónicos
  - Flicker
  - Fluctuaciones de tensión (caídas, bajadas, subidas, interrupciones y cambios rápidos de la tensión)
  - Desequilibrios
  - Frequencia
- Registros
  - Simplemente TODO!
  - Durante 1 semana!

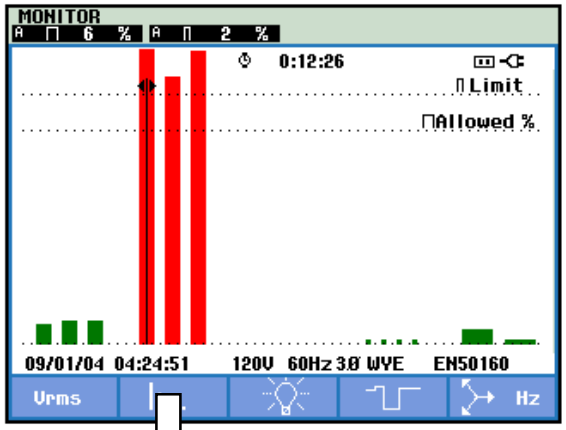


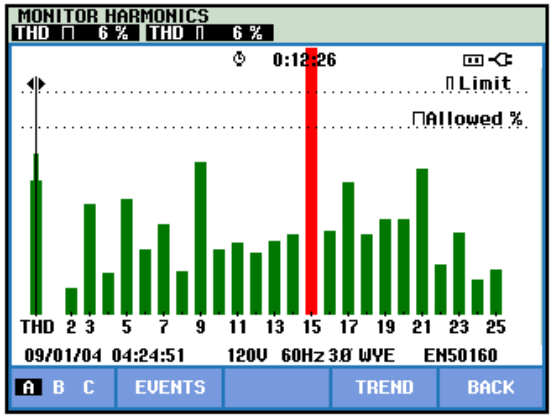
Modo Monitor Norma EN50160

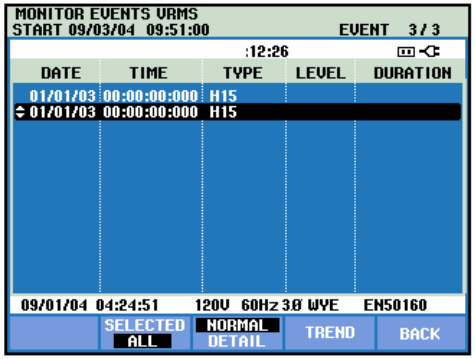
Armónicos en tensión fuera de la norma.

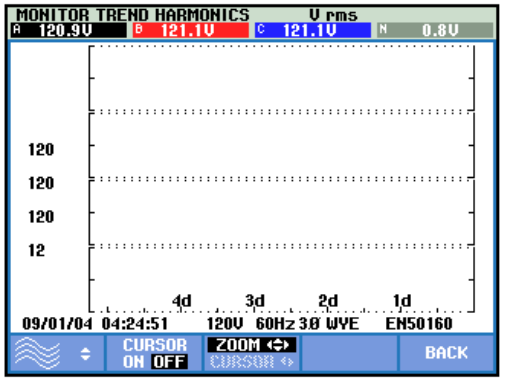
Pero…qué armónico es?

Y…cuando ocurrió?







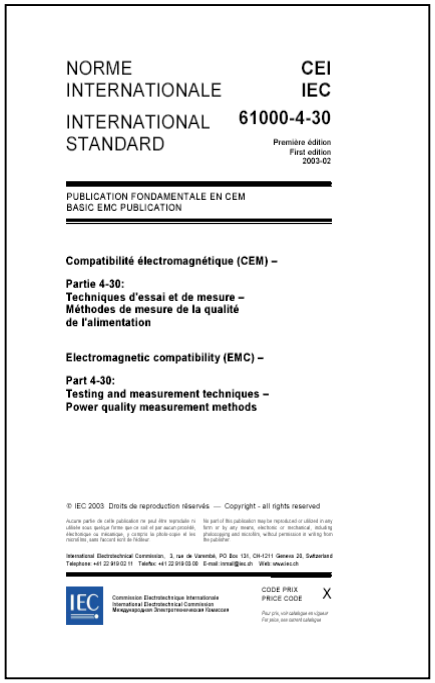


CEI 61000-4-30

TÉCNICAS DE ENSAYO Y DE MEDIDA – MÉTODOS DE MEDIDA DE LA CALIDAD ELÉCTRICA

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

1 Objeto



NORME INTERNATIONALE CEI IEC

INTERNATIONAL STANDARD 61000-4-30

Première édition
First edition
2003-02

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 4-30:
Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 4-30:
Testing and measurement techniques –
Power quality measurement methods

