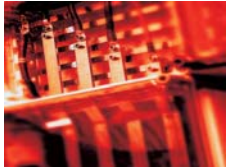


Calidad Eléctrica y Eficiencia Energética

FLUKE



Ponente

FLUKE

Roberto Poyato

Technical Sales Manager Fluke Iberica & Italia

Licenciado en Ciencias Físicas especialidad Electrónica
Experiencia de más de 18 años en mantenimiento,
equipos electrónicos e instalaciones de potencia

roberto.poyato@fluke.com

Tel.: 91 8060553

Calidad Eléctrica y Eficiencia Energética

FLUKE

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.- Eficiencia Energética. Medida de potencia y energía eléctrica
- 4.- Normativas aplicables
- 5.- Soluciones Fluke

FLUKE

1.- Introducción a la Calidad Eléctrica

Introducción

FLUKE

¿Qué es la Calidad Eléctrica?



¿QUÉ TIENEN EN COMÚN LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES?

Introducción

FLUKE



Introducción FLUKE


¡Todas ellas precisan un suministro eléctrico adecuado a sus necesidades!

¡Nuestra sociedad depende enteramente de un suministro eléctrico de calidad!

Introducción FLUKE

Podemos presentar, por tanto, la *Calidad Eléctrica* como una medida de cómo de bien una instalación eléctrica soporta un funcionamiento fiable de las cargas conectadas a la misma.

Introducción FLUKE



¿Qué implica una *Calidad Eléctrica* deficiente?

Introducción FLUKE

El coste de una Calidad Eléctrica deficiente

Pérdida de producción: Cada vez que la producción se interrumpe, las empresas pierden beneficios en productos que no se fabrican y se venden

Productos defectuosos: interrupciones pueden dañar parcialmente un producto en fabricación, dando lugar a que el material se reprocese o se deseche.

Costes energéticos: Un factor de potencia bajo o picos excesivamente elevados de consumo pueden dar lugar a un incremento en la factura eléctrica.

Mantenimiento: El fallo prematuro de equipos e instalaciones pueden comprometer los recursos y aumentar los costes de mantenimiento de la instalación.

Costes medioambientales y de seguridad: En determinados casos los problemas en el suministro eléctrico pueden implicar daños medioambientales y comprometer la seguridad de las personas.

Impacto en el mercado: Los costes de pérdidas repetidas de ventas, retirada de productos y daños a la imagen de la empresa pueden ser significativos aunque difíciles de cuantificar

Introducción FLUKE

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

Introducción FLUKE

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

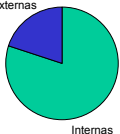
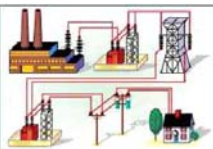
Causas

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

Introducción FLUKE

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 FLUKE

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

Introducción FLUKE

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



FLUKE

1.- Análisis de la Calidad Eléctrica. Perturbaciones

FLUKE

Análisis de la calidad Eléctrica

Sistema de distribución:

Sistemas monofásicos

Sistemas trifásicos
3 hilos (triángulo)

Sistemas trifásicos
4 hilos (estrella)

FLUKE

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

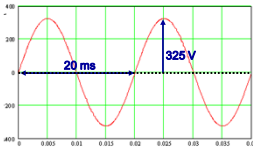
3 conductores (3F)

Tensión fase-fase

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

Análisis de la calidad Eléctrica FLUKE

Caracterización de la alimentación eléctrica:

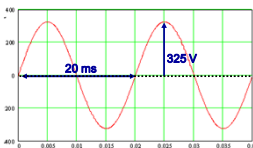


Forma de onda senoidal definida por:

- 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: $T=20 \text{ ms}$

Análisis de la calidad Eléctrica FLUKE

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

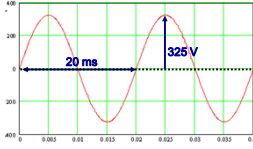


Pero, ¿qué medir?

- 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
- ...

Análisis de la calidad Eléctrica FLUKE

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

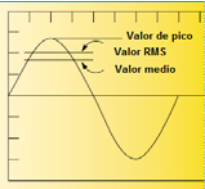


Pero, ¿qué medir?

- **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
- ...

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

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:

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

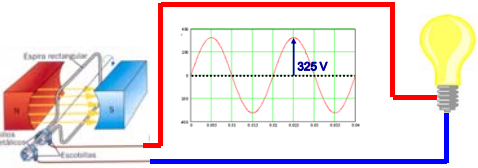
$$\text{Factor de cresta} = \frac{\text{Valor de pico}}{\text{Valor}_{\text{RMS}}} = 1,414$$

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

Valor eficaz. Medida y Cálculo FLUKE

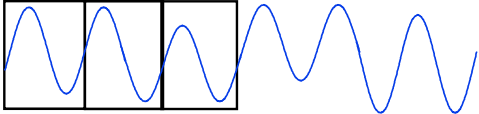
Para un sistema de alterna tenemos: $S = V_{\text{eficaz}} \times I_{\text{eficaz}}$

