

# Calidad Eléctrica y Eficiencia Energética



*Roberto Poyato*

Responsable de Soporte Técnico Fluke Ibérica e Italia

1

Ponente

*Roberto Poyato*

Responsable Soporte Técnico Fluke Ibérica & Italia

Licenciado en Ciencias Físicas especialidad Electrónica  
Más de 27 años de experiencia en las áreas del  
mantenimiento, instrumentación e instalaciones de  
potencia

[roberto.poyato@fluke.com](mailto:roberto.poyato@fluke.com)

2

## **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.- Eficiencia Energética. Potencia y Energía
- 5.- Soluciones Fluke

3

## **1.- Introducción a la Calidad Eléctrica**

4

## 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 pérdidas 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

5

## 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

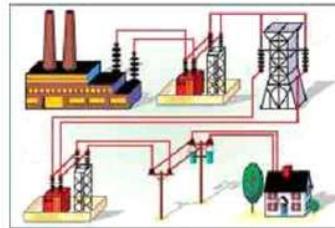
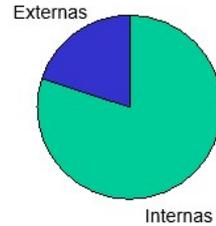
- Caídas y subidas de tensiones
- Transitorios
- Interferencias
- Distorsión armónica
- Desequilibrio de tensiones y corrientes

6

## Introducción

### Origen de las perturbaciones

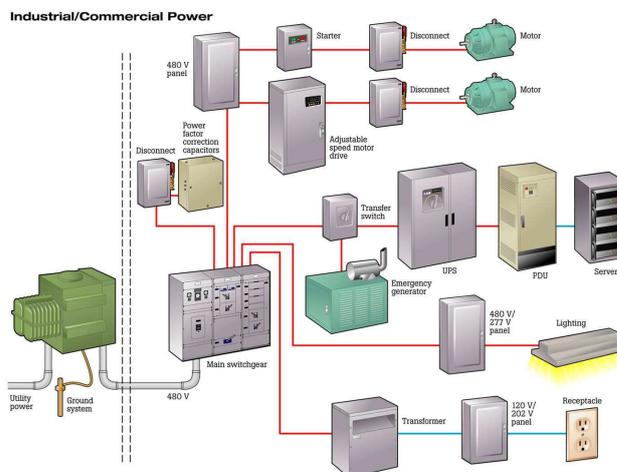
- Causas internas:** Aproximadamente el 80% de las perturbaciones eléctricas se originan en la propia instalación del usuario.
  - Entre las causas potenciales se incluyen el arranque y parada de grandes cargas, cableado deficiente, sobrecargas, cortocircuitos y armónicos.
- Causas externas:** Alrededor 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
- Cargas 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
- “Reconectores”
- Equipos que fallan o presentan arcos de tensión
- Caídas de líneas
- Demanda excesiva (reducciones de tensión)

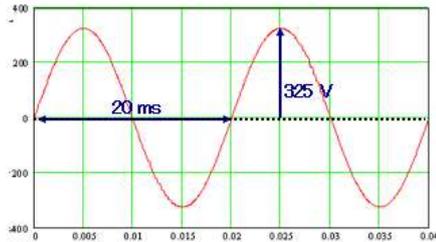


*Ejemplo: Cuando los sistemas de reconexión automática operan de forma repetida, por ejemplo, debido a la caída de ramas de árboles en las líneas de distribución, causan fluctuaciones de tensión tal como se muestra en el gráfico anterior*

## 2.- Análisis de la Calidad Eléctrica. Perturbaciones

## Caracterización de la alimentación eléctrica:

Forma de onda senoidal definida por:



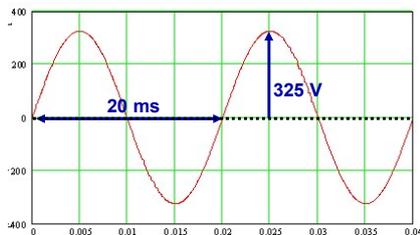
- Función matemática:

$$u(t) = 325 \text{ sen } (2\pi \cdot 50 \cdot t)$$

- Amplitud nominal: **325 V**
- Frecuencia nominal:  $f = 1/T = 50 \text{ Hz}$
- Periodo nominal:  $T=20 \text{ ms}$

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

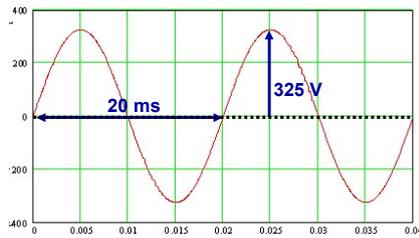
Pero, ¿qué medir?



- 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
- ...

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

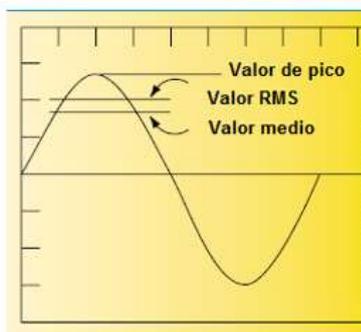
Pero, ¿qué medir?



- **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
- ...

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



En relación a la amplitud podemos medir:

- Valor de pico
- Valor<sub>RMS</sub>
- Valor medio

Para una onda senoidal perfecta tendremos:

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

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

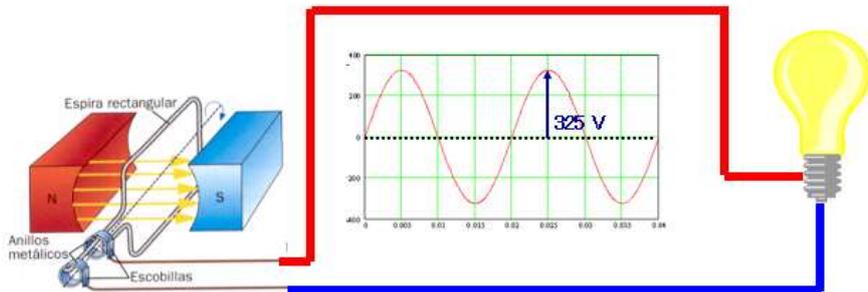
El valor más ampliamente utilizado es el Valor<sub>RMS</sub> o Valor Eficaz

## Valor eficaz. Medida y Cálculo

FLUKE®

Para un sistema de alterna tenemos:  $S = V_{\text{eficaz}} \times I_{\text{eficaz}}$

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

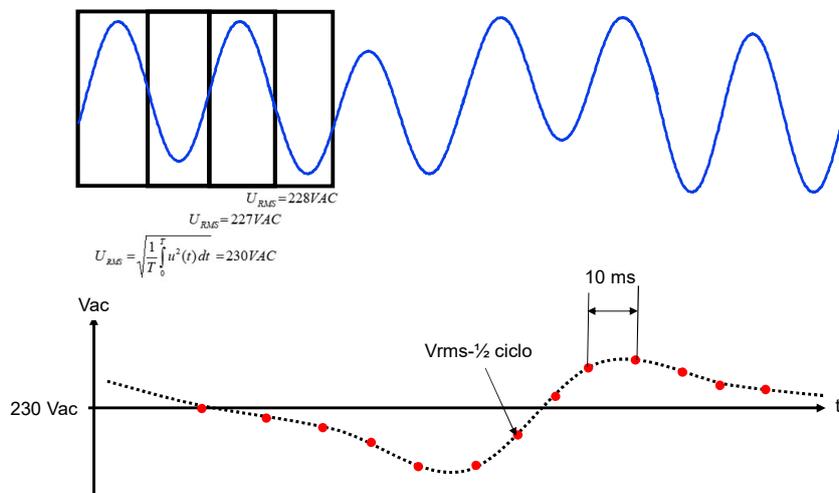


15

## Valor eficaz. Registro

FLUKE®

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

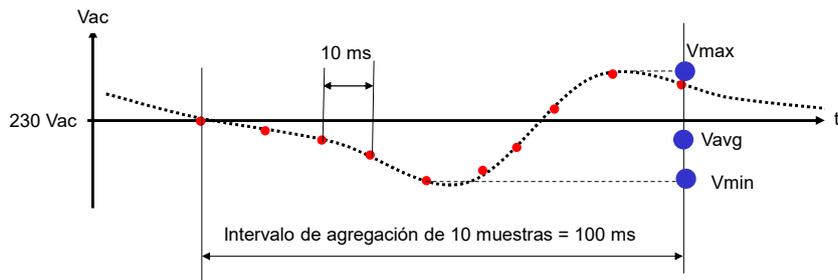


16

## Valor eficaz. Registro

### Registro del Valor Eficaz. Intervalos de agregación

- Si registraríamos la tensión cada 10 ms, en 1 semana de registro tendríamos en memoria  $7 \times 24 \times 60 \times 60 \times 100 = 60.480.000$  muestras
- Para ahorrar memoria, se definen los intervalos de agregación de medidas



- Si el intervalo de agregación es de 10 min, se promedian  $10 \times 60 \times 100 = 60.000$  ciclos, y en una semana sólo se vuelcan a memoria  $7 \times 24 \times 6 = 1.008$  ternas de puntos

## Valor eficaz. Registro

### Registro del Valor Eficaz. Consideraciones



- En los registros de tensión eficaz hay que conocer:

- Cómo se actualiza la medida
  - $V_{rms-1 \text{ ciclo}}$
  - $V_{rms-1/2 \text{ ciclo}}$
  - $V_{rms-1/4 \text{ ciclo}}$
- Cuál es el intervalo de agregación
  - 1 segundo
  - 10 segundos
  - 1 minuto
  - 10 minutos

- Los valores normalizados (EN50160) son:

- $V_{rms-1/2 \text{ ciclo}}$
- 10 minutos

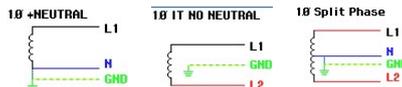
- Para la potencia: 15 minutos

## Análisis de la calidad Eléctrica

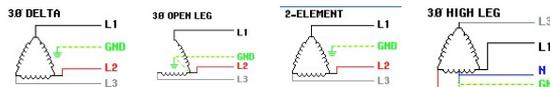
FLUKE®

Sistema de distribución:

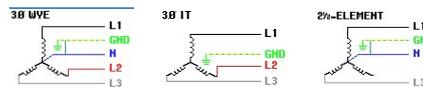
Sistemas monofásicos



Sistemas trifásicos  
3 hilos (triángulo)



Sistemas trifásicos  
4 hilos (estrella)



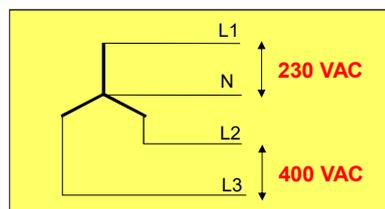
19

## Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

Sistema de distribución:

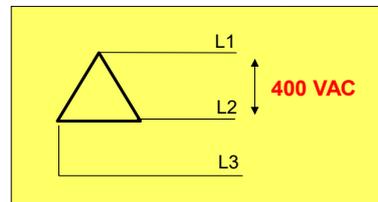
4 conductores (3F + N)



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

20

## Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

**Estudios de Energía**

Seleccionar la topología del sistema de medida:

**Estudios de Carga:**  
El usuario establece la tensión nominal para crear lecturas de kVA

The image shows six screenshots of the Fluke software interface. The first three screenshots show the 'Configuration' screen for a '3-φ Wye' system, with a list of topology options: Single Phase IT, Single Phase IT Split Phase, 3-φ Wye IT, 3-φ Wye balanced, 3-φ Delta, 3-φ 2 Element Delta, and 3-φ Delta Open Leg. The fourth screenshot shows the 'Study Type' set to 'Load Study' and 'Nominal Voltage' set to '115V'. The fifth and sixth screenshots show the 'Configuration' screen with the '3-φ Wye' topology selected.

