

# EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADA

BAJANDO COSTOS MEDIANTE EL AHORRO DE ENERGÍA



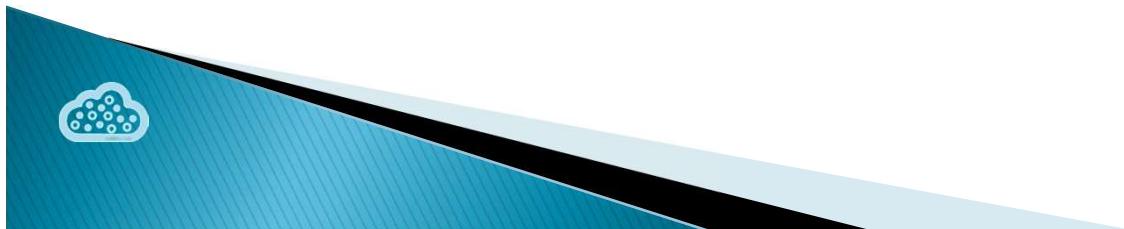
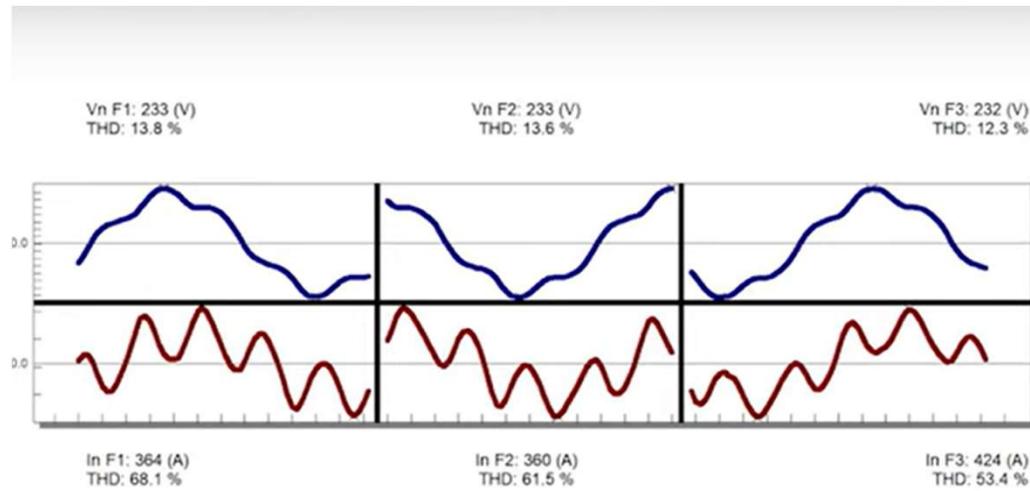
*Guía práctica para un ahorro real  
en el consumo eléctrico*



Nubemotic Energía

# LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

*El problema que llegó para quedarse*



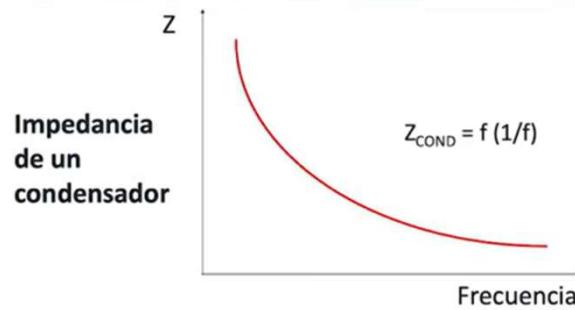
# Problemas de la Distorsión Armónica

## Sobre la corriente:

- Corrientes en el neutro especialmente la 3º armónica (homopolar) donde se suma el aporte de cada fase. Calentamientos, salto de protecciones, corte de neutro.
- Aumento de pérdidas, especialmente en el hierro, las perdidas aumentan con frecuencias mas elevadas. Baja calidad de suministro y aumento de temperatura.
- Aumenta la probabilidad de salto de disyuntores (tipo B).

