

# Compensación y filtraje > Oxígeno para su instalación

Compensación de la energía reactiva y filtrado de armónicos, un equipo para cada necesidad, una solución para cada instalación...

## La evolución VARPLUS<sup>2</sup>

Una experiencia de más de 20 años con el condensador VARPLUS nos ha permitido evolucionar y ofrecer un nuevo condensador con mayores prestaciones:

- + seguridad.
- + sencillez.
- + potencia.
- + durabilidad.



## La innovación VARPACK

El nuevo VARPLUS<sup>2</sup> con el sistema de seguridad HQ para cada elemento monofásico:

- Fusible interno HPC.
- Membrana de sobrepresión.
- Resistencia de descarga interna (50 V en 1 minuto).

Nos permite innovar y presentar el conjunto de compensación VARPACK sin la necesidad de protección externa, único en el mercado.

Módulos VARPACK, la forma más fácil de hacer las baterías automáticas de condensadores.



## La oferta + completa VARSET

Compensación fija o compensación automática, un único nombre para toda la oferta de compensación de energía reactiva dentro de una envoltente.

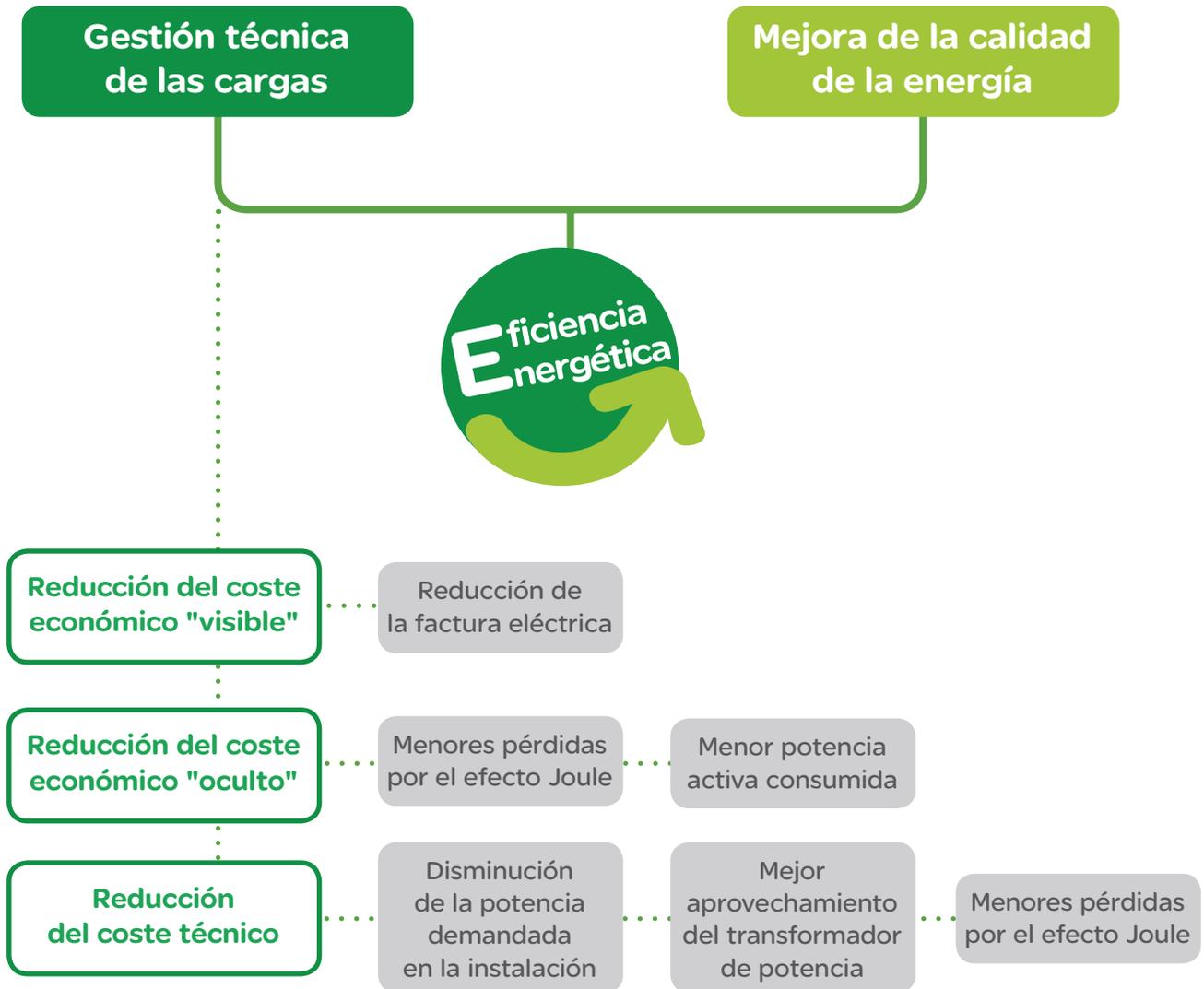
## Simplificando la gama, ampliando la oferta

Una oferta mucho más amplia, que nos permite dar soluciones desde la pequeña batería automática de 7,5 kVAr hasta la gran batería automática de 1.200 kVAr.

Más posibilidades de elección:

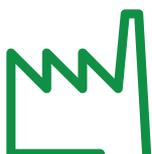
- Baterías VARSET sin protección externa.
- Baterías VARSET con interruptor automático en cabecera.

# ! Los condensadores ayudan a mejorar la eficiencia energética



Nuestra gama de compensación

+



Las necesidades de su instalación

=

Ahorro económico y ventajas técnicas

# → Generalidades



Nuestra gama  
de compensación

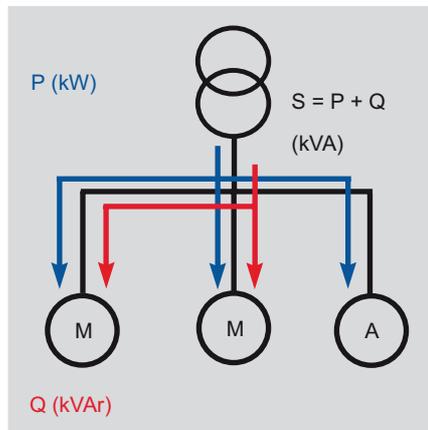
Las necesidades  
de su instalación

## Introducción

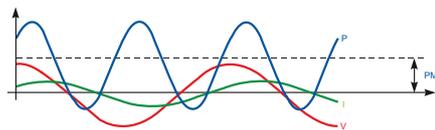
<b>1</b>	Naturaleza de la energía reactiva	1/2
	Factor de potencia de los receptores más usuales	1/3
	Ventajas de la compensación de la energía reactiva	1/4
	Comparación instalación compensada/sin compensar	1/6
	Cálculo de la potencia a compensar en una instalación en proyecto	1/8
	Cálculo de la potencia a compensar: tabla de elección	1/9
	Recibo tipo mercado liberalizado	1/10
	Dónde compensar	1/12
	Cuándo realizar una compensación fija	1/14
	Compensación fija de transformadores	1/15
	Compensación fija de motores asíncronos	1/17
	Cuándo realizar una compensación automática	1/20
	El concepto de la regulación	1/21
	Compensación automática: consejos de instalación	1/24
	Aparatura de protección y maniobra BT	1/25
	Armónicos	2/1
	Calidad de la energía	3/1
	Catálogo	4/1
	Media Tensión	5/1
	Catálogo Media Tensión	6/1
	Tarifa	7/1
	Dimensiones	8/1
	Índice de referencias y precios	9/1

# 1 Naturaleza de la energía reactiva

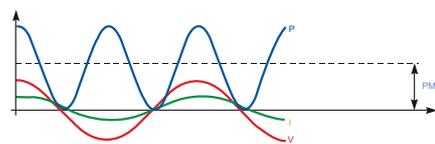
## Información técnica



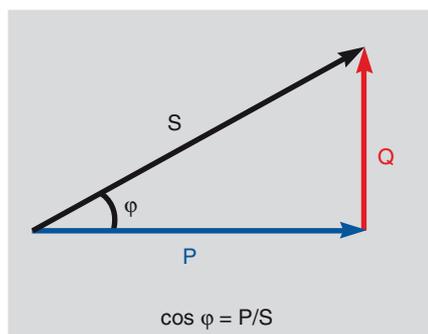
**Fig. 1:** el consumo de energía reactiva se establece entre los receptores inductivos y la fuente.



**Fig. 2a:** flujo de potencias en una instalación con  $\cos \varphi = 0,78$ .



**Fig. 2b:** flujo de potencias en una instalación con  $\cos \varphi = 0,98$ .



**Fig. 3:** el  $\cos \varphi$  como representación del rendimiento eléctrico de una instalación.

## Naturaleza de la energía reactiva

### Energía activa

Todas las máquinas eléctricas alimentadas en corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor.

Esta energía se mide en kWh y se denomina energía activa.

Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos.

### Energía reactiva

Ciertos receptores necesitan campos magnéticos para su funcionamiento (motores, transformadores...) y consumen otro tipo de energía denominada energía reactiva.

El motivo es que este tipo de cargas (denominadas inductivas) absorben energía de la red durante la creación de los campos magnéticos que necesitan para su funcionamiento y la entregan durante la destrucción de los mismos.

Este trasiego de energía entre los receptores y la fuente (fig.1) provoca pérdidas en los conductores, caídas de tensión en los mismos, y un consumo de energía suplementario que no es aprovechable directamente por los receptores.

## Flujo de potencias en una instalación

Indirectamente la potencia útil que se puede disponer en una instalación aumenta conforme se mejora el  $\cos \varphi$  de la instalación.

La potencia instantánea de una instalación se compone de dos sumandos: la potencia oscilante a una frecuencia doble de la fundamental, y la potencia media ( $P_m = VI \cos \varphi$ ) que realmente nos determina la potencia útil o activa de la instalación y que es un valor constante.

En la fig. 2 se puede observar como cuanto mejor es el  $\cos \varphi$  de una instalación (más próximo a 1) la potencia media de la instalación en kW es mayor.

## El $\cos \varphi$

La conexión de cargas inductivas en una instalación provoca el desfase entre la onda de intensidad y la tensión.

El ángulo  $\varphi$  mide este desfase e indica la relación entre la intensidad reactiva (inductiva) de una instalación y la intensidad activa de la misma.

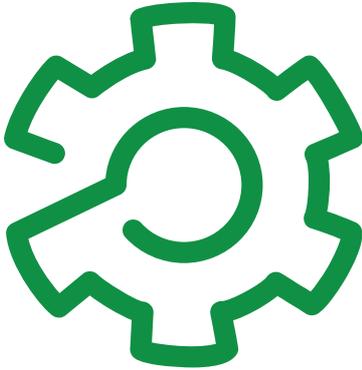
Esta misma relación se establece entre las potencias o energías activa y reactiva.

El  $\cos \varphi$  indicará por tanto la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la instalación (los kVA que se pueden consumir como máximo en la misma).

Por esta razón el  $\cos \varphi$  indicará el "rendimiento eléctrico" de una instalación (fig. 3).

# Factor de potencia de los receptores más usuales

## Información técnica



### Cálculo práctico de potencias reactivas

Tipo de circuito	Potencia aparente S (kVA)	Potencia activa P (kW)	Potencia reactiva Q (kVAr)
Monofásico (F + N)	$S = V \times I$	$P = V \times I \times \cos \varphi$	$Q = V \times I \times \sin \varphi$
Monofásico (F + F)	$S = U \times I$	$P = U \times I \times \cos \varphi$	$Q = U \times I \times \sin \varphi$
Ejemplo: carga de 5 kW $\cos \varphi = 0,5$	10 kVA	5 kW	8,7 kVAr
Trifásico (3 F o 3 F + N)	$S = \sqrt{3} \times U \times I$	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi$
Ejemplo: motor de $P_n = 51$ kW $\cos \varphi = 0,86$ rendimiento = 0,91	65 kVA	56 kW	33 kVAr

Los cálculos del ejemplo trifásico se han efectuado de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 P_n &= \text{potencia suministrada en el eje} && = 51 \text{ kW} \\
 P &= \text{potencia activa consumida} && = P_n / \rho = 56 \text{ kW} \\
 S &= \text{potencia aparente} && = P / \cos \varphi = P / 0,86 = 65 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

de donde:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ kVAr}$$

Se indican a continuación valores medios de factor de potencia de distintos receptores.

### Factor de potencia de los receptores más usuales

Aparato	Carga	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$
Motor asincrónico ordinario	0 %	0,17	5,8
	25 %	0,55	1,52
	50 %	0,73	0,94
	75 %	0,8	0,75
	100 %	0,85	0,62
Lámparas de incandescencia		1	0
Lámparas de fluorescencia		0,5	1,73
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6	2,29 a 1,33
Hornos de resistencia		1	0
Hornos de inducción		0,85	0,62
Hornos de calefacción dieléctrica		0,85	0,62
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9	0,75 a 0,48
Centros estáticos monofásicos de soldadura al arco		0,5	1,73
Grupos rotativos de soldadura al arco		0,7 a 0,9	1,02
Transformadores-rectificadores de soldadura al arco		0,7 a 0,9	1,02 a 0,75
Hornos de arco		0,8	0,75

Fig. 4:  $\cos \varphi$  de los aparatos más usuales.

