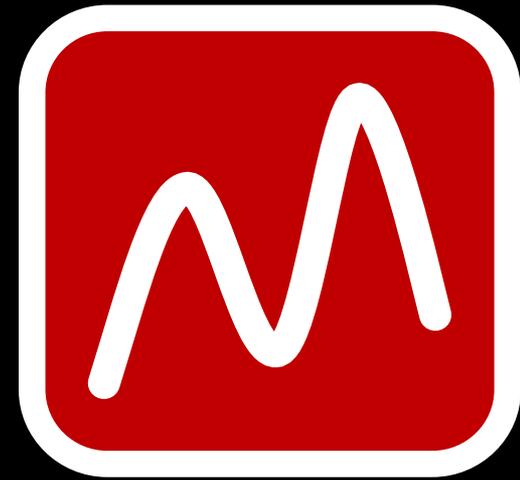


# Conociendo los armónicos eléctricos



# Víctor Castrillo

Responsable de Producto Reactiva BT y  
Filtado de armónicos

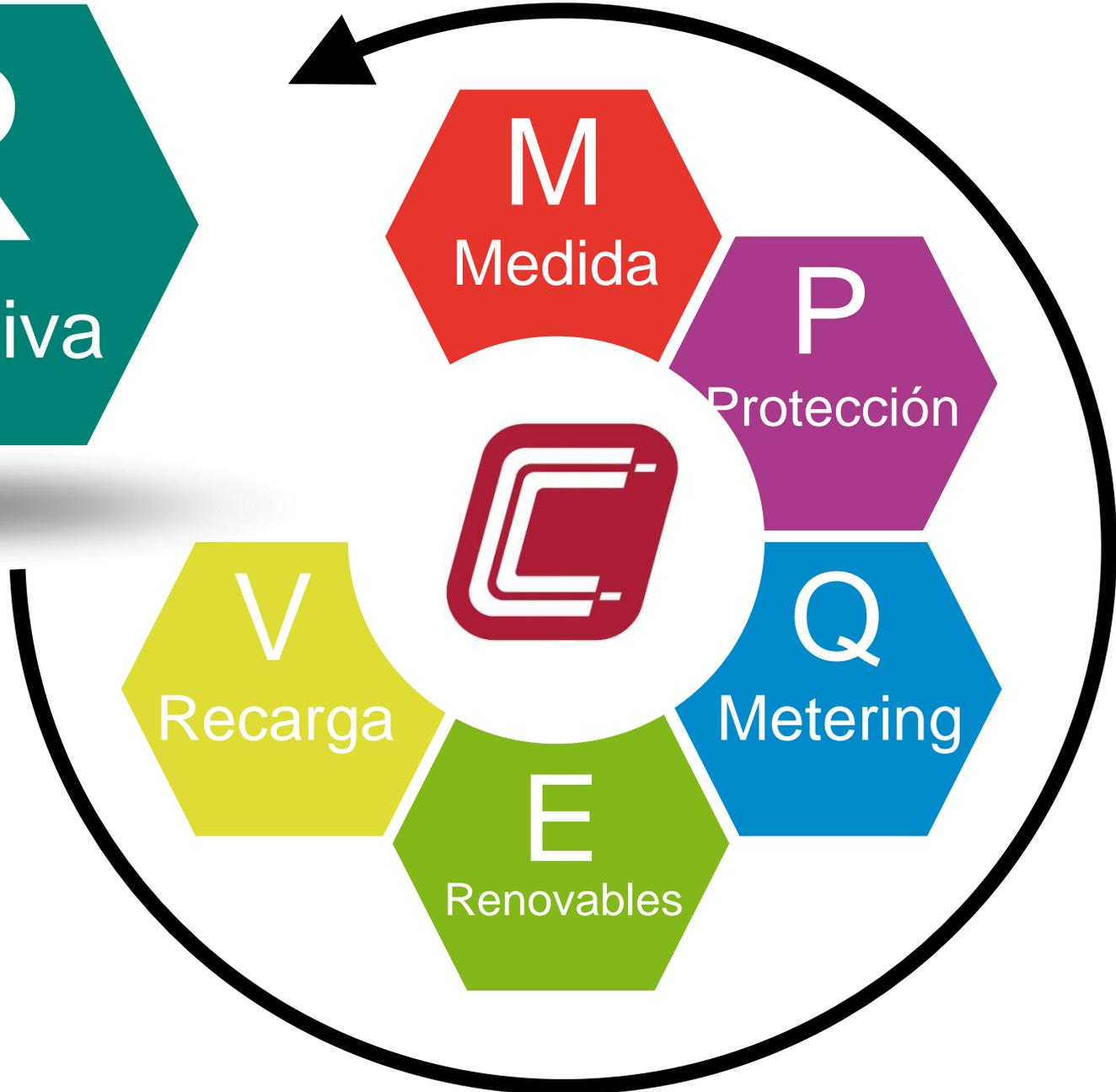
División Calidad de la Red



@Circutor  
#reactiva

[vcastrillo@circutor.com](mailto:vcastrillo@circutor.com)





# Costes de en una instalación



# Costes económicos

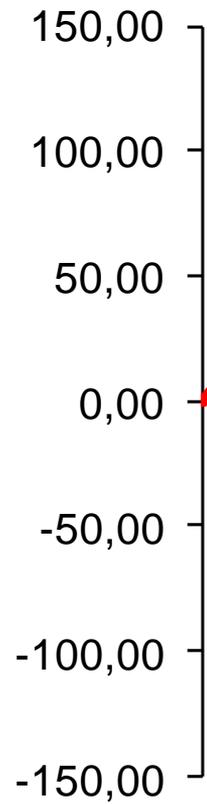
Los costes económicos son a menudo difíciles de cuantificar, ya que se componen por unos costes visibles (factura electricidad) y ocultos.

Estos costes económicos ocultos, vienen normalmente, de unos costes técnicos previos, y que se cuantifican cuando ya es tarde.

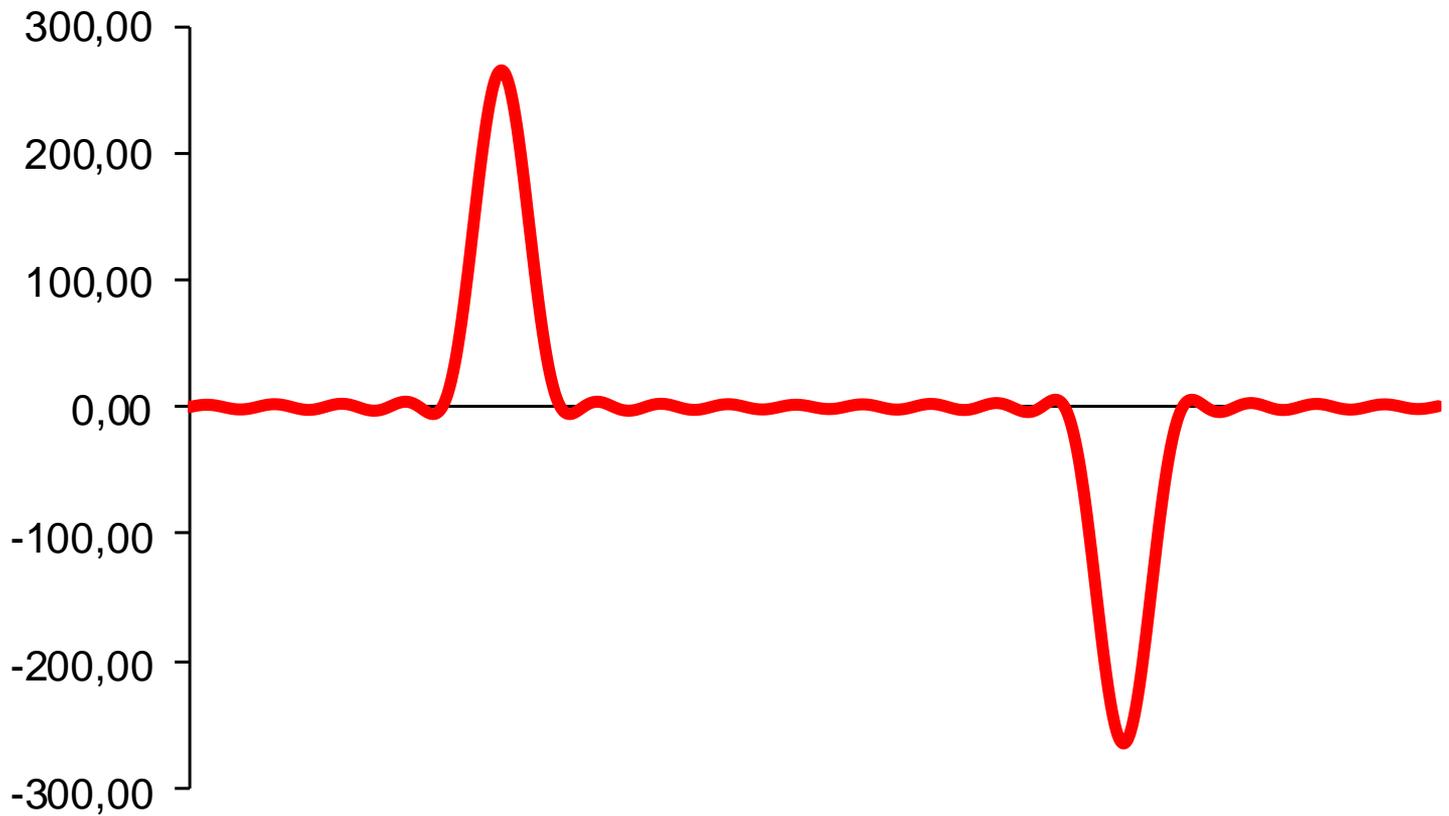
Industry	Typical financial loss per event (€)	
Semiconductor production	3,800,000	
Financial trading	6,000,000	per hour
Computer centre	750,000	
Telecommunications	30,000	per minute
Steel works	350,000	
Glass industry	250,000	

**¿Qué son los armónicos?**

# Onda Ideal

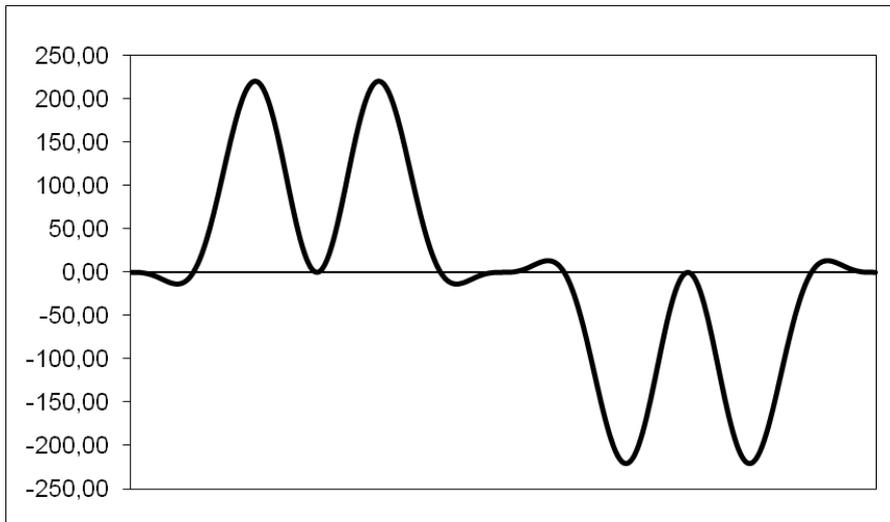


# Onda distorsionada



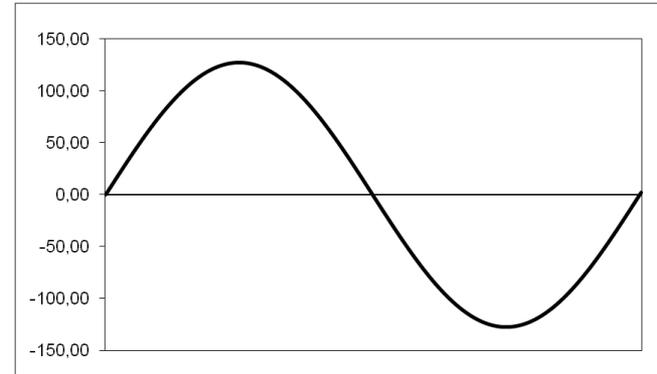
# Armónicos

El armónico de una onda es un componente en frecuencia de la señal que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