## Sobre la tensión

- Fallas en cargas sensibles: PLC, sistemas electrónicos de control, etc. (**>5% IEEE-519**)
- Sobrecarga en los capacitores de corrección de FP (mas frecuencia, menor impedancia a estas frecuencias)  
Un **2%** ya los empiezan a afectar.
- Peligros de resonancia (amplificación de armónicos) en el caso que el orden de resonancia del sistema (n) se encuentre cerca de algunas de las frecuencias armónicas:



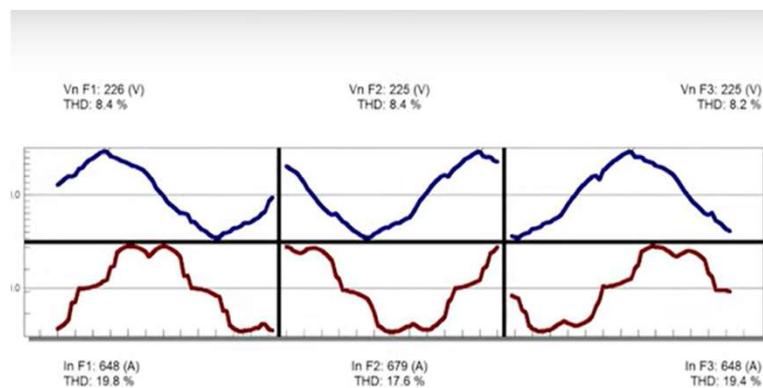
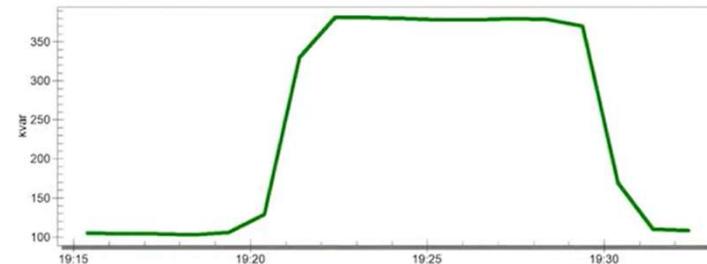
$$n = \sqrt{\frac{Scc}{Q}}$$

Dónde **Scc** : Potencia de cortocircuito y **Q** : Potencia reactiva de los capacitores.