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

IEC Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

- Definir los métodos de medida, y la interpretación de los resultados, de los parámetros que definen la calidad eléctrica en los sistemas de alimentación a 50 Hz
- Se trata de definir métodos de medida que permitan obtener resultados fiables, repetibles y comparables, independientemente de los instrumentos utilizados y de sus condiciones ambientales
- Esta norma define procedimientos de medida, pero no establece los límites (ver la norma EN50160)
- Aunque la norma EN50160 no hace mención a esta norma, es previsible que en futuras revisiones sí se recoja este requisito

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

5 Parámetros de calidad eléctric

5.1 Frecuencia
5.2 Tensión de alimentación
5.3 Flicker
5.4 Huecos y sobretensiones
5.5 Interrupciones
5.6 Transitorios (indicación)
5.7 Desequilibrio
5.8 Armónicos
5.9 Interarmónicos
5.10 Transmisión de señales
5.11 Variaciones rápidas de la tensión (indicación)

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

4.1 Clases de requerimientos en la medic

- Para cada parámetro a medir, se establecen dos clases de requerimientos en la medida:

  - **Clase A**: Es el requerimiento de medida más exigente y se debe utilizar cuando sean necesarias medidas precisas. Por ejemplo, en aplicaciones de tipo contractual, para verificar el cumplimiento de normas, para dirimir disputas, etc.

  - **Clase S**: El nivel de exigencia es intermedio.

  - **Clase B**: El nivel de exigencia en la medida es menor. Resulta adecuado para realizar diagnosis o hacer un seguimiento de la calidad eléctrica en una instalación, etc.

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

5 Parámetros de calidad eléctric

		Clase A		Clase B
Parámetro	Medida	Intervalo	Exactitud	Procedimiento (y exactitudes)
Frecuencia	Hz	10 s	± 10mHz	A especificar por el fabricante
Tensión de alimentación	Vrms	10 ciclos	± 0.1%	± 0.5%
Flicker	Plt	CEI 61000-4-15		A especificar por el fabricante
Huecos, sobretensiones, interrupciones	Vrms, t, T	Vrms ½ ciclo (10 ms)	± 0.2%	Vrms ½ ciclo
Desequilibrio	%desequilibrio	Método de las componentes simétricas		A especificar por el fabricante
Armónicos e Interarmónicos	THD, Armónicos, Interarmónicos	CEI 61000-4-7		A especificar por el fabricante
Transmisión de señales	Vrms	Medida de interarmónicos (para f>3kHz ver CEI 61000-3-8)		A especificar por el fabricante
Flagging (advertencia de posible medida incorrecta por efecto de un hueco, sobretensión, o interrupción)	Aviso en pantalla	Requerido en las medidas de frecuencia, tensión, flicker, desequilibrio, armónicos e interarmónicos		No requerido
Sincronización horaria		A través de reloj externo, por GPS, etc.		A especificar por el fabricante