21

## Configuración de un registro

FLUKE®

Configurar el instrumento de acuerdo a dichos intervalos de promediado

**Logger: Configurar** 3-φ en estrella 04/03/2016 15:58

Nombre: **Ejemplo de configuracion**

Duración: **1 semana**

Calcular media: **cada 10 minutos**

Intervalo de demanda: **cada 15 minutos**

Coste de la energía: **0.100 €/kWh**

Descripción: **Seminario eficiencia energetica**

**Hecho**

22

## Configuración de un registro. Sondas de corriente

FLUKE®

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

23

## Configuración de un registro. Sondas de corriente

FLUKE®

Igualmente existen sondas de corriente estándar con conector BNC y sondas inteligentes



Sonda con conector BNC estándar  
Se le debe indicar al equipo el modelo de sonda o el tipo de salida que proporciona



Sonda con conector inteligente autodetectable  
El equipo reconoce automáticamente la sonda

24

## Configuración de un registro. Sondas de corriente

FLUKE®

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

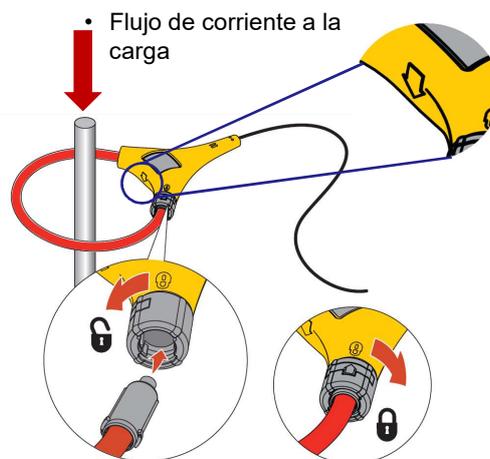
25

## Configuración de un registro. Instalación sondas de corriente

FLUKE®



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



26

## Configuración de un registro. Instalación cables de tensión

FLUKE®



Cables con conectores tipo pinzas cocodrilo



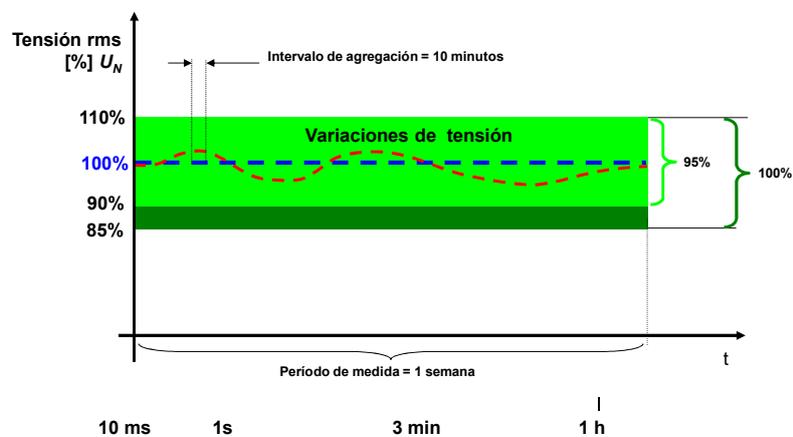
Cables con conectores magnéticos para su instalación en protecciones eléctricas

**MP1-MAGNET PROBE 1**  
(Conjunto de cuatro elementos)

27

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

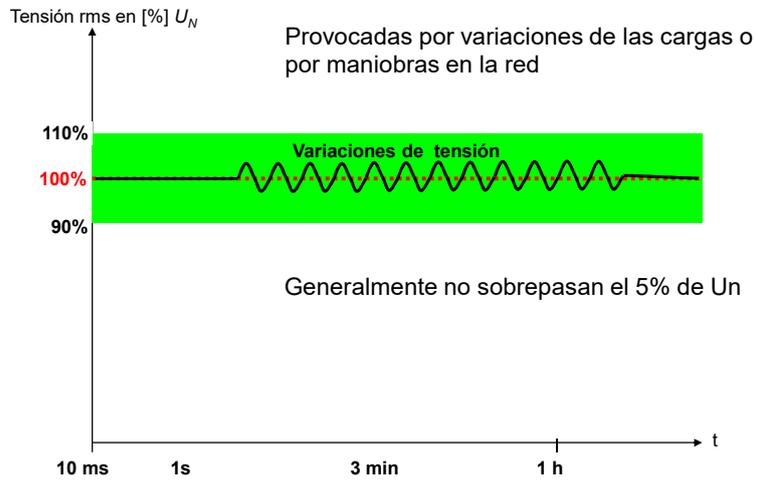


28

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Fluctuaciones rápidas

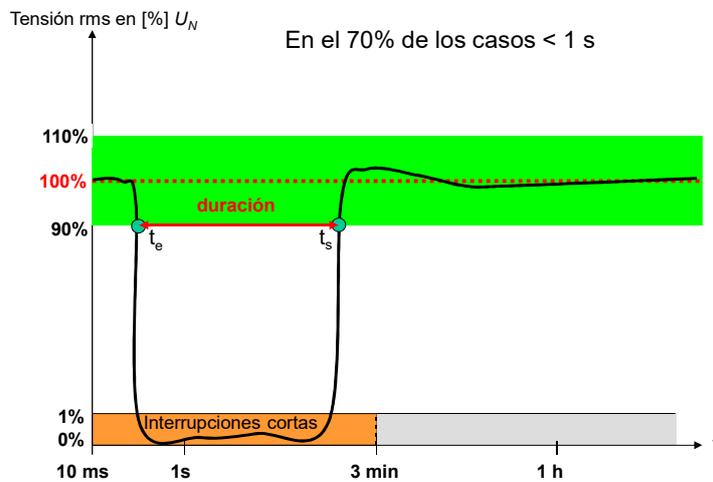


29

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Interrupciones cortas

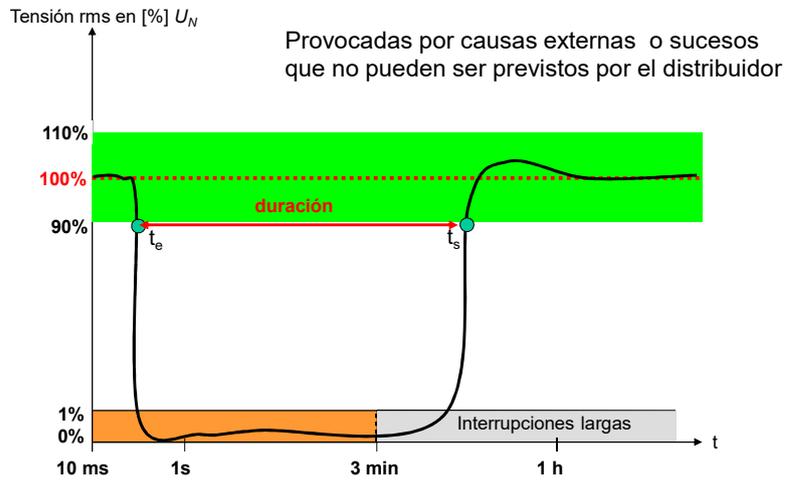


30

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Interrupciones largas

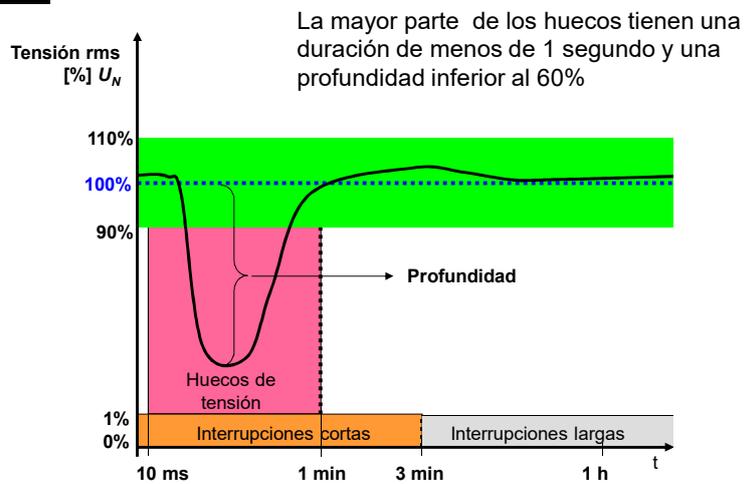


31

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Huecos



32

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Causas y efectos de los huecos de tensión

#### 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.

33

## Ejemplos de análisis de problemas asociados a caídas de tensión

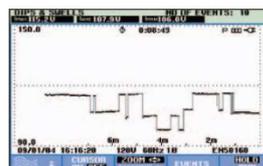
FLUKE®

Los huecos de tensión y las interrupciones de la tensión pueden dar lugar a problemas en muchos tipos de cargas.

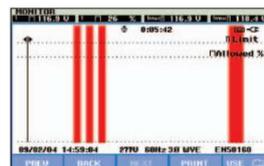
Detectar estos eventos es muy fácil con un analizador de calidad eléctrica ya que estos suelen tener memorizados los límites que definen estas perturbaciones. Otros analizadores de Fluke van más allá y permiten comparar las medidas en tiempo real con la norma de calidad eléctrica EN50160

DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
08/01/04	16:14:00	A	DIP	107.7 V 0.000002500
08/01/04	16:14:00	A	DIP	107.8 V 0.000002500
08/01/04	16:14:20	A	DIP	113.1 V 0.000002500
08/01/04	16:15:10	A	DIP	108.8 V 0.000002500
08/01/04	16:15:10	A	DIP	108.4 V 0.000002500
08/01/04	16:15:10	A	DIP	112.5 V 0.000002500
08/01/04	16:15:16	A	DIP	108.4 V 0.000002500
08/01/04	16:15:16	A	DIP	107.8 V 0.000002500
08/01/04	16:15:17	A	DIP	110.6 V 0.000002500
08/01/04	16:15:17	A	DIP	107.2 V 0.000002500

Registro de eventos en forma de tabla con fecha, hora, duración etc.