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



Valor eficaz. Registro FLUKE

Registro Valor Eficaz. **Actualización cada ciclo**



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


Valor eficaz. Registro FLUKE

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

$U_{\text{efic}} = 228\text{VAC}$

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

Vac

230 Vac

Vrms-1/2 ciclo

10 ms

t

Valor eficaz. Registro FLUKE

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

- Si registráramos 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

Vac

230 Vac

10 ms

Vmax

Vavg

Vmin

Intervalo de agregación de 10 muestras = 100 ms

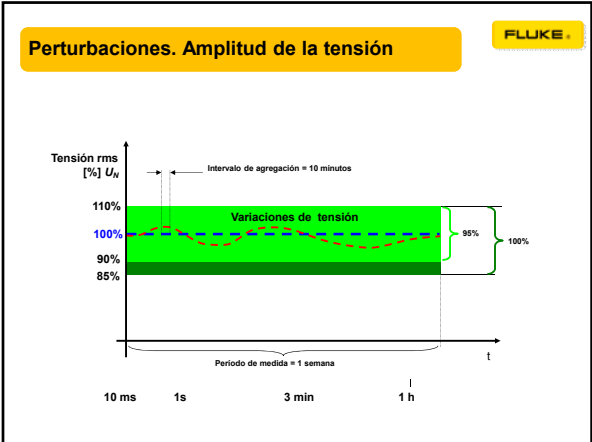
t

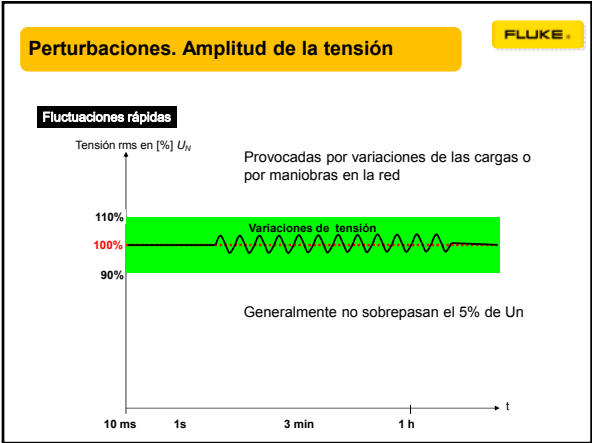
- Si el intervalo de agregación es de 10 min, se promedian $10 \times 60 \times 100 = 60.000$ ciclos, y en una semana sólo se vuelcan a memoria $7 \times 24 \times 6 = 1.008$ temas de puntos

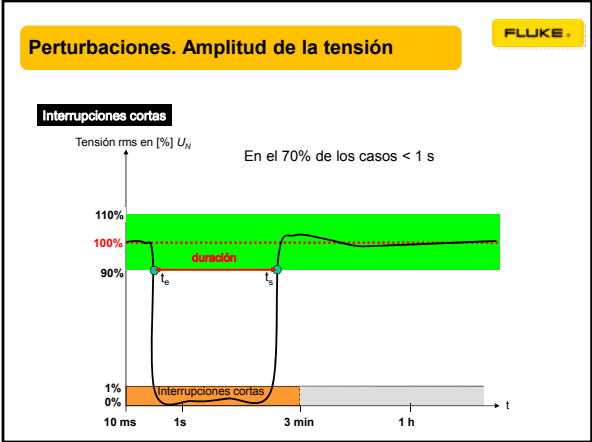
Valor eficaz. Registro FLUKE

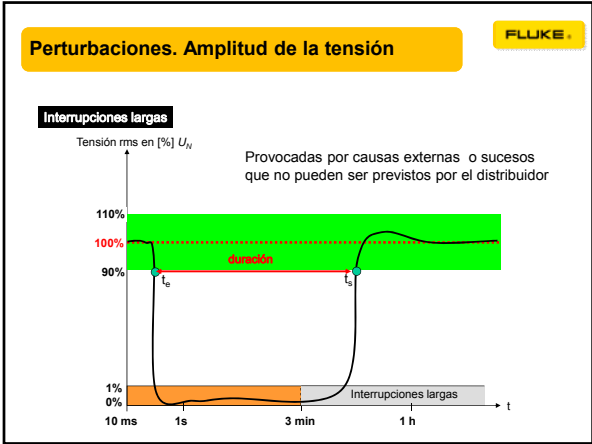
Registro del Valor Eficaz. Consideraciones

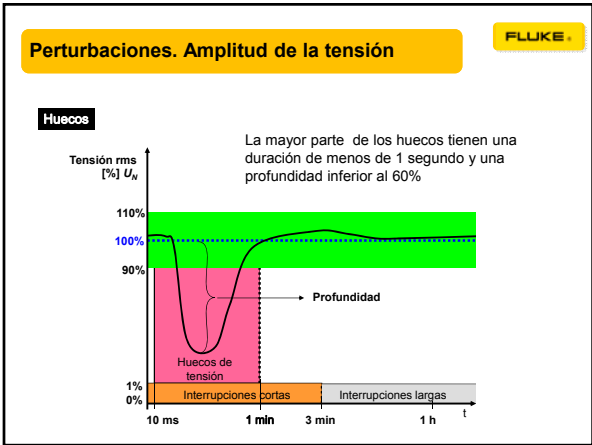
- En los registros de tensión eficaz hay que conocer:
 - Cómo se actualiza la medida
 - Vrms-1ciclo
 - Vrms-1/2 ciclo
 - Vrms-1/4ciclo
 - Cuál es el intervalo de agregación
 - 1 segundo
 - 10 segundos
 - 1 minuto
 - 10 minutos
- Los valores normalizados (EN50160) son:
 - Vrms-1/2 ciclo
 - 10 minutos