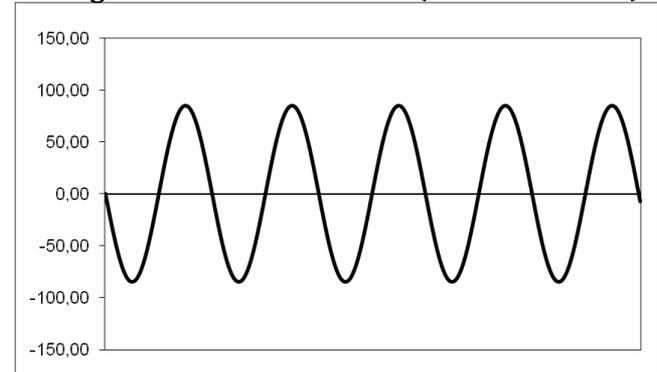


$$X(t) = X_1 + X_5 + X_7$$

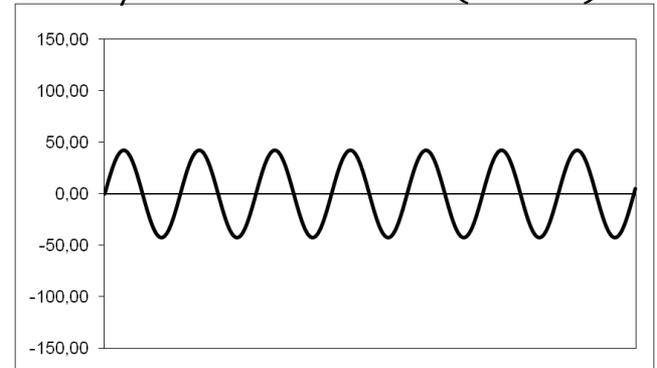
$$X_1 = 90\sqrt{2} \cdot \sin(2\pi t)$$



$$X_5 = 60\sqrt{2} \cdot \sin(2\pi 5t + \pi)$$

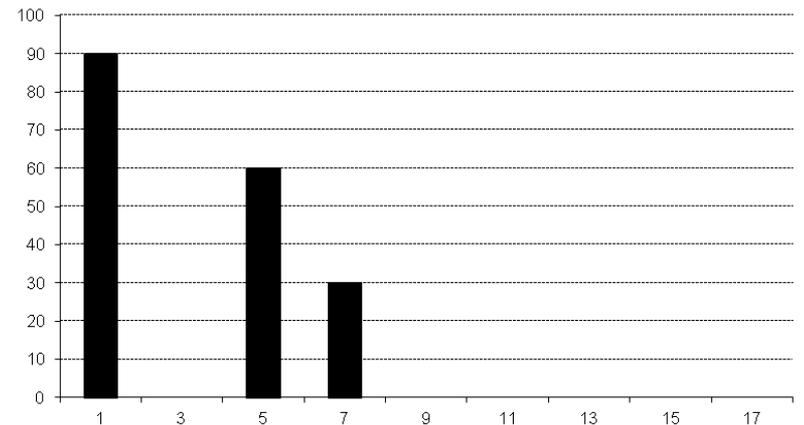
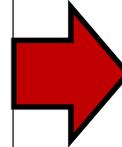
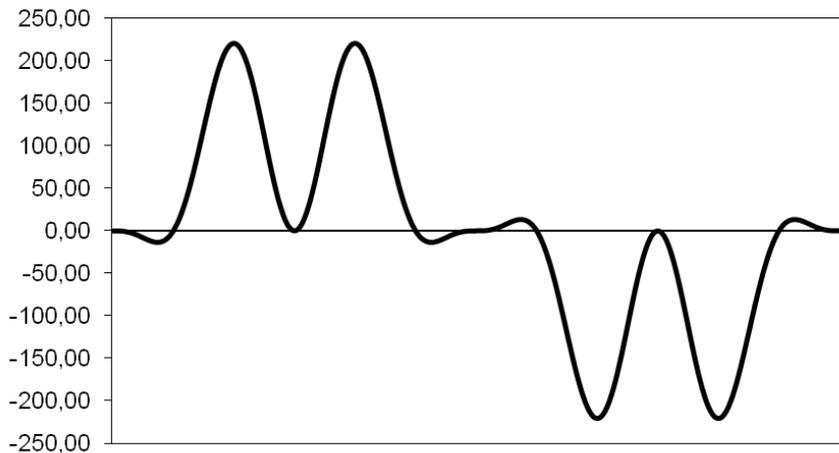


$$X_7 = 30\sqrt{2} \cdot \sin(2\pi 7t)$$



# Armónicos

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

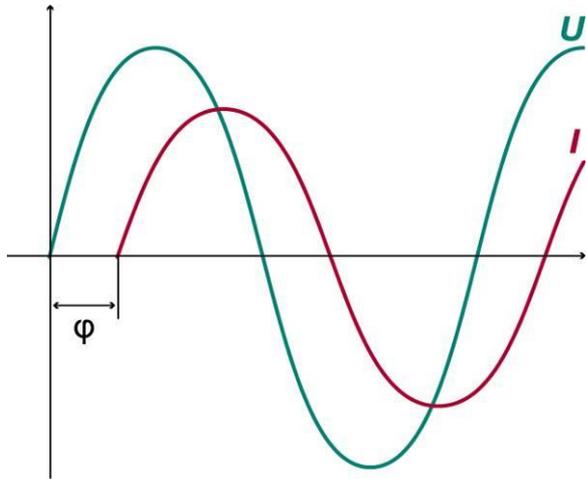


Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia  
(Espectro)

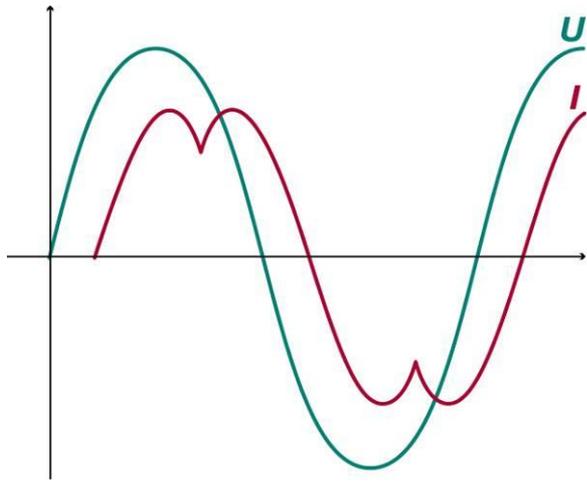
**¿Quién genera los armónicos?**

# Tipo de cargas



## Carga lineal:

- Intensidad absorbida es con forma de onda senoidal .
- Ej.: resistencias, cargas inductivas en régimen permanente y no saturadas. (motores, transformadores...).

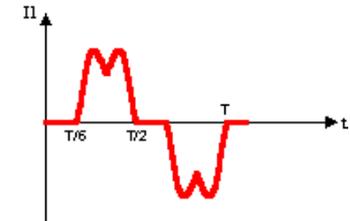
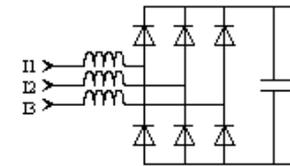
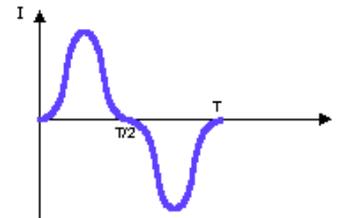
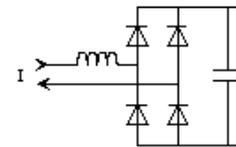
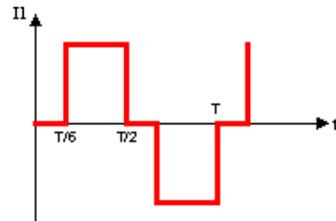
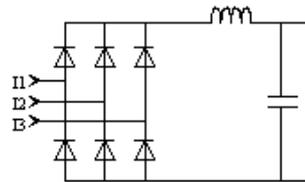
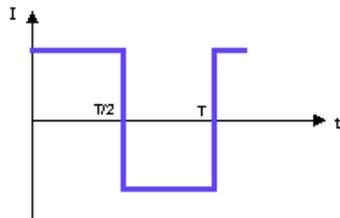
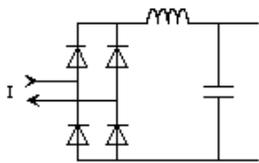
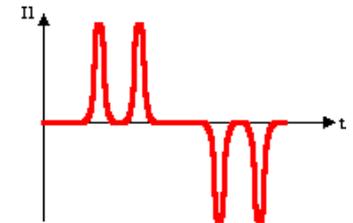
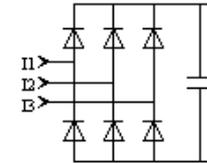
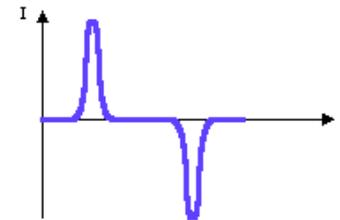
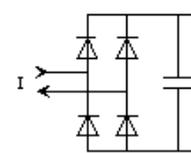


## Carga no lineal o deformante:

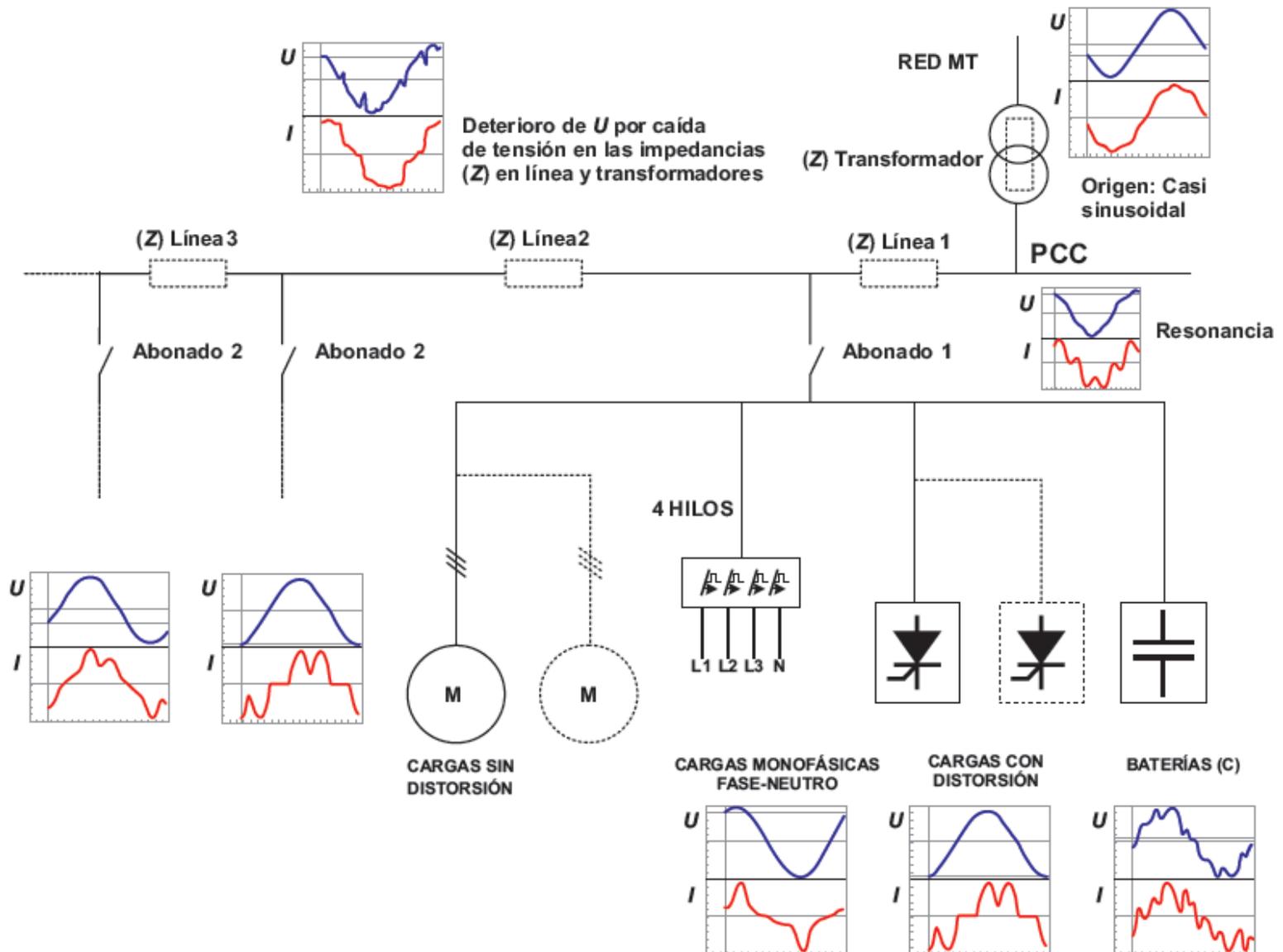
- Intensidad absorbida es con forma de onda no senoidal. Existencia de armónicos.
- Ej.: Arrancadores, variadores de velocidad...