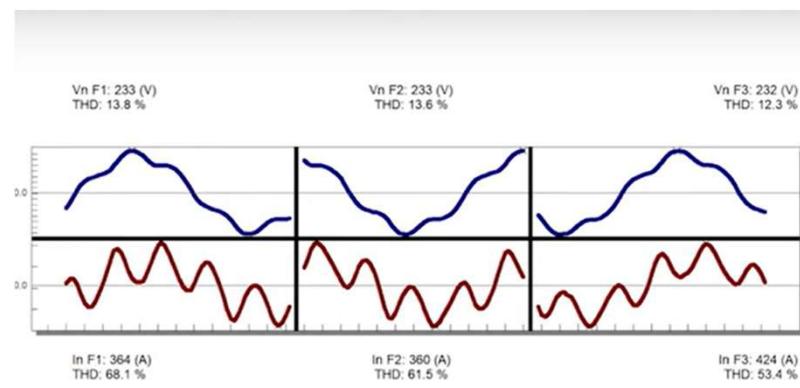


# Problemas de la Distorsión Armónica

## Sistema con y sin el Banco de capacitores conectado



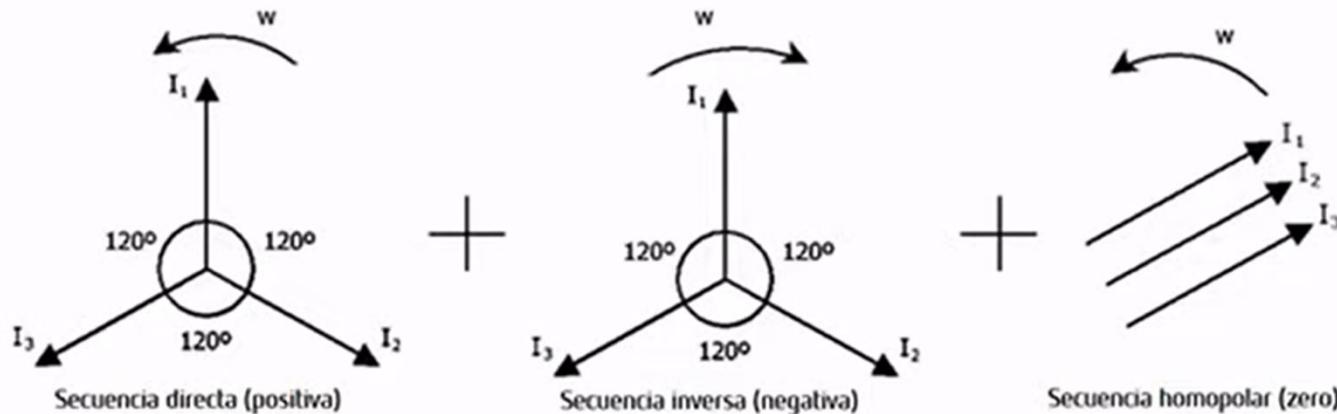
Sin el banco de capacitores



Al conectar el banco de capacitores  
**Amplificación del 5º Armónico**  
**Alta corriente en capacitores y altas perdidas en transformador de alimentación**