# 1 Ventajas de la compensación de la energía reactiva

## Información técnica

### Reducción en el recibo de electricidad

#### El recargo de reactiva

Las compañías eléctricas penalizan el consumo de energía reactiva con el objeto de incentivar su corrección.

• **En el mercado liberalizado** se establecen unas tarifas de acceso que son el precio por el uso de las redes eléctricas. Estas tarifas de acceso se aplican entre otros a los consumidores cualificados.

Un usuario cualificado es aquel que tiene un consumo mínimo de 1 GWh al año o aquel que tiene contratado un suministro en MT.

La última modificación referente a las tarifas de acceso es el Real Decreto 1164/2001, con fecha 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. En el artículo 9.3 se hace referencia al término de facturación de energía reactiva, y dice:

"El término de facturación por energía reactiva será de aplicación a cualquier tarifa, ... excepto en el caso de la tarifa simple de baja tensión (2.0A).

...

Este término se aplicará sobre todos los periodos tarifarios, excepto en el período 3, para las tarifas 3.0A y 3.1A, y en el período 6, para las tarifas 6.-, siempre que el consumo de energía reactiva exceda del 33 por 100 del consumo de activa durante el periodo de facturación considerado ( $\cos \varphi < 0,95$ ) y únicamente afectará a dichos excesos.

El precio de kVA<sub>r</sub>h de exceso se establecerá en céntimos de euro/kVA<sub>r</sub>h.

..."

En el ORDEN ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008. En el Anexo III apartado 3, se establece el precio del término de energía reactiva:

Para  $\cos \varphi < 0,95$  y hasta  $\cos \varphi = 0,90$ : 0,000010 €/kVA<sub>r</sub>h.

Para  $\cos \varphi < 0,90$  y hasta  $\cos \varphi = 0,85$ : 0,013091 €/kVA<sub>r</sub>h.

Para  $\cos \varphi < 0,85$  y hasta  $\cos \varphi = 0,80$ : 0,026182 €/kVA<sub>r</sub>h.

Para  $\cos \varphi < 0,80$ : 0,039274 €/kVA<sub>r</sub>h.

### Aumento de la potencia disponible

#### Reducción de la intensidad eficaz

Un factor de potencia elevado optimiza los componentes de una instalación eléctrica mejorando su rendimiento eléctrico.

La instalación de condensadores reduce el consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores.

Los condensadores proporcionan la energía reactiva descargando a la instalación desde el punto de conexión de los condensadores aguas arriba.

Como consecuencia es posible aumentar la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT, instalando en la parte de baja un equipo de corrección del factor de potencia.

La tabla de la fig. 6, muestra el aumento de la potencia activa (kW) que puede suministrar un transformador corrigiendo hasta  $\cos \varphi = 1$ .

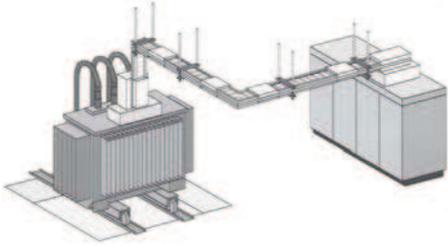
cos $\varphi$ inicial	Aumento de potencia disponible
1	0,0 %
0,98	+ 2,0 %
0,95	+ 5,2 %
0,90	+ 11,1 %
0,85	+ 17,6 %
0,80	+ 25,0 %
0,70	+ 42,8 %
0,65	+ 53,8 %
0,50	+ 100,0 %

**Fig. 6:** aumento de la potencia disponible en el secundario de un transformador en función del  $\cos \varphi$  de la carga.

# Ventajas de la compensación de la energía reactiva

(continuación)

## Información técnica



cos φ inicial	Factor multiplicador de la sección del cable
1	1
0,80	1,25
0,60	1,67
0,40	2,50

**Fig. 7:** coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del cos φ de la instalación.

## Reducción de la sección de los conductores

La instalación de un equipo de corrección del factor de potencia en una instalación permite reducir la sección de los conductores a nivel de proyecto, ya que para una misma potencia activa la intensidad resultante de la instalación compensada es menor.

La tabla de la **fig. 7** muestra el coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del cos φ de la instalación.

## Disminución de las pérdidas

### Reducción de pérdidas por efecto Joule

La instalación de condensadores permite la reducción de pérdidas por efecto Joule (calentamiento) en los conductores y transformadores.

Estas pérdidas son contabilizadas como energía consumida (kWh) en el contador.

Dichas pérdidas son proporcionales a la intensidad elevada al cuadrado.

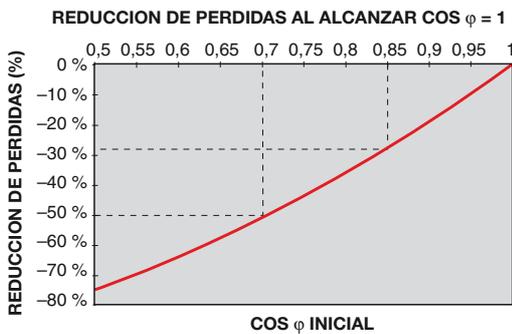
Se puede determinar según la siguiente fórmula la disminución de pérdidas en función del cos φ de la instalación:

$$\frac{\text{Pérdidas finales}}{\text{Pérdidas iniciales}} = \left( \frac{\text{cos } \phi \text{ inicial}}{\text{cos } \phi \text{ final}} \right)^2$$

### Ejemplo:

La reducción de pérdidas en un transformador de 630 kVA,  $P_{cu} = 6.500 \text{ W}$  con un cos φ inicial de 0,7.

Si se compensa hasta cos φ final = 0,98, las nuevas pérdidas pasan a ser de: 3.316 W.

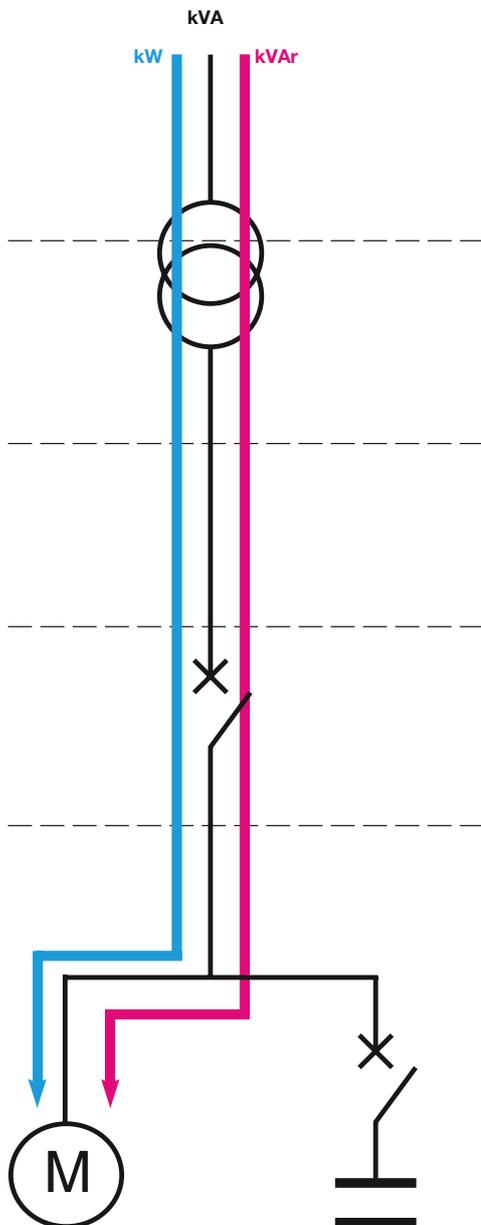


## Reducción de las caídas de tensión

La instalación de condensadores permite la reducción de las caídas de tensión aguas arriba del punto de conexión del equipo de compensación.

# Comparación instalación compensada/sin compensar

## Información técnica



**Fig. 8:** representación gráfica del flujo de potencias en una instalación sin compensar, con  $\cos \varphi = 0,75$ .

## Instalación sin compensar

### Datos

#### Red:

$P_{cc} = 500 \text{ MVA}$

#### Transformador:

$S_n = 630 \text{ kVA}$

$U_{cc} = 4 \%$

Sobrecarga = 5,7 %

#### Enlace trafo-cuadro:

$L = 30 \text{ M}$

$2 \times 300 \text{ mm}$  por fase

$\Delta U = 0,77 \%$

Pérdidas = 2,96 kW

#### Interruptor general:

$I_{th} = 962 \text{ A}$

$I_n = 1.000 \text{ A}$

#### Carga:

$P = 500 \text{ kW}$

$\cos \varphi = 0,75$

#### Comentarios

- Existe un consumo de kVAr.
- La potencia en kVA es superior a las necesidades de kW:

$$\text{kVA}^2 = \text{kVAr}^2 + \text{kW}^2$$

- El consumo en kWh es mayor por las pérdidas.
- Para poder suministrar los 500 kW con  $\cos \varphi = 0,75$ , el transformador deberá suministrar una potencia (S) de:

$$S = P / \cos \varphi = 500 / 0,75 = \mathbf{666 \text{ kVA}}$$

- Por lo que trabajará con una sobrecarga = **5,7 %**.
- Las pérdidas en los conductores son proporcionales al cuadrado de la intensidad:

$$P = I^2 \times R = 962^2 \times R = 2,9 \text{ kW}$$

- Habrá un consumo en kWh por pérdidas mayores que en la instalación compensada.
- El interruptor general de protección y los conductores deberán estar dimensionados para poder soportar el total de la intensidad para los valores definidos de P y  $\cos \varphi$ :

$$I = P / \sqrt{3} \times U_2 \times \cos \varphi = 500 / (1,73 \times 400 \times 0,75) = \mathbf{962 \text{ A}}$$

- La energía reactiva atraviesa la totalidad de la instalación desde la fuente hasta el receptor.
- Existe un recargo por reactiva en el recibo de la electricidad de:

$$K_r (\%) = 9,3 \%$$

# Comparación instalación compensada/sin compensar

(continuación)

Información técnica

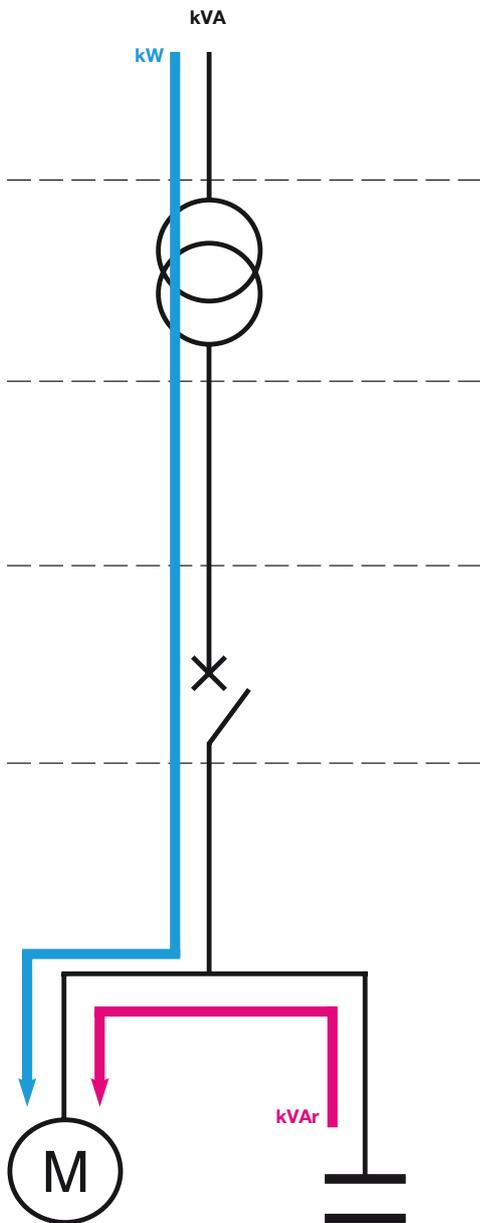


Fig. 9: representación gráfica del flujo de potencias en una instalación compensada, con  $\cos \varphi = 1$ .

## Instalación compensada

### Datos

#### Red:

$P_{cc} = 500 \text{ MVA}$

#### Transformador:

$S_n = 630 \text{ kVA}$

$U_{cc} = 4 \%$

Reserva de potencia = 20 %

#### Enlace trafo-cuadro:

$L = 30 \text{ M}$

$2 \times 150 \text{ mm}$  por fase

$\Delta U = 0,70 \%$

Pérdidas = 2,02 kW (-30%)

#### Interruptor general:

$I_{th} = 721 \text{ A}$

$I_n = 800 \text{ A}$

#### Carga:

$P = 500 \text{ kW}$

$\cos \varphi = 1$

### Comentarios

- El consumo de kVAr se hace cero.
- La potencia en kVA se ajusta a la demanda de kW.
- La potencia de trabajo del transformador con  $\cos \varphi = 1$  pasa a ser de:

$$S = P / \cos \varphi = 500 / 1 = 500 \text{ kVA}$$

- Por lo que habrá una reserva de potencia de 130 kVA = 20 %.
- Las pérdidas en los conductores son proporcionales al cuadrado de la intensidad:

$$P = I^2 \times R = 721^2 \times R = 2,02 \text{ kW}$$

- Habrá una reducción en el consumo de kWh por pérdidas de: **-30 %**.
- Podrá haber una reducción en la sección de los cables de la mitad.
- El interruptor general de protección podrá tener un calibre inferior que en la instalación sin compensar:

$$I = P / \sqrt{3} \times U \times \cos \varphi =$$

$$I = 500 / (1,73 \times 400 \times 1) = 721 \text{ A}$$

- La energía reactiva fluye entre el condensador y la carga, descargando al resto de instalación aguas arriba del punto de conexión de la batería.
- Existe una bonificación del 4 % sobre el recibo de electricidad.