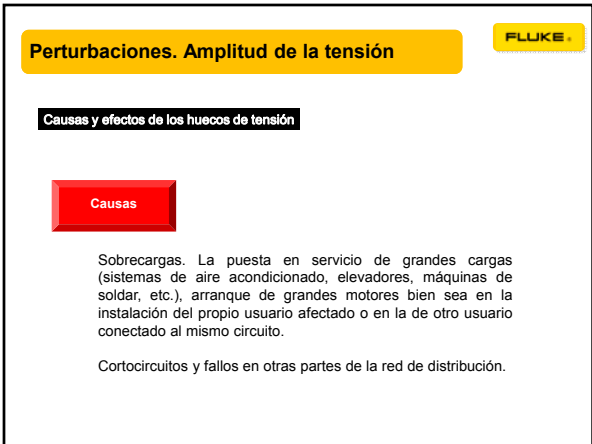












Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

Efectos de los huecos de tensión → tensión Efectos

- Fallos en equipos por falta de una tensión mínima
- Parada de equipos por disparo de protecciones de baja tensión
- Parada de equipos trifásicos por disparo de protecciones de desequilibrios
- Fallos en los sistemas por cambio de estado en relés rápidos
- Bloqueo de sistemas por disparo de circuitos de reset

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

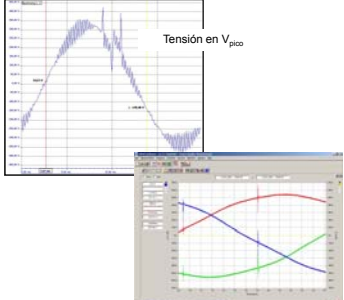
Sobretensiones temporales Generalmente U eficaz < 1,5 kV

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

Sobretensiones transitorias . Transitorios Generalmente U cresta < 6 kV

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

Sobretensiones transitorias . Transitorios



Características:

- Aleatorio
- corto (μs)

Causas:

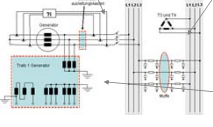
- Descargas atmosfericas
- Rayos
- Maniobras con interruptores

Efectos:

- Daños a equipos
- Paros imprevistos
- Perdida de datos

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

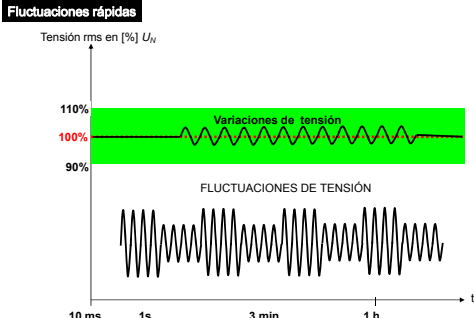
Daños del aislamiento

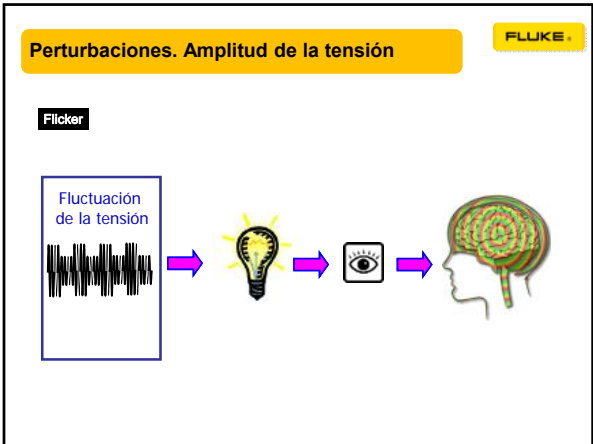



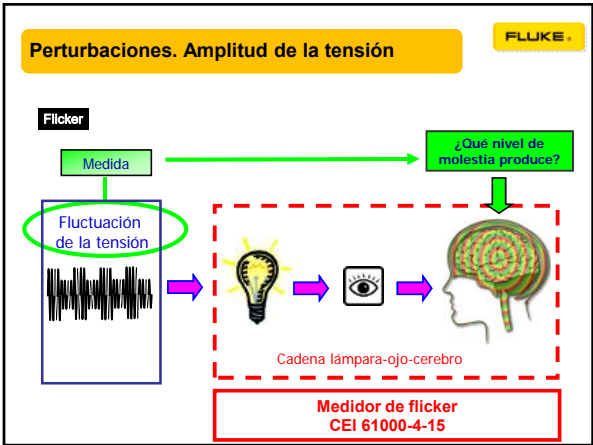
Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

Fluctuaciones rápidas

Tensión rms en [%] U_N







Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

| | |
|-------------------------------|---|
| 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} ≤ 1 P_{lt} ≤ 1 $P_{lt} = \sqrt[3]{\left(\sum_{m=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}\right)}$ |

Perturbaciones. Amplitud de la tensión FLUKE

Origen del Flicker


Cargas fluctuantes

SISTEMAS EÓLICOS

CARGAS INDUSTRIALES

CARGAS CONECTADAS EN BAJA TENSIÓN

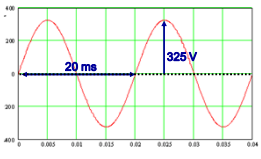
- Hornos de arco (c.a. y c.c.)
- Equipos de soldadura
- Grandes fotocopiadoras
- Motores
- Equipos de rayos X



Análisis de la calidad Eléctrica FLUKE

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

Pero, ¿qué medir?