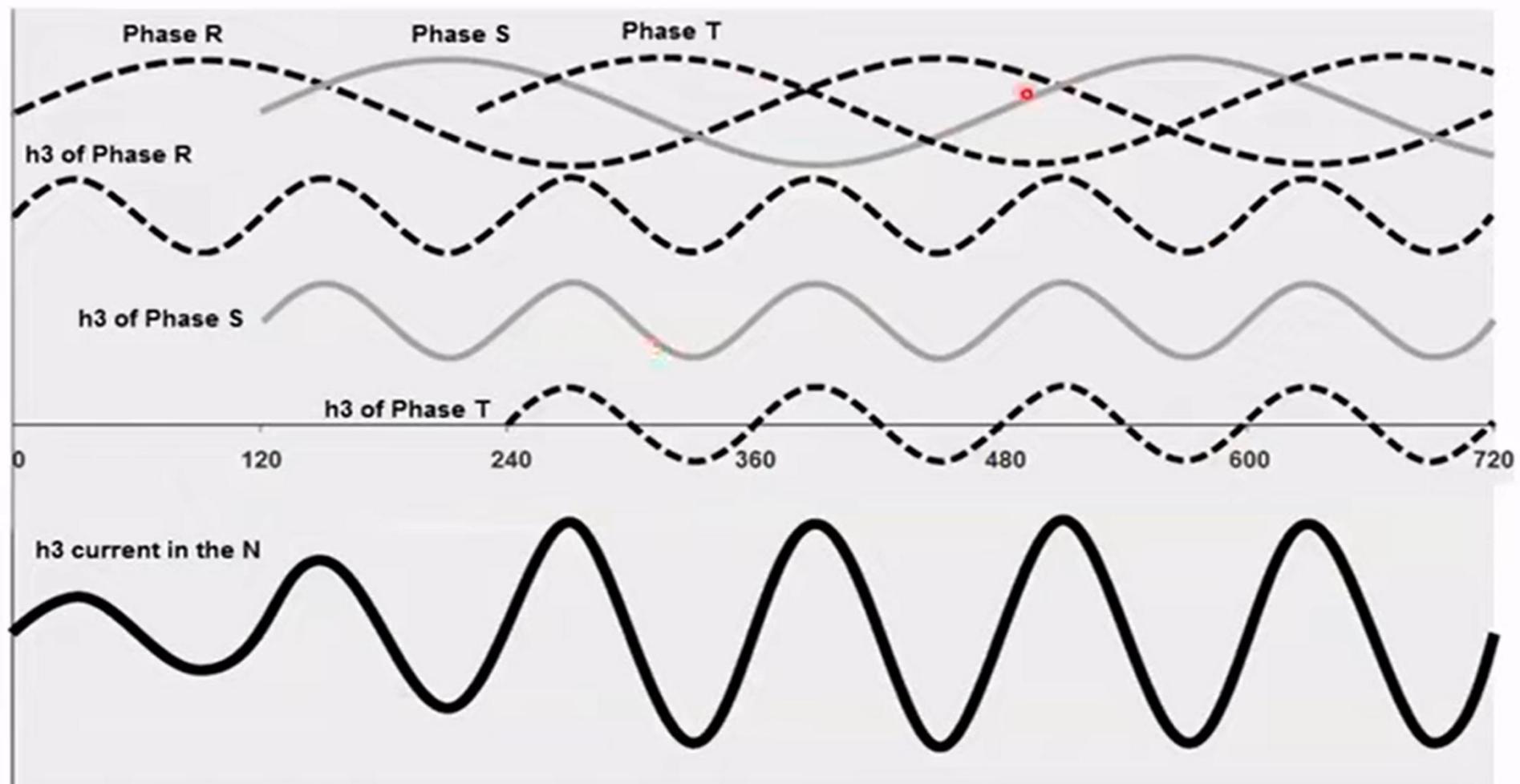
# Armónicos Tipos de armónicos



Secuencia					
Positiva		Negativa		Homopolar	
Armónico	Frecuencia	Armónico	Frecuencia	Armónico	Frecuencia
1	50 Hz	2	100 Hz	3	150 Hz
4	200 Hz	5	250 Hz	6	300 Hz
7	350 Hz	8	400 Hz	9	450 Hz
10	500 Hz	11	550 Hz	12	600 Hz
13	650 Hz	14	700 Hz	15	750 Hz
16	800 Hz	17	850 Hz	18	900 Hz
19	950 Hz	20	1000 Hz	21	1050 Hz
22	1100 Hz	23	1150 Hz	24	1200 Hz



# Armónicos Homopolares



# Armónicos

## Interpretación

La tasa de distorsión armónica total (THD):

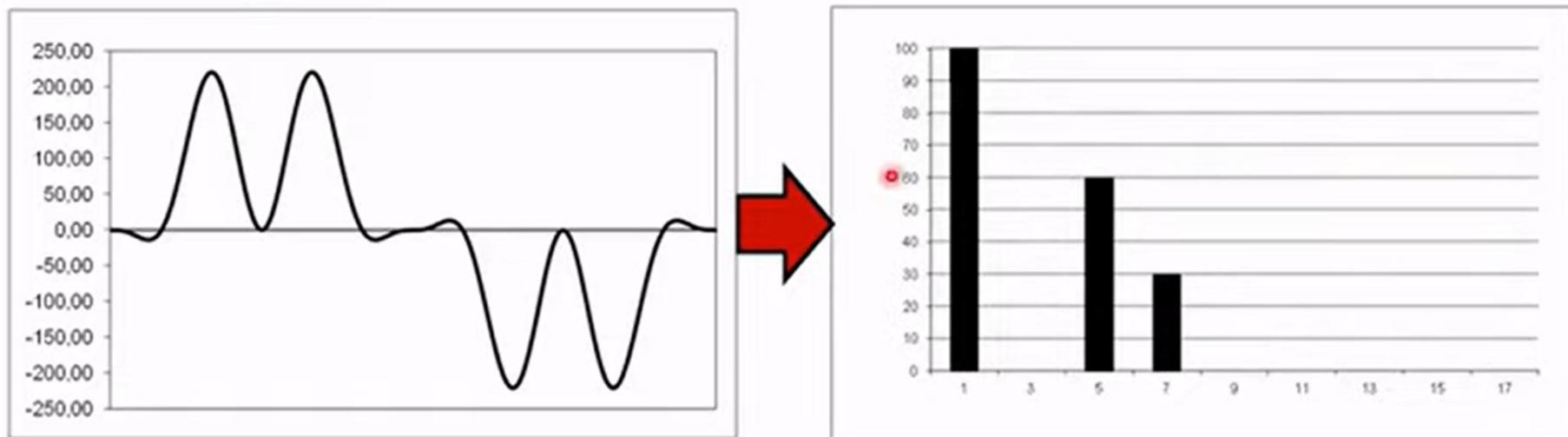
- Relación entre: suma de armónicos vs valor fundamental:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100 \text{ (%)}$$

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100 \text{ (%)}$$

# Armónicos Interpretación

La forma de mostrar la cantidad de armónicos es mediante el espectro.



Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia  
(Espectro)

"Como más alta es la frecuencia más pequeña es la amplitud. Por eso los armónicos más importantes son los primeros (3,5,7,9...)"