# Fuentes típicas de armónicos

- Rectificadores sin inductancia de filtrado
- Rectificadores con inductancia de filtrado en el lado de continua
- Rectificadores con inductancia de filtrado en el lado de alterna



# Que distorsiona la tensión?



**¿Cómo medimos  
los armónicos?**

# Parámetros básicos

- Valor eficaz/RMS:

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{d=1}^n I_d^2}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{d=1}^n V_d^2}$$

- Distorsión individual:

$$I_n(\%) = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100$$

$$V_n(\%) = \frac{V_n}{V_1} \cdot 100$$

- Tasa de distorsión armónica:

$$THDI(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2}}{I_1} \cdot 100$$

$$THDU(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} \cdot 100$$

# ¿Qué aumento de sueldo prefieres?



50%



0,5%

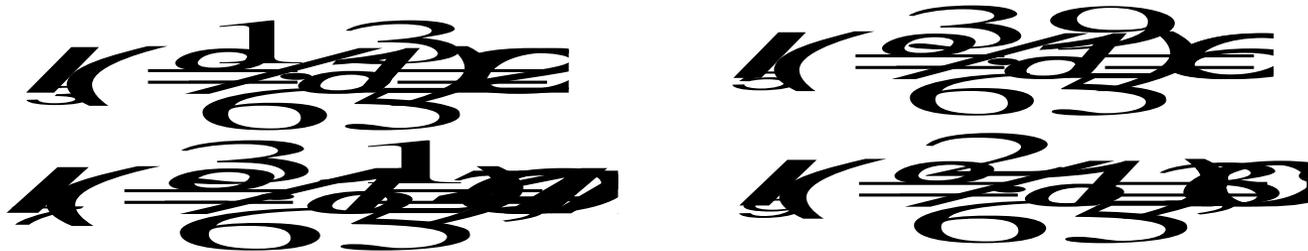
# Ejemplo de medidas fundamentales

$I_1=65A$ ;  $I_3=13A$ ;  $I_5=39A$ ;  $I_7=31A$ ;  $I_9=2A$

- *Valor Eficaz:*



- *Distorsión Individual:*

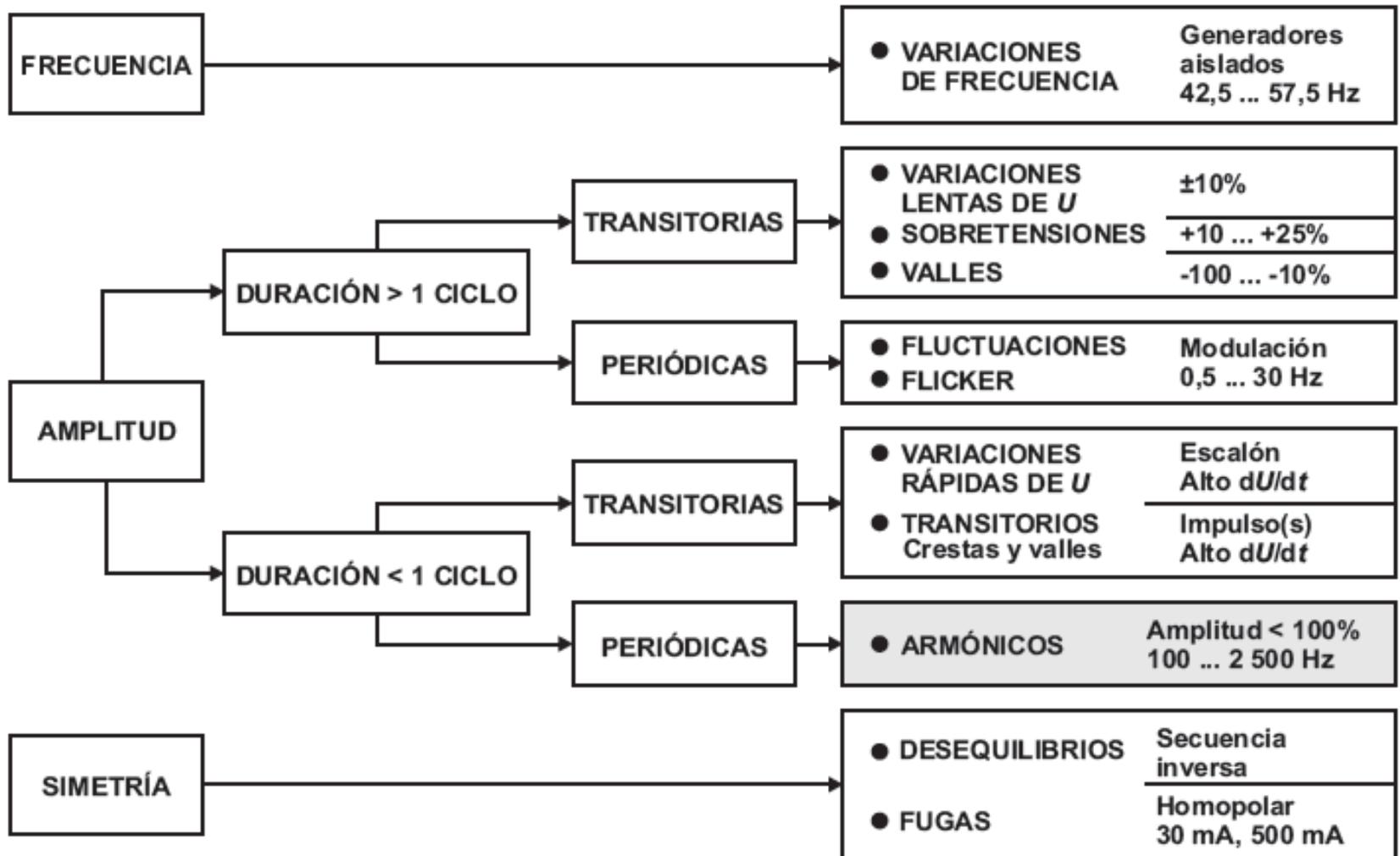


- *Tasa de Distorsión Armónica:*



**¿Qué hacen los armónicos?**

# ¿Los armónicos son culpables de todos los problemas?



# ¿Que hacen los armónicos?

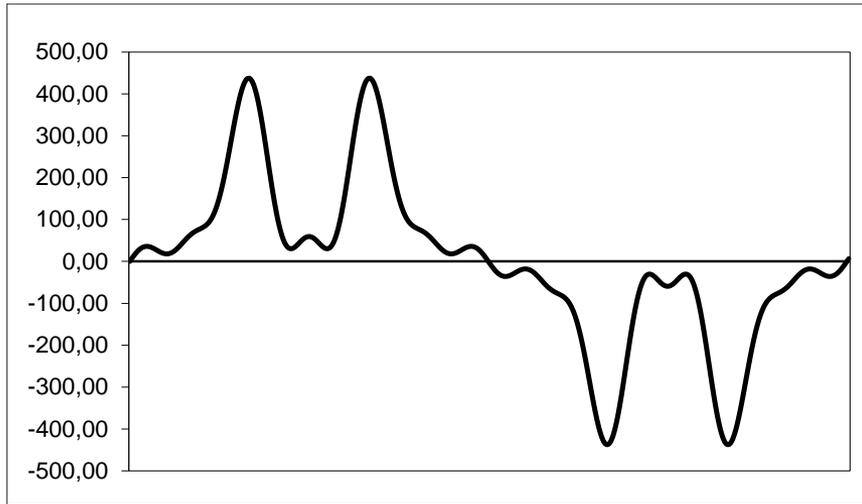


# Efecto de los armónicos

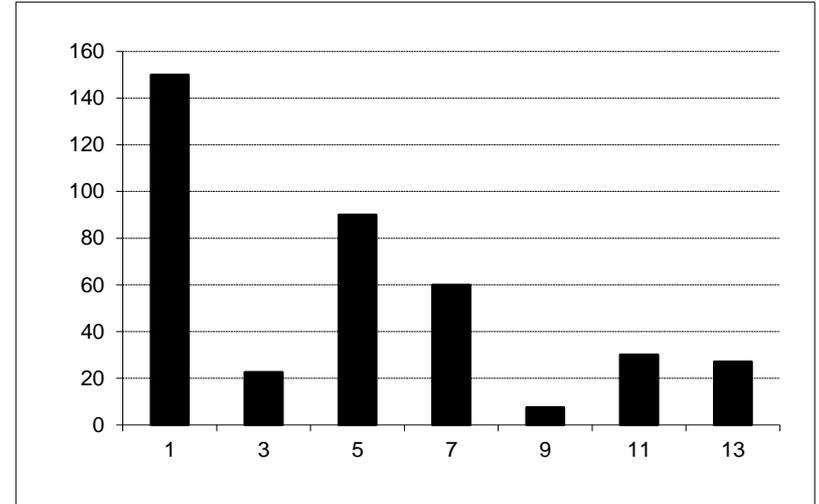
ELEMENTO	PROBLEMA	EFECTO
Conductor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la corriente</li> <li>• Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento cables (deterioro)</li> <li>• Disparo de protecciones</li> </ul>
Conductor de Neutro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circulación armónicos múltiplos de 3</li> <li>• Retorno por el conductor de neutro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobreintensidad por el neutro</li> <li>• Calentamiento del neutro</li> <li>• Degradación prematura</li> <li>• Disparo de protecciones</li> </ul>
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resonancia paralelo con el sistema</li> <li>• Amplificación de los armónicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento condensadores</li> <li>• Envejecimiento prematuro de condensadores</li> <li>• Destrucción de condensadores</li> </ul>
Maquinas Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circulación de corrientes armónicas por los devanados y tensiones armónicas en bornes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecalentamiento y pérdida de aislamiento térmico (efecto Joule)</li> <li>• Aumento pérdidas magnéticas (por Histéresis y Foucault)</li> <li>• Desclasificación (Transformador)</li> <li>• Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidades (motores)</li> </ul>
Equipos de Medida y Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas no válidas</li> <li>• Errores en procesos de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores de magnitudes incorrectas</li> <li>• Interferencias con sistemas de comunicación y control</li> <li>• Error en los instantes de disparo de tiristores</li> </ul>

# Efecto de los armónicos

## Forma de onda distorsionada



## Espectro en frecuencia



Armónico	Frecuencia (Hz)	I (A)
1º	50	150
3º	150	22,5
5º	250	90
7º	350	60
9º	450	7,5
11º	550	30
13º	650	27

Incremento Corriente	21,37%
----------------------	--------

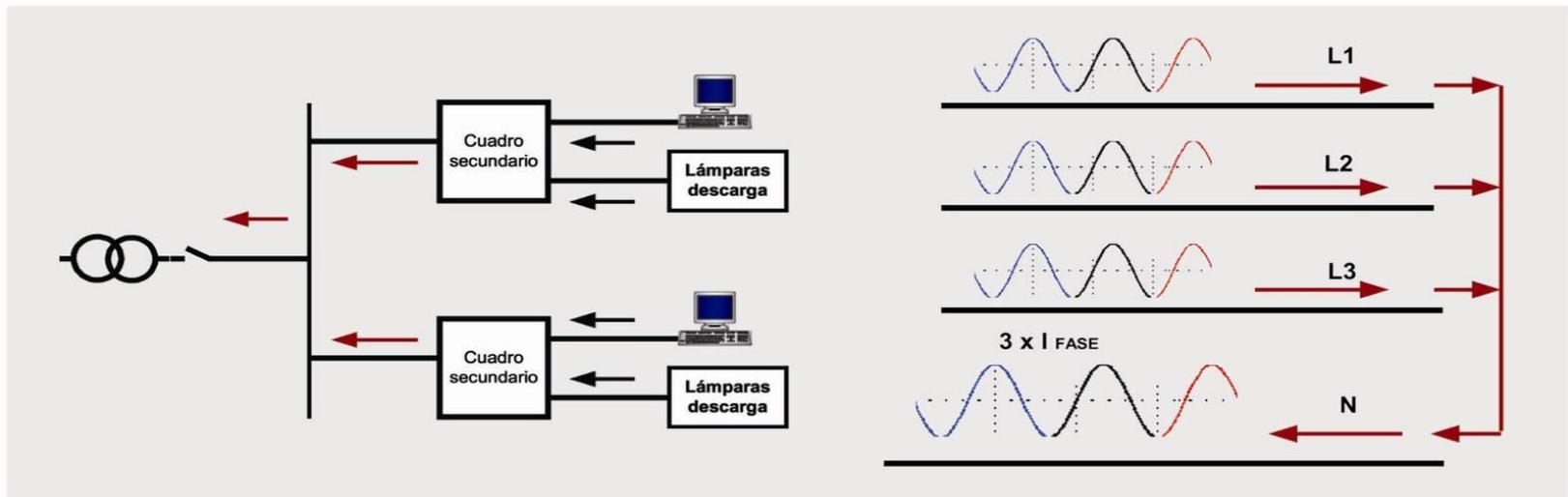
Incremento Perdidas	38,17%
---------------------	--------