4.- Pérdidas de energía en el cableado

Pérdidas I2R en el cableado

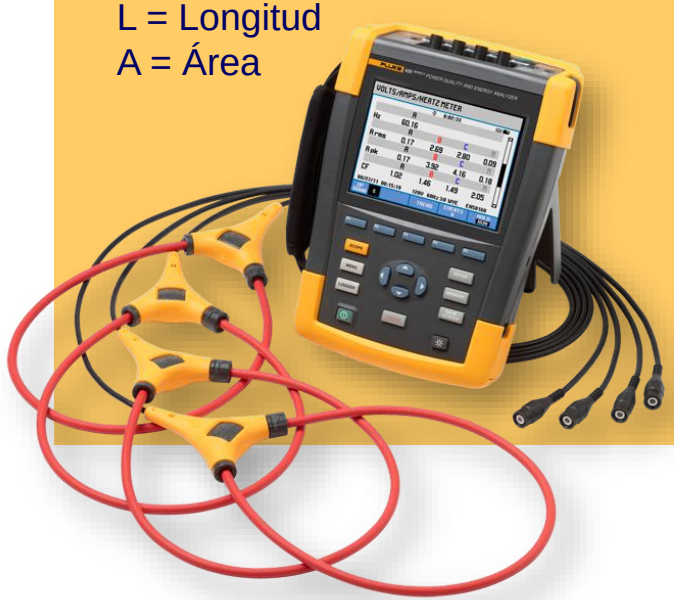
El desaprovechamiento sucede en la transferencia de energía entre las cargas, en el cableado: Pérdidas de I^2R

- Primera ley de Joule
- El calor producido (Q) en el conductor que transporta corriente eléctrica es proporcional al cuadrado de la corriente (I) multiplicado por la resistencia (R) del conductor durante un tiempo (t)
- A medida que la resistencia del conductor aumenta debido a la longitud del conductor, el diámetro general o resistividad, también aumentará el calor generado
- ¡Se puede medir de manera automática con el Fluke 435-II!

$$Q = I^2 R t$$

$$R = \frac{\rho L}{a}$$

Dónde,
R = Resistencia
ρ = Resistividad
L = Longitud
A = Área

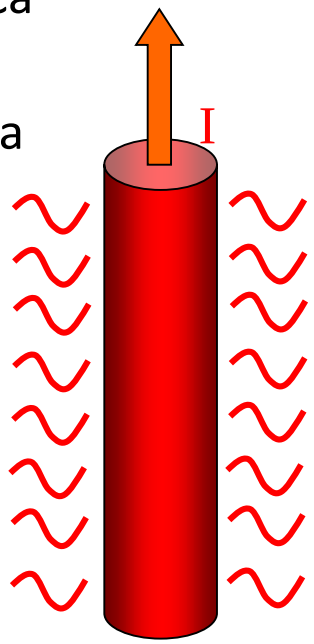


©2013 Fluke Corporation. No está permitido modificar ni reproducir este documento sin la autorización por escrito de Fluke Corporation.

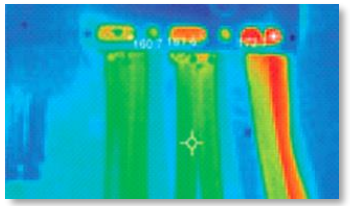
Consumos eléctricos
Ineficiencias en el Sistema de Distribución

La eficiencia del propio sistema de distribución eléctrica se ve afectada por diferentes problemáticas asociadas a la calidad eléctrica

- Cargas que consumen comparativamente más potencia activa
- Cargas que consumen potencia reactiva
- Cargas que generan armónicos de corriente
- Sistemas trifásicos desequilibrados
- Corrientes por el neutro