# Cálculo de la potencia a compensar en una instalación en proyecto

## Información técnica



### Cálculo de una instalación en proyecto

#### Método general

A partir de los datos suministrados por los fabricantes de los diferentes receptores, tales como la potencia activa, el índice de carga, el  $\cos \varphi$ ... y conociendo el factor de simultaneidad de cada uno en la instalación, se pueden determinar los niveles de potencia activa y reactiva consumida por el total de la instalación.

#### Método simplificado

Conociendo los siguientes datos se pueden calcular de una manera simplificada las necesidades de compensación de una instalación:

- $\cos \varphi$  medio inicial.
- $\cos \varphi$  objetivo.
- Potencia activa media de la instalación.

Estos datos se pueden obtener:

- Por cálculo: como se ha citado en el método general.
- A través de una estimación según las potencias instaladas.

Con estos datos se puede proceder al **cálculo por tabla**.

### Cálculo por tabla

#### Ejemplo:

Cálculo de la potencia reactiva necesaria para compensar la instalación siguiente:

$P = 500$  kW.

$\cos \varphi$  inicial = 0,75.

$\cos \varphi$  deseado 0,98.

Consultando la tabla de la página 1/9 se obtiene un factor = 0,679.

Multiplicando este factor por la potencia activa de la instalación (500 kW) se obtiene la potencia reactiva a instalar:

$Q = 500 \times 0,679 = 340$  kVAr

$\cos \varphi$	$\cos \varphi$ a obtener					
	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1
0,4	1,805	1,861	1,924	1,998	2,085	2,288
0,45	1,681				1,784	1,988
0,5	1,248				1,529	1,732
0,55	1,035				1,316	1,519
0,6	0,849				1,131	1,334
0,65	0,685				0,966	1,169
0,7	0,536				0,811	1,020
0,75	0,398	0,453	0,519	0,591	0,679	0,882
0,8	0,266	0,321	0,387	0,459	0,541	0,750
0,85	0,02	0,191	0,257	0,329	0,417	0,620
0,9		0,058	0,121	0,192	0,281	0,484

Fig. 10: representación gráfica de la tabla de la pág. 1/9.

### A partir de mediciones

Efectuar distintas mediciones aguas abajo del disyuntor general de protección con la instalación en las condiciones de carga habituales.

Los datos a medir deben ser los siguientes:

- Potencia activa (kW).
- Potencia inductiva (kVAr).
- $\cos \varphi$ .

A partir de estos datos elegir el  $\cos \varphi$  medio de la instalación y verificar dicho valor con el caso más desfavorable.

# Cálculo de la potencia a compensar: tabla de elección

## Información técnica

### A partir de la potencia en kW y del $\cos \varphi$ de la instalación

La tabla nos da en función del  $\cos \varphi$  de la instalación, antes y después de la compensación, un coeficiente a multiplicar por la potencia activa para encontrar la potencia de la batería de condensadores a instalar.

Antes de la compensación		Potencia del condensador en kVAR a instalar por kW de carga para elevar el factor de potencia ( $\cos \varphi$ o $\text{tg } \varphi$ a obtener)													
$\text{tg } \varphi$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	0,75	0,59	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
		$\cos \varphi$	0,8	0,86	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,541	1,698	1,807	1,836	1,865	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
2,22	0,40		1,475	1,631	1,740	1,769	1,799	1,829	1,862	1,896	1,933	1,974	2,022	2,082	2,225
2,16	0,42		1,411	1,567	1,676	1,705	1,735	1,766	1,798	1,832	1,869	1,910	1,958	2,018	2,161
2,10	0,43		1,350	1,506	1,615	1,644	1,674	1,704	1,737	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
2,04	0,44		1,291	1,448	1,557	1,585	1,615	1,646	1,678	1,712	1,749	1,790	1,838	1,898	2,041
1,98	0,45		1,235	1,391	1,500	1,529	1,559	1,589	1,622	1,656	1,693	1,734	1,781	1,842	1,985
1,93	0,46		1,180	1,337	1,446	1,475	1,504	1,535	1,567	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
1,88	0,47		1,128	1,285	1,394	1,422	1,452	1,483	1,515	1,549	1,586	1,627	1,675	1,736	1,878
1,83	0,48		1,078	1,234	1,343	1,372	1,402	1,432	1,465	1,499	1,536	1,577	1,625	1,685	1,828
1,78	0,49		1,029	1,186	1,295	1,323	1,353	1,384	1,416	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
1,73	0,5		0,982	1,139	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,937	1,093	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
1,64	0,52		0,893	1,049	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
1,60	0,53		0,850	1,007	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,965	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,52	0,55		0,768	0,925	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
1,48	0,56		0,729	0,886	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,44	0,57		0,691	0,848	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
1,40	0,58		0,655	0,811	0,920	0,949	0,969	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,37	0,59		0,618	0,775	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,33	0,6		0,583	0,740	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,30	0,61		0,549	0,706	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,672	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,639	0,748	0,777	0,807	0,837	0,873	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64		0,451	0,607	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,17	0,65		0,419	0,672	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66		0,388	0,639	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,607	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,328	0,576	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,788	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69		0,299	0,545	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,7		0,270	0,515	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,485	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,96	0,72		0,214	0,456	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,665	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,94	0,73		0,186	0,427	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,398	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,88	0,75		0,132	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,86	0,76		0,105	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,80	0,78		0,052	0,289	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,574	0,511	0,552	0,559	0,660	0,802
0,78	0,79		0,026	0,262	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,75	0,8			0,235	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,449	0,547	0,608	0,750
0,72	0,81			0,209	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,70	0,82			0,183	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,67	0,83			0,157	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,65	0,84			0,131	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,62	0,85			0,105	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,59	0,86			0,079	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,56	0,87			0,053	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,53	0,88			0,029	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,51	0,89				0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,342	0,90					0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,48	0,484

# 1 Recibo tipo mercado liberalizado

## Información técnica

Para determinar las necesidades de energía reactiva de nuestra instalación, a través de un recibo de la factura eléctrica en el mercado liberalizado, procederemos según lo siguiente:

### 1. Determinaremos el $\cos \varphi$ de la instalación:

- Sumaremos todos los consumos de potencia activa (45.600 kWh).
- Sumaremos todos los consumos de potencia reactiva (28.564 kVAh).

$$\cos \varphi = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{\text{kWh}^2 + \text{kVAh}^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{45.600}{\sqrt{45.600^2 + 28.564^2}} = 0,84$$

(En las tarifas de suministro BT y en las de MT hasta 450 kW, tendremos sólo 3 períodos horarios).

### 2. Determinar cuál es la potencia activa media de la instalación, se puede hallar por:

- Cogiendo la media de la lectura del máxímetro.
- Con los consumos de activa y las horas de funcionamiento (ver hoja anterior).

Para el ejemplo utilizaremos la lectura del máxímetro: 140 kW.

#### FACTURA DE ELECTRICIDAD

Referencia contrato 28XX20XX00  
Fecha Factura 20 de Marzo de 2002  
Nº de Factura 200233456700034

IMPORTE FACTURA 5.002,02 €

#### CONSUMO

Nº contador	función	desde	lectura	hasta	lectura	consumo/demanda
xxxxxxxxxx	CAP1	31/01/2002	62	28/02/2002	8461	8399 kWh
xxxxxxxxxx	CAP2	31/01/2002	103	28/02/2002	14214	14111 kWh
xxxxxxxxxx	CAP3	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kWh
xxxxxxxxxx	CAP4	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kWh
xxxxxxxxxx	CAP5	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kWh
xxxxxxxxxx	CAP6	31/01/2002	0	28/02/2002	23170	23170 kWh
xxxxxxxxxx	CRP1	31/01/2002	450	28/02/2002	7354	6904 kVAh
xxxxxxxxxx	CRP2	31/01/2002	695	28/02/2002	11970	11275 kVAh
xxxxxxxxxx	CRP3	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kVAh
xxxxxxxxxx	CRP4	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kVAh
xxxxxxxxxx	CRP5	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kVAh
xxxxxxxxxx	CRP6	31/01/2002	163	28/02/2002	10548	10385 kVAh
xxxxxxxxxx	MAP1	31/01/2002	0	28/02/2002	141	141 kW
xxxxxxxxxx	MAP2	31/01/2002	0	28/02/2002	140	140 kW
xxxxxxxxxx	MAP3	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kW
xxxxxxxxxx	MAP4	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kW
xxxxxxxxxx	MAP5	31/01/2002	0	28/02/2002	0	0 kW
xxxxxxxxxx	MAP6	31/01/2002	0	28/02/2002	143	143 kW

# Recibo tipo mercado liberalizado

(continuación)

## Información técnica

### 3. Aplicar la fórmula general:

$$Q = P \times (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

Donde nos faltaría determinar qué  $\cos \varphi$  final queremos.

Dado que en el mercado liberalizado no se obtiene bonificación por un  $\cos w$  superior a 0,95, podemos optar por un  $\cos \varphi$  final en torno a 0,97-0,98. De esta forma nos aseguraremos siempre un  $\cos \varphi$  por encima de 0,95 ante posibles variaciones puntuales de la carga y no aumentaremos en exceso la potencia de la batería. Lógicamente si se desea sacar el máximo rendimiento a la instalación será aconsejable compensar a 1.

Sustituimos los valores en la fórmula:

$$Q = 140 \times (0,65 - 0,20) = 63 \text{ kVAR}$$

Escogemos la batería inmediatamente superior 75 kVAR.

### 4. Quedaría por ver el período de amortización del equipo

Supongamos que escogemos una batería ref. 52876 con un PVP de 2.940,00 €.

¿Cuánto pagaríamos, en un año, de reactiva si mantuviésemos el consumo actual?

Cogemos los 397,37 € por el exceso de reactiva (ver [página 1/4](#), [recargo por reactiva, mercado liberalizado](#)) y los multiplicamos por 12 meses; obtenemos un recargo de 4.768,44 €.

Vemos que el equipo estaría amortizado en menos de 6 meses.

FACTURACIÓN		EUROS	
1. Termino de potencia			
P1	500 kW x 80,2411 cent/kW	401,21	
P2	500 kW x 40,1972 cent/kW	200,99	
P3	500 kW x 29,4575 cent/kW	147,29	
P4	500 kW x 29,4575 cent/kW	147,29	
P5	500 kW x 29,4575 cent/kW	147,29	
P6	500 kW x 13,4247 cent/kW	67,12	
Total importe potencia		1.111,19	
2. Termino de energía			
P1	8.399 kWh x 8,83 cent/kWh	741,63	
P2	14.111 kWh x 7,98 cent/kWh	1.126,06	
P6	23.170 kWh x 3,95 cent/kWh	915,22	
Total Energía a 45.600 kWh		2.782,91	
3. Termino energía Reactiva		10.750,7 kVARh x 3,6962 cent/kVARh	397,37
4. Impto. Electr. S/excesos de potencia			20,32
5. Alquiler equipos medida		1 mes x 30,05 cent/mes	0,30
6. IVA		16% s/ 4.312,09	609,93
		<b>IMPORTE</b>	<b>5.002,02</b>

### FACTURA DE ELECTRICIDAD

Referencia contrato 28XX20XX00  
Fecha Factura 20 de Marzo de 2002  
Nº de Factura 200233456700034

**IMPORTE FACTURA 5.002,02 €**

### DATOS DEL CONTRATO

COMUNICACIONES CON ALEGRÍA  
C/VOZ SIN IMAGEN Nº33  
08007 BARCELONA

CIF K0099900000  
CNAE XXXX

COMUNICACIONES CON ALEGRÍA  
C/VOZ SIN IMAGEN Nº33  
08007 BARCELONA

Tarifa TL2H Tipo DH 6P M.F. TGP6P

### POTENCIA

PC1: 500 kW PC2: 500 kW PC3: 500 kW PC4: 500 kW PC5: 500 kW PC6: 500 kW

Precios del B.O.E. del 28/12/2001

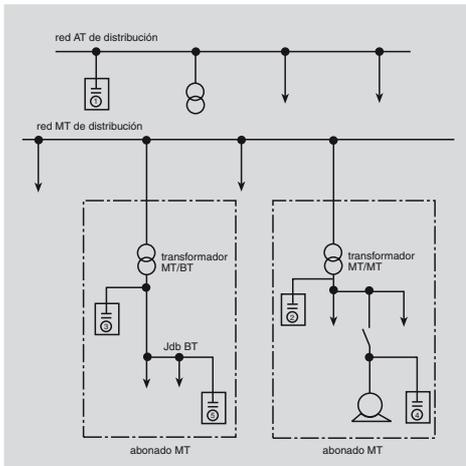
Dirección fiscal: C/ Voz sin imagen nº 33

### FORMA DE PAGO

Entidad BANCO XXXXXXXXXXXXXXXXX  
Sucursal 0002 Código Cuenta Bancaria 000000XXXXXXXXXX

# 1 Dónde compensar

## Información técnica



## ¿Dónde instalar los condensadores?

La localización de los condensadores en una red eléctrica se determina según:

- El objetivo buscado, supresión de las penalidades, descarga de las líneas y transformadores, aumento de la tensión en el final de la línea.
- El modo de distribución de la energía eléctrica.
- El régimen de carga.
- La influencia previsible de los condensadores en la red.
- El coste de la instalación.