# Interarmónicos de corriente

*Las frecuencias de estas ondas no son múltiplo natural de las ondas de tensión o de corriente fundamental.*

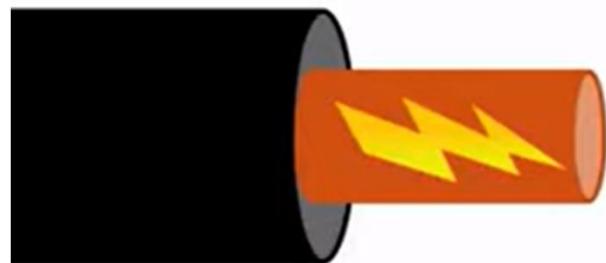
- **Variaciones bruscas en la corriente**
- **Comutación asíncrona de los dispositivos semiconductores de los convertidores estáticos**

## EFECTOS

Aumento de calor producido por el efecto Joule, oscilaciones no deseadas de frecuencia baja en sistemas mecánicos y torsionales en máquinas eléctricas, saturaciones en los transformadores de corriente, y el fenómeno «Flicker»



# Armónicos Efecto en los conductores



Circulará una mayor corriente eficaz

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$



## Armónicos Efecto en los conductores

Efecto pelicular (Skin effect):



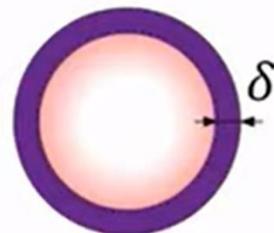
Área disponible para conducir CC.



Área disponible para conducir CA de baja frecuencia



Área disponible para conducir CA de alta frecuencia



Armónico	Freq. (Hz)	Profund. (mm)
3 <sup>rd</sup>	150	5,38
5 <sup>th</sup>	250	4,18
7 <sup>th</sup>	350	3,52
11 <sup>th</sup>	550	2,81
13 <sup>th</sup>	650	2,58

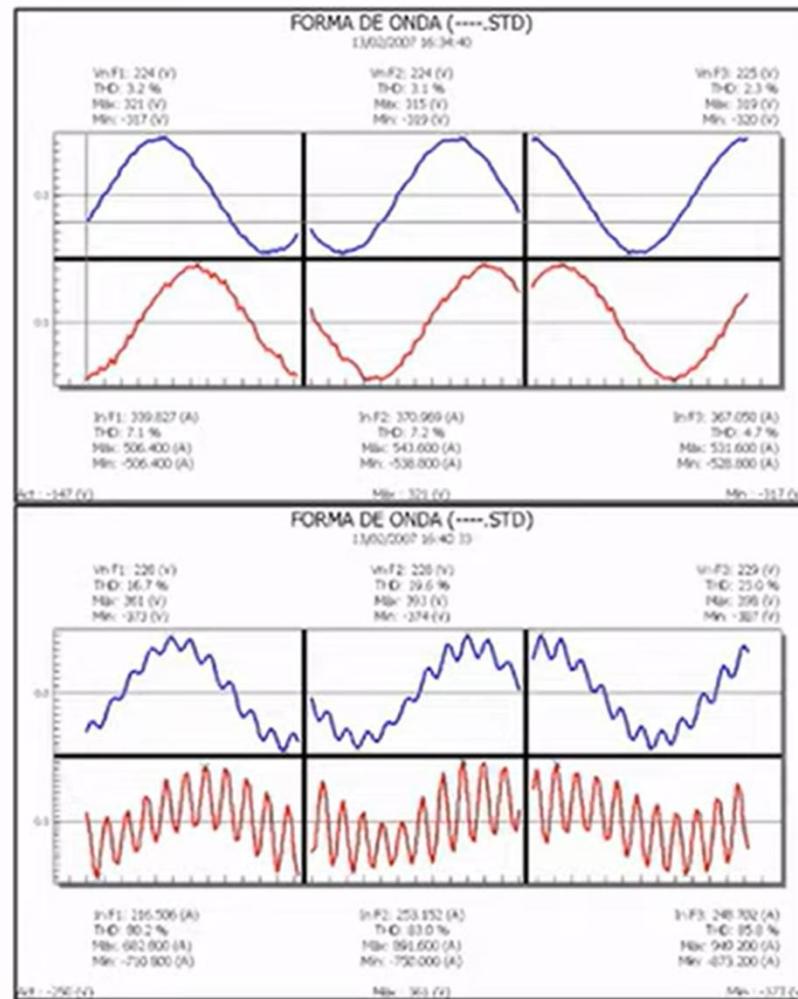
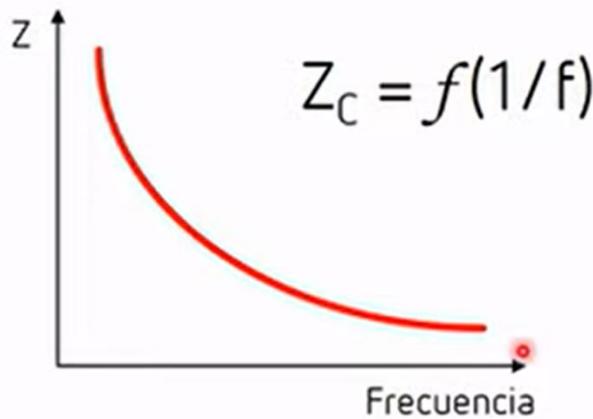
$$\delta = \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{\rho \times 10^5}{f}} = \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{1,72 \times 10^5}{50}} = 9,32\text{mm}$$