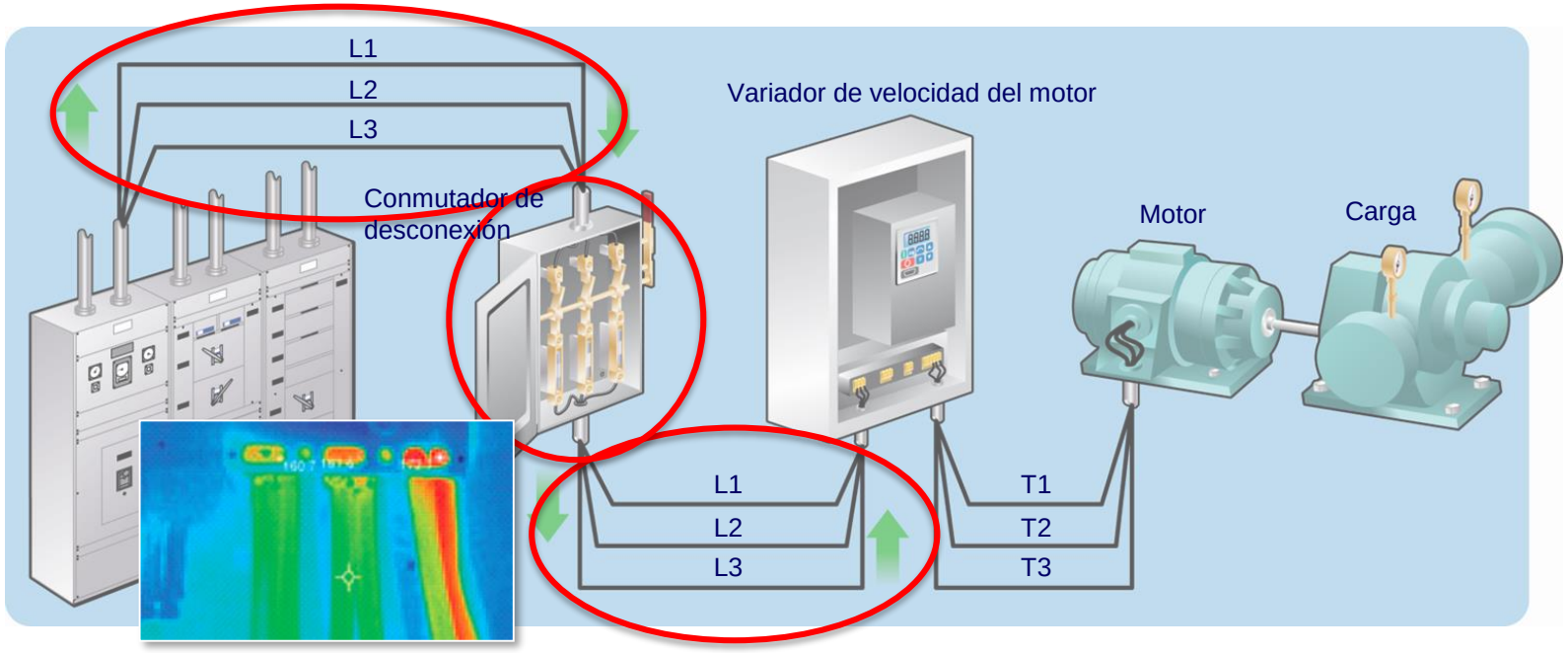


Todas estas circunstancias dan lugar a mayores pérdidas por efecto Joule en las líneas de distribución del usuario, lo que se traduce en un incremento de la factura eléctrica en el apartado de potencia activa.



Pérdidas I2R en el cableado

Dónde medir, con el Fluke 435-II



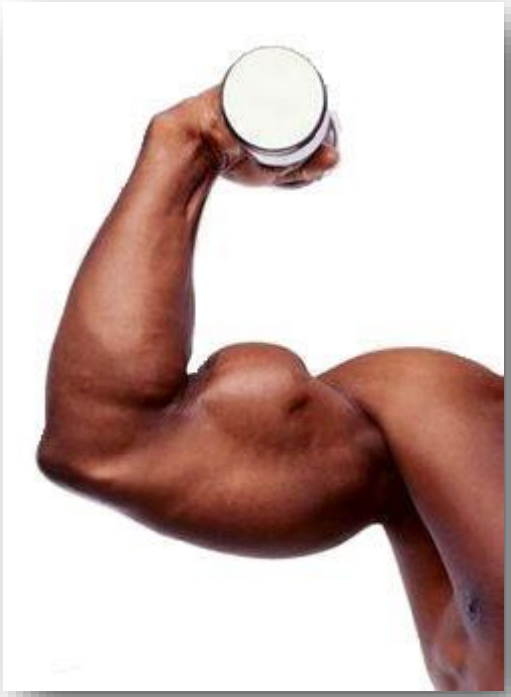
Los armónicos de corriente generados por los variadores de velocidad del motor, las corrientes y tensiones de desequilibrio o el tamaño inadecuado del cableado puede ocasionar un incremento en las pérdidas de energía a lo largo de los cables que alimentan el variador de velocidad del motor en forma de más calor, que puede dañar la instalación y aumentar la factura de electricidad.