La compensación de la energía reactiva puede ser:

- Batería AT en red de distribución AT **(1)**.
- Batería MT regulada o fija, para abonado MT **(2)**.
- Baterías BT, regulada o fija, para abonado BT **(3)**.
- Compensación fija para motor MT **(4)**.
- Compensación fija para motor BT **(5)**.

### Ejemplo:

La elección del lugar de ubicación de los equipos de compensación queda a elección del cliente, en función de las características de su instalación y de los objetivos a alcanzar con la misma.

Un ejemplo de aplicación de equipo **(2)** sería el de la compensación en la estación elevadora del consumo de un parque eólico, otro la compensación de un centro de control de motores, caso para el que se aconseja un equipo automático.

El tipo de aplicación para el equipo **(1)** corresponde a la compensación realizada en la línea de transporte de energía de una Cía. Eléctrica, subestación de Cía.

# Dónde compensar

(continuación)

Información técnica

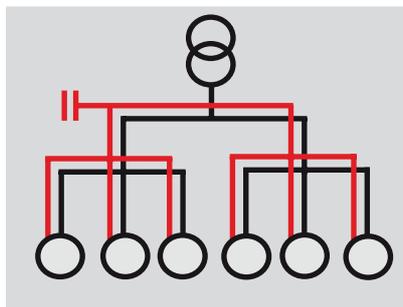


Fig. 12: compensación global.

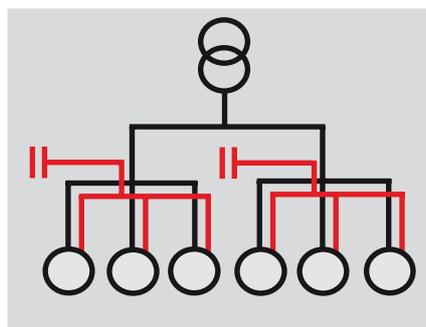


Fig. 13: compensación parcial.

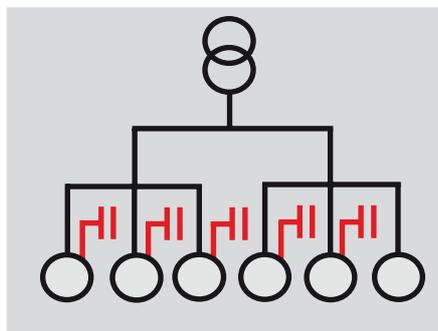


Fig. 14: compensación individual.

## En las salidas BT (CGBT)

Los condensadores pueden ser instalados en 3 niveles diferentes:

### Posición n.º 1

#### Compensación global

##### Ventajas:

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Ajusta la potencia aparente (S en kVA) a la necesidad real de la instalación.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

##### Observaciones:

- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.

## A la entrada de cada taller

### Posición n.º 2

#### Compensación parcial

##### Ventajas:

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta entre los niveles 1 y 2.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

##### Observaciones:

- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen.

## En los bornes de cada receptor de tipo inductivo

### Posición n.º 3

#### Compensación individual

##### Ventajas:

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva  $I_r$  se abastece en el mismo lugar de su consumo.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

##### Observaciones:

- La corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

# 1 Cuándo realizar una compensación fija

## Información técnica

### Reglas generales

#### Qué dice el Reglamento de BT

De lo establecido en el nuevo REBT en la ITC-BT 43 - Apartado 2.7 Compensación del factor de potencia, se deduce que:

- Se podrá realizar la compensación de la energía reactiva pero en ningún momento la energía absorbida por la red podrá ser capacitiva.
- Se podrá realizar la compensación fija para uno o varios receptores siempre que funcionen por medio de un único interruptor, es decir, simultáneamente.
- Para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático.

En la práctica se realiza la compensación fija de algunos motores y de transformadores; y una compensación automática para la compensación global en cabecera de la instalación.

### Compensación fija de transformadores

#### Por qué realizar la compensación fija de un transformador

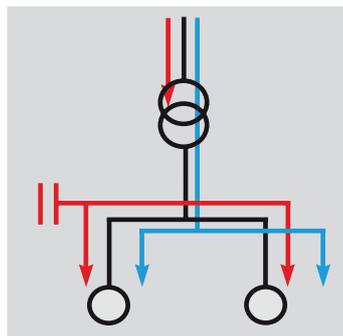
Como se ha visto anteriormente, la compensación de una instalación puede permitir el disponer de una potencia suplementaria en bornes del transformador.

Los cálculos de necesidades de reactiva han sido realizados hasta ahora teniendo en cuenta únicamente el consumo total de los receptores de una instalación.

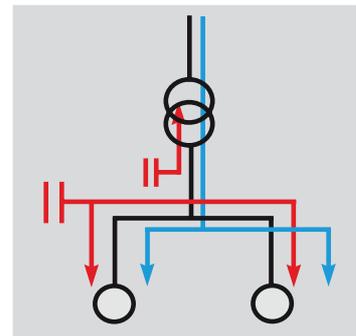
Pero en el caso de que se deseen compensar también las pérdidas inductivas del transformador en BT, por ejemplo si se tiene una contratación de potencia en MT, la manera de realizarlo es incorporando un equipo de compensación fija en los bornes de baja del transformador, de tal manera que la instalación quede "sobrecompensada" en la parte de BT y dicha sobrecompensación sirva para compensar el trafo.

Obsérvese que en la [fig. 15](#) existe un consumo de potencia reactiva por parte del transformador que no está suministrado por la batería.

La batería de condensadores no "ve" dicho consumo, ya que el TI que informa al regulador sobre el  $\cos \varphi$  de la instalación está conectado en la parte de BT. Por lo tanto es necesario incorporar un condensador aguas arriba del punto de conexión del TI que incorpore los kVAr suplementarios ([fig. 16](#)).



**Fig. 15:** flujo de potencias en una instalación cuyo transformador está sin compensar.



**Fig. 16:** flujo de potencias en una instalación cuyo transformador está compensado con un equipo de compensación fijo.

# Compensación fija de transformadores

## Información técnica

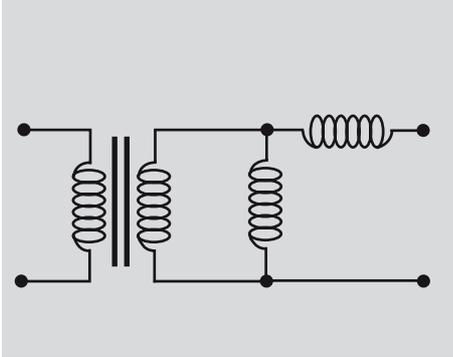


Fig. 17: esquema equivalente de un transformador.

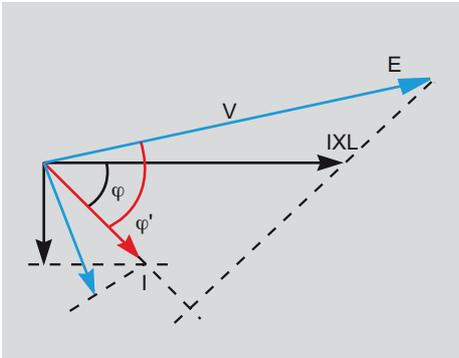


Fig. 18: absorción de potencia inductiva por la reactancia serie, según el esquema equivalente de la fig. 17.

## Naturaleza de las reactancias inductivas de un transformador

### Reactancia paralelo: reactancia de magnetización

Hasta ahora sólo se había tenido en cuenta la reactancia inductiva de las cargas en paralelo; sin embargo las reactancias conectadas en serie, como las de las líneas de potencia y los arrollamientos del primario de los transformadores, también absorben energía reactiva.

Para determinar dichas pérdidas de energía reactiva se puede representar el esquema equivalente de un transformador ideal como el de la fig. 17, la corriente magnetizante tiene un valor prácticamente constante (en torno al 1,8 % de la intensidad a plena carga) desde que el transformador trabaja en vacío hasta que está a plena carga.

Por esta razón, y ya que va a existir un consumo prácticamente constante de kVAr independientemente de las condiciones de carga, se suele realizar la compensación en vacío de los transformadores.

Sin embargo también hay un consumo de reactiva variable con las condiciones de carga del transformador: por lo que está representada en la fig. 17 una reactancia en serie que daría las pérdidas por el flujo de fuga.

### Reactancia serie: flujo de fuga

Hasta ahora sólo se había tenido en cuenta la reactancia paralelo del transformador (magnetizante).

Sin embargo la potencia reactiva absorbida por el transformador en funcionamiento no puede despreciarse.

Este fenómeno se ilustra en el diagrama vectorial de la fig. 18.

La diferencia entre  $E \cdot I \cdot \sin \phi'$  y  $V \cdot I \cdot \sin \phi$ , daría los kVAr absorbidos por la inductancia serie  $X_L$ .

Se puede demostrar que este valor es igual a  $I^2 \cdot X_L$ . A partir de esta fórmula se pueden deducir los kVAr absorbidos en función del índice de carga:

### Ejemplo:

Transformador de  $S_n = 630$  kVA

$U_{cc} = 4\%$

• Pérdidas trifásicas a plena carga:  
 $kVAr = I^2 \cdot X_L = 630 \times 0,04 = 25,2$  kVAr

• Pérdidas al 50 % de carga:  
 $kVAr = I^2 \cdot X_L = 0,5^2 \times 630 \times 0,04 = 6,3$  kVAr

Para calcular las pérdidas totales del transformador se deberán adicionar las pérdidas en vacío (aproximadamente el 1,8 % de la potencia del transformador).

• Pérdidas en vacío:  
 $kVAr = 1,8 \times 630/100 = 11,34$  kVAr

• Por lo que las pérdidas totales a plena carga serán:  
 $kVAr_{total} = kVAr_{vacío} + kVAr_{plena\ carga} = 11,34 + 25,2 = 36,64$  kVAr.

# Compensación fija de transformadores

(continuación)

Información técnica



Tabla compensación transformadores MT

Potencia aparente MVA	Tensión primario	Tensión secundario	Tensión de cortocircuito Ucc %	Potencia reactiva a compensar sin carga
2,5	20	3 a 16	6,5	40
	30	3 a 16	6,5	50
3,15	20	3 a 16	7	50
	30	3 a 16	7	60
4	20	3 a 16	7	60
	30	3 a 16	7	70
5	20	3 a 16	7,5	70
	30	3 a 16	7,5	80
6,3	10 a 36	3 a 20	8,1	70
8	10 a 36	3 a 20	8,4	80
10	10 a 36	3 a 20	8,9	90
12,5	10 a 36	3 a 20	9	120
16	45 a 66	3 a 20	9,3	130
20	45 a 66	3 a 20	9,4	140
25	45 a 66	3 a 20	9,7	175
31,5	45 a 66	3 a 20	11	190
40	45 a 66	3 a 20	12	240

Estos valores son indicativos.

Tabla compensación transformadores BT

Transformador		En aceite		Secos	
S (kVA)	Ucc (%)	Vacío	Carga	Vacío	Carga
100	4	2,5	5,9	2,5	8,2
160	4	3,7	9,6	3,7	12,9
250	4	5,3	14,7	5,0	19,5
315	4	6,3	18,3	5,7	24
400	4	7,6	22,9	6,0	29,4
500	4	9,5	28,7	7,5	36,8
630	4	11,3	35,7	8,2	45,2
800	4	20,0	66,8	10,4	57,5
1.000	6	24,0	82,6	12	71
1.250	5,5	27,5	100,8	15	88,8
1.600	6	32	126	19,2	113,9
2.000	7	38	155,3	22	140,6
2.500	7	45	191,5	30	178,2

Fig. 19: consumo de potencia reactiva para transformadores de distribución de V1 = 20 kV.

## Resumen

Un transformador consume una potencia reactiva compuesta por:

- Una parte fija que depende de la corriente magnetizante,  $Q_0 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0$  (esta parte representa del 0,5 al 2,5 % de la potencia del transformador).
- Una parte aprox. proporcional al cuadro de la potencia aparente.

$$Q = U_{cc} \cdot S^*(s/sn)$$

La potencia reactiva total consumida por un transformador de distribución está en torno al 10 % a plena carga.