Visualización de las perturbaciones en forma de tendencia RMS



Visualización en tiempo real del comportamiento de la red en comparación con la norma EN50160

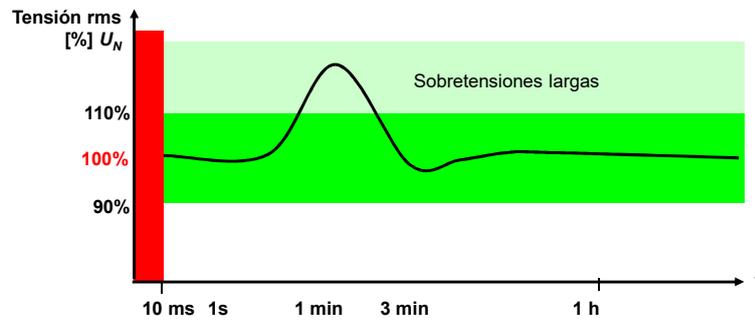
34

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Sobretensiones temporales

Generalmente  $U_{\text{eficaz}} < 1,5 \text{ kV}$



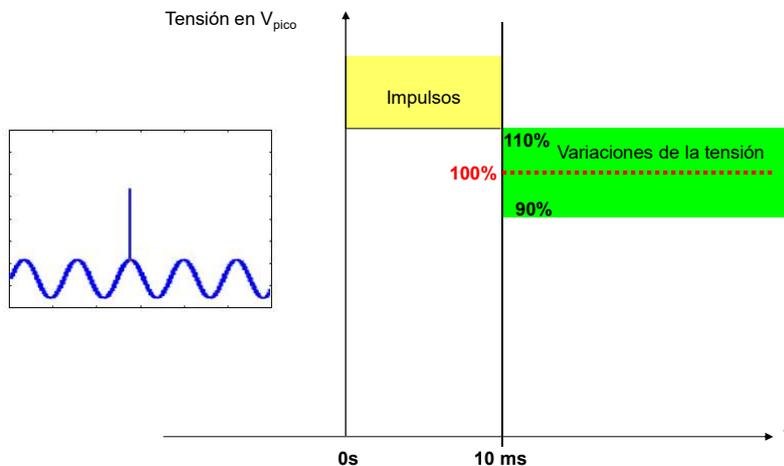
35

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Sobretensiones transitorias . Transitorio

Generalmente  $U_{\text{cresta}} < 6 \text{ kV}$

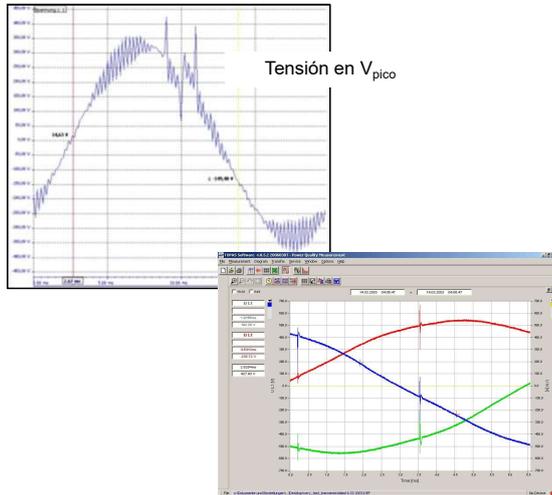


36

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Sobretensiones transitorias . Transitori



#### Características:

- Aleatorio
- corto (  $\mu s$  )

#### Causas:

- Descargas atmosfericas
- Rayos
- Maniobras con interruptores

#### Efectos:

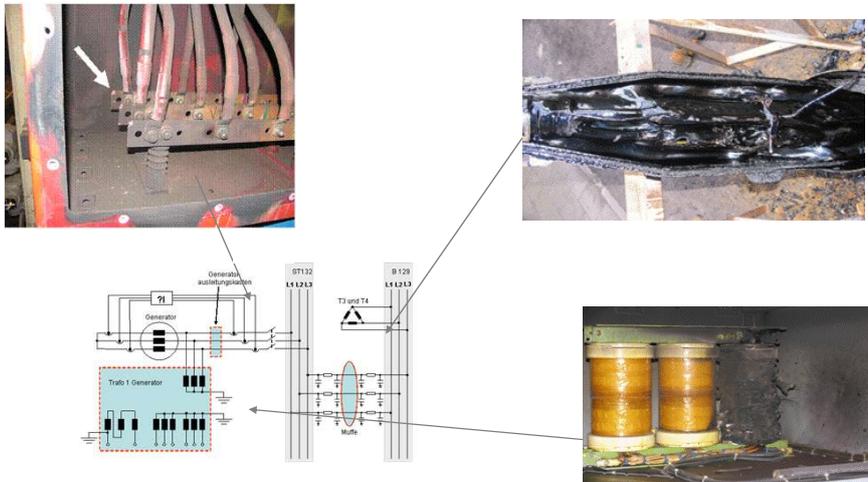
- Daños a equipos
- Paros imprevistos
- Perdida de datos

37

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Daños del aislamiento

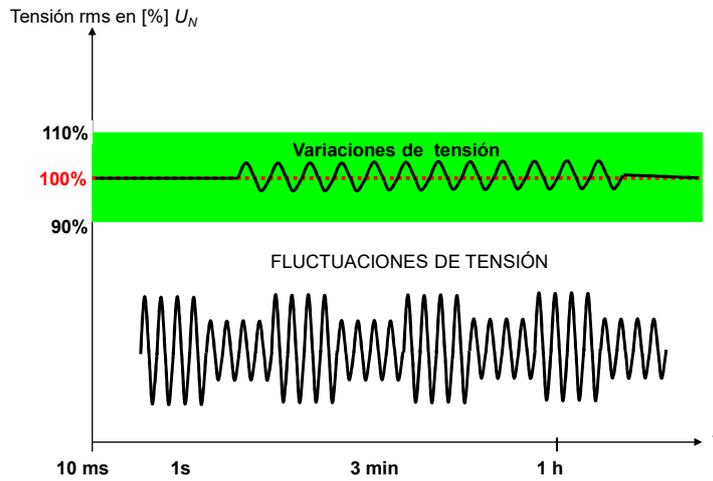


38

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Fluctuaciones rápidas

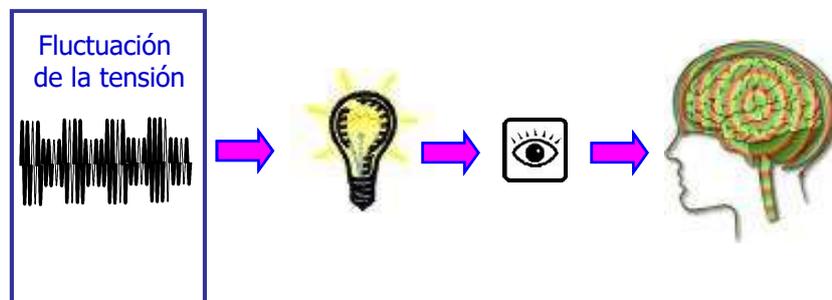


39

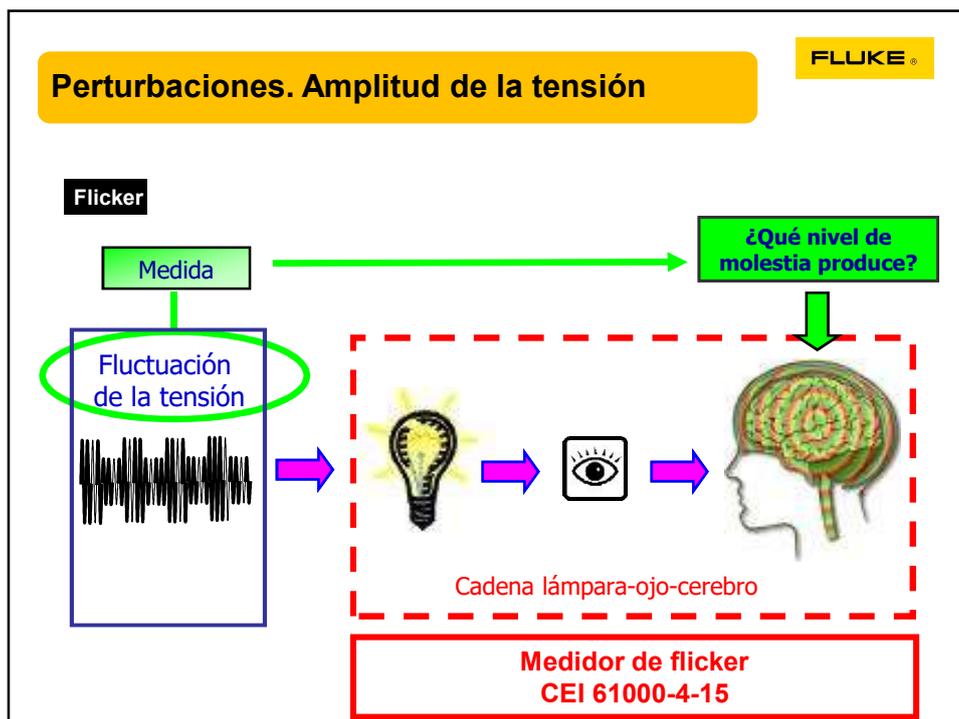
## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### Flicker



40



41

**FLUKE®**

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

<b>FLICKER</b>	“Impresión de <b>inestabilidad de la sensación visual</b> debida a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo” (EN 50160)
<b>Fluctuación de tensión</b>	“Serie de variaciones de tensión o variación cíclica de la envolvente de la tensión”
<b>Evaluación</b>	(CEI 61000-4-15) Intensidad de la molestia : <b>P<sub>st</sub></b> : Severidad de corta duración (10 minutos) <b>P<sub>lt</sub></b> : Severidad de larga duración (2 horas)
<b>Límites</b>	<b>P<sub>st</sub> ≤ 1</b> <b>P<sub>lt</sub> ≤ 1</b> $P_{lt} = \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st_i}^3}{12}\right)}$

42

## Perturbaciones. Amplitud de la tensión

FLUKE®

### 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



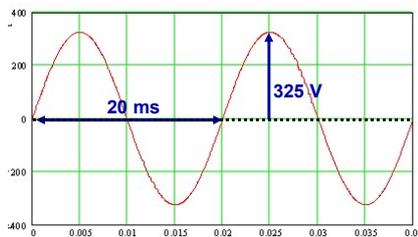
43

## Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

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
- ...

44

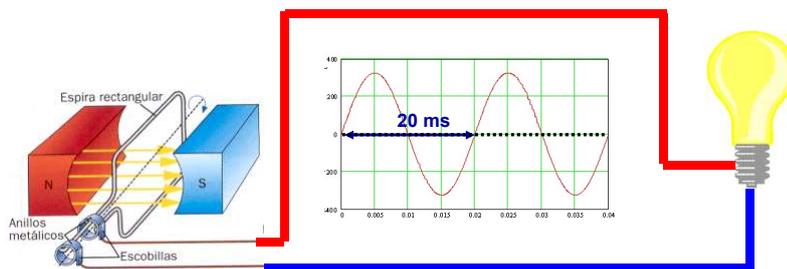
## Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia

FLUKE®

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

Dos casos principales:

- Islas
- Grupos generadores



45

## Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia

FLUKE®

### Causas y efectos de las variaciones de frecuencia

- 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.

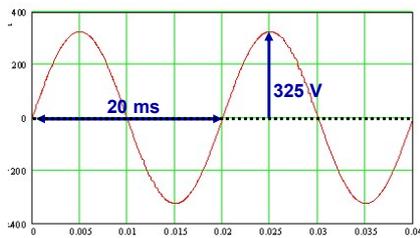
46

## Análisis de la calidad Eléctrica

FLUKE®

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
- ...