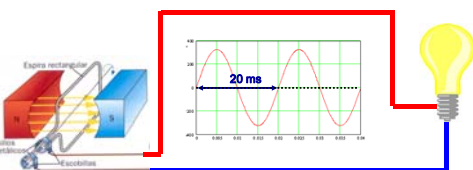
- Variaciones asociadas a la amplitud
- **Variaciones de la frecuencia**
- Variaciones de la forma de onda
- Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico
- ...

Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia FLUKE

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

Dos casos principales:

- Islas
- Grupos generadores



Perturbaciones. Variaciones de Frecuencia FLUKE

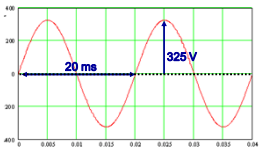
Causas y efectos de las variaciones de frecuencia

- 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.

Análisis de la calidad Eléctrica FLUKE

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

Pero, ¿qué medir?

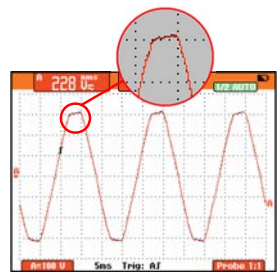
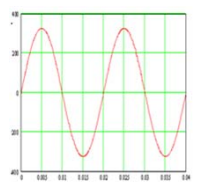


- Variaciones asociadas a la amplitud
- Variaciones de la frecuencia
- **Variaciones de la forma de onda**
- Diferencias de amplitud y fase entre las ramas de un sistema trifásico
- ...

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

Perturbaciones. Armónicos FLUKE

Descomposición Serie de Fourier

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 armónicos. 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.

Perturbaciones. Armónicos FLUKE

Descomposición Serie de Fourier

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 |

Perturbaciones. Armónicos FLUKE

Medida de los armónicos, THD, FD

Tensión armónica

 Individualmente

 EVALUACION

 Globalmente

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

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

Valor rms de cada armónico

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 FLUKE

Circuito eléctrico generador - carga

CARGAS LINEALES

El generador asigna la tensión en la carga

230 Vac

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 FLUKE

Descripción de las cargas no lineales **CARGAS NO LINEALES**




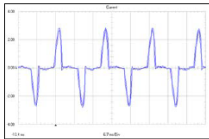
- Las cargas no lineales son aquellas que alimentadas por una tensión senoidal, demandan una corriente distorsionada o no senoidal
- Las cargas no lineales contienen electrónica en su etapa de entrada (diodos, transistores, tiristores, IGBT, etc.)
- Son ejemplos las máquinas informáticas, variadores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



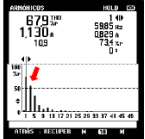
Perturbaciones. Armónicos FLUKE

Descripción de las cargas no lineales

Computador Personal

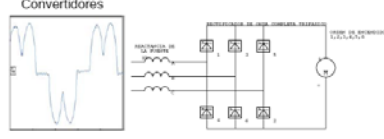
I_{RMS} = 1.13 A
THDi = 67.9%



Perturbaciones. Armónicos FLUKE

Descripción de las cargas no lineales

Convertidores



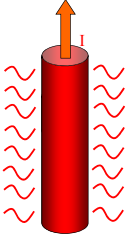
$h = n \cdot q \pm 1$

Donde:
 h: orden del armónico.
 k: número entero.
 q: números de pulsos del convertidor.

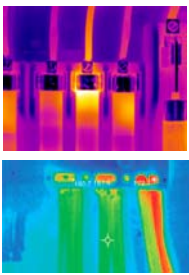
| p | Armónicos Característicos |
|----|-----------------------------------|
| 2 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, ... |
| 6 | 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, ... |
| 12 | 11, 13, 23, 25, 35, 37, ... |
| 18 | 17, 19, 35, 37, 53, 55, ... |

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.
- El amperio del armónico de orden n provoca un calentamiento n² veces superior al de la misma corriente de la componente fundamental
- Este sobrecalentamiento es patente en conductores, máquinas eléctricas y protecciones



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 i² 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 ΔY 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

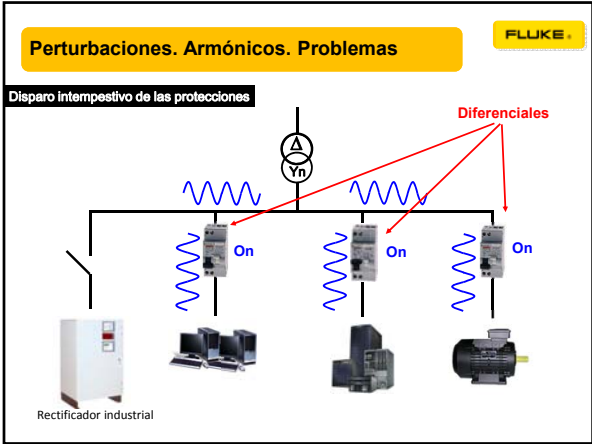
Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