# Compensación fija de motores asíncronos

## Información técnica

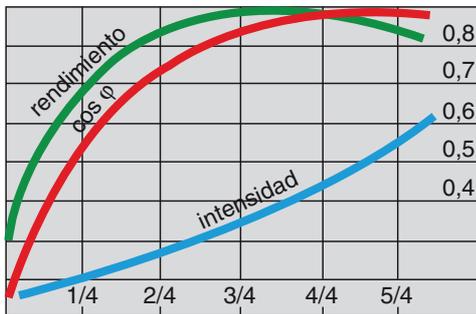


Fig. 20: variación del cos φ en función del régimen de carga.



## La compensación fija de motores asíncronos

### Precauciones generales

La intensidad reactiva que absorbe un motor asíncrono es prácticamente constante y tiene un valor aproximado del 90 % de la intensidad en vacío.

Por esta razón, cuando un motor trabaja en bajos regímenes de carga el cos φ es muy bajo debido a que el consumo de kW es pequeño.

Asimismo, las características constructivas del mismo, tales como potencia, número de polos, velocidad, frecuencia y tensión, influyen en el consumo de kVAr.

Se puede realizar la compensación fija en bornes de un motor siempre que se tomen las precauciones siguientes:

- Nueva regulación de las protecciones.
- Evitar la autoexcitación.
- No compensar motores especiales.
- No compensar motores con arrancador.

Estas precauciones en la conexión se definirán a continuación.

### Regulación de las protecciones

Después de realizar la compensación fija de un motor, la intensidad eficaz consumida por el conjunto motor-condensador es más baja que antes.

En consecuencia se deberán reajustar las protecciones del motor según la siguiente relación:

$$\text{Factor de reducción} = \frac{\text{Cos } \varphi \text{ inicial}}{\text{Cos } \varphi \text{ final}}$$

### Compensación de motores con arrancador

Si el motor arranca con ayuda de algún dispositivo especial, tal como resistencias, inductancias, estrella triángulo o autotransformadores, es recomendable que los condensadores sean conectados después del arranque del motor.

Por esta razón no se deberá realizar una compensación fija y se utilizarán condensadores accionados por contactores. (Ver el apartado de compensación fija accionada por contactor, fig. 22).

### Compensación de motores especiales

No se recomienda la compensación individual de motores especiales del tipo: paso a paso, dos sentidos de marcha o similares.

### Cómo evitar la autoexcitación de los motores

#### El fenómeno de la autoexcitación

Cuando un motor acciona una carga de gran inercia el motor sigue girando después de cortarle la alimentación (a no ser que se le frene deliberadamente) debido a la inercia de la carga.

Cuando se realiza la compensación directa en bornes del motor, se genera un flujo de corrientes capacitivas a través del estator que producen un campo magnético rotatorio en el rotor que actúa a lo largo del mismo eje y en la misma dirección que el campo magnético decreciente.

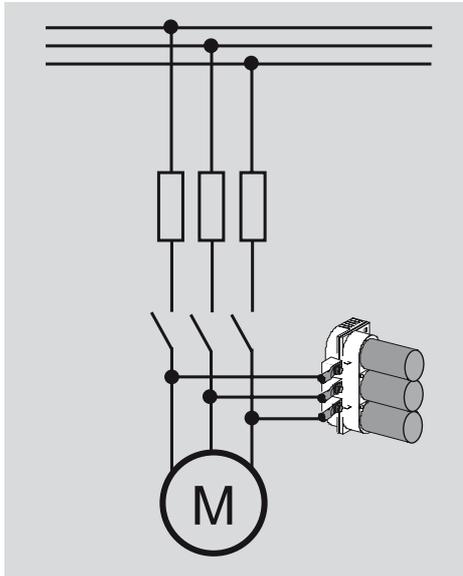
En consecuencia el flujo del rotor aumenta, las corrientes del estator aumentan y la tensión en los terminales del motor aumenta, pasando por lo tanto a funcionar como generador asíncrono.

Este fenómeno se conoce como la autoexcitación.

# Compensación fija de motores asíncronos

(continuación)

Información técnica



## Cómo evitar la autoexcitación:

- Limitación de la potencia de compensación.

El fenómeno de la autoexcitación puede evitarse limitando la potencia de los condensadores fijos instalados en bornes del motor, de tal manera que la intensidad reactiva suministrada sea inferior a la necesaria para provocarla, haciendo que el valor de la intensidad de los condensadores sea inferior al valor de la intensidad en vacío del motor. El valor máximo de potencia reactiva a instalar se calculará de la siguiente forma:

$$Q_M \leq 0,9 \times I_0 \times U_n \times \sqrt{3}/Q_M \leq 2 P_0 (1 - \cos \varphi i)$$

donde:

$Q_M$  = potencia fija máxima a instalar (VAR).

$I_0$  = intensidad en vacío del motor.

$U_n$  = tensión nominal (V).

$P$  = potencia nominal motor (kW).

$\cos \varphi i$  = coseno  $\varphi$  inicial.

Estos valores se dan en la tabla de la fig. 21.

- Otra manera para evitar la autoexcitación es la compensación fija accionada por contactor.

**Tabla compensación de motores asíncronos BT**

Potencia nominal		Núm. de revoluciones por min			
		Potencia reactiva en kVAR			
kW	CV	3.000	1.500	1.000	750
11	15	2,5	2,5	2,5	5
18	25	5	5	7,5	7,5
30	40	7,5	10	11	12,5
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	485	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

**Fig. 21:** máxima potencia reactiva a instalar en bornes de un motor trifásico 230/400 V, sin riesgo de autoexcitación.

**Tabla compensación de motores asíncronos MT**

Potencia nominal		Núm. de revoluciones por min			
		Potencia reactiva en kVAR			
kW	CV	3.000	1.500	1.000	750
140	190	30	35	40	50
160	218	30	40	50	60
180	244	40	45	55	65
280	380	60	70	90	100
355	482	70	90	100	125
400	543	80	100	120	140
500	679	100	125	150	175
1.000	1.359	200	250	300	350
1.400	1.902	280	350	420	490
1.600	2.174	320	400	480	560
2.000	2.717	400	500	600	700
2.240	3.043	450	560	680	780
3.150	4.280	630	800	950	1.100
4.000	5.435	800	1.000	1.200	1.400
5.000	6.793	1.000	1.250	1.500	1.750

Estos valores son indicativos.

**Nota:** ver la solución propuesta por Schneider Electric, batería compensación motor MT.

# Compensación fija de motores asíncronos

(continuación)

## Información técnica

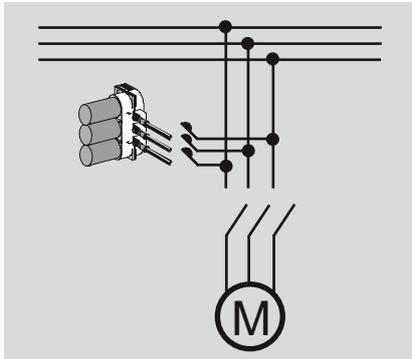


Fig. 22: conexión de un condensador a un motor a través de un contactor.

## Compensación fija accionada por contactor

### Instalación

Este sistema permite evitar el riesgo de sobreexcitación de los motores, compensando por lo tanto la totalidad de la potencia reactiva necesaria.

La instalación se debe realizar siempre aguas arriba del dispositivo de mando y protección del motor.

El contactor del condensador deberá ir enclavado con el dispositivo de protección del motor de manera que cuando el motor sea o bien desconectado, o bien provocada la apertura de su dispositivo de protección, el condensador debe quedar fuera de servicio.

### Cálculo de la potencia a instalar

En este caso y habiendo evitado el riesgo de autoexcitación, el cálculo se realiza de la misma manera que para cualquier carga:

$$Q = P \times (\text{tg } \varphi \text{ inicial} - \text{tg } \varphi \text{ objetivo})$$

Siendo:

P = potencia activa del motor (kW).

## Elección del contactor adecuado

### El proceso de la conexión de un condensador

Los condensadores forman, con los circuitos a cuyas bornas están conectados, circuitos oscilantes que pueden producir en el momento de la conexión corrientes transitorias de elevada intensidad (> 180 In) y de frecuencias elevadas (de 1 a 15 kHz).

Para solucionar este problema sin tener que acudir a contactores extraordinariamente sobredimensionados se aumentaba la inductancia de la línea con el acoplamiento en serie de inductancias de choque.

### Un contactor específicamente diseñado para el mando de condensadores

Los contactores Telemecanique modelo **LC1-D•K** están equipados con un bloque de contactos adelantados y con resistencias de preinserción que limitan el valor de la corriente en la conexión a 60 In.

El diseño patentado del aditivo garantiza la limitación de la corriente de conexión con lo que aumenta la durabilidad de los componentes de la instalación y en particular la de los fusibles y condensadores.

Los contactores **LC1-D•K** se incorporan en todas las baterías automáticas Merlin Gerin.

Tabla compensación de motores asíncronos BT

220 V 240 V kVAr	400 V 440 V kVAr	660 V 690 V kVAr	Contactos auxiliares		Par de apriete Nm	Referencia básica
			"NA"	"NC"		
6,7	12,5	18	1	1	1,2	LC1-DFK11..
10	20	30	1	1	1,9	LC1-DLK11..
15	25	36	1	1	2,5	LC1-DMK11..
20	33,3	48	1	2	5	LC1-DPK12..
25	40	58	1	2	5	LC1-DTK12..
40	60	92	1	2	11	LC1-DWK12..

# 1 Cuándo realizar una compensación automática

## Información técnica

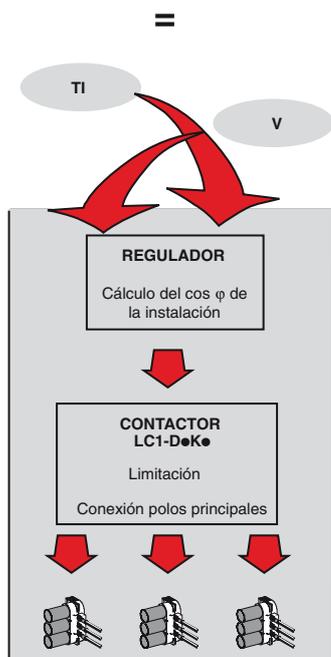


Fig. 23: esquema de principio de un equipo de compensación automático.

## Reglas generales

### Qué dice el Reglamento de BT

Se realiza a continuación una interpretación a título orientativo de las indicaciones que aparecen en el nuevo REBT en la ITC-BT 43 - Apartado 2.7 Compensación del factor de potencia:

- Se podrá realizar la compensación de la energía reactiva pero en ningún momento la energía absorbida por la red podrá ser capacitiva.
- Para compensar la totalidad de una instalación, o partes de la misma que no funcionen simultáneamente, se deberá realizar una compensación automática.
- La instalación del equipo de compensación automática deberá asegurar que la variación del factor de potencia en la instalación no sea mayor de un  $\pm 10\%$  del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento.

### Ejemplo:

Si el  $\cos \phi$  medio de una instalación compensada es de 0,96 inductivo, el  $\cos \phi$  de la misma en ningún momento deberá ser ni inferior a 0,86 inductivo, ni superior a 0,94 capacitivo.

## Esquema de principio de una batería automática

### Los elementos internos

Un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el  $\cos \phi$  objetivo de la instalación.

Un equipo de compensación automático está constituido por 3 elementos principales:

#### • El regulador:

Cuya función es medir el  $\cos \phi$  de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al  $\cos \phi$  objetivo, conectando los distintos es-calones de potencia reactiva. Además de esta función, los actuales reguladores Varlogic de Merlin Gerin incorporan funciones complementarias de ayuda al mantenimiento y la instalación.

#### • Los contactores:

Son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería.

El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automático depende de las salidas que tenga el regulador.

Existen dos modelos de reguladores Varlogic atendiendo al número de salidas:

- De 1 hasta 6 escalones.
- De 1 hasta 12 escalones.

#### • Los condensadores:

Son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación.

Normalmente la conexión interna de los mismos está hecha en triángulo.

### Los elementos externos

Para el funcionamiento de un equipo de compensación automático es necesaria la toma de datos de la instalación; son los elementos externos que le permiten actuar correctamente al equipo:

#### • La lectura de intensidad:

Se debe conectar un transformador de intensidad que lea el consumo de la totalidad de la instalación.

#### • La lectura de tensión:

Normalmente se incorpora en la propia batería de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor.

Esta información de la instalación (tensión e intensidad) le permite al regulador efectuar el cálculo del  $\cos \phi$  existente en la instalación en todo momento y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones de potencia reactiva.

- También es necesaria la alimentación a 230 V para el circuito de mando de la batería.

Las baterías incorporan unas bornas denominadas (a, b) para este efecto.

**Nota:** excepto para las Varset que incluyen transformador.

# El concepto de la regulación

## Información técnica

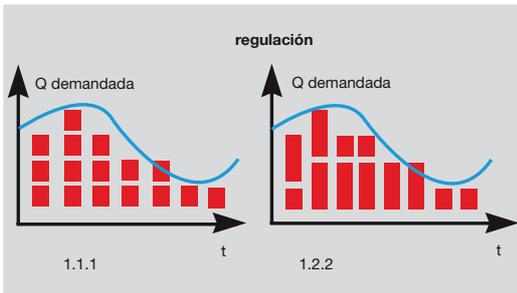


Fig. 24: escalonamiento 1.1.1 y 1.2.2.