THDI%	79%
-------	-----

# Efecto de los armónicos

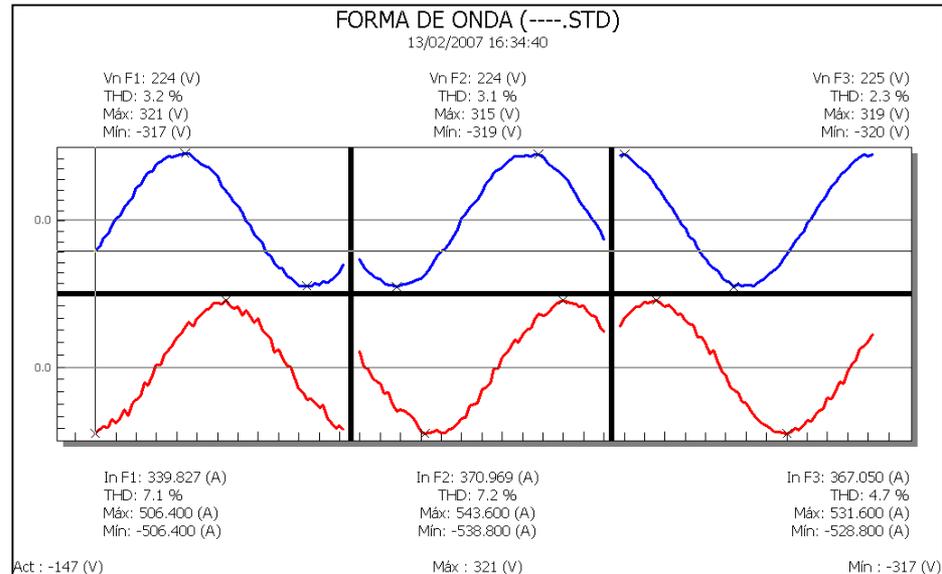
- Conductor de Neutro

Retorno de las corrientes homopolares (armónicos 3K)

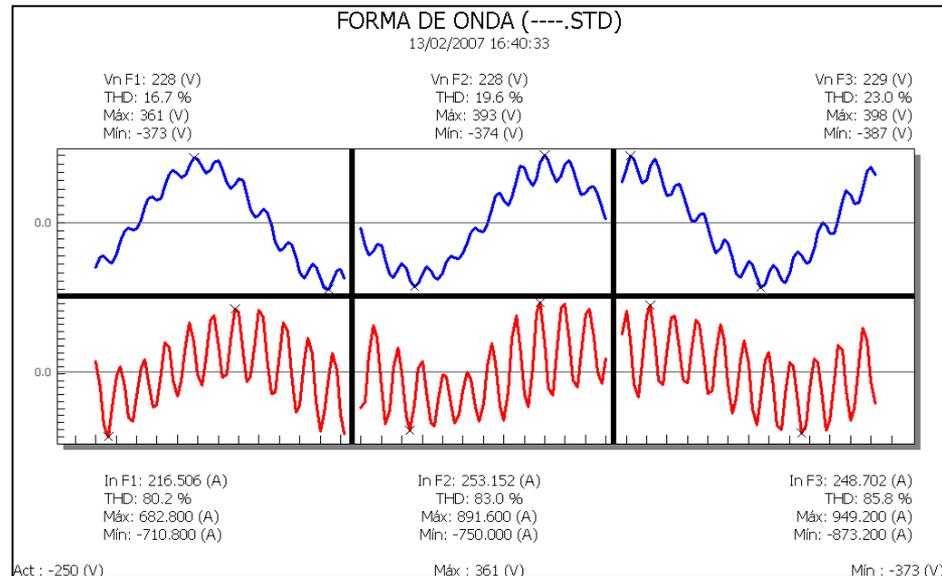


# Efecto de los armónicos en baterías de condensadores

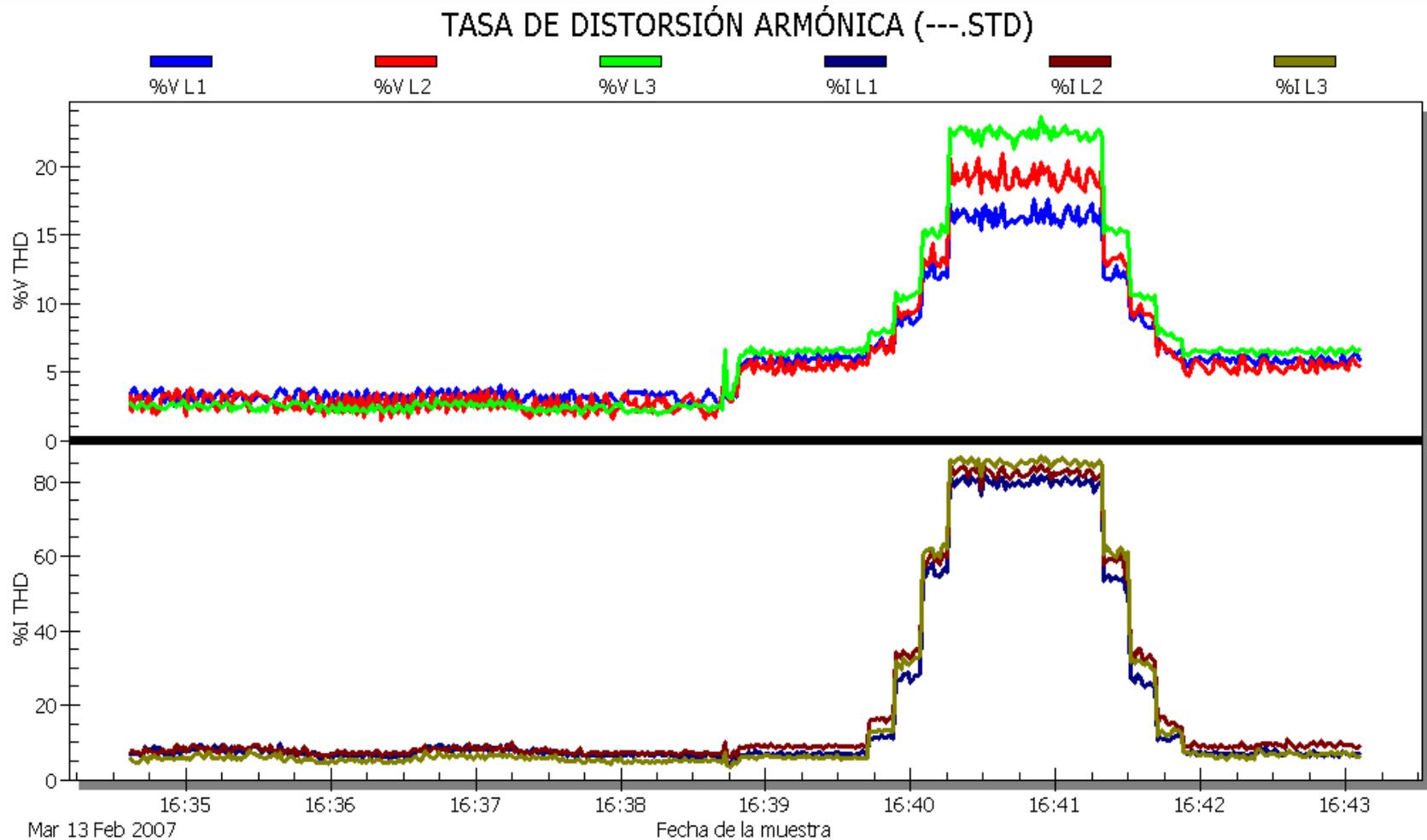
**Batería condensadores  
desconectada**



**Batería condensadores  
conectada**



# Efecto de los armónicos



Act : 13/02/2007 16:34:37  
Act : 3.1 (%V THD)

Variable Seleccionada: %V L1  
Desde : 13/02/2007 16:34:37  
Máx : 17.6 (%V THD)

Hasta : 13/02/2007 16:43:06  
Mín : 2.4 (%V THD)

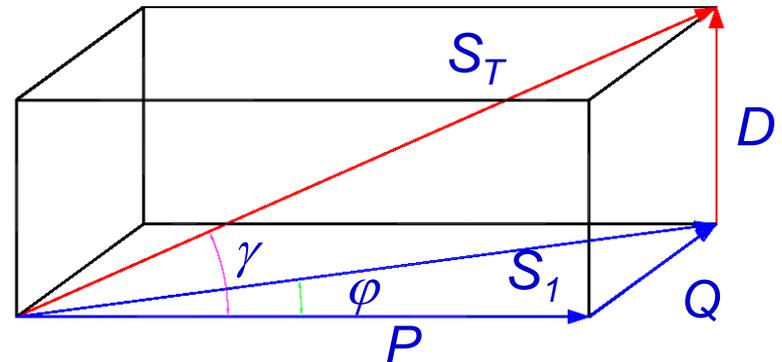
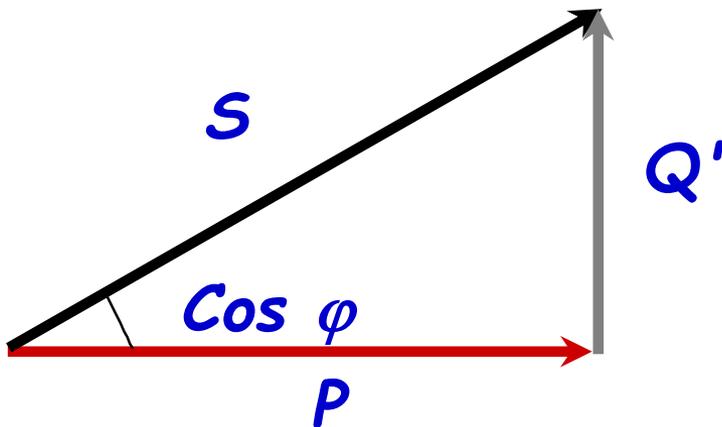
# Factor de potencia no es igual a cos phi

□ Sin armonicos:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

□ Con armonicos:

$$\text{PF} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$



**$\text{Cos } \varphi \neq \text{PF}$**

**¿Cómo medimos?**

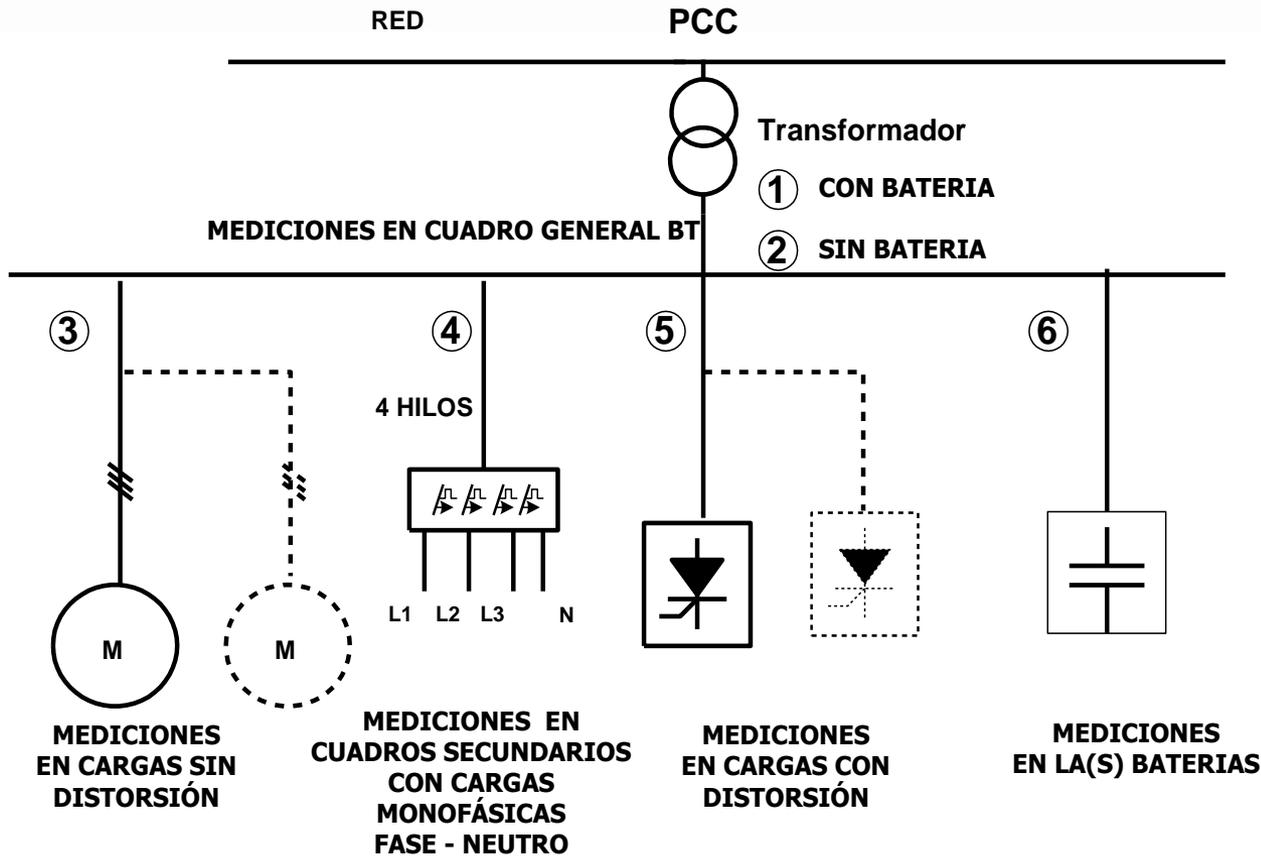
# Protocolo de actuación



# ¿Qué vemos?



# Información de la instalación



Transformador

<b>Sn (Potencia Transformador):</b>	<b>kVA</b>
<b>U2 (Tensión Nominal):</b>	<b>V</b>
<b>Ucc (Tensión de cortocircuito):</b>	<b>%</b>

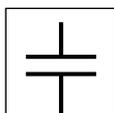
# Información de la instalación

## Datos para pre-estudio armónico

Puntos de medida: 1,2,3,4,5,6 .....