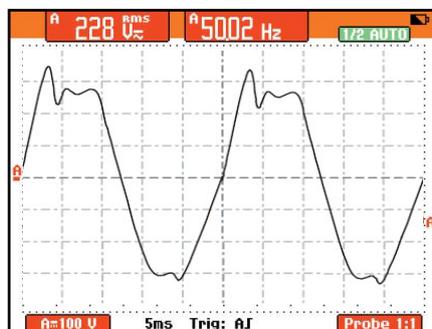
47

## Perturbaciones. Armónicos

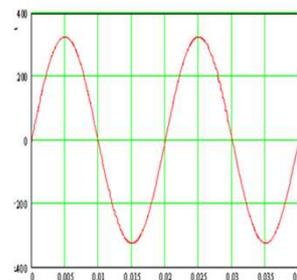
FLUKE®

Medida de los armónicos, THD, FD

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



Forma de onda distorsionada



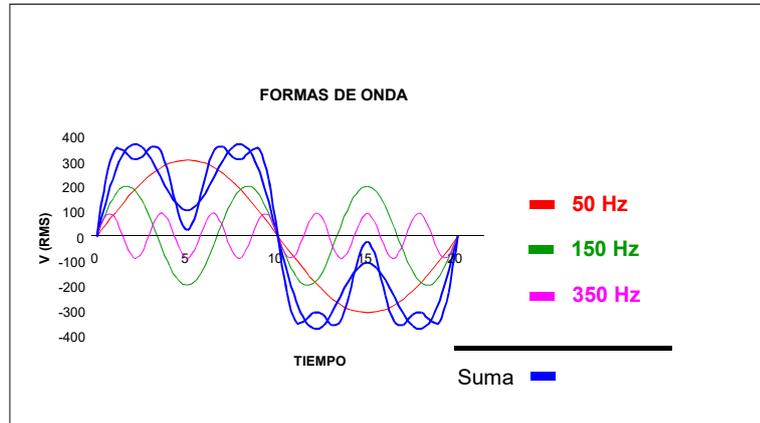
Senoide ideal

48

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Descomposición Serie de Fourier



49

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### 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 trigonométricas convergentes llamadas series de Fourier.

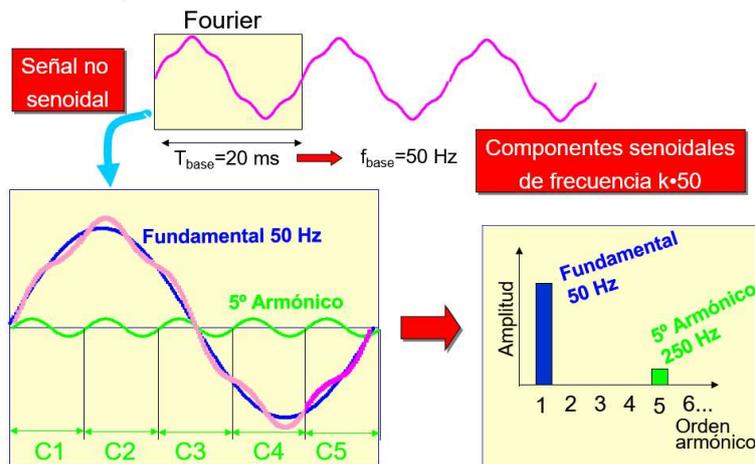


50

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Descomposición Serie de Fourier

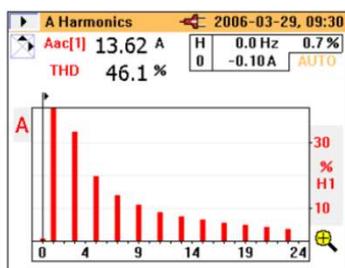


51

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### 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

52

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### 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

#### Individualmente

Amplitud relativa ( $U_h$ ) de cada armónico con relación a la tensión fundamental ( $U_1$ )

#### EVALUACION

Valor rms de cada armónico

Distorsión armónica total

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

#### Globalmente

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

53

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Medida de los armónicos, TDD

TDD(I) = La distorsión de demanda de corriente total se calcula considerando el nivel de carga admisible (demanda) por el sistema eléctrico.

A plena carga TDD (I) = THD (I).

El TDD nos da una mejor idea sobre el impacto de la distorsión armónica en el sistema sistema. Por ejemplo, podríamos tener un THD muy alto pero la carga asicada podría ser muy pequeña por lo que, en este caso, el impacto sobre el sistema también es bajo.

Nominal and Limit Values

Vn - fn - IL | D - S - I | EN50160 | EN50160 hxx | Rapid Voltage Changes

V f I Vn - fn - IL  
Nominal values for voltage, frequency and the peak demand load current (for total demand distortion TDD calculation)

Nominal Voltage (Vn) 230.00 V  
Nominal Voltage (Vn ph-ph) 386.37 V  
Nominal Frequency (fn) 50.00 Hz  
Peak demand load current (IL) 0.00 A

OK Cancel

54

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Medida de los armónicos, TDD

TDD actual: Distorsión de demanda total de la corriente. La relación entre el valor de la suma de la raíz cuadrada de las corrientes armónicas y la corriente de carga de demanda máxima.

$$I_{TDD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_L} \times 100\%$$

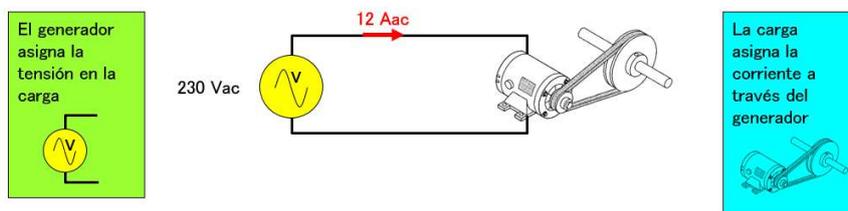
55

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

Circuito eléctrico generador - carga

CARGAS LINEALES



- 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**

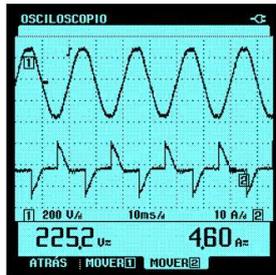
56

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Descripción de las cargas no lineales

### 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



57

## Perturbaciones. Armónicos

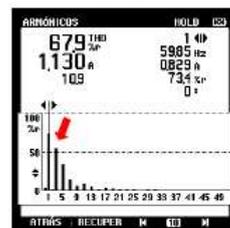
FLUKE®

### Descripción de las cargas no lineales

Computador Personal



$I_{RMS} = 1.13 \text{ A}$   
 $THDi = 67.9\%$



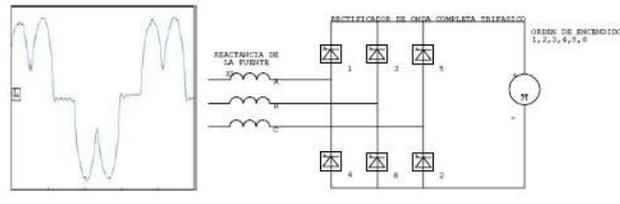
58

## Perturbaciones. Armónicos

FLUKE®

### Descripción de las cargas no lineales

#### Convertidores



$$h = n \cdot q \pm 1$$

Donde:

h: orden del armónico.

k: número entero.

q: números de pulsos del convertidor.

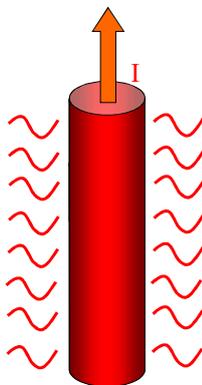
p	Armónicos Característicos
2	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, ...
6	5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, ...
12	11, 13, 23, 25, 35, 37, ...
18	17, 19, 35, 37, 53, 55, ...

59

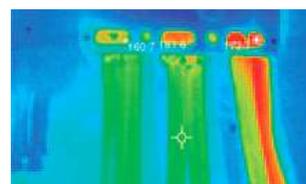
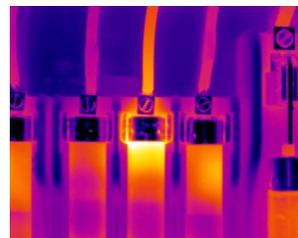
## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### 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, máquinas eléctricas y protecciones



60

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Sobrecalentamiento de máquinas eléctricas



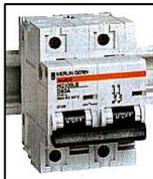
- Sobrecalentamiento de los devanados por el efecto skin
- Sobrecalentamiento del núcleo por las corrientes parásitas que, al ser proporcionales a  $\omega^2$  aumentan rápidamente con las corrientes armónicas
- Y además:
  - En los motores se produce pérdida de rendimiento mecánico por los armónicos de secuencia inversa (de orden  $3K+2$ ). Estos armónicos tienden a hacer girar al motor en sentido contrario al sentido de giro directo.
  - En los transformadores  $\Delta Y$  las corrientes triplen del secundario se reflejan en los devanados del primario y se quedan encerradas en el mismo. Son sobrecorrientes permanentes en el primario que provocan un sobrecalentamiento adicional en el transformador

61

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### 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 bilamina 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:

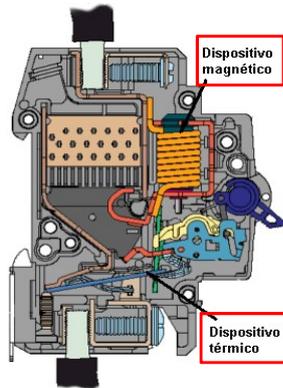
$$Z = 1/\omega C = 1/(2\pi f C) \Rightarrow \text{si } f \uparrow \text{ entonces } Z \downarrow$$

62

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de magnetotérmicos



Las protecciones magnetotérmicas constan por lo general de dos circuitos internos de disparo independientes para abrir los contactos ante sobrecargas y cortocircuitos.

Protección contra sobrecargas: se basa en una lámina bimetalica que al ser atravesada por una corriente determinada (en función del valor nominal de la protección) se deforma por calentamiento, interrumpiendo el paso de la corriente.

Protección contra cortocircuitos: se basa en un sistema magnético constituido por una bobina la cual al ser atravesada por una corriente de un valor determinado hace que su núcleo atraiga un elemento mecánico que fuerza a abrirse los contactos interrumpiendo de esta forma el paso de la corriente evitando la situación de cortocircuito

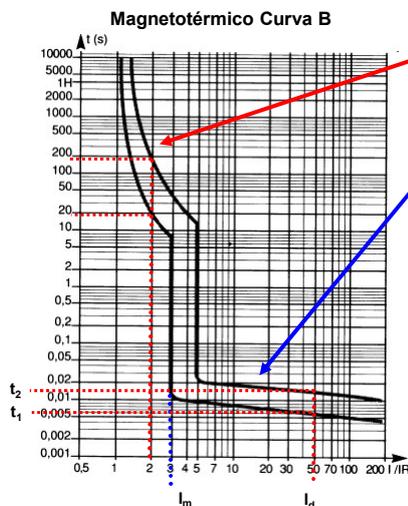
Constitución de un magnetotérmico

63

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de magnetotérmicos



Zona de funcionamiento térmico (protección contra sobrecargas)

Zona de funcionamiento instantáneo (protección contra cortocircuitos)

$I_m$  = corriente mínima de funcionamiento

Para una corriente de disparo  $I_d$  mayor que  $I_m$ , el tiempo de disparo estaría comprendido entre  $t_1$  y  $t_2$

Por ejemplo, en un magnetotérmico de intensidad nominal 10A, para una intensidad de 20A., la desconexión la efectuará el elemento térmico en un tiempo comprendido entre 20 sg. y 200 seg. Para una intensidad de 50A, la desconexión la efectuará el elemento magnético en un tiempo del orden de comprendo entre 0,01 y 0,009 seg.

64

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

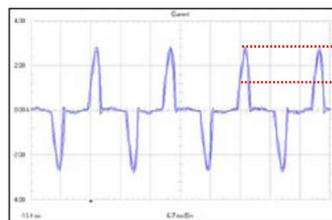
FLUKE®

### Disparo intempestivo de magnetotérmicos

La presencia de armónicos de corriente puede dar lugar al disparo intempestivo de las mismas, aunque el valor eficaz de la corriente no exceda el valor de disparo.