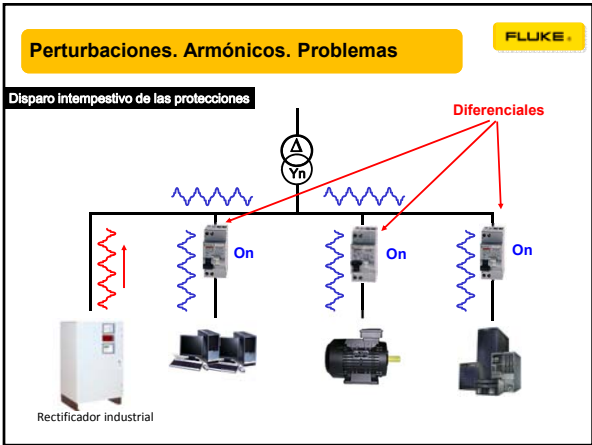
Disparo intempestivo de las protecciones

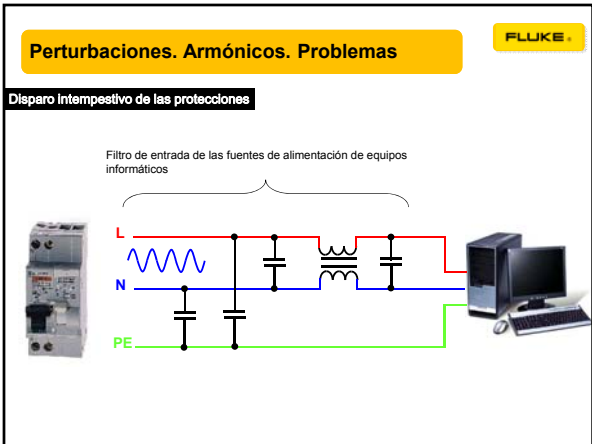



- Las protecciones magnetotérmicas disparan de forma intempestiva ante presencia de armónicos, aunque la corriente no exceda del valor de disparo, por dos posibles motivos:
 - Disparo térmico por sobrecalentamiento excesivo de la bilamina por el efecto skin
 - Disparo magnético por el excesivo valor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

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







Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

Disparo intempestivo de las protecciones

Filtro de entrada de las fuentes de alimentación de equipos informáticos

Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

Disparo intempestivo de las protecciones

Rectificador industrial

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,
 $I_N = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$
 (1ª ley de Kirchoff)

Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

Corrientes armónicas en el neutro

¿Y en un sistemas con cargas no lineales?

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)

Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

Corrientes armónicas en el neutro

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

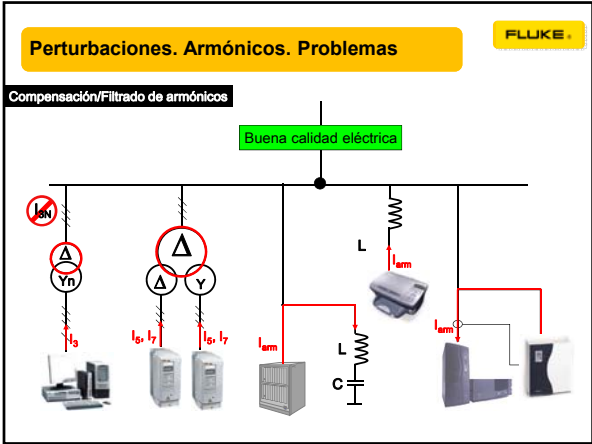
Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

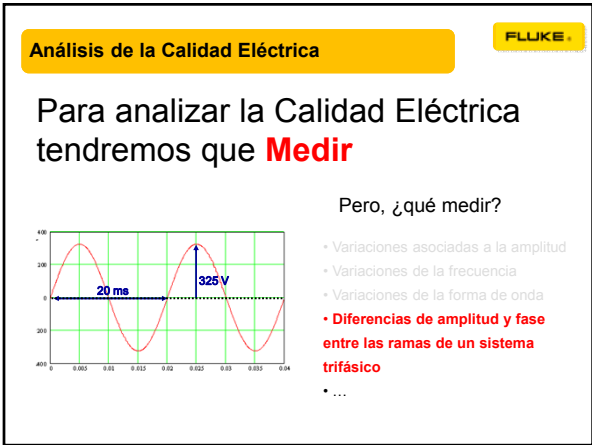
Las cargas no lineales degradan la tensión

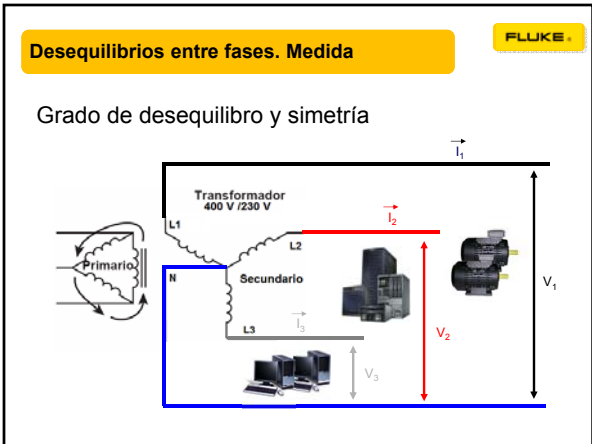
Perturbaciones. Armónicos. Problemas FLUKE

Solución al problema de los armónicos

- Las corrientes armónicas en la instalación no se pueden suprimir pues son debidas a las cargas de la propia instalación
- Si se pueden confinar en un punto de la instalación para evitar su efecto aguas arriba
- Para confinar los armónicos aplicaremos la misma estrategia que para mejorar el factor de potencia. Es decir, añadiremos fuentes de corriente armónica en paralelo con las cargas distorsionantes y que proporcionen la misma corriente armónica que ellas pero en contrafase. O en serie en caso de filtros.