Nº ARMONICOS	1	3	5	7	11	13	$\Sigma$ THD
THD (V)							
THD (I)							
In(A)							

Si existe batería de armónicos



Baterías de condensadores

CON BATERIA CONECTADO		CON BATERIA DESCONECTADA	
THD(I)	%	THD(I)	%
THD(U)	%	THD(U)	%
Q(batería)		kvar	
P(Instalación)		kW	

# Información de la instalación

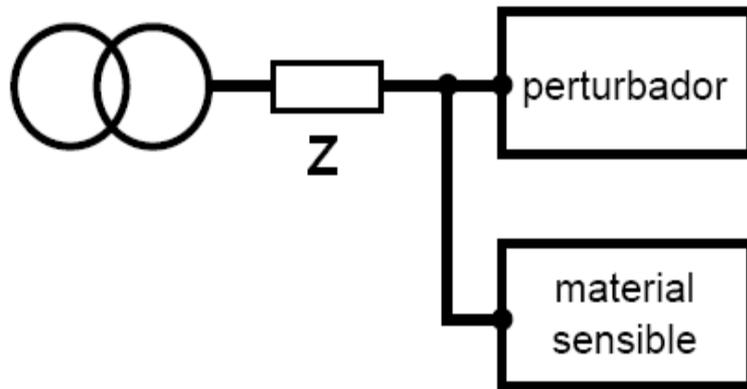


**Soluciones**

# Estructura de la instalación

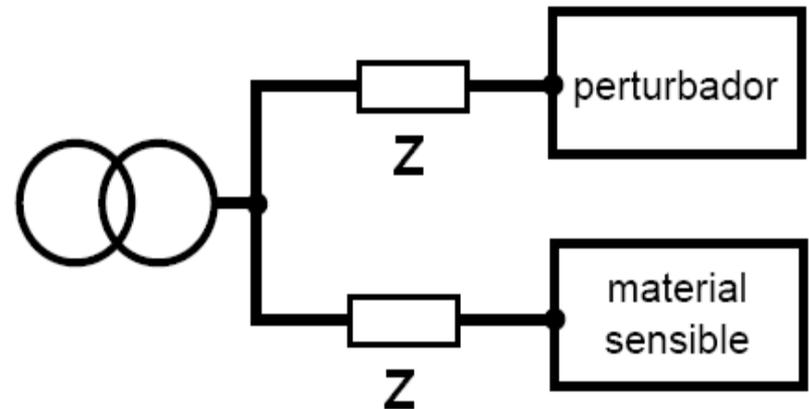
Separar las líneas de alimentación de los equipos que generan armónicos de las que alimentan equipos sensibles

a) Solución a evitar



Los armónicos afectan más al material sensible que a la red general.

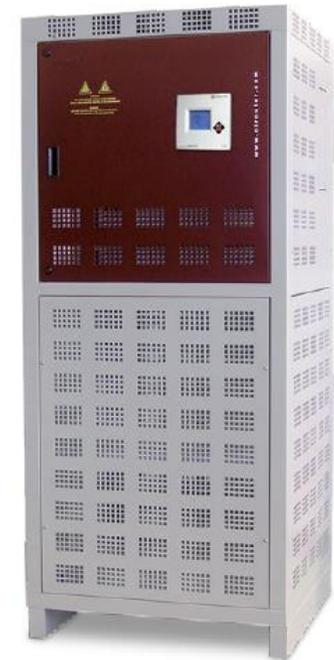
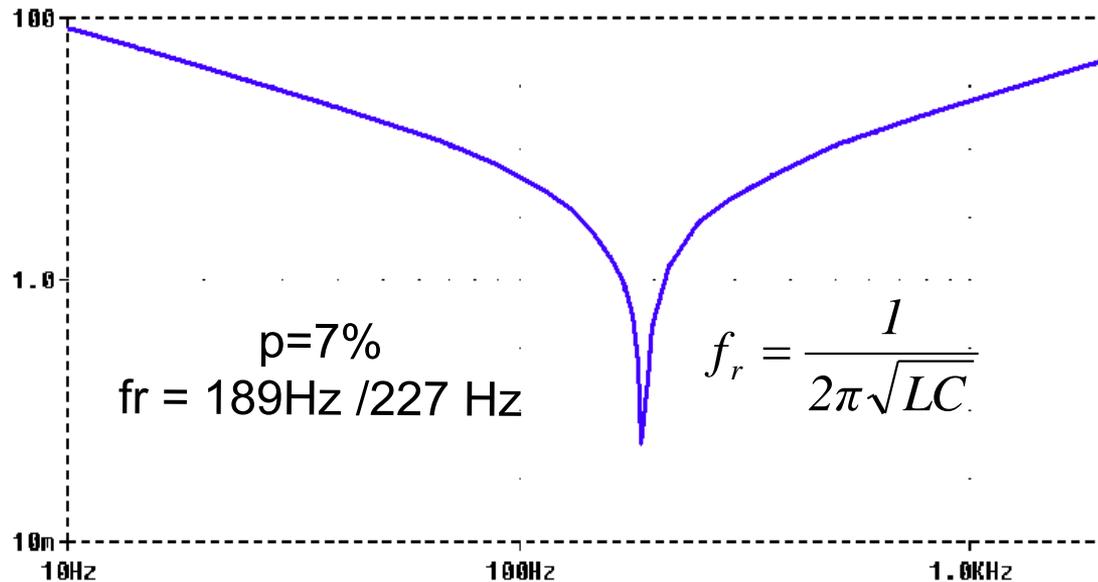
b) Solución preferible



Los armónicos afectan más a la red general que al material sensible.

# Soluciones FR y FRE

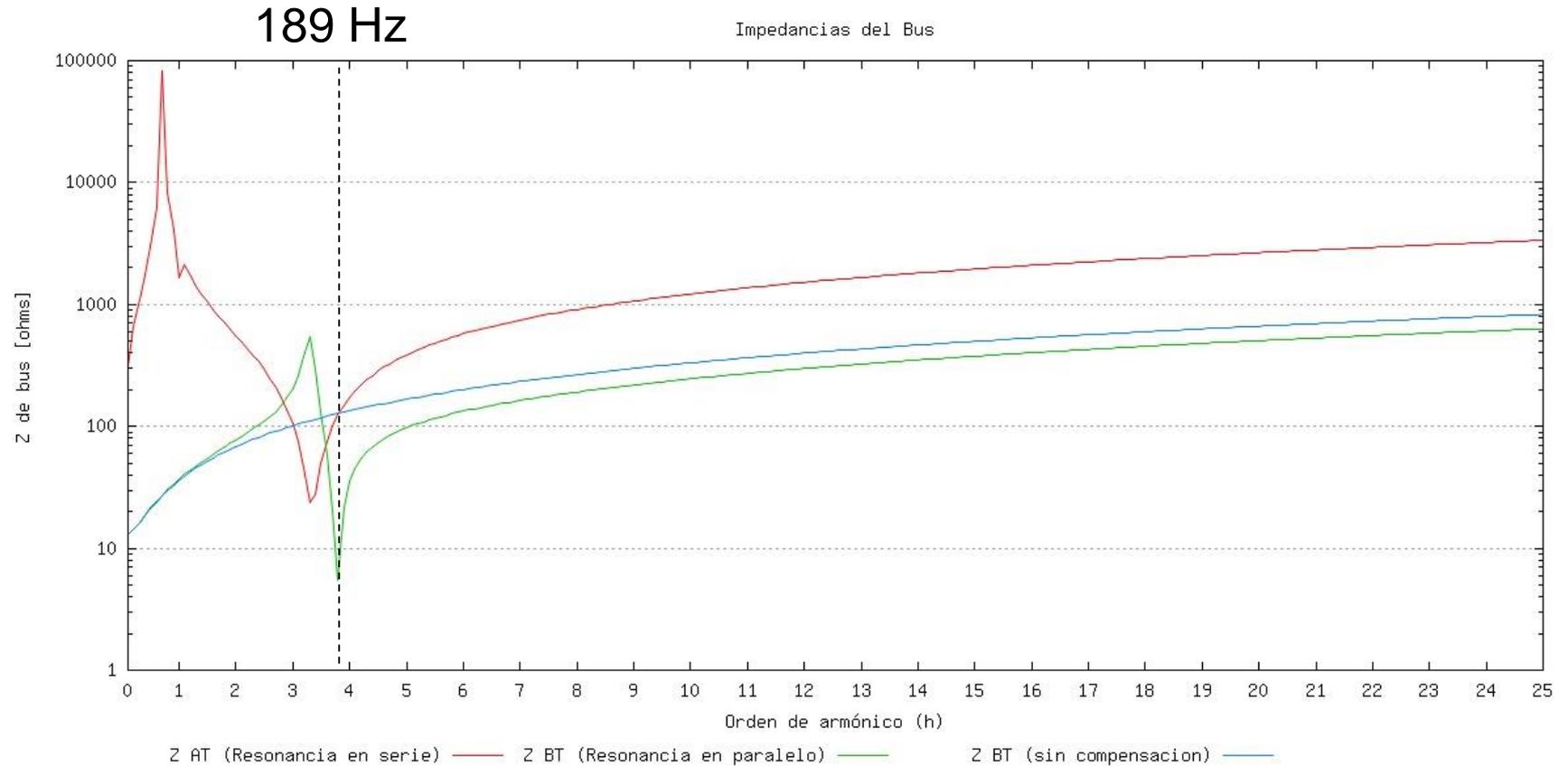
Eliminación del riesgo de resonancia, batería con filtros modelo FR.



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

p%	fr	Armónico rechazado
7%	189 Hz / 227 Hz	h>5°, f > 250 Hz/300 Hz
14%	134 Hz / 160 Hz	h>3°, f > 150 Hz / 180 Hz

# Soluciones FR y FRE



# Soluciones FR y FRE



Solución para redes polucionadas y con alto riesgo de resonancia

Reactancia de filtrado RB

Condensador CF diseñado para filtros de rechazo

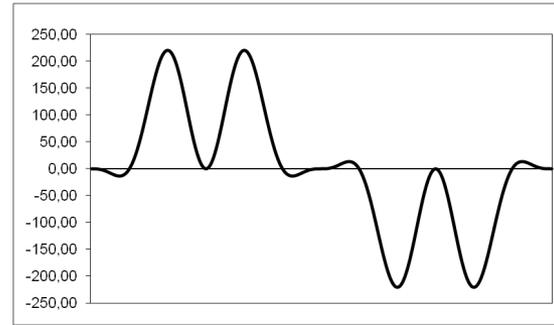
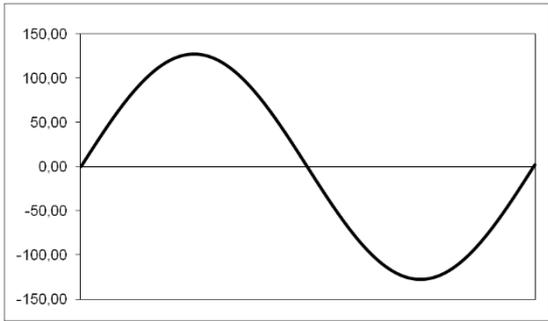
**Filtro activo**