Los motivos posibles son dos:

- Disparo térmico por sobrecalentamiento excesivo de la lámina bimetálica por el efecto "skin"
- Disparo magnético por el excesivo valor de pico de la corriente. En este sentido se debe tener en cuenta que para un mismo valor eficaz de la corriente, podemos tener formas de onda con diferentes valores de pico, es decir con elevados factores de cresta que pueden activar la bobina de protección magnética.



Por ejemplo, para una corriente eficaz Irms de 20 A, si el factor de cresta es de 4, como puede suceder en instalaciones informáticas, la corriente de pico sería de  $4 \times 20 \text{ A} = 80 \text{ A}$

Situación que podría dar lugar al disparo del interruptor si este no está correctamente dimensionado.

65

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales



- 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 al aumentar la frecuencia:

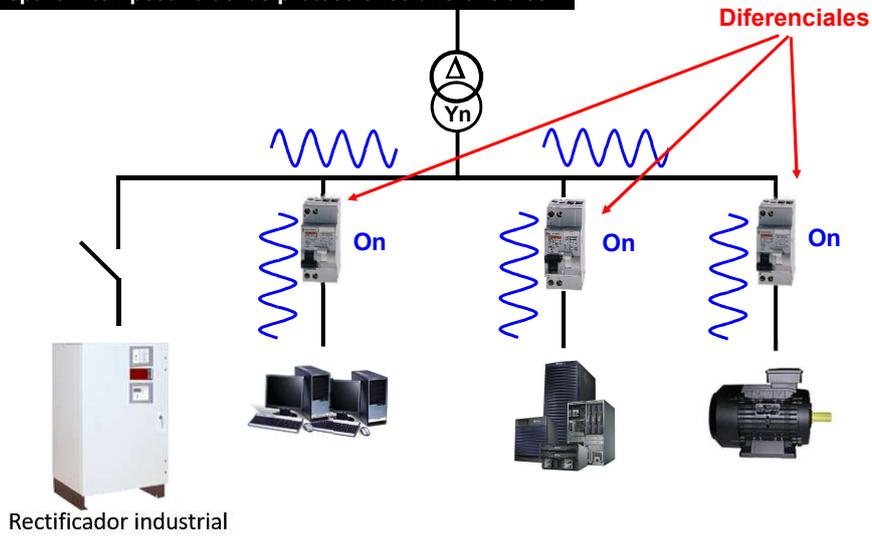
$$Z = 1/\omega C = 1/(2\pi f C) \Rightarrow \text{si } f \uparrow \text{ entonces } Z \downarrow$$

66

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales

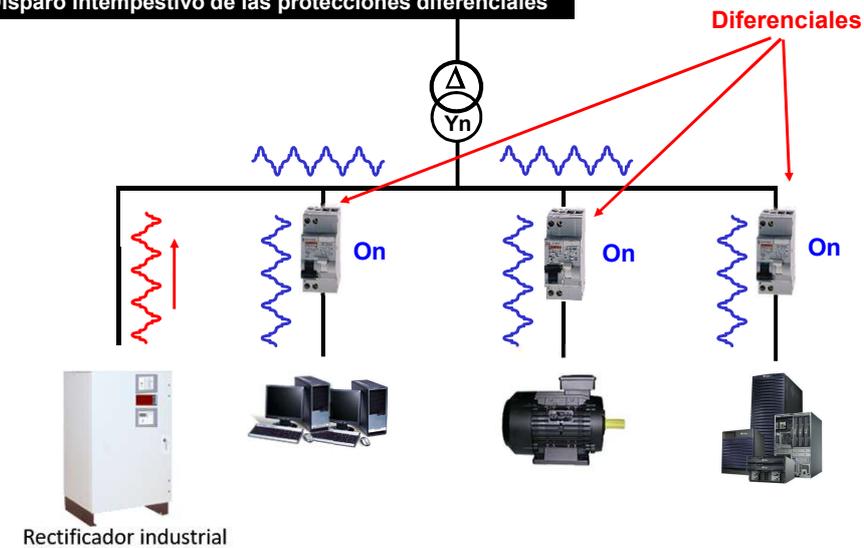


67

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales



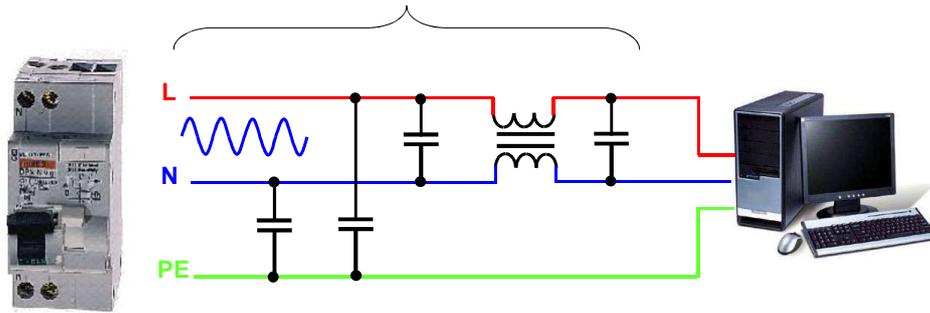
68

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales

Filtro de entrada de las fuentes de alimentación de equipos informáticos



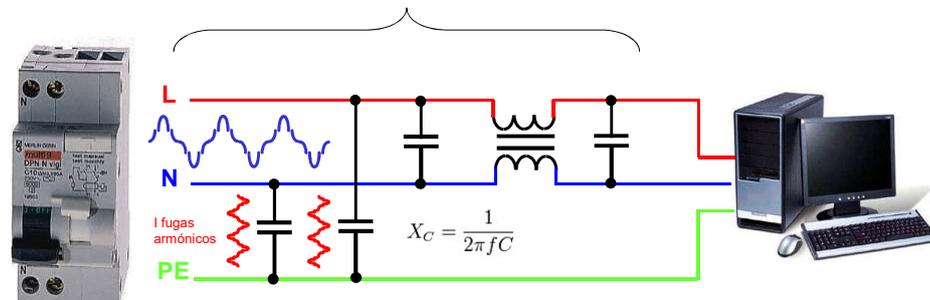
69

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales

Filtro de entrada de las fuentes de alimentación de equipos informáticos



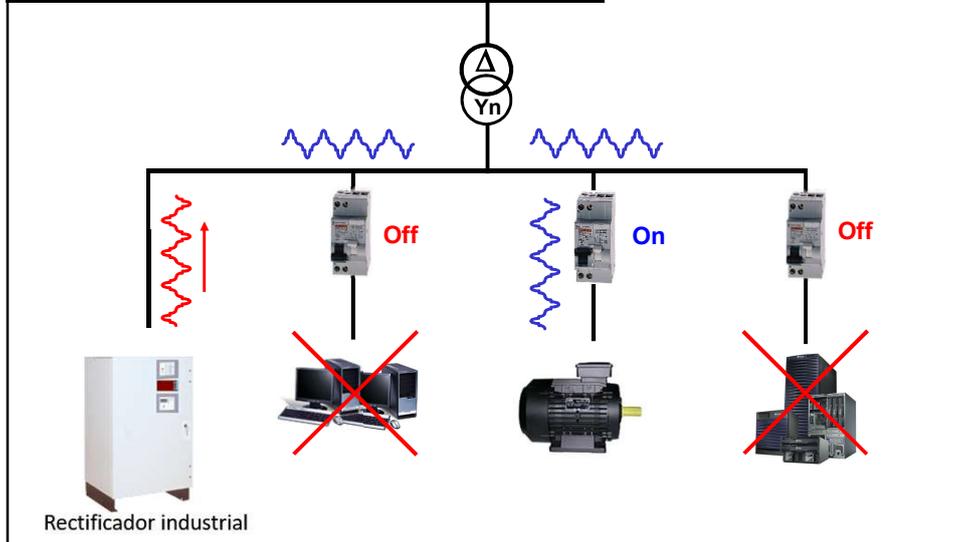
La impedancia de los condensadores disminuye a medida que aumenta la frecuencia. De esta forma, los armónicos de alta frecuencia dan lugar a corrientes a tierra a través de los condensadores, las cuales pueden dar lugar al disparo de las protecciones diferenciales

70

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Disparo intempestivo de las protecciones diferenciales



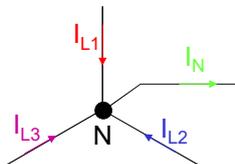
71

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Corrientes armónicas en el neutro

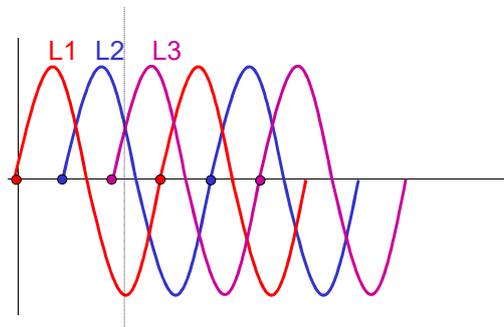
De acuerdo a la electrotécnica, en un sistema trifásico equilibrado con cargas lineales,  $I_N = 0$



En todo momento,

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

(1º ley de Kirchoff)



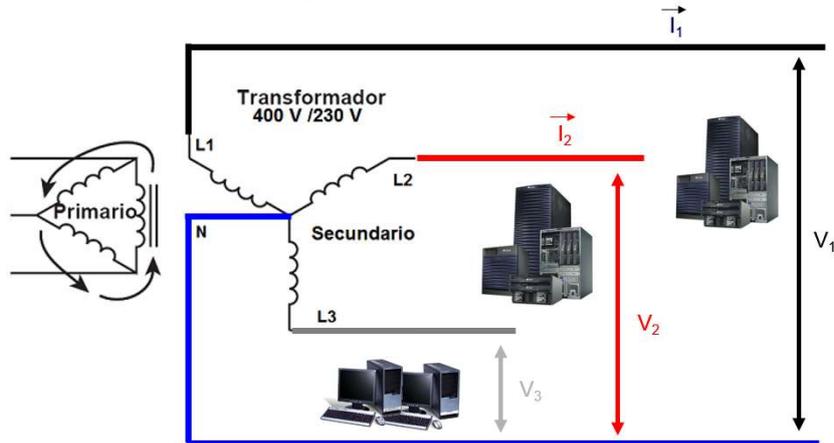
72

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Corrientes armónicas en el neutro

¿Y en un sistemas con cargas no lineales?