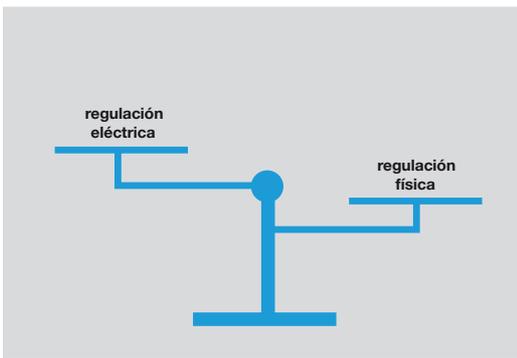


Fig. 25: en una batería bien elegida debe existir un equilibrio entre la regulación eléctrica y física.

## Regulación física y eléctrica

### Definición de una batería automática

Los 3 datos que definen una batería automática de condensadores son los siguientes:

- La potencia en kVAr, que vendrá dada por los cálculos efectuados y dependerá del  $\cos \varphi$  objetivo que se desea tener en la instalación.
- La tensión nominal, que siempre deberá ser mayor o igual a la tensión de red.
- La regulación de la batería, que indicará el escalonamiento físico de la misma.

### Regulación física

El escalonamiento o regulación física de una batería automática indica la composición y el número de los conjuntos condensador-contactor que la forman.

Normalmente se suele expresar como relación de la potencia del primer escalón con el resto de escalones.

### Ejemplo:

Batería de 70 kVAr, formada por los siguientes escalones de potencias: 10 + 20 + 20 + 20, tiene una regulación 1.2.2, ya que el primer escalón tiene la mitad de potencia que el resto de escalones.

Otra batería de 70 kVAr formada por los siguientes escalones de potencias: 7 escalones de 10 kVAr, tendría una regulación 1.1.1.

Obsérvese en la fig. 24, la actuación de dos baterías de regulación 1.1.1 y 1.2.2. como las del ejemplo.

La adaptación a la demanda de reactiva de las dos baterías va a ser exactamente la misma a pesar de tener dos regulaciones físicas distintas.

### Regulación eléctrica

Realmente, el dato que marca la diferencia de actuación de una batería es la regulación eléctrica.

En el ejemplo anterior la regulación eléctrica de ambas baterías es la misma ( $7 \times 10$ ), indica que ambas baterías van a actuar con una regulación mínima de 10 kVAr.

### Una batería bien elegida

Desde el punto de vista del precio del equipo, cuantos más escalones físicos tiene la batería, más cara resulta ya que aumentan el número de conjuntos contactor-condensador y el tamaño de la envolvente del equipo.

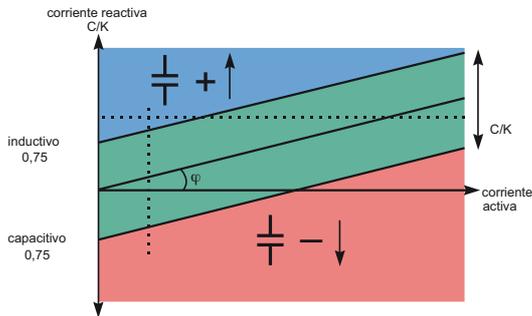
Desde el punto de vista de la adaptación al  $\cos \varphi$  objetivo, cuanto menor sea la regulación eléctrica mejor se podrá adaptar a las variaciones de la demanda de reactiva de la instalación.

Por lo tanto, en una batería bien elegida debe existir un equilibrio entre la regulación eléctrica y física.

Los reguladores Varlogic permiten hasta 7 regulaciones distintas con lo que optimizan el coste del equipo proporcionando un máximo de "finura" en la regulación.

### Ejemplo:

Una batería de 70 kVAr formada por 3 escalones de potencias: 10 + 20 + 40, regulación 1.2.4, proporciona una regulación eléctrica igual a la del ejemplo anterior con un menor precio que la de  $7 \times 10$  ya que son sólo 3 conjuntos contactor-condensador.



**Fig. 26:** interpretación del ajuste C/K en un regulador de energía reactiva.

## El regulador

### La programación de un regulador

Los datos que se deben programar en un regulador al realizar la puesta en marcha son los siguientes:

- El  $\cos \varphi$  deseado en la instalación.
- La relación C/K.

Estos datos son únicos para cada instalación y no se pueden programar de fábrica.

### Qué es el C/K

El regulador es el componente que decide la entrada o salida de los distintos escalones de potencia en función de 3 parámetros:

- El  $\cos \varphi$  que se desea en la instalación.
- El  $\cos \varphi$  que existe en cada momento en la instalación.
- La intensidad del primer escalón (que es el que marca la regulación mínima de la batería).

La entrada de intensidad al regulador se efectúa siempre a través de un TI de relación X/5.

Para que el regulador pueda tomar la decisión de conectar o desconectar escalón debe saber cuál va a ser la intensidad reactiva que va a introducir en la instalación, y esta intensidad debe estar referida al secundario del TI ya que es el valor que el regulador "lee".

La forma de programar este valor es lo que se conoce como C/K y su fórmula es la siguiente:

$$C/K = \frac{Q_1 \sqrt{3} \times U}{R_{TI}}$$

donde:

$Q_1$  = potencia reactiva del primer escalón (VAR).

U = tensión FF.

$R_{TI}$  = relación TI (X/5).

### Ejemplo:

Batería de 70 kVAR, formada por los siguientes escalones de potencias: 10 + 20 + 40. Se conecta en una instalación donde el disyuntor general de protección es de 630 A. El TI que se deberá instalar será 700/5 y el cálculo del C/K será:

$$C/K = 10 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 400) / 700/5 = 0,10$$

### La importancia del ajuste del C/K

Para comprender la importancia del ajuste C/K hay que pensar que cada batería tiene un escalonamiento mínimo definido (determinado por la potencia del primer escalón).

Por este motivo la batería no se podrá ajustar al  $\cos \varphi$  deseado a no ser que la demanda de la instalación coincida exactamente con dicho valor o un múltiplo del mismo.

### Ejemplo:

Batería de 70 kVAR formada por los siguientes escalones: 10 + 20 + 40.

El  $\cos \varphi$  objetivo programado en el regulador es = 1.

Los datos de la instalación en un determinado momento son:

P = 154 kW

$\cos \varphi = 0,97$

con lo que la Q reactiva necesaria para alcanzar el  $\cos \varphi$  deseado sería:

$$Q = P \times (\operatorname{tg} \varphi_{\text{inicial}} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{deseado}}) = 154(0,25 - 0) = \mathbf{38,5 \text{ kVAR}}$$

Como el escalonamiento eléctrico de esta batería es de  $7 \times 10$  kVAR, la batería estaría constantemente fluctuando entre 30 y 40 kVAR.

Para evitar esta actuación inestable existe el ajuste C/K.

# El concepto de la regulación

(continuación)

Información técnica

## Interpretación del ajuste C/K

En la [fig. 26](#) está representado el significado del ajuste C/K:

- El eje X representa la intensidad activa de la instalación; el eje Y, la intensidad reactiva (inductiva en el semiplano positivo y capacitiva en el negativo).
- Se puede representar en este gráfico cualquier situación del  $\cos \varphi$  de la instalación como las coordenadas de un punto (X,Y) atendiendo a las componentes de intensidad activa y reactiva.
- Se ha representado la línea cuya pendiente es la  $\operatorname{tg} \varphi$ , siendo  $\varphi$  el ángulo para el  $\cos \varphi$  deseado.
- Como se ha visto anteriormente la batería no se puede ajustar exactamente a la demanda de reactiva que existe en cada momento en la instalación, por eso se crea una banda de funcionamiento estable del regulador en la cual a pesar de que el  $\cos \varphi$  no sea exactamente el deseado no va a conectar ni desconectar más escalones.
- Esa banda es el C/K; por encima de la banda C/K el regulador va a conectar escalones y por debajo los desconecta.

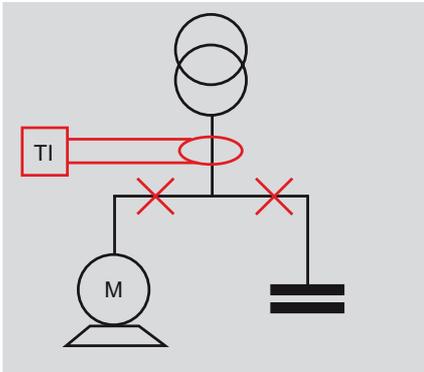
Un ajuste demasiado bajo del C/K implicaría un sobretrabajo inútil de los contactores; un C/K demasiado alto supondría una banda estable excesivamente ancha, y por lo tanto no se alcanzaría el  $\cos \varphi$  deseado.

- Los reguladores proporcionan la posibilidad de ajuste automático del C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación.

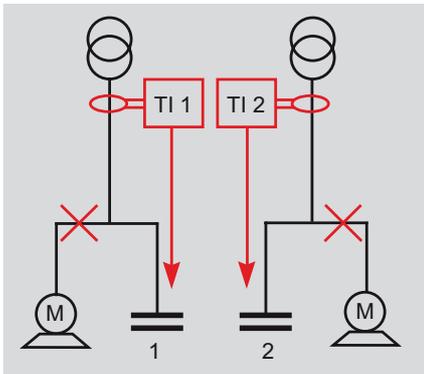
El ajuste manual permite introducir valores de C/K desde 0,01 hasta 1,99 pudiendo visualizar en pantalla el valor ajustado.

# Compensación automática: consejos de instalación

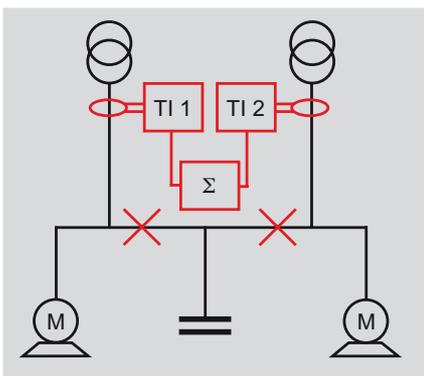
## Información técnica



**Fig. 27:** esquema de conexión a un único embarrado de BT, y ubicación del TI.



**Fig. 28:** esquema de conexión a varios embarrados de BT independientes y ubicación del TI.



**Fig. 29:** esquema de conexión en el caso de varios trafos en paralelo y ubicación del TI.

## La compensación en un solo embarrado

### Generalidades

Una instalación en la que haya un único embarrado de BT es de lo más usual. En este tipo de instalaciones la necesidad de potencia reactiva se debe evaluar con los métodos anteriormente definidos.

La compensación se realizará para la totalidad de los receptores de la instalación y el amperaje del transformador de intensidad se determinará en función del total de la intensidad que atraviesa el disyuntor general de protección.

### Precauciones en la instalación

Como se ha dicho anteriormente es necesario realizar la instalación complementaria de un transformador de intensidad que "lea" el consumo total de la instalación.

Es indispensable la correcta ubicación del TI, según la fig. 27, ya que en el caso de efectuar la instalación en los sitios indicados con una cruz el funcionamiento del equipo sería incorrecto.

## La compensación en varios embarrados

### Embarrados independientes en BT

Otra posible instalación es la que dispone de varios embarrados independientes que no tienen por qué estar conectados a dos transformadores idénticos. Por este motivo la necesidad de potencia reactiva será distinta para cada embarrado y se deberá evaluar separadamente con los métodos anteriormente definidos.

La compensación se realizará para la totalidad de los receptores de la instalación, y el amperaje de los transformadores de intensidad para cada embarrado se determinará independientemente en función del total de la intensidad que atraviesa cada disyuntor general de protección.

### Precauciones de instalación

Análogamente al caso anterior, la ubicación de cada TI se deberá realizar de la misma forma, para que lean ambos transformadores el consumo de cada parte de la instalación separadamente.

## La compensación en un embarrado alimentado por varios trafos

Una instalación diferente a las anteriores es la que dispone de varios trafos conectados en paralelo en el lado de BT.

### Transformadores de distribución distintos

La compensación de esta instalación se puede realizar con la colocación de dos baterías automáticas y sus respectivos TI.

### Transformadores de distribución iguales

En este caso se puede compensar con una única batería cuyo regulador está alimentado por un transformador sumador, el cual está alimentado a su vez por los TI de cada trafa.

El número máximo de entradas de los sumadores es de 5 (fig. 29).

### Precauciones de instalación

#### • Transformadores de distribución distintos:

Cada batería es alimentada por un TI distinto conectado a la salida de cada trafa. Tanto los ajustes como la instalación se deben considerar como si fueran dos embarrados independientes.

#### • Transformadores de distribución iguales:

Si se realiza la compensación con una única batería, la única precaución es en el momento de realizar la puesta en marcha: la relación C/K que se debe programar en el regulador debe considerar la suma de todos los TI que alimentan al sumador.