©2013 Fluke Corporation. No está permitido modificar ni reproducir este documento sin la autorización por escrito de Fluke Corporation.

Medida de Potencia

Varios modos de medir la potencia:

- Potencia Clásica
- Potencia IEEE 1459-2010
- Potencia unificada



Potencia Clásica (Steinmetz 1897)

Tres fases:

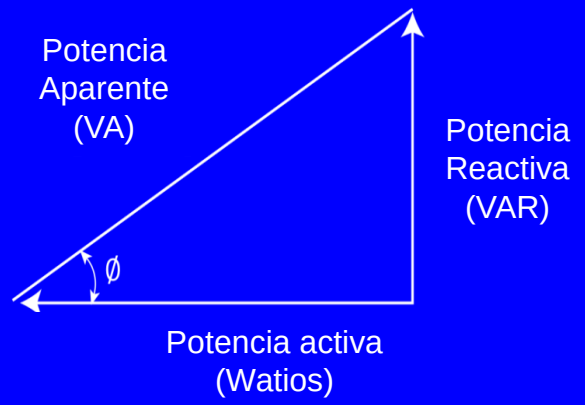
Activa: $P_T = P_A + P_B + P_C$

Reactiva $Q_T = Q_A + Q_B + Q_C$

Aparente: $S_T = S_A + S_B + S_C$ (aritmética)

$S_T = \sqrt{(P_T^2 + Q_T^2)}$ (vector)

Una potencia reactiva mayor implica que se requiere una mayor potencia por parte del generador e instalación (VA)



Potencia Clásica (Steinmetz 1897)

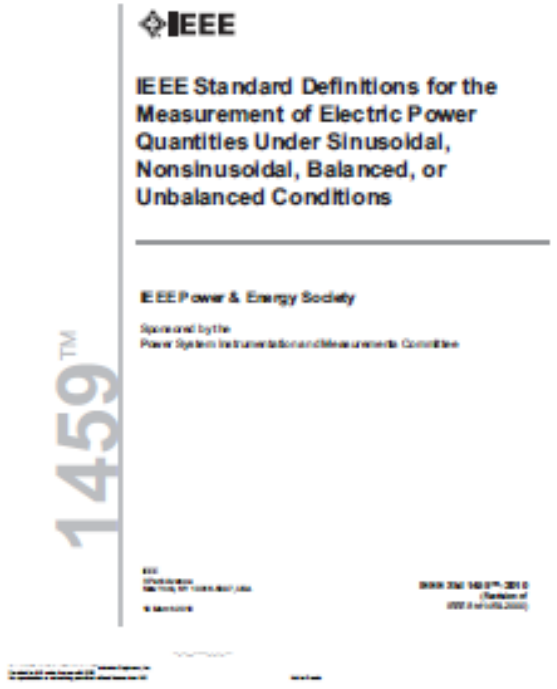
La Potencia Clásica funciona bien si :

- El sistema es senoidal
  - El contenido de armónicos es despreciable
- El desequilibrio es despreciable
  - Desequilibrio por amplitud
  - Desequilibrio por desfase