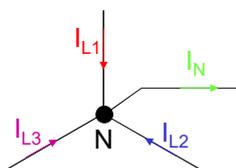


73

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Corrientes armónicas en el neutro



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

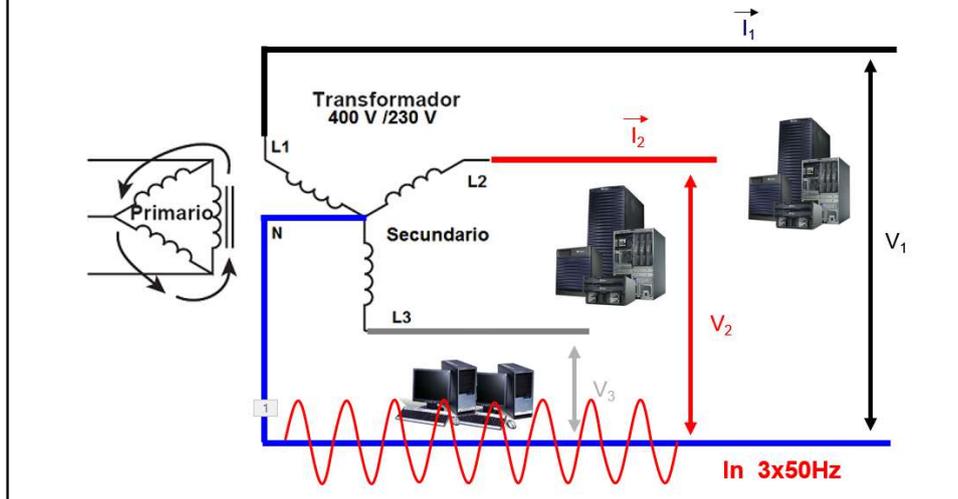
Lo producen los armónicos de secuencia cero (3 y sus múltiplos)

74

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

### Corrientes armónicas en el neutro



75

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

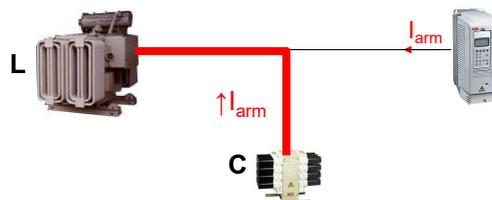
### Resonancia en las baterías de condensadores



- 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

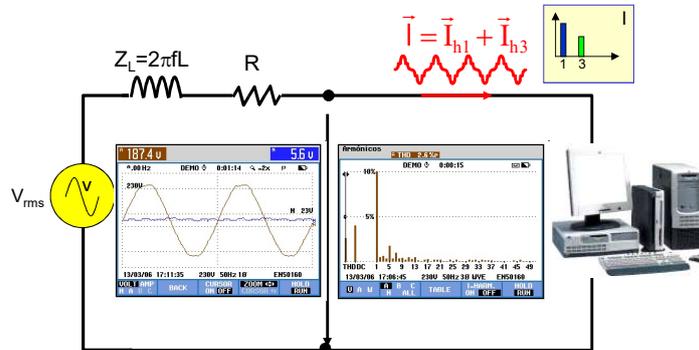


76

## Perturbaciones. Armónicos. Problemas

FLUKE®

Las cargas no lineales degradan la tensión



77

## Perturbaciones. Armónicos. Soluciones

FLUKE®

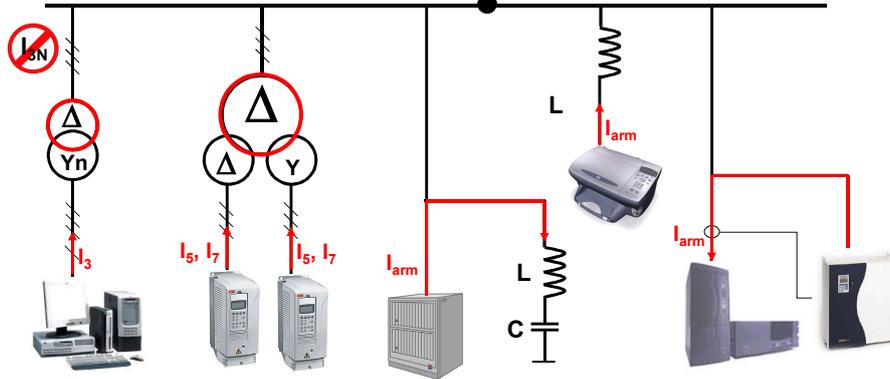
- Sustituya los transformadores sobrecalentados con unidades con un factor K mayor
- Reduzca la carga en los transformadores que sufren un sobrecalentamiento
- Modifique el cableado o redistribuya las cargas para reducir la impedancia y aislar las cargas no lineales
- Filtros pasivos
- Filtros activos
- Transformador en zig-zag (principalmente armónicos de orden 3)
- En instalaciones con conductores con secciones bien dimensionadas la impedancia es menor, por lo que serán menos propensas a mostrar distorsión en la tensión
- Duplique el tamaño del neutro o instale un cable de neutro paralelo para evitar problemas con los armónicos "triplen"

78

## Perturbaciones. Armónicos. Soluciones

FLUKE®

Buena calidad eléctrica



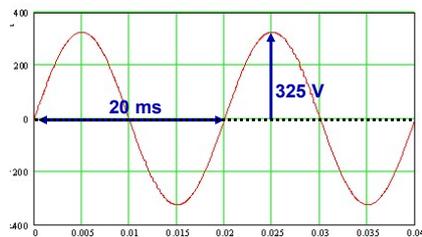
79

## Análisis de la Calidad Eléctrica

FLUKE®

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

Pero, ¿qué medir?



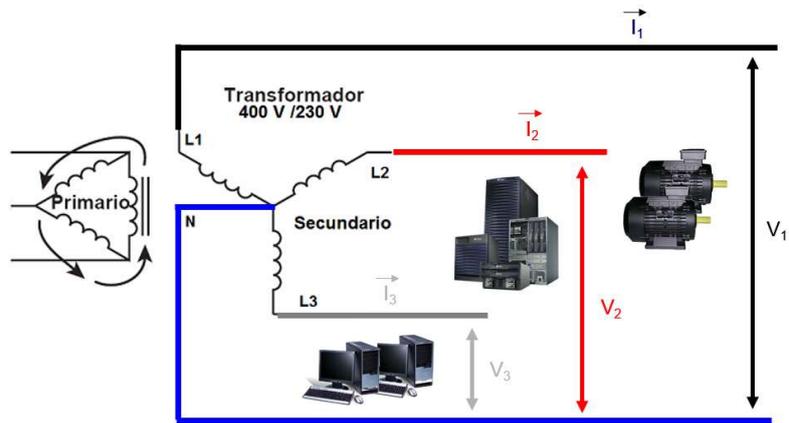
- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- Variaciones de la forma de onda
- **Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico**
- ...

80

## Desequilibrios entre fases. Medida

FLUKE®

### Grado de desequilibrio y simetría

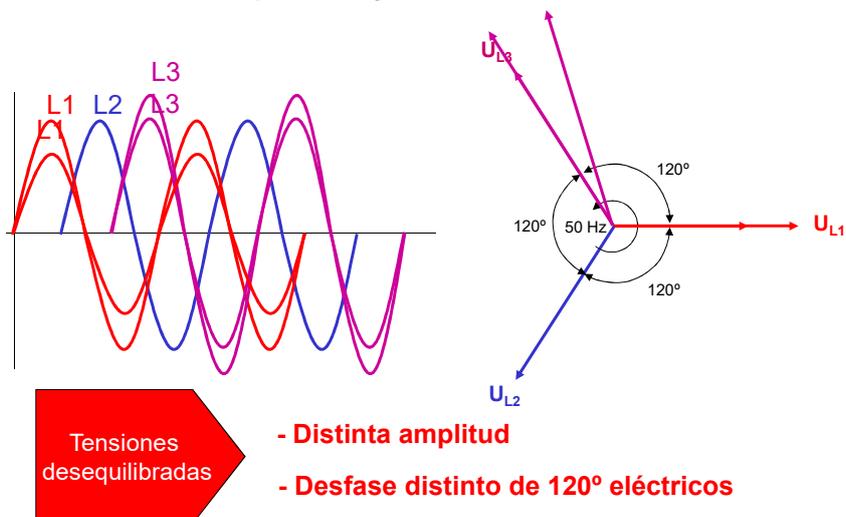


81

## Desequilibrios entre fases. Medida

FLUKE®

### Grado de desequilibrio y simetría

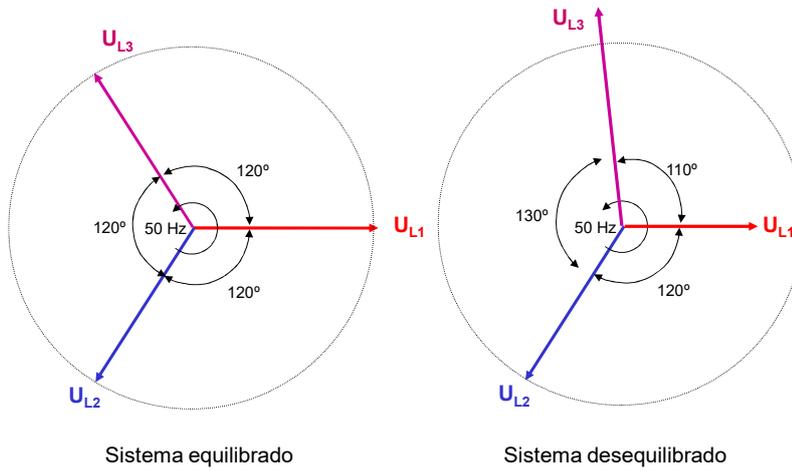


82

## Desequilibrios entre fases. Medida

FLUKE®

### Grado de desequilibrio y simetría



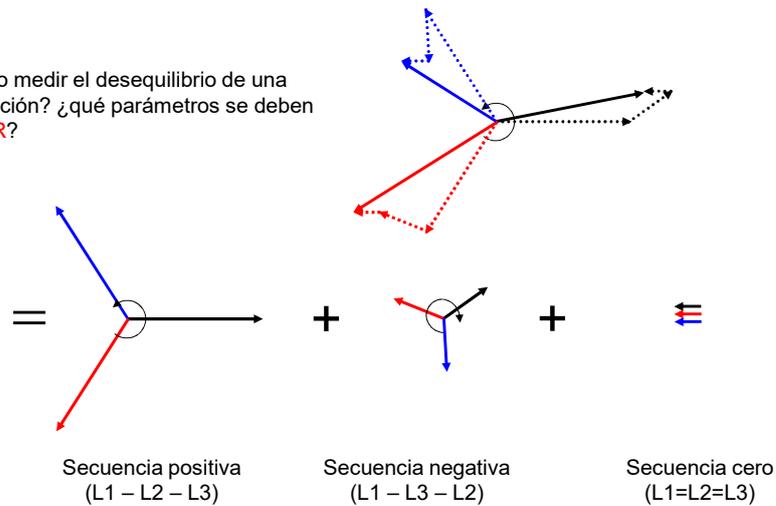
83

## Desequilibrios entre fases. Medida

FLUKE®

### Grado de desequilibrio y simetría

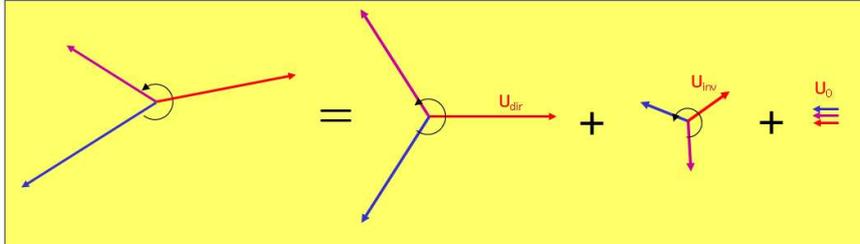
¿Cómo medir el desequilibrio de una instalación? ¿qué parámetros se deben MEDIR?