# Aparata de protección y maniobra BT

## Información técnica



INV400



INS1000



NSX 250



NS1250

230 V	400 V	Clase H	Clase SAH	Disyuntor	Seccionador
			25	NS100	INS125
		30		NS100	INS125
			37,5	NS100	INS125
		45		NS100	INS125
		50	50	NS100	INS125
45	60			NS160	INS160
			62,5	NS160	INS160
			75	NS160	INS160
		80		NSX250	INS250
60	90			NSX250	INS250
		100	100	NSX250	INS250
				NSX250	INS250
		105		NSX250	INS250
		120		NSX250	INS250
			125	NS400	INS400
				NSX250	INS250
		135		NS400	INS400
75	150		150	NS400	INS400
90			160	NS400	INS400
105			175	NS400	INS400
	180	180		NS400	INS400
			200	NS400	INS400
	210	210		NS630	INS630
	225			NS630	INS630
120	240			NS630	INS630
135		245		NS630	INS630
150			250	NS630	INS630
165	270			NS630	INS630
180		280		NS630	INS630
	300		300	NS630	INS630
	315			NS630	INS630
		315		NS800	INS800
	330			NS800	INS800
195		350	350	NS800	INS800
210	360			NS800	INS800
225			400	NS800	INS800
	405			NS1000	INS1000
245		420		NS1000	INS1000
255	450		450	NS1000	INS1000
270		455		NS1000	INS1000
285	495			NS1000	INS1000
			500	NS1000	INS1000
	510			NS1250	INS1250
300		525		NS1250	INS1250
	540			NS1250	INS1250
			550	NS1250	INS1250
		560		NS1250	INS1250
	585			NS1250	INS1250
			600	NS1250	INS1250
	630	630		NS1600	INS1600
	675			NS1600	INS1600
		700		NS1600	INS1600
				NS1600	INS1600
	720			NS1600	INS1600
	765			NS1600	INS1600
	810			NS2000	INS2500
	855			NS2000	INS2500
	900			NS2000	INS2500
	630	630		NS1600	INS1600
	675			NS1600	INS1600
350		700	700	NS1600	INS1600
	720			NS1600	INS1600
400	765			NS1600	INS1600
	810	810		NS2000	INS2500
450	855			NS2000	INS2500
	900	900	900	NS2000	INS2500
550	1.020			NS2500	INS2500
	1.080			NS2500	INS2500
	1.140			NS2500	INS2500
	1.200		1.200	NS2500	INS2500

Los elementos que se encuentran aguas arriba de los equipos de compensación están dimensionados según las normas de instalación y por las corrientes absorbidas por el aparellaje.

Cuando los condensadores están funcionando, la corriente que está circulando por ellos depende de la tensión aplicada, de la capacidad y de las componentes armónicas de la tensión.

Las variaciones armónicas pueden llevar a una ampliación de corriente. La norma admite un 30 % como valor y hay que añadir las posibles variaciones debidas a la tolerancia de los condensadores.

### Disyuntores

Su calibre debe ser elegido en función que permita un reglaje de la protección térmica a:

- $1,36 \times I_n^{(1)}$  para los equipos estándar.
- $1,36 \times I_n$  para los equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz).

El reglaje de las protecciones de cortocircuito (magnéticas) deberá permitir el paso de los transitorios de conexión:  $19 \times I_n$ .

$$(1) I_n = \frac{Q_c}{U_n \sqrt{3}} = \text{corriente nominal sobre } U_n.$$

### Los fusibles

Hay que utilizar fusibles de tipo Gg y la elección de calibres en función de:

- $1,6 \times I_n$  para los equipos estándar.
- $1,5 \times I_n$  para los equipos clase SAH (sintonizados).

### Los cables de potencia

Se deberán sobredimensionar para una corriente de  $1,5 I_n$  mínimo.

### Sección:

De cualquier forma la sección de los cables de potencia debe ser compatible con:

La temperatura ambiente, alrededor de los conductores. Su situación (en bandeja, subterráneo, trenzados...).

### ¿Qué dice el Reglamento BT?

ITC-BT 48

Los aparatos de corte y protección de los condensadores deberán soportar en régimen permanente de 1,5 a 1,8 veces la  $I_n$  asignada a cada condensador.

# → Armónicos

Información técnica



Nuestra gama  
de compensación

Las necesidades  
de su instalación

	Introducción	
	Generalidades	1/1
2	Generalidades sobre los armónicos	2/2
	Causas y efectos de los armónicos	2/4
	Efectos de los armónicos sobre las cargas	2/5
	Análisis armónico de una instalación	5/6
	Instalación de condensadores en una red con armónicos	2/8
	Soluciones a la compensación en presencia de armónicos	2/9
	Ejemplo: compensación de energía reactiva en presencia de armónicos	2/11
	Las peculiaridades del 3. <sup>er</sup> armónico	2/12
	Normativa referente a armónicos	2/14
	Calidad de la energía	3/1
	Catálogo	4/1
	Media Tensión	5/1
	Catálogo Media Tensión	6/1
	Tarifa	7/1
	Dimensiones	8/1
	Índice de referencias y precios	9/1

# Generalidades sobre los armónicos

## Información técnica

2

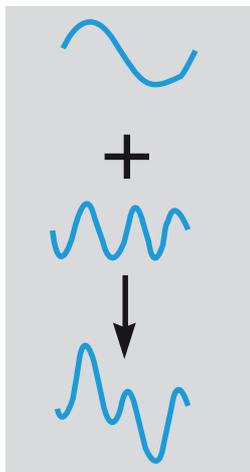
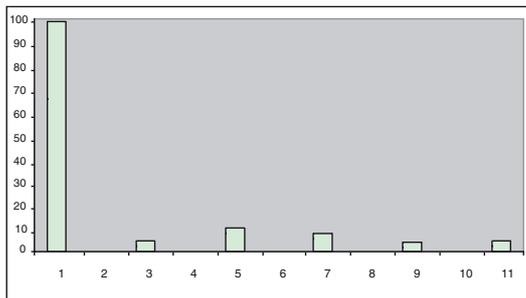


Fig. 30: descomposición de una onda distorsionada.

### Gráfico tipo del espectro de frecuencia



Con el espectro de frecuencias, también llamado análisis espectral, se puede llegar a saber qué tipo de generadores de armónicos hay en la red.

## Introducción

En sistemas eléctricos se denominan armónicos a las ondas de tensión o intensidad cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la red (50 Hz).

Generalmente se presentan varias ondas de diferentes órdenes a la vez constituyendo un espectro armónico y dando como resultado una onda distorsionada.

En la fig. 30 se observa la descomposición de una onda distorsionada en una onda senoidal a la frecuencia fundamental (50 Hz) más una onda a una frecuencia distinta.

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- Su amplitud:  
Hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.
- Su orden:  
Hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (50 Hz).

Así, un armónico de orden 5 tiene una frecuencia 5 veces superior a la fundamental, es decir  $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$ .

## El valor eficaz

El valor eficaz de una onda distorsionada se obtiene calculando la suma cuadrática de los diferentes valores de la onda para todos los órdenes armónicos existentes para dicha onda:

Valor eficaz de I:

$$I(A) = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

De este cálculo se deduce que el valor eficaz de todas las componentes armónicas es el siguiente:

$$I_n(A) = \sqrt{I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Este cálculo permite intuir uno de los principales efectos de los armónicos que es el aumento de la intensidad eficaz que atraviesa una instalación debido a las componentes armónicas que lleva asociada una onda distorsionada.

Habitualmente, la definición de la aparatada y de los cables o canalizaciones de la instalación se realiza a partir de la intensidad nominal a la frecuencia fundamental, por lo que todos estos componentes de la instalación no están diseñados para soportar todo el exceso de intensidad armónica.

## Detección del problema en la instalación

Para detectar los posibles problemas de armónicos que puedan existir en las instalaciones es necesario utilizar equipos de medida de verdadero valor eficaz (TRMS), ya que los equipos de valor promedio (AVG) sólo proporcionan medidas correctas en el caso de que las ondas sean perfectamente senoidales.

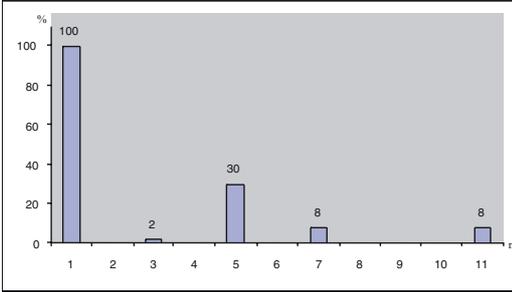
En el caso en que la onda sea distorsionada, las medidas pueden estar hasta un 40% por debajo del verdadero valor eficaz.

# Generalidades sobre los armónicos

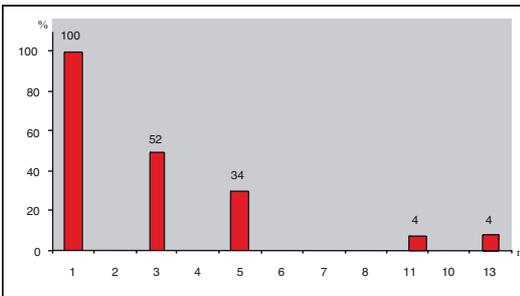
(continuación)

## Información técnica

### Ejemplo:



Ejemplo: Espectro armónico correspondiente a equipos industriales: hornos de arco y de inducción, máquinas de soldar, rectificadores...



Ejemplo: Espectro armónico correspondiente a variadores de velocidad para los motores asíncronos o los motores de corriente continua.

## Medida de los armónicos: distorsión

La mayor o menor presencia de armónicos en una red se denomina distorsión y su magnitud se cuantifica por las tasas de distorsión armónica:

- **Th:** tasa de distorsión individual:

Representa en % la importancia de cada armónico respecto al valor de la fundamental:

$$Th (\%) = A_h / A_1$$

donde:

$A_h$  = valor de tensión o intensidad del armónico de orden h.

$A_1$  = valor de tensión o intensidad a la frecuencia fundamental (50 Hz).

- **THD:** Tasa de distorsión global:

Representa en % la importancia del total de la distorsión respecto al valor de la fundamental o respecto al valor total de la onda.

Existen dos formas de identificar dicho valor según la CIGREE y según la IEC 555:

$$THD_{CIGREE} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} A_h^2}}{A_1} \quad THD_{IEC 555} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} A_h^2}}{\sum_{h=1}^{\infty} A_h^2}$$

Para conocer la situación real de las instalaciones sobre el grado de contaminación armónica, los valores de trabajo son:

- **La tasa de distorsión armónica global en tensión [THD(U)]** determina la deformación de la onda de tensión, e indica la relación existente entre la suma de las tensiones de los armónicos y la tensión de la fundamental, expresándose en %.

- **La tasa de distorsión armónica global en corriente [THD(I)]** determina la deformación de la onda de corriente, e indica la relación existente entre la suma de las corrientes de los armónicos y la corriente de la fundamental, expresándose en %.

- **El espectro de frecuencias (TFT)** es un diagrama de barras que proporciona la magnitud de cada armónico en función de su rango. Su estudio permite determinar cuáles son los armónicos presentes y su importancia respectiva.

### Los interarmónicos

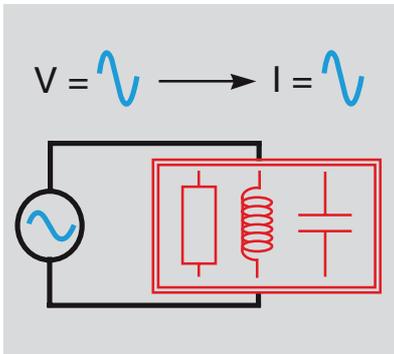
Los interarmónicos son componentes sinusoidales que no tienen frecuencias múltiplo entero de la frecuencia fundamental (por tanto, situados entre los armónicos). Éstos son debidos a las variaciones periódicas o aleatorias de la potencia absorbida por diferentes receptores como hornos de arco, máquinas de soldar y convertidores de frecuencia (variadores de velocidad, cicloconvertidores).

# Causas y efectos de los armónicos

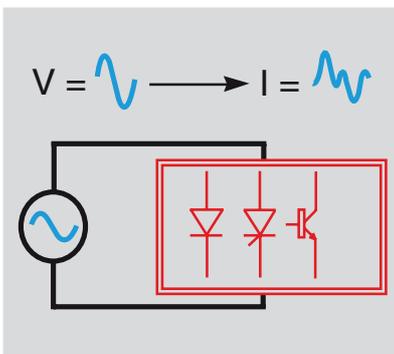
(continuación)

## Información técnica

2



**Fig. 31:** las cargas lineales tales como inductancias, condensadores y resistencias no generan armónicos.



**Fig. 32:** las cargas no lineales son las que generan armónicos.



## Los generadores de armónicos

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales que, a pesar de ser alimentadas con una tensión senoidal, absorben una intensidad no senoidal.

Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc.

Otro tipo de cargas tales como reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos.

El resto de cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos: inductancias, resistencias y condensadores.

## Principales fuentes de armónicos

Son cargas que es posible distinguir según sus dominios, industriales o domésticos:

- Cargas industriales:
- Equipamientos de electrónica de potencia: variadores de velocidad, rectificadores, onduladores...
- Cargas que utilizan arco eléctrico: hornos de arco, máquinas de soldar, iluminación (lámparas fluorescentes...). Los arranques de motores con arrancadores electrónicos y los enganches de transformadores de potencia son también generadores de armónicos (temporales).
- Cargas domésticas: televisores, hornos microondas, placas de inducción, ordenadores, impresoras, lámparas fluorescentes...