**AFAQ**

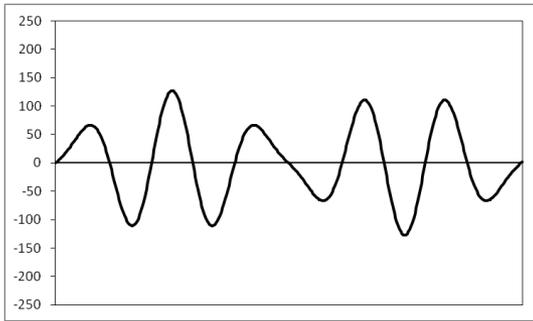
---

**MÁS ALLÁ  
DEL FILTRADO**

**Red**



**Carga**



**AFQ**

# Amplio rango de corrientes disponibles



Para sistemas de 4 hilos, 400 V  $\pm 10\%$  ;  
50/60 Hz

## Multifunción:



Filtrado armónico



Equilibrado de corriente



Compensación de potencia reactiva  
Inductiva o capacitiva



# Método optimizado de filtrado



## Modo temporal

Filtrado de la gama completa de armónicos desde el 2º al orden 50º

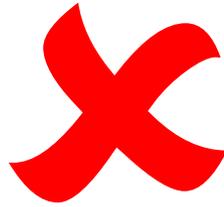
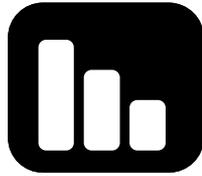


## Modo frecuencial

Seleccionable cada armónico impar desde el 3º al 25º



# Selecciona funciones y Prioridad



11 combinaciones



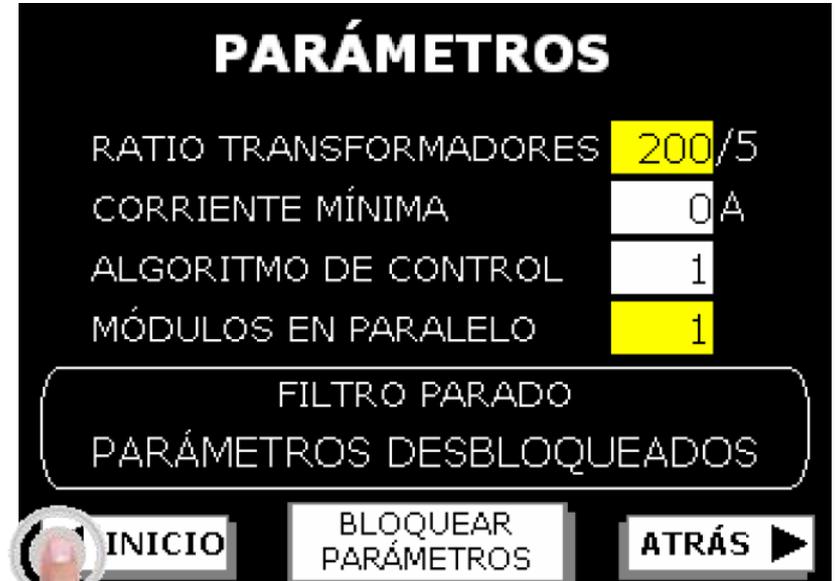
# Expandible



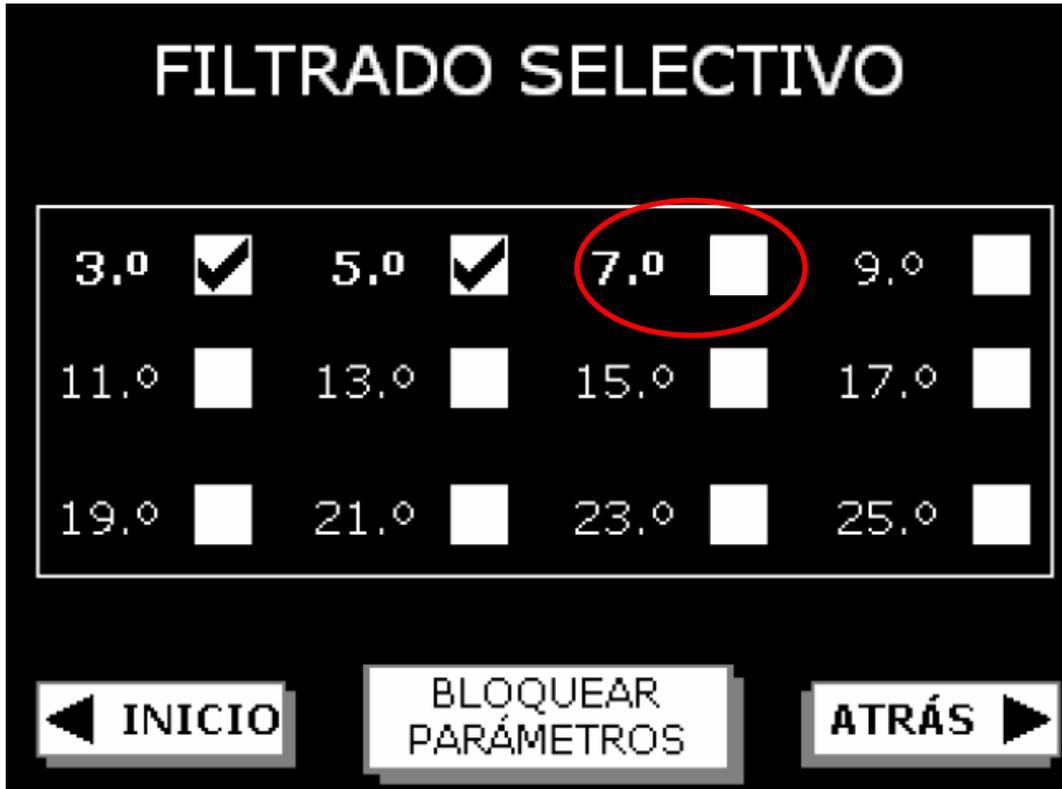
Hasta 8 módulos de  
**Rango distinto**

# Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

- Fácil interacción mediante pantalla táctil
- Puesta en marcha intuitiva
- Muestra más de 35 parámetros eléctricos y eventos
- Con contraseña que bloquea las teclas



# Auto-protección contra resonancia



1. Detecta una resonancia con cierto orden armónico que se ha seleccionado
2. Deshabilita el armónico que produce la resonancia y da una alarma

# Aplicaciones

Optimización de instalaciones

Evitar pérdidas de información

Incrementar la fiabilidad del sistema

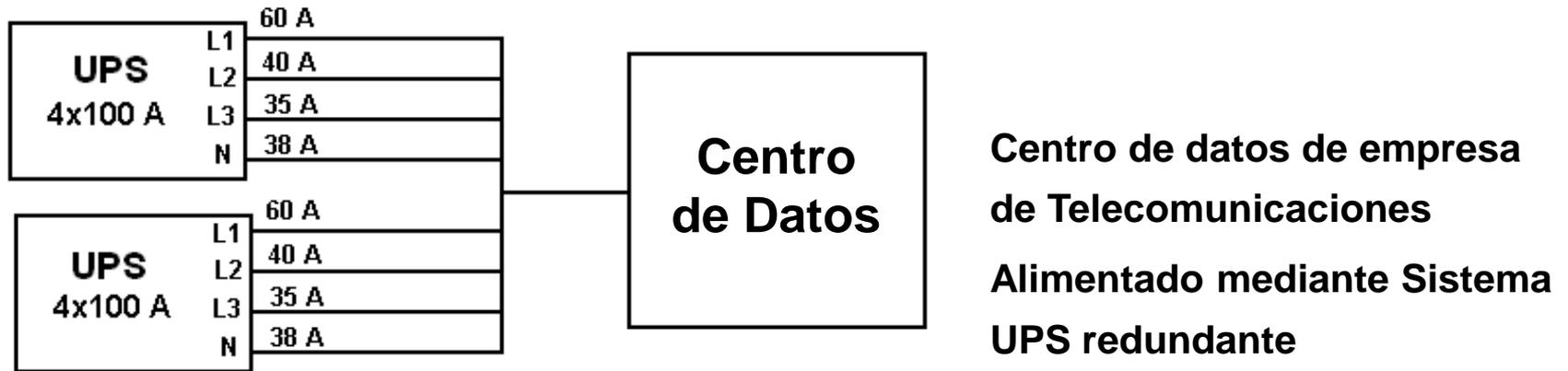
Industria pesada

Telecomunicaciones

Centros comerciales

Oficinas  
Centros de Datos

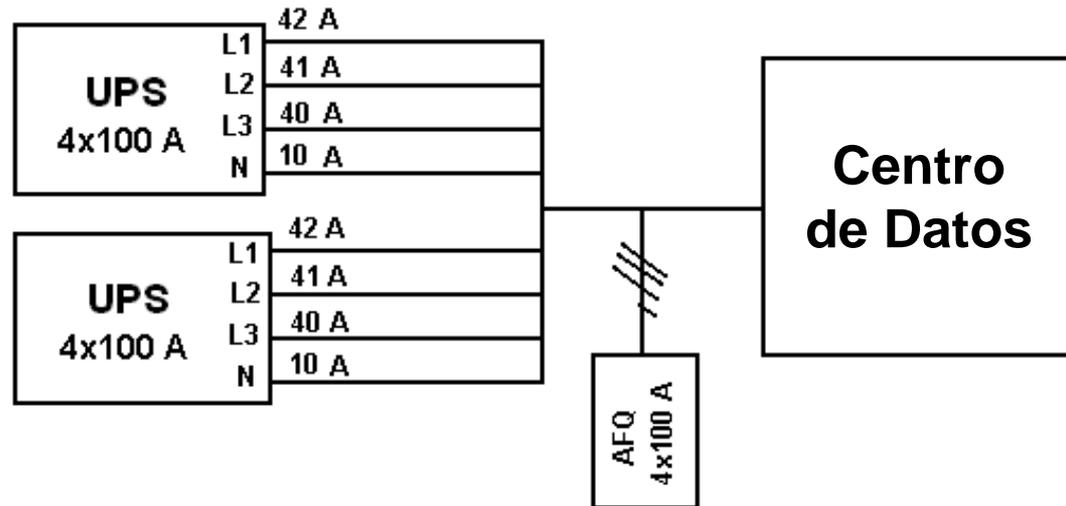
# Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (I)



## Situación Inicial:

- El desequilibrio de fases causa sobrecarga en una de las fases del UPS cuando está operativa una sola unidad, por lo que se pierde la redundancia.
- El  $\cos \varphi$  de las cargas es 0,88 capacitivo, lo que causa un notable decremento de la capacidad de la UPS y de su eficiencia (la UPS no puede suministrar a su capacidad nominal)
- El fallo de una de las UPS colapsa la red.

# Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (I)



## Nueva situación tras instalar un AFQ-4x100A:

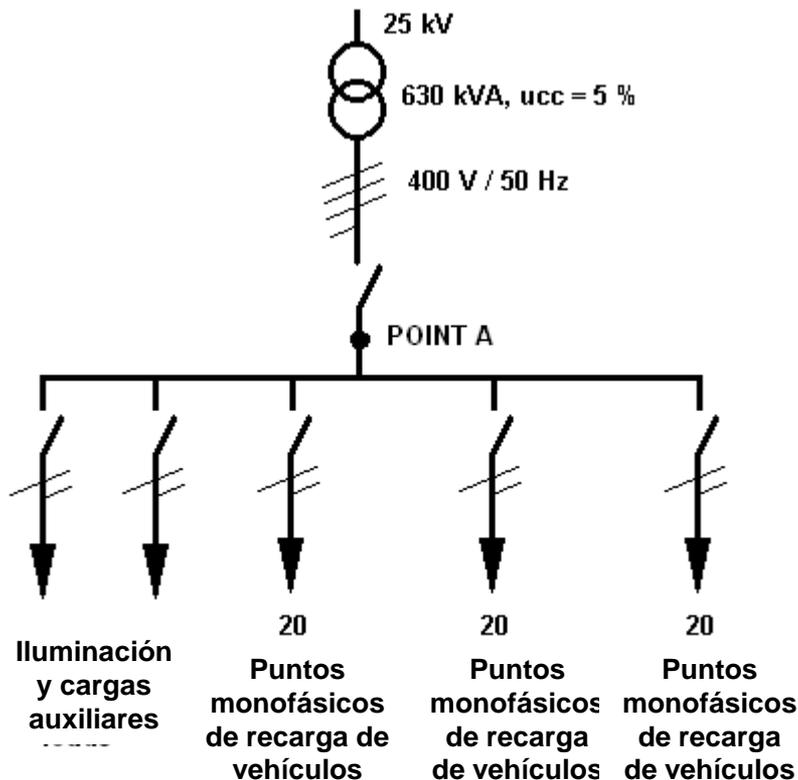
- El equilibrado de cargas garantiza que ninguna de las fases exceda la corriente admisible, incluso cuándo sólo haya una UPS operativa (se garantiza la redundancia).
- Los filtros pueden llevar el  $\cos \varphi$  a 1. Así se puede obtener la potencia y eficiencia máximas de las unidades UPS.
- En caso de fallo de una de las UPS, la UPS que queda puede suministrar toda la potencia al centro de datos sin sufrir sobrecargas.

# Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (II)

Instalación dedicada a la recarga de vehículos eléctricos.  
(Flota de vehículos de limpieza en una gran ciudad).