$\rho$ : Resistividad del cobre en  $\mu\Omega \cdot \text{cm} = 1,72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$



# Armónicos

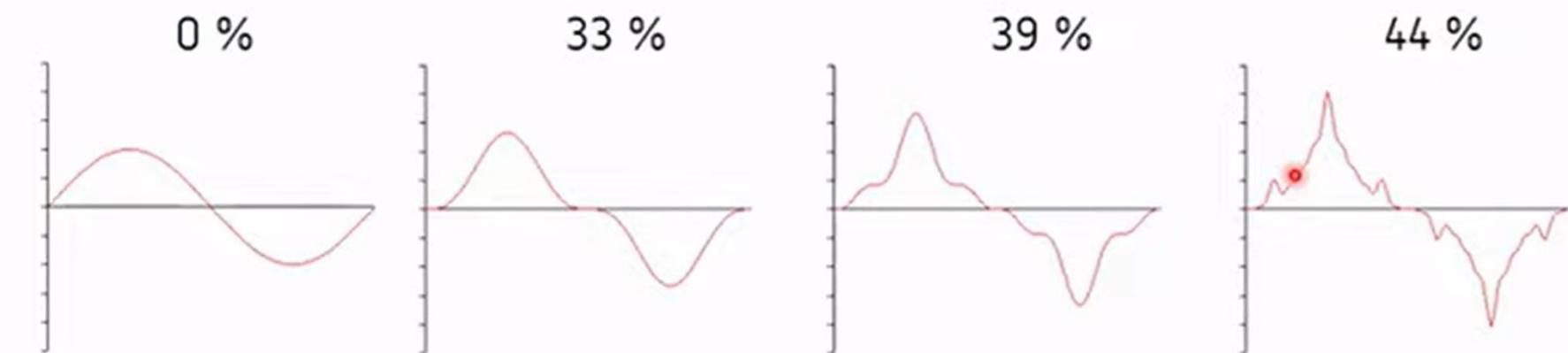
## Efecto en los condensadores



# Armónicos

## Efecto en las protecciones

Distorsión armónica total en corriente THD<sub>i</sub>



Pico 100 %

133 %

168 %

204 %

RMS 100 %

105 %

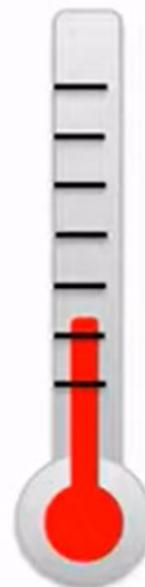
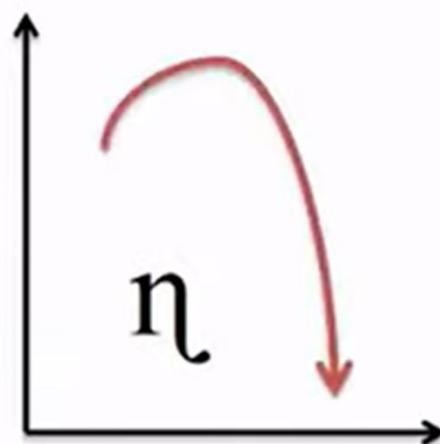
108 %

110 %

- Incremento del valor eficaz (RMS)
- Modificación del valor de pico de la forma de onda



# Armónicos Efecto en motores eléctricos



Pérdida de rendimiento  
Pérdida de Par  
Vibraciones en el eje,  
Desgaste mecánico en rodamientos