Desequilibrios entre fases. Medida FLUKE

Grado de desequilibrio y simetría

Tensiones desequilibradas

- Distinta amplitud
- Desfase distinto de 120° eléctricos

Desequilibrios entre fases. Medida FLUKE

Grado de desequilibrio y simetría

Sistema equilibrado Sistema desequilibrado

Desequilibrios entre fases. Medida FLUKE

Grado de desequilibrio y simetría

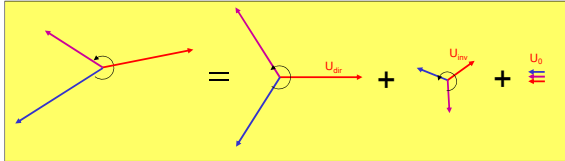
¿Cómo medir el desequilibrio de una instalación? ¿qué parámetros se deben MEDIR?

= + + =

Secuencia positiva (L1 - L2 - L3) Secuencia negativa (L1 - L3 - L2) Secuencia cero (L1=L2=L3)

Desequilibrios entre fases. Medida FLUKE

Grado de desequilibrio y simetría



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


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

Desequilibrios entre fases. Medida FLUKE

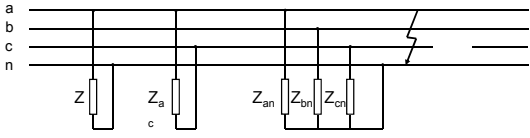
Grado de desequilibrio y simetría

| Desequilibrio | | A | B | C | Unbal |
|-----------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Unbal (%) | 2.4 | 1.2 | 3.0 | 6.5 | |
| U Fund | 125.5 | 120.6 | 119.8 | 0.9 | |
| Hz | 60.16 | | | | |
| φU ^A | 0.0 | -122.4 | -241.1 | -56.5 | |
| φU ^B | -8.1 | -136.8 | -241.4 | -47.1 | |
| φU Fund | 1065 | 1039 | 1039 | 0.8 | |

Mon: 2.4 Sim: 1.2



Desequilibrios entre fases. Causas FLUKE



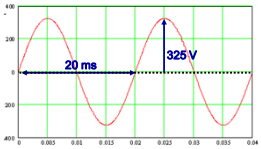
a
b
c
n

Z Z_a Z_{an} Z_{bn} Z_{cn}

monofásica bifásica Desequilibrada Fallos

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
- ...

2.- Eficiencia Energética. Potencia y Energía Eléctrica FLUKE



Analizadores de Energía y Calidad Eléctrica FLUKE

Los analizadores de Energía y Calidad Eléctrica son instrumentos de medida que nos van a permitir medir entre otros aspectos las potencias y energías consumidas por las cargas eléctricas.

Existen muchos analizadores de calidad eléctrica en el mercado:




Sin embargo para el análisis de la eficiencia energética es recomendable la utilización de equipos combinados como el Fluke 434 SII o el Fluke 435 SII que en un mismo instrumento combina un analizador de calidad eléctrica con un **analizador de Energía**.

Medida de Potencia FLUKE


Varios modos de medir la potencia:

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




Medida de Potencia. Historia FLUKE

- Originalmente, los métodos de cálculo de la potencia y energía fueron desarrollados por Steinmetz (1897).
- La norma IEEE1459-2010 – Establece las definiciones para la medida de parámetros eléctricos para la medida de la potencia – se convierte en la norma en la Industria.
 - También incluye las pérdidas de energía debido a armónicos y desequilibrios – medidas por todo el mundo, incluyendo el 430 Serie I
- En los últimos 10 años los clientes industriales quieren saber más acerca de:
 - Calidad eléctrica deficiente debido a pérdidas de productividad
- En los últimos 5 años – los clientes demandan saber más acerca de:
 - Los consumos de Energía



Steinmetz



¿Cuál es el coste actual de una Calidad Eléctrica deficiente?

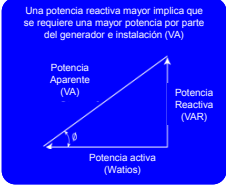
Potencia Clásica (Steinmetz 1897) FLUKE

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




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

Potencia Clásica (Steinmetz 1897) FLUKE

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 Clásica FLUKE

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

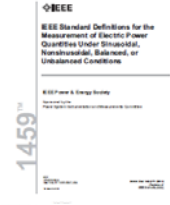
Intentos de ampliar o corregir la Potencia Clásica:

- Buchholz (1922)
- Budeanu (1927)
- Fryze (1932)
- Depenbrock (1960)
- Otros

Potencia IEEE 1459-2010 FLUKE

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



Presidente: A.E. Emanuel
Actualizado: 2010

Potencia IEEE 1459-2010 FLUKE

- Ventajas:
 - Completa
 - Matemáticamente correcta
- Desventajas:
 - Muchos parámetros
 - El significado físico no siempre es claro
 - Utiliza un sistema sustitutorio virtual para los desequilibrios
- Demasiado académico para un uso práctico



Potencia Unificada FLUKE

- Desarrollada por los profesores **Vicente León y Joaquín Montañana de la Universidad Politécnica de Valencia**
- Unifica varias teorías de potencia.
(el resultado es compatible con otras teorías p.e. IEEE-1459)
- Descompone la Potencia total en componentes físicas significativas (medibles con instrumentos físicos)
- Proporciona una visión directa de los problemas de pérdida de energía
- Proporciona una visión directa en problemas de desequilibrios y armónicos
- Más adecuada para Ingenieros y Técnicos