## PROBLEMAS:

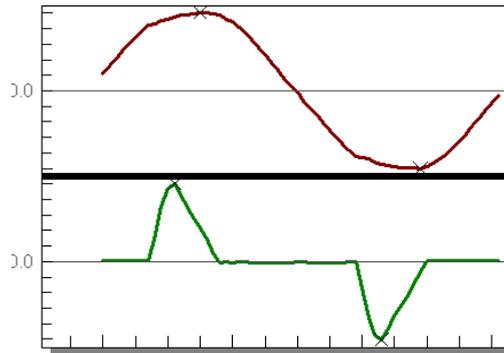
- Debido al desequilibrio y al 3er armónico, la sección del neutro no es suficiente para soportar la corriente que se le solicita.
- Los cables de neutro tienen  $\frac{1}{2}$  de la sección de las fases.
- Y por tanto los cables de neutro se sobrecalientan y hay riesgo de incendio.



# Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (II)

Formas de onda de tensión y corriente en un cargador monofásico

Vn F1: 225 (V)  
THD: 3.5 %

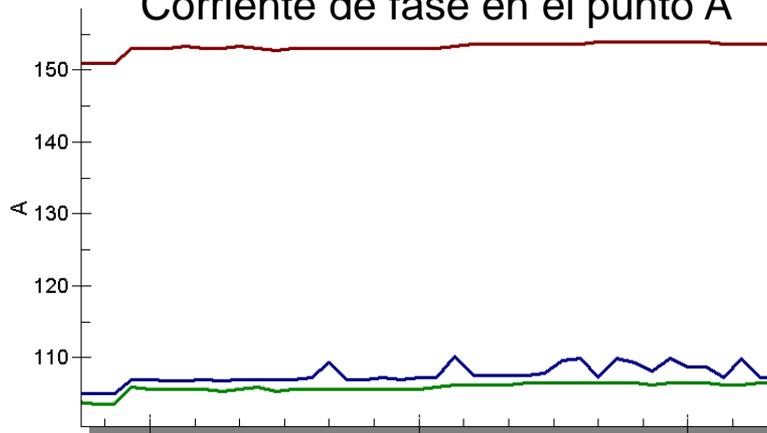


In F1: 9.210 (A)  
THD: 71.4 %

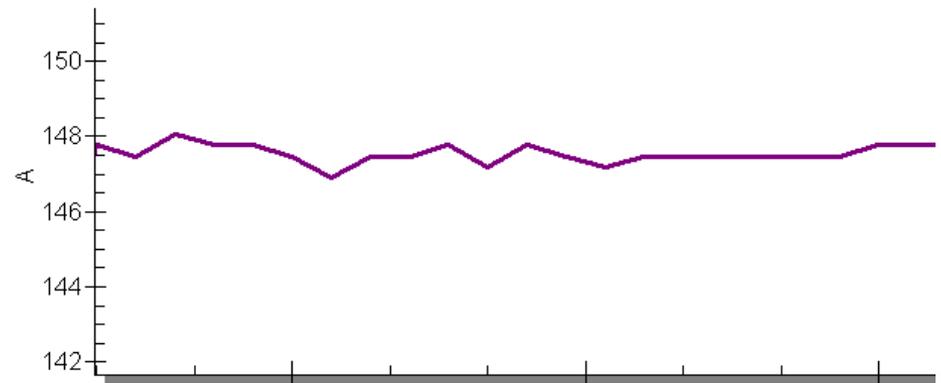
Armónicos de corriente en un cargador monofásico

Harmonic	Amplitude (%)
2 (-)	0.260
3 (-)	81.076
4 (-)	0.392
5 (+)	51.618
6 (-)	0.123
7 (+)	25.641
8 (-)	0.252
9 (+)	13.865
10 (+)	0.157
11 (-)	13.590

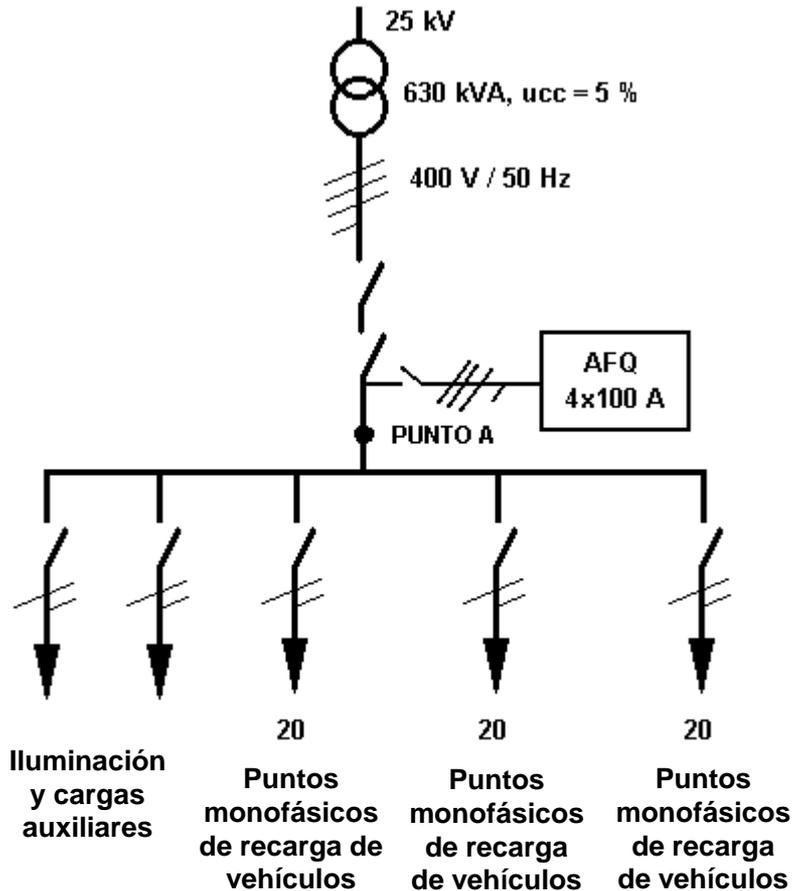
Corriente de fase en el punto A



Corriente de neutro en el punto A



## Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (II)



Instalación de un filtro activo AFQ-4W-100-400 en el punto de suministro de cabecera (Punto A).

- Se programa el filtro para absorber solo la corriente del tercer armónico

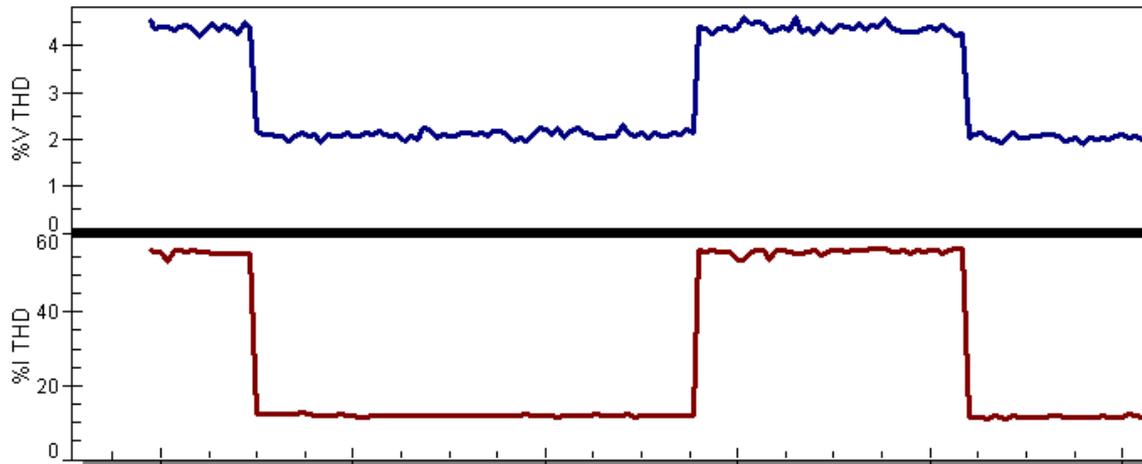
TRAS LA INSTALACIÓN DEL FILTRO:

- Reducción drástica del **tercer armónico** hacia el transformador
- **Reducción de la corriente de neutro** gracias a la eliminación del 3er armónico.
- Reducción de las corrientes de fase gracias a la función de equilibrado del filtro

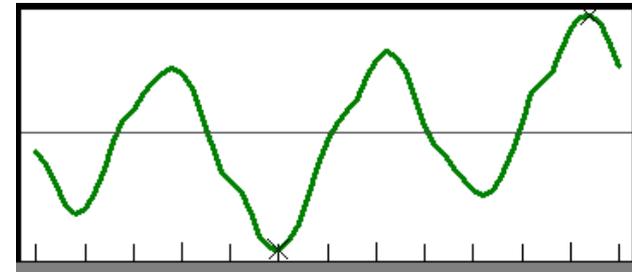
# Filtros Activos AFQ-4W: Caso de estudio (II)

THD(U) y THD(I) en el punto A:

Sin filtro (arriba) y con filtro (abajo)



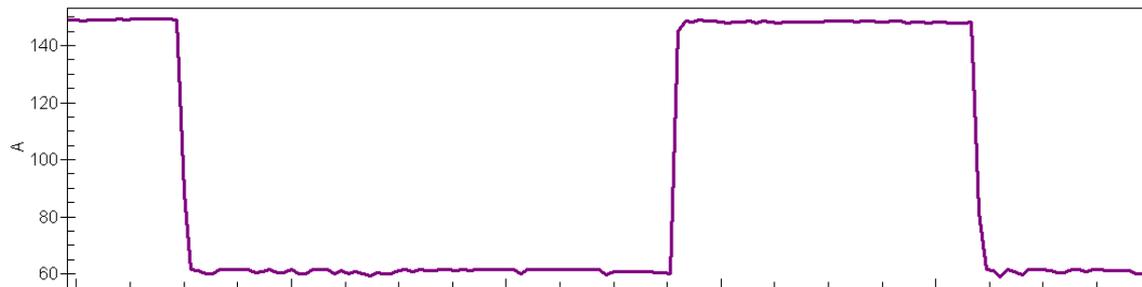
Forma de onda en el punto A sin filtro



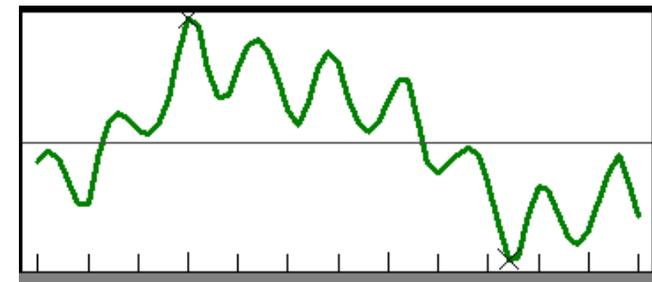
Fundamental An: 52.686 (A)  
THD: 93.4 %

Corriente de neutro en el punto A:

Sin filtro (arriba) y con filtro (abajo)



Forma de onda en el punto A con filtro



Fundamental An: 53.558 (A)  
THD: 47.2 %

**LCL**

---

**GAMA**

# LCL FILTRADO DE ARMÓNICOS



Filtros Pasivos  
para  
corrección de  
armónicos  
individuales en  
convertidores  
de potencia  
trifásicos de 6  
pulsos



## Gama

Posibilidad de diseñar  
filtros para tensiones  
distintas de 400 V / 50 Hz  
(Hasta 1000 VAC).