# Armónicos Efecto en transformadores



- Sobrecalentamiento en los conductores por efecto Joule:

$$P_{CU} = R \cdot I_{RMS}^2 = R \cdot I_1^2 + \textcolor{red}{R} \cdot \sum I_h^2$$

- Sobrecalentamiento por las perdidas en el hierro:

$$P_{Fe} = P_{Focault} + P_{Histéresis}$$



# Armónicos Efecto en sistemas de control

## Sistemas de Control: PLC's:

- Mediciones incorrectas
- Errores en procesos de control
- Interferencias en comunicaciones y control



# Armónicos

## Instalaciones potenciales

### *Cargas no lineales*

Instalaciones que tengan:

- Máquinas de climatización → Cualquier tipo de instalación
- Cámaras frigoríficas → Supermercados
- Sistemas de bombeo → Estaciones de bombeo, industria
- Sistemas de automatización y control → Industria
- Gran proporción de equipos de ofimática o iluminación LED → Oficinas, centros comerciales
- Variadores de velocidad → Industria
- Equipos de recarga de vehículo eléctrico → Cualquier tipo de instalación





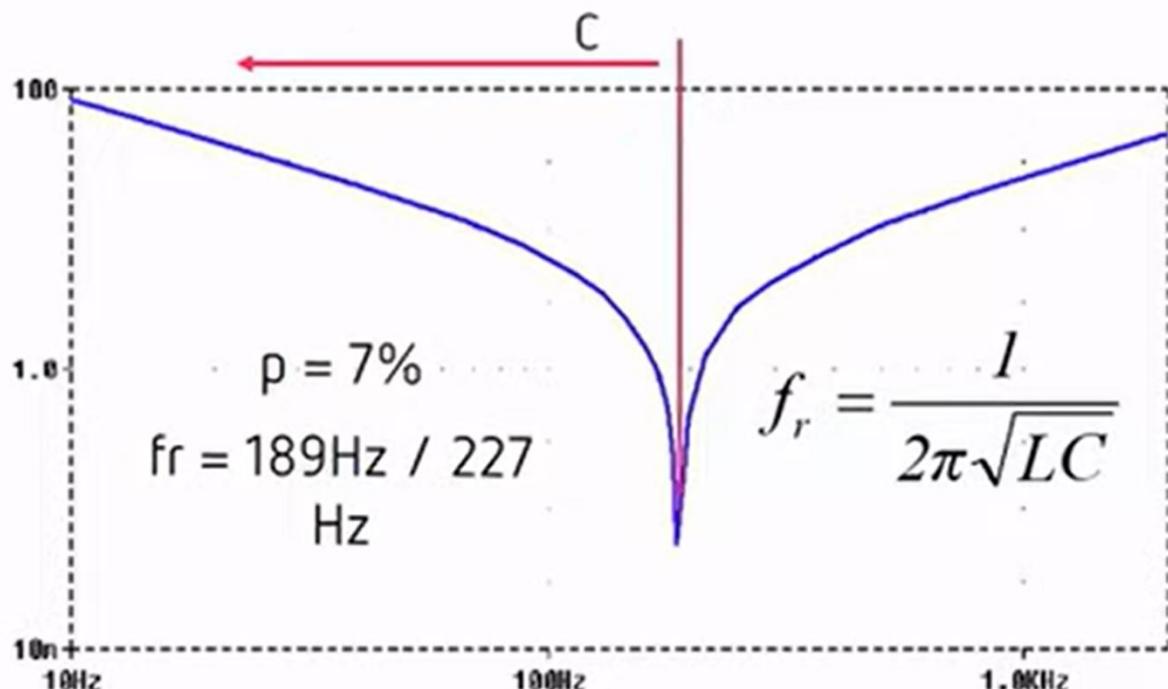
Solución para redes  
distorsionadas y con alto  
riesgo de resonancia

Reactancias de filtrado

Condensador diseñado para  
filtros de rechazo



## Eliminación del riesgo de resonancia, batería con filtros modelo FR.



$$p(\%) = 100 \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_r} \right)^2$$

$p\%$	$f_r$	Armónico rechazado
7%	189 Hz / 227 Hz	$h > 5^\circ, f > 250\text{ Hz} / 300\text{ Hz}$
14%	134 Hz / 160 Hz	$h > 3^\circ, f > 150\text{ Hz} / 180\text{ Hz}$