84

## Desequilibrios entre fases. Medida

Grado de desequilibrio y simetría



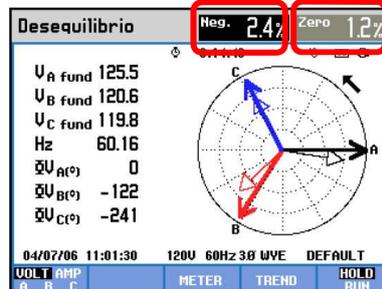
Grado de desequilibrio  $\delta_d = \frac{U_{neg}}{U_{pos}}$

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

## Desequilibrios entre fases. Medida

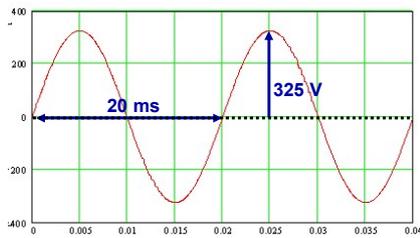
Grado de desequilibrio y simetría

Desequilibrio				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Rzero
Unbal.(%)	2.4	1.2	9.0	6.5
	A	B	C	N
Vfund	125.5	120.6	119.8	0.9
Hz	60.16			
	A	B	C	N
∠U(°)	0.0	-122.4	-241.1	-56.5
∠R(°)	-8.1	-136.8	-241.4	-47.1
Rfund	1085	1038	1069	0.8
04/07/06 11:01:30 120V 60Hz 3Ø WVE DEFAULT				



## 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
- ...

## 3.- Normativas aplicables



## NORMATIVAS APLICABLES A LA CALIDAD ELÉCTRICA

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

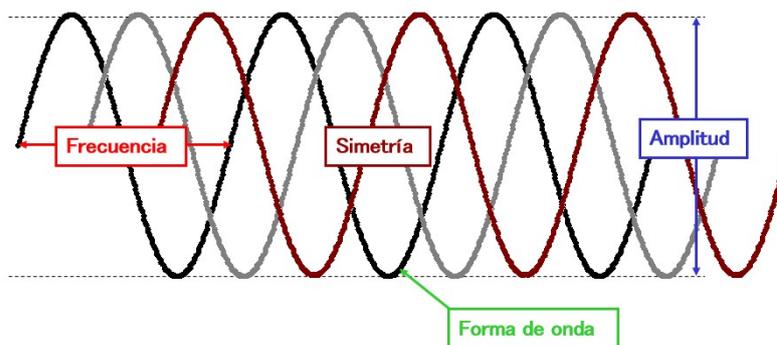
# EN-UNE 50160

Características de la tensión  
suministrada por las redes generales de  
distribución

## Normativas Calidad Eléctrica EN50160

FLUKE®

### 1.2 Objeto



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

91

## Normativas Calidad Eléctrica EN50160

FLUKE®

### 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  $U_n + 10\%/-15\%$



92

## Normativas Calidad Eléctrica EN50160

FLUKE®

### 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%
Variaciones de la tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	+4%/-6%	cada semana	100.0%
		±10%		95%
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de $U_N$	Indicación 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 $t < 3 \text{ min}$ )	Indicación 3		
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0.01U_N$ y $t > 3 \text{ min}$ )	Indicación 4	cada semana	95%
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1.1U_N$ y $t > 10 \text{ ms}$ )	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1.1U_N$ y $t < 10 \text{ ms}$ )	Indicación 6	cada semana	95%
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la $U_{gr}/U_{gr}$ de cada ciclo durante 10 min	<2%		
Tensiones armónicas	Para cada armónico $i$ , promedio de la $U_i/U_N$ en cada ciclo durante 10 min	Ver tabla 1	cada semana	95%
	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%

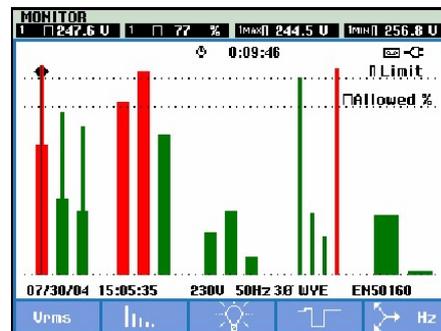
Nº	Indicación
1	Escalones del 5% de $U_N$ son normales. Escalones del 10% de $U_N$ pueden producirse varias veces al día
2	De 10 a 1.000. La mayoría duran menos de 1 s y tienen una profundidad inferior al 60% de $U_N$
3	De 10 a 1.000. El 70% de las interrupciones duran menos de 1 s
4	De 10 a 50
5	Generalmente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

93

## Modo Monitor Norma EN50160

FLUKE®

- 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
  - Frecuencia
- Registros
  - Simplemente TODO!
  - Durante 1 semana!

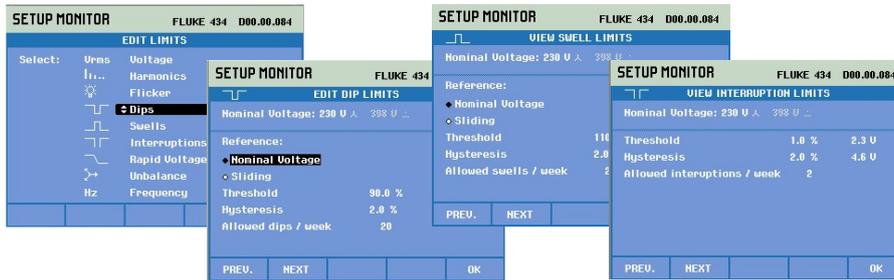


94

## Modo Monitor Norma EN50160

FLUKE®

- La serie 430 soporta el Standard EN50160.
- Y además permite adecuar y hacer incluso más severos los límites según el criterio del usuario.



95

## Modo Monitor Norma EN50160

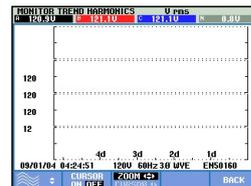
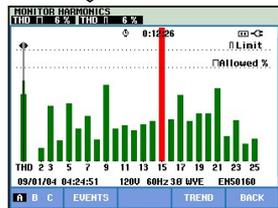
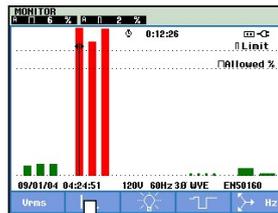
FLUKE®

Armónicos en tensión fuera de la norma.

Pero...qué armónico es?

Y...cuando ocurrió?

DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION	EVENT
01/01/03	00:00:00	HIS			3/3
01/01/03	00:00:00	HIS			3/3



96

# CEI 61000-4-30

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

## 1 Objeto



- 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

FLUKE®

### 5 Parámetros de calidad eléctrica

- 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)

99

## Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

FLUKE®

### 4.1 Clases de requerimientos en la medida

- 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.

100

## Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30

FLUKE®

### 5 Parámetros de calidad eléctrica

Parámetro	Medida	Clase A		Clase B
		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

101

## 4.- Eficiencia Energética. Potencia y Energía

FLUKE®



102

## Cálculo de la potencia

FLUKE®

La Potencia Instantánea se calcula como:

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

Pero como hemos visto tensiones y corrientes se pueden descomponer en varias componentes:

1º En función de la frecuencia

Fundamentales (50 Hz) + Armónicas

2º En función de los desequilibrios

Directa + Inversa + Zero

3º En función de los desfases entre tensiones y corrientes

Activa + Reactiva

103

## Potencia Clásica (Steinmetz 1897)

FLUKE®

Tres fases:

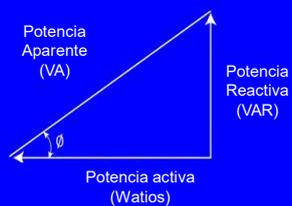
Activa:  $P_T = P_A + P_B + P_C$

Reactiva  $Q_T = Q_A + Q_B + Q_C$

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

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

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



104

## Cálculo de la potencia

Pero, ¿qué sucede si los armónicos y desequilibrios no son despreciables?

$$P(t) = V(t) * I(t)$$

$$V = V_{\text{fundamental}} + V_{\text{armónicas}}$$

$$V_{\text{fundamental}} = V_{\text{sec pos}} + V_{\text{sec nega}} + V_{\text{sec cero}}$$

$$I = I_{\text{fundamental}} + I_{\text{armónicas}}$$

$$I_{\text{fundamental}} = I_{\text{sec pos}} + I_{\text{sec nega}} + I_{\text{sec cero}}$$

$$P = (V_{\text{sec pos}} + V_{\text{sec nega}} + V_{\text{sec cero}} + V_{\text{armónicas}}) * (I_{\text{sec pos}} + I_{\text{sec nega}} + I_{\text{sec cero}} + I_{\text{armónicas}}) =$$

105

## Medida de Potencia

Varios modos de medir la potencia:

- Potencia Clásica
- Potencia IEEE 1459-2010
- Potencia Unificada



106

## Medida de Potencia. Conclusión

FLUKE®

- Potencia Clásica: - sencilla pero limitada  
- compacta  
- familiar
- Potencia IEEE : - completa  
- extensa  
- difícil de comprender
- Potencia Unificada: - orientada a la aplicación  
- razonablemente compacta  
- ofrece diagnóstico

107

## Potencia y Energía

FLUKE®

- El Fluke 430-II puede utilizar tanto el método clásico de cálculo como el indicado por la norma IEEE1459-2010 – el usuario puede elegir.
- Las medidas clásicas se indican con el símbolo  $\Sigma$  (sigma).
- Se incluyen símbolos para la indicación del tipo de cargas inductivas (retraso) o capacitivas (adelanto) de acuerdo al cos phi
- Amplio rango de variables de potencia incluyendo potencias y energías directa y reversa.



POWER & ENERGY METER				
	L1	L2	L3	Total
kWh	2.604	2.542	2.531	7.676
kvarh	0.954	0.214	0.477	1.214
kWh forw	2.549	1.738	2.483	6.004
kWh rev	0.000	0.765	0.000	0.000

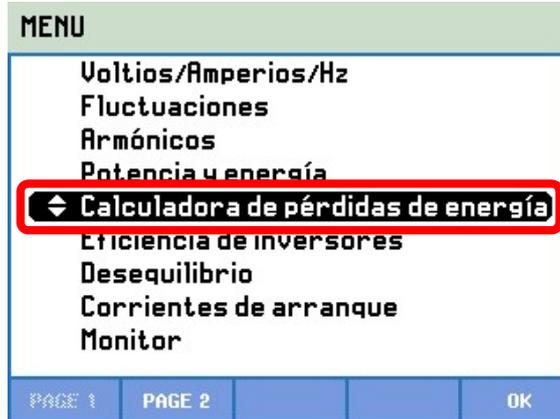
POWER & ENERGY METER				
	L1	L2	L3	Total
PF	0.981	0.988	0.982	0.983
kWh harm	0.4	0.3	0.4	1.1
kWh unb				5.7
kWh fund	11.3	11.1	11.4	33.8

POWER & ENERGY METER				
	L1	L2	L3	Total
kV	11.4	11.2	10.8	33.4
kWh	11.6	11.3	11.0	34.0
kvar	2.3	1.7	2.1	2.6
PF	0.980	0.988	0.981	0.983

108

## Calculadora Pérdidas de Energía

FLUKE®



109

## Información proporcionada

FLUKE®

Kilowatios útiles  
(potencia) disponibles

Potencia Reactiva (no  
útil)

Potencia no útil debida  
a desequilibrios

Potencia no útil debida  
a armónicos

Corriente de neutro

Kilowatios-hora  
desperdiciados totales  
por año

CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA				
DEMO 0:02:02				
	Total	Loss	Cost	
Effective	189 kW	15.7 kW	1.57 Eur/hr	
Reactive	25 kvar	0.3 kW	0.03 Eur/hr	
Unbalance	22 kVA	0.2 kW	0.02 Eur/hr	
Distortion	33 kVA	0.4 kW	0.04 Eur/hr	
Neutral	16.0 A	0.0 kW	0.00 Eur/hr	
<b>Total</b>			<b>14.57kEur/yr</b>	
18/06/14 10:15:32 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
Cu	LENGTH	DIAMETER	RATE	HOLD
	100 m	25 mm <sup>2</sup>	METER 0.10 /kWh	RUN

110

## Información proporcionada

FLUKE®

ENERGY LOSS METER				
	A	B	C	Total
kW fund	22	23	16	61
kVA fund	23	27	25	74
kvar	8	15	18	42
kVA unbalance	12			

CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA				
	Total	Loss	Cost	
Effective	189 kW	15.7 kW	1.57 Eur/hr	
Reactive	25 kvar	0.3 kW	0.03 Eur/hr	
Unbalance	22 kVA	0.2 kW	0.02 Eur/hr	
Distortion	33 kVA	0.4 kW	0.04 Eur/hr	
Neutral	16.0 A	0.0 kW	0.00 Eur/hr	
<b>Total</b>			<b>14.57kEur/yr</b>	

Estos cinco valores son directamente calculados de acuerdo a IEEE 1459.