Potencia Unificada FLUKE

Descomposición de la potencia total:


$$u(t) = u^+(t) + u_U(t) + u_H(t)$$

$$i(t) = i^+(t) + i_R(t) + i_U(t) + i_H(t)$$


$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = p_E(t) + p_R(t) + p_U(t) + p_H(t)$$




activa



reactiva



desequilibrio



armónica

Medida de Potencia. Conclusión

Potencia Clásica: - sencilla pero limitada
 - compacta
 - familiar

Potencia IEEE : - completa
 - extensa
 - difícil de comprender

Potencia Unificada: - orientada a la aplicación
 - razonablemente compacta
 - ofrece diagnóstico

Calculadora Pérdidas de Energía

MENU

- Voltios/Amperios/Hz
- Fluctuaciones
- Armónicos
- Potencia y energía
- Calculadora de pérdidas de energía**
- Eficiencia de inversores
- Desequilibrio
- Corrientes de arranque
- Monitor

PAGE 1 PAGE 2 OK

Potencia y Energía

- 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 Σ (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.

El contador de energía se puede temporizar

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.

| | Total | Loss | Cost |
|----------------|-------|-------------|-------------------|
| Effective kW | 61.1 | 1.59 | \$ 158.71 /hr |
| Reactive kvar | 42.1 | 0.752 | \$ 75.21 /hr |
| Unbalance kVA | 12.3 | 0.594 | \$ 5.94 /hr |
| Distortion kVA | 16.4 | 0.338 | \$ 33.81 /hr |
| Neutral A | 8.2 | 0.45 | \$ 0.45 /hr |
| Total | | 1.59 | \$ 2.40 /y |

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

| | Total | Loss | Cost |
|---------------|-------|--------------|-------------|
| Effective kW | 35.32 | 1.29 | \$ 0.26 /hr |
| Reactive var | 461 | 2.22 | \$ 0.44 /hr |
| Unbalance VA | 1355 | 1.1 | \$ 0.24 /hr |
| Distortion VA | 498 | 0.68 | \$ 0.13 /hr |
| Neutral A | 13.3 | 0.6 | \$ 0.17 /hr |
| Total | | 10.86 | kWh |

Consumos eléctricos FLUKE

Potencia Activa, Reactiva, Cos φ, P. Demanda


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

Consumos eléctricos
Potencia y Energía Activa
FLUKE

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 | | | | |
|--------------------|------|---------|------|-------|
| Par | DEMO | 0:00:27 | | |
| kW | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 65.7 | 60.1 | 63.6 | 189.4 |
| kVar | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 67.0 | 63.1 | 64.5 | 194.6 |
| kvar | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 8.8 | 15.9 | 0.3 | 25.0 |
| PF | 0.98 | 0.95 | 0.99 | 0.97 |



Consumos eléctricos
Potencia y Energía Activa. Flujos de energía
FLUKE

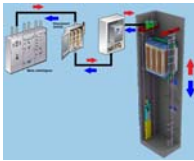
Consumo de energía (kWh)

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.

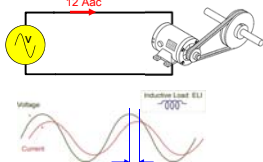
El analizador de calidad eléctrica Fluke 435 SII es capaz de cuantificar de forma separada:

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



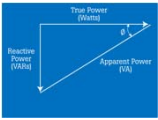
| POWER & ENERGY METER | | | | |
|----------------------|-------|---------|-------|-------|
| Par | DEMO | 0:13:27 | | |
| kWh | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 2504 | 2542 | 2531 | 7576 |
| kWhr | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 0.954 | 0.214 | 0.477 | 1.214 |
| kWh Forw | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 2.549 | 1.728 | 2.483 | 6.004 |
| kWh Rev | L1 | L2 | L3 | Total |
| | 0.000 | 0.765 | 0.000 | 0.000 |

Consumos eléctricos
Potencia reactiva. Penalización por Cos φ
FLUKE



- 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 $\cos \phi$
- 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).



Consumos eléctricos
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

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

Consumos eléctricos
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

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.

FLUKE

4.- Normativas aplicables

Normativas Calidad Eléctrica

FLUKE



NORMATIVAS APLICABLES A LA CALIDAD ELÉCTRICA

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

Normativas Calidad Eléctrica EN50160

FLUKE

EN-UNE 50160

Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución

Modo Monitor Norma EN50160 FLUKE

Armónicos en tensión fuera de la norma.
 Pero... qué armónico es?
 Y... cuando ocurrió?

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30 FLUKE

CEI 61000-4-30

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

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30 FLUKE

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)

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.