Potencia IEEE 1459-2010

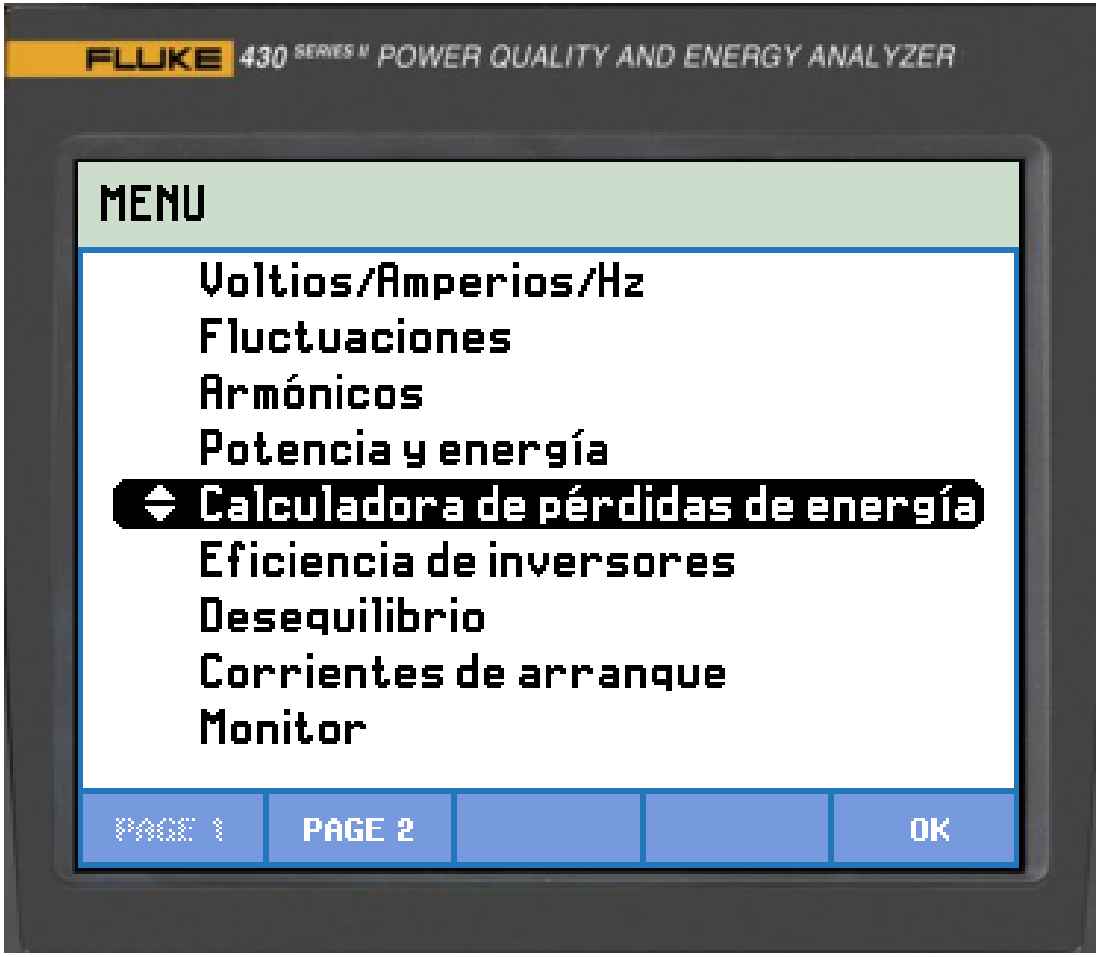
Originalmente publicada en 2000 :

Proyecto de Definiciones estándar para la Medida de las variables de Potencia Eléctrica bajo situaciones de redes senoidales, no senoidales, equilibradas o desequilibradas



Actualizado: 2010

Calculadora de pérdidas de energía



 ©2013 Fluke Corporation. No está permitido modificar ni reproducir este documento sin la autorización por escrito de Fluke Corporation.

Calculadora de pérdidas de energía

Con un Analizador de calidad eléctrica Fluke 435, usted puede medir y calcular el consumo y el desaprovechamiento simultáneamente.

Incluso puede cuantificar cuánto desaprovechamiento proviene de cada uno de los factores que hemos revisado, gracias a un algoritmo patentado conocido como Potencia Unificada.

Desglose de potencia total

Tensión: $u(t) = u+(t) + u_U(t) + u_H(t)$

Corriente: $i(t) = i+(t) + i_R(t) + i_U(t) + i_H(t)$

Potencia: $p(t) = u(t).i(t) = p_E(t) + p_R(t) + p_U(t) + p_H(t)$

Dónde;
Sub U = Desequilibrio
Sub H = Armónicos
Sub R = Reactivo
Sub E = Efectivo

Efectivo (Activo)

Reactivo

Desequilibrio

Armónico

©2013 Fluke Corporation. No está permitido modificar ni reproducir este documento sin la autorización por escrito de Fluke Corporation.