ENERGY LOSS METER				
	A	B	C	Total
kVA fund	23	27	25	74
kvar	8	15	18	42
kVA unbalance	12			
kVA harm	5	6	5	16

ENERGY LOSS METER				
	A	B	C	Total
Arms	104	120	110	8
kW fund	22	23	16	61
kVA fund	23	27	25	74
kvar	8	15	18	42

111

## Información proporcionada

FLUKE®

- Estos valores se generan a partir del método de Potencia Unificada para descubrir las pérdidas de energía en el sistema.
- El método de cálculo utilizado está patentado por Fluke.

CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA				
	Total	Loss	Cost	
Effective	189 kW	15.7 kW	1.57 Eur/hr	
Reactive	25 kvar	0.3 kW	0.03 Eur/hr	
Unbalance	22 kVA	0.2 kW	0.02 Eur/hr	
Distortion	33 kVA	0.4 kW	0.04 Eur/hr	
Neutral	16.0 A	0.0 kW	0.00 Eur/hr	
<b>Total</b>			<b>14.57kEur/yr</b>	

112

## Información proporcionada

FLUKE®

Kilovatios útiles  
(potencia) disponibles

Potencia Reactiva (no  
útil)

Potencia no útil debida  
a desequilibrios

Potencia no útil debida  
a armónicos

Corriente de neutro

Kilovatios-hora  
desperdiciados totales  
por año

**CALCULADORA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA**

DEMO 0:02:02

	Total	Loss	Cost
Effective	189 kW	15.7 kW	1.57 Eur/hr
Reactive	25 kvar	0.3 kW	0.03 Eur/hr
Unbalance	22 kVA	0.2 kW	0.02 Eur/hr
Distortion	33 kVA	0.4 kW	0.04 Eur/hr
Neutral	16.0 A	0.0 kW	0.00 Eur/hr
<b>Total</b>			<b>14.57kEur/yr</b>

18/06/14 10:15:32 230V 50Hz 3Ø WYE ENS0160

Co	LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD
100	m	25 mm2	METER	0.10 /kWh	RUN

113

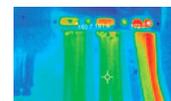
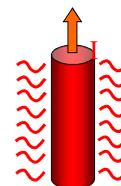
## Consumos eléctricos

### Ineficiencias en el Sistema de Distribución

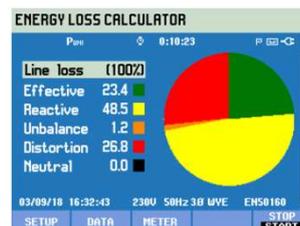
FLUKE®

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.



114

## Consumos eléctricos

FLUKE®

### Potencia Activa, Reactiva, Cos $\phi$ , P. Demanda

1. Verificar la factura eléctrica y el tipo de contrato.
2. Las compañías eléctricas facturan por potencia activa kWh pero también pueden facturar por potencia reactiva, cos  $\phi$  y demanda de pico
3. Registrar los consumos eléctricos (kW y kWh) en los cuadros principales y secundarios
4. Comparar resultados
5. Evaluar posibles penalizaciones por un cos  $\phi$  bajo y por superar la demanda de pico (si aplicable)



115

## Consumos eléctricos

FLUKE®

### Potencia y Energía Activa

#### Consumo de energía (kWh)

Los analizadores de calidad eléctrica y energía nos permiten medir tanto la potencia activa (kW) como la energía consumida (kWh).

POTENCIA Y ENERGÍA				
	P1	P2	P3	Total
kW	65.7	60.1	63.6	189.4
kVA	67.0	63.1	64.5	194.6
kvar	8.8	15.9	0.3	25.0
PF	0.98	0.95	0.99	0.97
16/09/14 13:25:53 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
UP DOWN	TREND	EVENTS 0	HOLD RUN	



116

## Consumos eléctricos

FLUKE®

### Potencia y Energía Activa. Flujos de energía

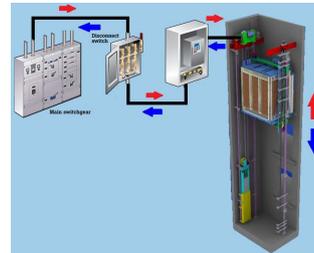
#### Consumo de energía (kWh)

Para la mejora de este apartado es fundamental la selección de equipos eficientes.

Ejemplo: variadores de velocidad con tecnología regenerativa que reinyectan energía del motor a la red, en vez de desperdiciarla.

El analizador de calidad eléctrica Fluke 435 SII es capaz de cuantificar de forma separada:

- el flujo total de energía
- la energía consumida por la carga
- la energía reinyectada por el variador de velocidad en la red



POWER & ENERGY METER				
	L1	L2	L3	Total
kVArh	2.604	2.542	2.531	7.676
kVarh	0.554	0.214	0.477	1.244
kWh forw	2.549	1.738	2.483	6.004
kWh rev	0.000	0.765	0.000	0.000

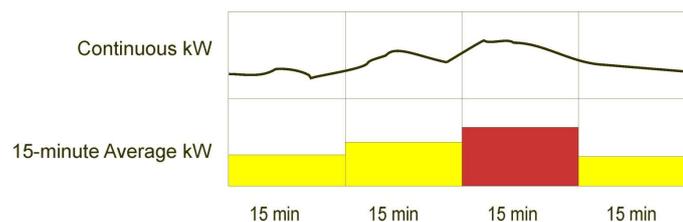
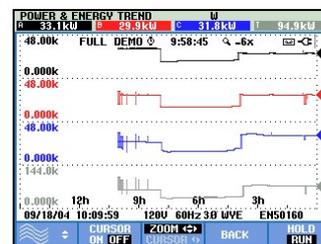
117

## Consumos eléctricos

FLUKE®

### Pico de consumo o Demanda

- El “pico de consumo o demanda” determina la sección del “conducto eléctrico”
- El pico de consumo es la lectura en kW mayor de varias mediciones consecutivas cada 15 minutos (la técnica varía dependiendo del proveedor)
- Los analizadores de calidad eléctrica y energía de Fluke pueden promediar el consumo en kW en estos intervalos e informar del valor mayor

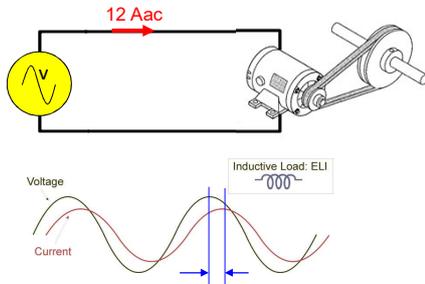


118

## Consumos eléctricos

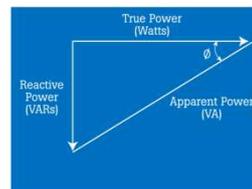
FLUKE®

### Potencia reactiva. Penalización por Cos φ



- Las cargas inductivas, como motores, hacen que la forma de onda de corriente se retrase respecto a la de tensión.
- Este desfase es medido por el **cos φ**
- Aparece una potencia adicional llamada potencia reactiva

*Una potencia reactiva mayor implica que se la instalación tiene que ser sobredimensionada para soportar toda la potencia aparente (VA).*



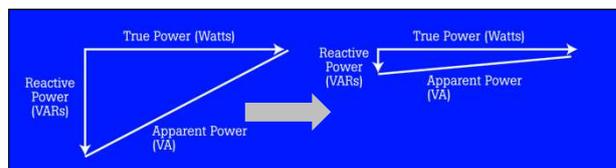
119

## Consumos eléctricos

FLUKE®

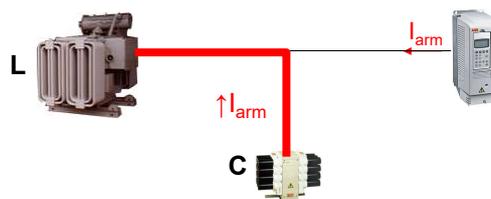
### Potencia reactiva. Penalización por Cos φ

La utilización de baterías de condensadores permite mejorar el cos φ y por tanto reducir la factura eléctrica



Sin embargo se debe prestar atención a posibles problemas de resonancias debidas a los armónicos

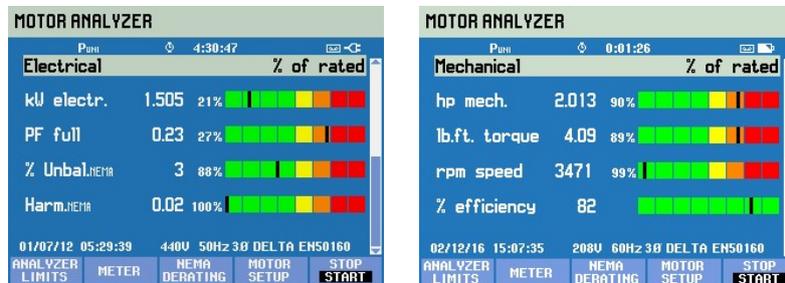
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



120

## Fluke 438: Eficiencia energética en motores

FLUKE®



$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}}$$

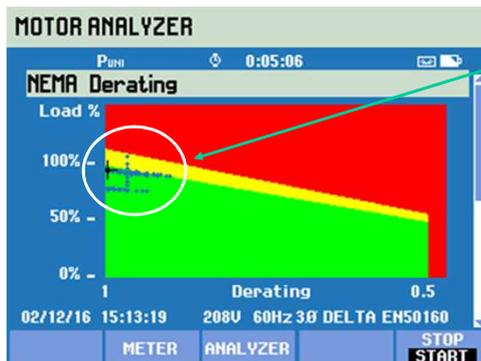
- El 438-II tiene dos pantallas de resumen importantes que muestran los principales parámetros eléctricos y mecánicos en términos de "estado de salud" para proporcionar una visión rápida sobre el estado de los motores a medida que trabajan.
- Medir el par puede dar una idea directa del estado de salud del motor, la carga y el proceso.
- Se asegura una operación confiable en el tiempo y se minimizan los costes de mantenimiento

121

## Fluke 438: Eficiencia energética en motores

FLUKE®

Quando los armónicos y el desequilibrio están presentes, el motor es probable que funcione más caliente que en condiciones nominales, el propósito de la reducción de potencia de acuerdo a NEMA es asegurar que los motores continúen funcionando dentro de las especificaciones.



Esta versión de la curva de reducción de potencia muestra el rendimiento de un motor sometido a prueba.

Cada uno de los puntos muestra el rendimiento del motor de acuerdo a los cambios de carga y el estado de la calidad de la energía

122

## Familia actual de registradores trifásicos

FLUKE®



	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						
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	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	50/60/400 Hz	50/60 Hz					

123

## Calidad Eléctrica y Eficiencia Energética

FLUKE®



**¡Muchas gracias!**

124