Normativas Calidad Eléctrica IEC 61000-4-30 FLUKE

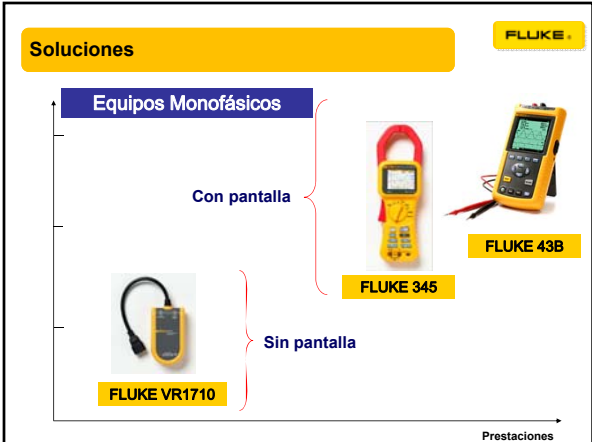
5 Parámetros de calidad eléctrica

| Parámetro | Medida | Clase A | | Clase B |
|--|--------------------------------|---|-----------|---------------------------------|
| | | Intervalo | Exactitud | Procedimiento de especificación |
| Frecuencia | Hz | 10 s | ± 10mHz | A especificar por el fabricante |
| Tensión de alimentación | Vrms | 10 ciclos | ± 0.1% | ± 0.5% |
| Flicker | PII | CEI 61000-4-15 | | A especificar por el fabricante |
| Huecos, sobretensiones, interrupciones | Vrms, t, T | Vrms 1/2 ciclo (10 ms) | ± 0.2% | Vrms 1/2 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 P-S&I 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 |

FLUKE

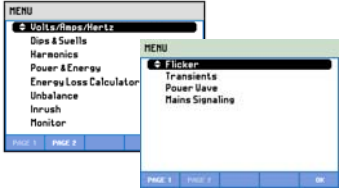
5.- Soluciones Fluke





Menús de medida FLUKE


Todas las medidas relacionadas con la calidad eléctrica, potencia y energía



¡Lo mide todo!

Modo Monitor Norma EN50160 FLUKE

¿Cómo interpretar la información?



Delgada: Máxima tensión medida relativa al límite superior

Ancha: Media de la tensión medida relativa al límite inferior

El color rojo indica que se ha excedido el límite superior.

Límite superior especificado en la EN50160

Límite inferior especificado en la EN50160

Flicker (Pit)

Eventos

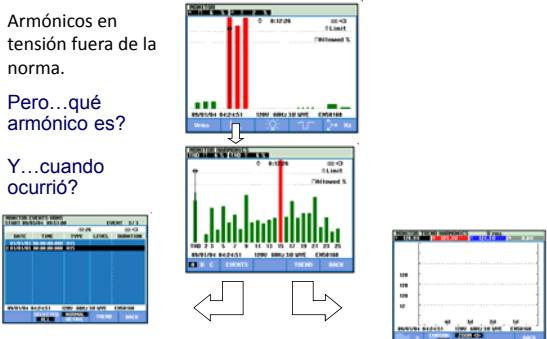
– Fluctuaciones de tensión y corriente (caídas, subidas, cambios rápidos, interrupciones)

Modo Monitor Norma EN50160 FLUKE

Armónicos en tensión fuera de la norma.



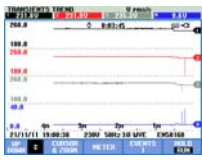
Pero... ¿qué armónico es?

Y... cuando ocurrió?



Transitorios FLUKE

- Configurar el Fluke 435-II para la captura de transitorios es realmente simple.
- La pantalla muestra las opciones a seleccionar (transitorios huecos, sobretensiones, etc.).
- Ahora se pueden capturar hasta 9.999 eventos !!! (435 SI solamente 40).

Transitorios FLUKE

Captura de:

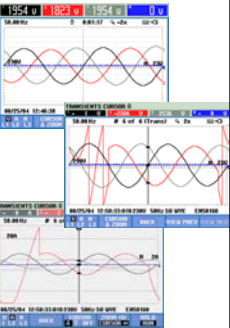
- Transitorios de tensión
- Caídas, subidas, interrupciones y corriente (rms).

Ver la forma de onda en tiempo real o ver los transitorios capturados, mientras el Fluke 430 sigue monitorizando.

Transitorios desde 5us (200kS/s) y de hasta 6kV de amplitud.

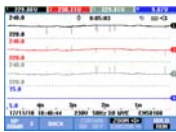

Cursores y zoom.

Es recomendable utilizar este modo no sólo cuando se necesitan capturar transitorios sino con cualquier evento de tensión o corriente



Power Wave. Registrador de formas de onda FLUKE

- Sistema de captura multicanal de alta velocidad.
- Interrelaciona corriente, tensión y frecuencia en las tres fases simultáneamente
- Captura formas de onda completa con gran detalle y a largo plazo.
- Simultáneamente calcula valores eficaces cada medio ciclo
- La herramienta perfecta para capturar detalles eléctricos de arranques de generadores o grandes motores.

Hardware avanzado FLUKE

- Sondas de corriente más finas "Thin Flex "x4, hasta 6000 A
- Puerto USB aislado. Software PowerLog 3.0
- Batería de Ión Litio más ligera y de mayor autonomía
- Tarjeta de memoria SD (hasta 32GB), permite meses de registro
- Nueva pantalla LCD más brillante y grande (153 mm)



Fluke 1730. Prestaciones principales FLUKE



- Registro de tensiones corrientes y potencias.
- Corrección automática de errores de conexionado de sondas
- Software intuitivo para la creación automática de informes
- Alimentación desde un enchufe estándar o desde las propias sondas de tensión
- Pantalla táctil
- Sondas flexibles autodetectables
- Registro de dos entradas auxiliares 0-10 V

Calidad Eléctrica y Eficiencia Energética FLUKE

¡Muchas gracias!