Calculadora de pérdidas de energía

Identifica, cuantifica y monetiza las pérdidas de energía globales, incluyendo los armónicos, el desequilibrio, el factor de potencia y el cableado

Potencia activa

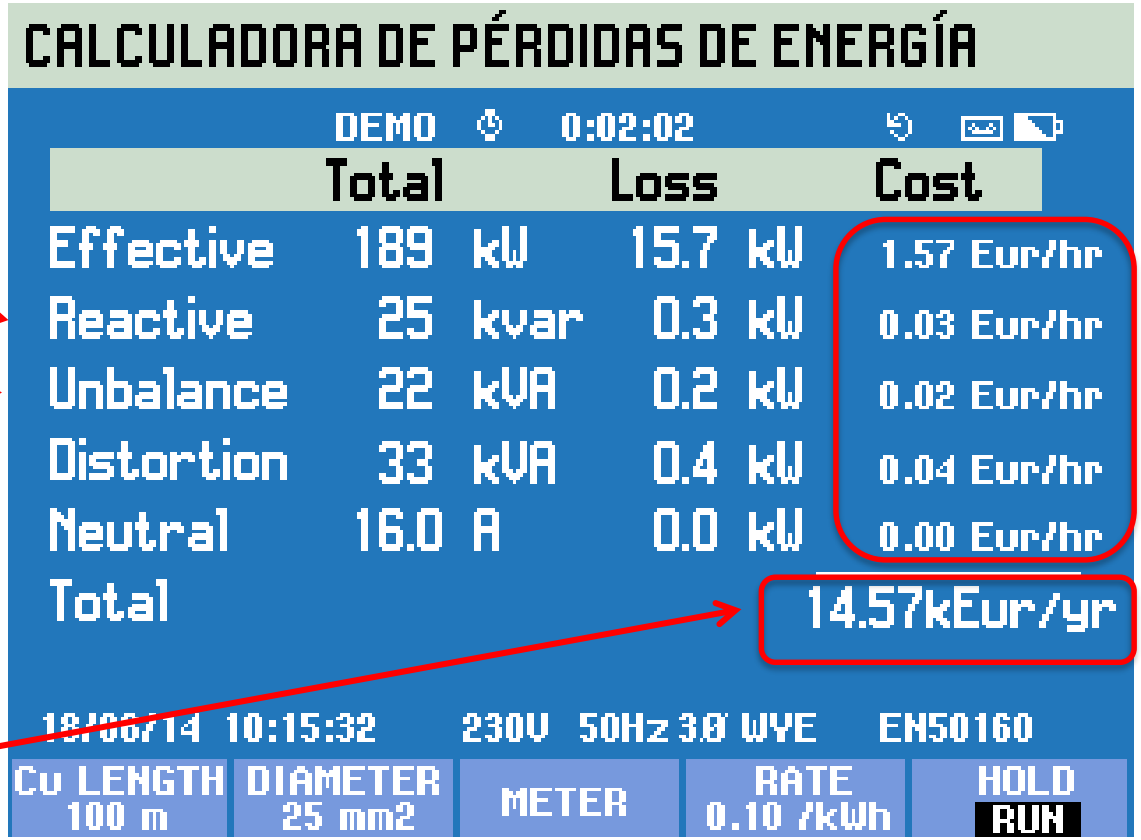
Potencia reactiva

Potencia asociada al desequilibrio

Potencia asociada a los armónicos

Corriente del neutro.

Costes económicos asociados a las pérdidas en los cables.



 ©2013 Fluke Corporation. No está permitido modificar ni reproducir este documento sin la autorización por escrito de Fluke Corporation.

Familia actual de registradores trifásicos

	F1732	F1734	F1736	F1738	F434	F435	F437	F438
Canales de tensión	3	3	3	3	4	4	4	4
Canales de corriente	3	3	4	4	4	4	4	4
Registro de Consumos Eléctricos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Análisis de Calidad Eléctrica	No	No	Clase S	Clase S	Clase S	Clase A	Clase A	Clase A
Modo monitor EN50160	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Analizador de motores NEMA	No	No	No	No	No	No	No	Sí
Captura forma de onda de eventos	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Calculadora de pérdidas de energía	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Conectividad inalámbrica	Opcional	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Frecuencia s. eléct. soportados	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60/400 Hz	50/60 Hz

Calidad eléctrica y pérdidas de energía en el cableado

¡Muchas gracias!