## Filtrado de Armónicos

Reducción esperada del  
THD(I) a un valor por  
debajo del 10 %

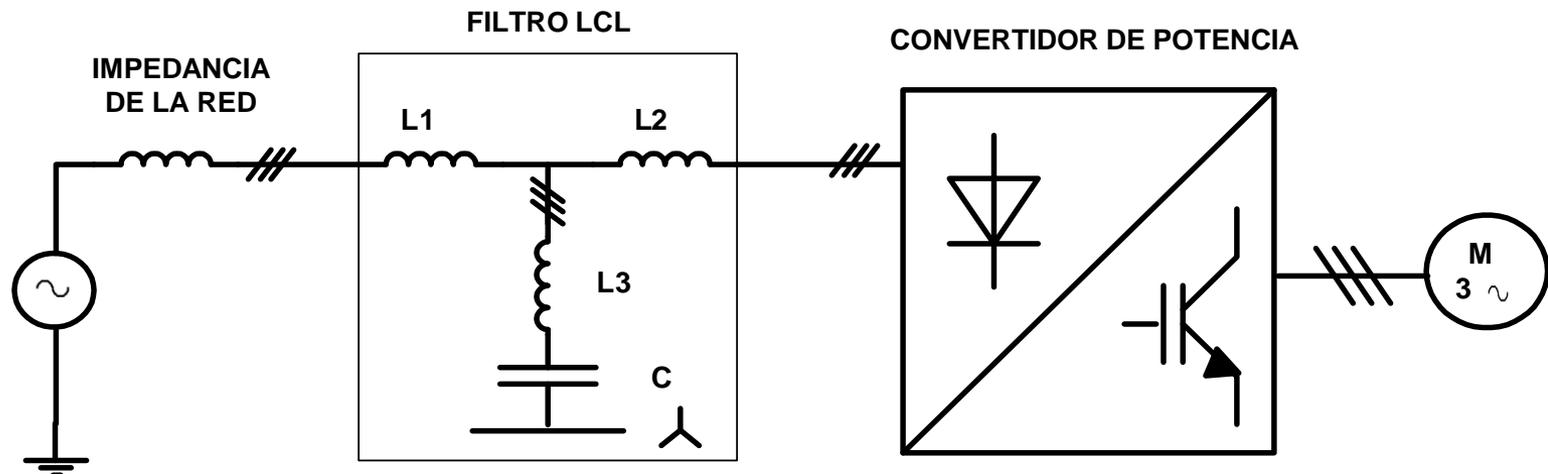
# Filtro armónico pasivo Gama LCL



Mejora de la calidad en tensión en el lado de entrada del LCL, no sólo debido a la reducción de la corriente armónica, sino también de los picos de tensión causados por la conmutación de tiristores



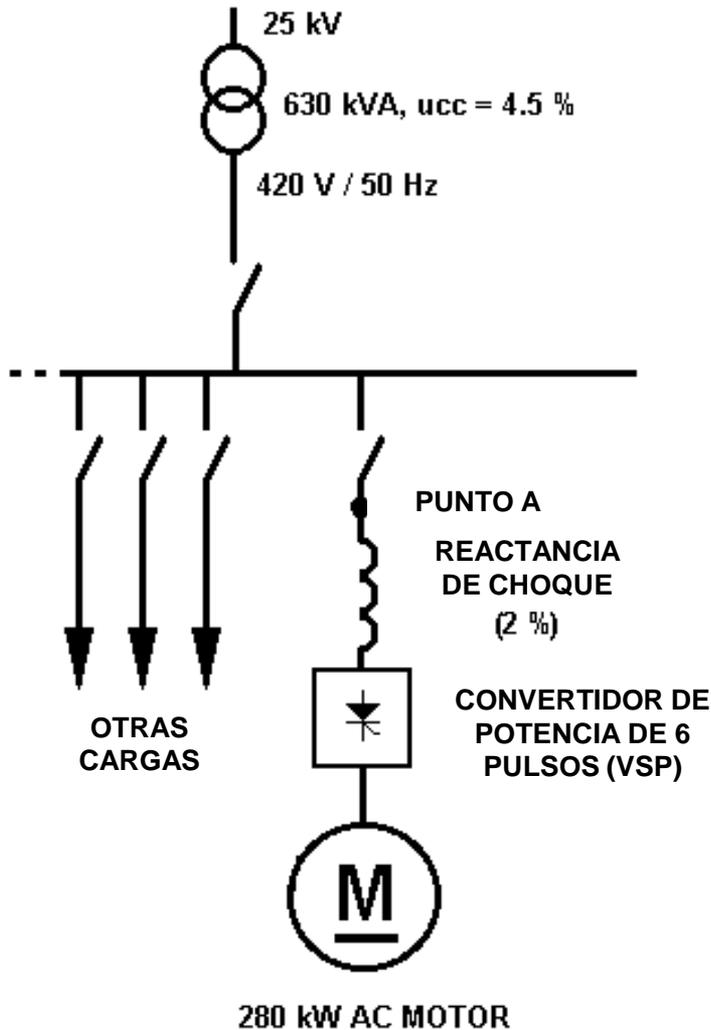
Aproximación ideal para conseguir la reducción total y efectiva en costes de corrientes armónicas causadas por convertidores de potencia de 6 pulsos. Resultados probados en muchos entornos industriales duros.



# Filtro armónico pasivo Gama LCL

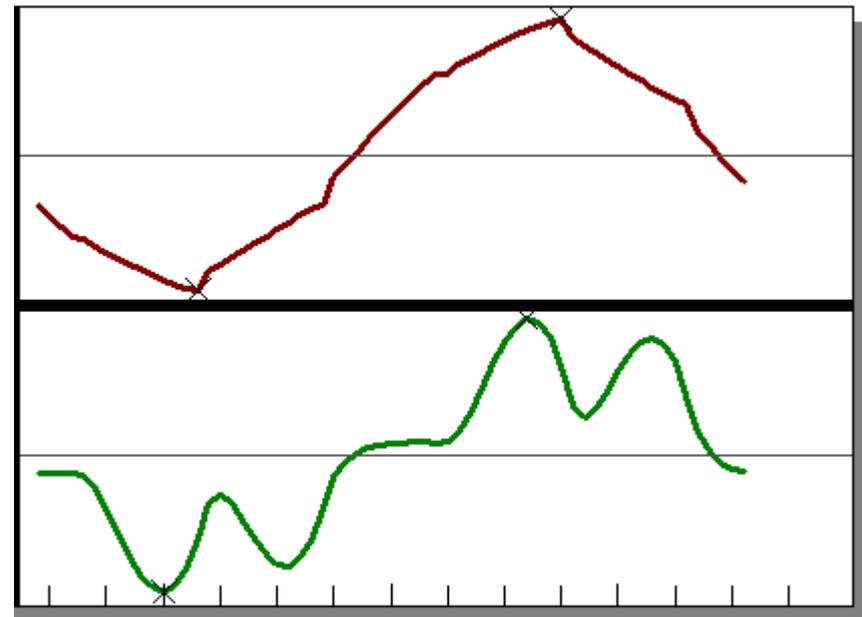
## Caso de Estudio (1/2)

Molino de papel



Formas de onda en tensión y corriente en el Punto A

$V_n$  F3: 238 (V)  
THD: 6.5 %

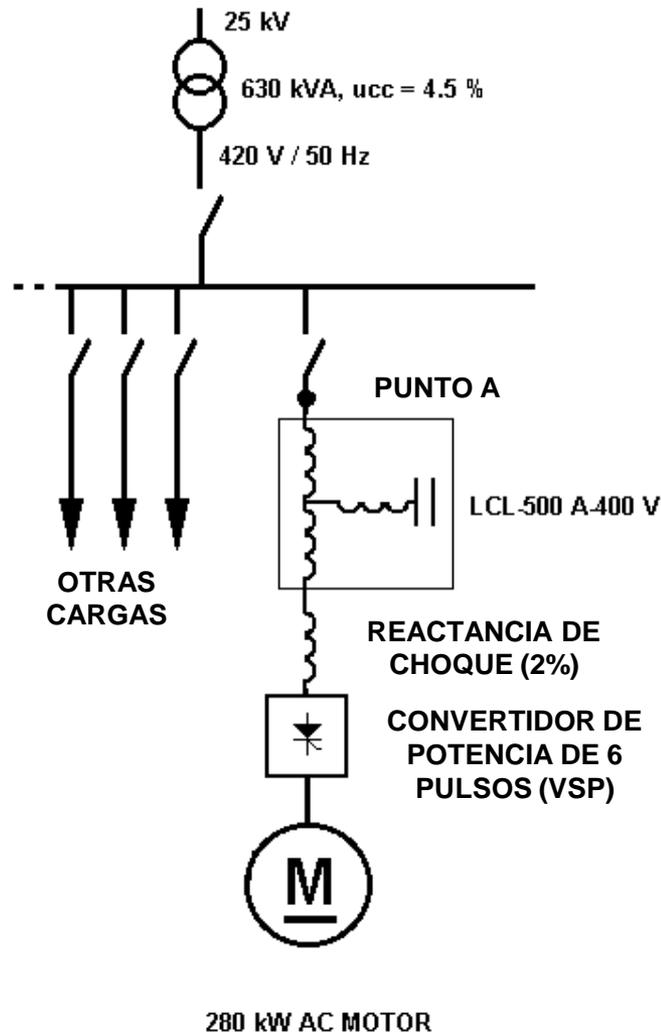


$I_n$  F3: 328 (A)  
THD: 39.2 %

# Filtro armónico pasivo Gama LCL

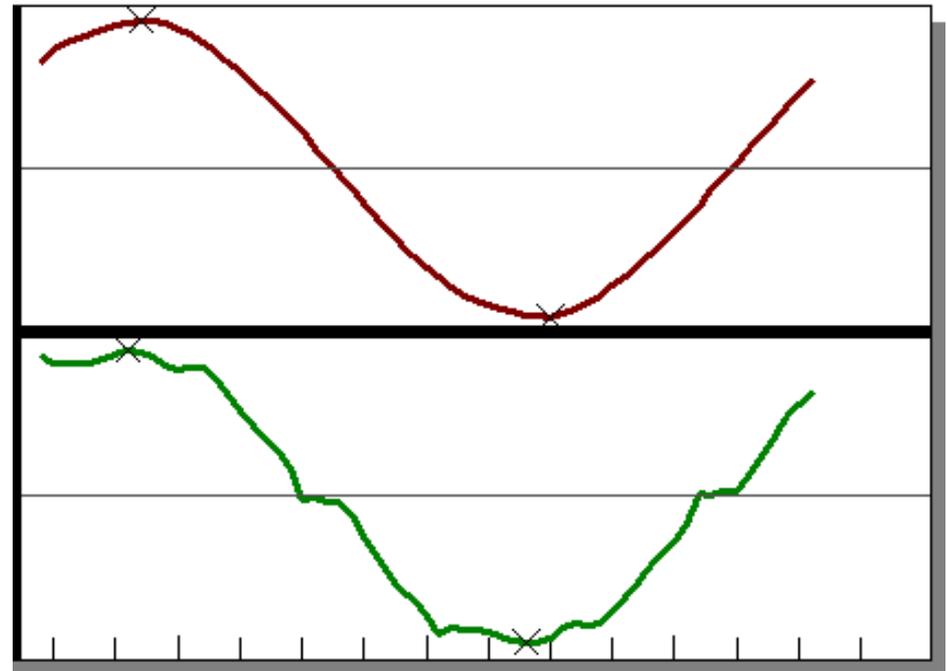
## Caso de Estudio (2/2)

### Molino de papel



### Formas de onda en tensión y corriente en el Punto A

$V_n$  F3: 232 (V)  
THD: 2.4 %



$I_n$  F3: 332 (A)  
THD: 8.3 %

# Cómo te podemos ayudar



**Atención Técnica y Comercial**  
**+34 937 452 900**



**Garantía Circutor**



**Entrega inmediata**

# Invitación a nuestros webinarios

Descubra más en nuestros próximos webinarios

## Tendencias



## Técnicas



## Soluciones



CIRCUTOR

Inicio Sectores Productos **Formación** Documentación Empresa Cómo comprar

CONTACTO | PT EN ES FR DE

Twitter YouTube LinkedIn Google+

Inicio Sectores Productos **Formación** Documentación Empresa Cómo comprar

FORMACIÓN - SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

### Seminarios y conferencias

Próximos eventos

[ 1 2 3 ]

- 25** Sep 20 14 **ANALIZADOR DE REDES AR.6 (Viladecavalls)**  
MEDIDA Y CONTROL  
Descripción: Seminario destinado a personas que han adquirido o
- 30** Sep 20 14 **ANALIZADOR DE REDES AR.5 Y CIRE-3 (Viladecavalls)**  
MEDIDA Y CONTROL  
Descripción: Seminario destinado a personas que han adquirido o
- 03** Oct 20 14 **COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS (Viladecavalls)**  
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS  
Descripción: El seminario ofrece una utilidad amplia y práctica al sistema
- 15** Oct 20 14 **Webinario COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA EN BT (Viladecavalls)**  
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS  
Descripción: El seminario ofrece una utilidad amplia y práctica al sistema
- 17** Oct 20 14 **Armónicos y soluciones de filtrado (Viladecavalls)**  
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS  
Descripción: El seminario trata por objetivos mostrar y entender la naturaleza de los
- 21** Oct 20 14 **Webinario ARMÓNICOS Y SOLUCIONES DE FILTRADO (Viladecavalls)**  
COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS  
Descripción: El seminario trata por objetivos mostrar y entender la naturaleza de los
- 22** Oct 20 14 **Webinario ENTENDER LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL ES FÁCIL (Viladecavalls)**  
PROTECCIÓN Y CONTROL  
Descripción: El webinar pretende explicar de forma clara y sencilla los principios de
- 28** Oct 20 14 **Software POWERSTUDIO / POWERSTUDIO SCADA Iniciación (Viladecavalls)**  
MEDIDA Y CONTROL  
Descripción: El seminario ofrece una utilidad global del

[ 1 2 3 ]



*Tecnología para la eficiencia energética*



Tel. (+34) 93 745 29 00

Fax: (+34) 93 745 29 14

[central@circutor.es](mailto:central@circutor.es)

Vial Sant Jordi, s/n 08232 Viladecavalls (Barcelona) Spain



[@circutor](https://twitter.com/circutor)



[youtube.com/circutoroficial](https://youtube.com/circutoroficial)



[circutor](https://in.circutor)