En la tabla se citan, a título orientativo, distintos receptores con unas indicaciones sobre el espectro armónico en intensidad inyectado.

Tipo de carga	Armónicos generados	Comentarios
Transformador	Orden par e impar	Componente en CC
Motor asíncrono	Orden impar	Inter y subarmónicos
Lámpara descarga	3.º+ impares	Puede llegar al 30% de I1
Soldadura arco	3.º	
Hornos arco CA	Espectro variable inestable	No lineal-asimétrico
Rectificadores con filtro inductivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I_1/h$	SAI-variadores V
Rectificadores con filtro capacitivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I_1/h$	Alimentación equipos electrónicos
Cicloconvertidores	Variables	Variadores V
Reguladores PWM	Variables	SAI-convertidor CC-CA

**Fig. 33:** indicaciones sobre el espectro armónico inyectado por diferentes cargas.

# Efectos de los armónicos sobre las cargas

## Información técnica



Cables.



Hornos de inducción.

En los equipos principales aparecen 2 tipos de efectos: los efectos inmediatos o a corto plazo y los efectos a largo plazo.

Los **efectos inmediatos** o a corto plazo:

- Disparo intempestivo de las protecciones.
- Perturbaciones inducidas de los sistemas de corriente baja (telemando, telecomunicaciones).
- Vibraciones y ruidos anormales.
- Deterioro por sobrecarga térmica de condensadores.
- Funcionamiento defectuoso de las cargas no lineales.

Por otro lado, los **efectos a largo plazo** causados por una sobrecarga de corriente que provoca calentamientos y, por tanto, un desgaste prematuro de los equipos.

Los equipos afectados y sus efectos son:

- Condensadores de potencia:
  - Pérdidas y calentamientos adicionales.
  - Reducción de las posibilidades de utilización a plena carga.
  - Vibraciones, desgaste mecánico.
  - Molestias acústicas.

- Motores:
  - Pérdidas y calentamientos adicionales.
  - Reducción de las posibilidades de utilización a plena carga.
  - Vibraciones, desgaste mecánico.
  - Molestias acústicas.

- Transformadores:
  - Pérdidas y calentamientos adicionales.
  - Vibraciones mecánicas.
  - Molestias acústicas.

- Interruptor automático:
  - Los efectos son disparos intempestivos debidos a la superación de los valores de cresta de la corriente.

- Cables:
  - Pérdidas dieléctricas y químicas adicionales, especialmente en el neutro en caso de presencia de armónicos de orden 3.
  - Calentamientos.

- Ordenadores:
  - Los efectos que provocan son perturbaciones funcionales que generan pérdidas de datos o funcionamiento defectuoso de los equipos de control.

- Electrónica de potencia:
  - Los efectos que provocan son perturbaciones relacionadas con la forma de onda: conmutación, sincronización...



Condensador Propivar.



Condensador Varplus<sup>2</sup>.

Efectos de los armónicos	Causa	Consecuencia
Sobre los conductores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las intensidades armónicas provocan el aumento de la IRMS</li> <li>• El efecto pelicular (efecto "skin") reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disparos intempestivos de las protecciones</li> <li>• Sobrecalentamiento de los conductores</li> </ul>
Sobre el conductor de neutro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando existe una carga trifásica + neutro equilibrada que genera armónicos impares múltiplos de 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre de los armónicos homopolares sobre el neutro que provoca calentamientos y sobreintensidades</li> </ul>
Sobre los transformadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la IRMS</li> <li>• Las pérdidas por Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de los calentamientos por efecto Joule en los devanados</li> <li>• Aumento de las pérdidas en el hierro</li> </ul>
Sobre los motores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análogas a las de los transformadores y generación de un campo adicional al principal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análogas a las de los transformadores más pérdidas de rendimiento</li> </ul>
Sobre los condensadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la impedancia del condensador con el aumento de la frecuencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envejecimiento prematuro, amplificación de los armónicos existentes</li> </ul>

Fig. 34: tabla resumen de los efectos causados por los armónicos, sus causas y consecuencias.

# Análisis armónico de una instalación

## Información técnica

2

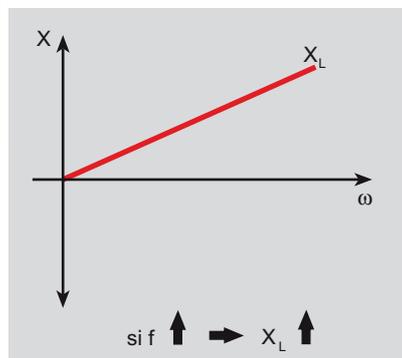


Fig. 35: variación de la impedancia inductiva en función de la frecuencia.

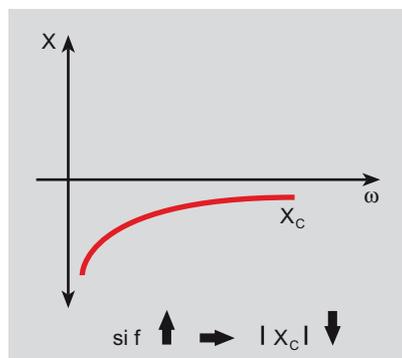


Fig. 36: variación de la impedancia capacitiva en función de la frecuencia.

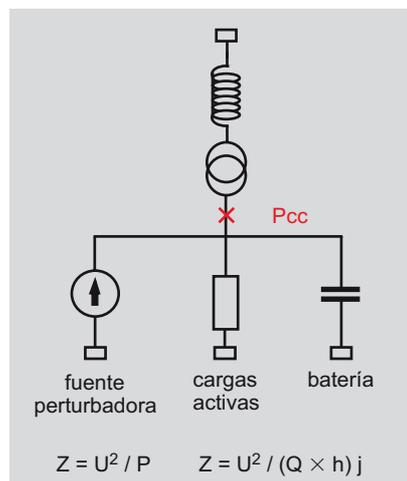


Fig. 37: modelización de una instalación tipo.

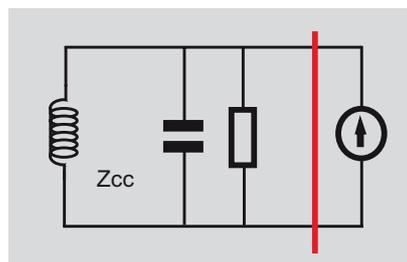


Fig. 38: esquema equivalente de la instalación.

## Conceptos previos

### Impedancias características

En la fig. 35 se ha representado la variación de la impedancia de una inductancia respecto a la frecuencia.

La fórmula que determina dicha función es la siguiente:

$$X_L = L \times \omega = L \times 2 \times \pi \times f$$

Análogamente, en la fig. 36 se ha representado la misma curva para una impedancia capacitiva.

La fórmula equivalente para este caso es:

$$X_C = \frac{-1}{\pi \times C} = \frac{-1}{(2 \times \pi \times f) \times C}$$

## Esquema equivalente de una instalación tipo

Para proceder al análisis armónico de una instalación se realiza una modelización de la red considerando las cargas no lineales como fuentes de intensidad armónicas.

En la fig. 37 se ha representado una instalación tipo en la que se han agrupado todas las cargas de la instalación en tres tipos:

- Cargas generadoras de armónicos.
- Cargas no generadoras (lineales).
- Condensadores para compensación de la energía reactiva.

La fig. 38 muestra el esquema equivalente de la instalación modelizada anteriormente visto desde el embarrado general de BT.

Hay que destacar que todo lo situado aguas arriba del embarrado de BT (el transformador y la impedancia de red) son vistos como una impedancia inductiva.

## La resonancia paralelo

Como se ha citado en el apartado anterior, toda la instalación situada aguas arriba del embarrado (cables, transformador, PCC de red...) queda simplificada como una impedancia inductiva por lo que tal y como se ve en la fig. 38, aparece una impedancia inductiva en paralelo con la batería de condensadores.

Esta asociación (inductancia y condensador en paralelo) provoca el fenómeno de la resonancia paralelo del sistema, por la cual, a una frecuencia determinada, el valor de la impedancia inductiva del sistema se hace muy elevado.

La representación de la impedancia en función de la frecuencia, para un sistema que presenta resonancia paralelo, se ha realizado en la fig. 39 de la página siguiente, donde también se representa la impedancia del sistema sin batería de condensadores.

# Análisis armónico de una instalación

(continuación)

## Información técnica

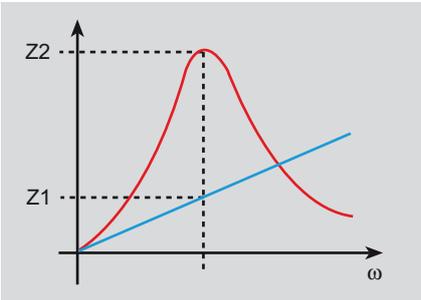


Fig. 39: resonancia paralelo y factor de amplificación.

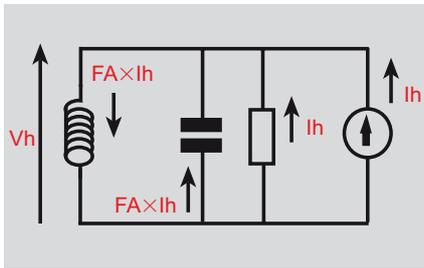


Fig. 40: amplificación de intensidades armónicas en una instalación modelizada.

## El factor de amplificación

En la fig. 39 se observa la diferencia de impedancias:

- Z1: impedancia de la instalación sin batería de condensadores (azul).
- Z2: impedancia de la instalación con batería de condensadores (rojo).

La diferencia entre estos dos valores de impedancia es el factor de amplificación.

La presencia de una batería de condensadores en una instalación no genera armónicos, sin embargo puede amplificar los armónicos existentes agravando el problema.

## La amplificación

### Determinación del riesgo de amplificación de corrientes armónicas

Para comprobar de una forma rápida si en una red puede existir un riesgo importante de que se presente el fenómeno de la amplificación, se debe analizar lo siguiente:

- Que haya armónicos que puedan ser amplificados; es decir, que la frecuencia de resonancia paralelo del sistema coincida con un rango próximo al de los armónicos presentes en la instalación.

La frecuencia de resonancia se puede calcular estimativamente con la siguiente fórmula:

$$h_{rp} = \frac{\sqrt{P_{cc}}}{Q}$$

donde:

$h_{rp}$  = rango de la frecuencia de resonancia paralelo.

$P_{cc}$  = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de la batería.

$Q$  = potencia de la batería de condensadores.

- Que el factor de amplificación tenga un valor importante:

$$FA = \frac{\sqrt{Q \times P_{cc}}}{P}$$

donde:

$FA$  = factor de amplificación.

$P_{cc}$  = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de la batería.

$Q$  = potencia de la batería de condensadores (kVAr).

$P$  = potencia activa de la instalación (kW).

# Instalación de condensadores en una red con armónicos

## Información técnica

2

### Primeras precauciones: etapa de proyecto

Ya en la etapa de proyecto de una instalación se puede evaluar la posible problemática y anticiparnos a la misma:

- Disminución de la amplitud de los armónicos: incorporando convertidores con elevados índices de pulsación ( $K = 12$ ) la amplitud de los armónicos generados se disminuye.
- La separación de cargas generadoras y no generadoras permite atacar el problema de una forma más sencilla al realizar una concentración de las cargas no lineales.
- Reducción del factor de amplificación: distribuyendo en embarrados independientes, es decir, evitando la conexión en paralelo de distintos transformadores de potencia se reduce la Pcc en el punto de conexión de la batería, con lo que baja el FA.
- En general, para determinar el equipo concreto que se debe utilizar se aconseja la medición de armónicos y la realización de un posterior estudio.

### Proceso de definición de los equipos: medición

Tanto en instalaciones nuevas como en instalaciones en las que ya se haya detectado un nivel alarmante de armónicos, se deben efectuar las mediciones oportunas del espectro armónico tanto en el embarrado de baja tensión como en las cargas generadoras de armónicos.

Además, será necesario analizar el problema concreto de cada instalación: la sensibilidad de los distintos receptores, las necesidades de compensación de reactiva, exportación o importación de armónicos...

En la [página 3/11](#) se ha incluido una ficha con los datos solicitados en una instalación para realizar un estudio sobre la incidencia de la instalación de una batería de condensadores, cuando exista una presencia de armónicos en la instalación y las posibilidades de filtrado que puedan existir.

# Soluciones a la compensación en presencia de armónicos

## Información técnica



Hoy, y cada día más, nos encontramos que a la hora de compensar la energía reactiva en una instalación no sólo debemos tener presente los datos "clásicos", es decir potencia activa, coseno  $\phi$  inicial, coseno  $\phi$  final, índice de carga, etc., sino que también hay que tener en cuenta la presencia de posibles receptores que pueden contaminar la instalación con armónicos: variadores, rectificadores, hornos de soldadura, fluorescentes, etc.

En una instalación nos podemos encontrar con cargas lineales y cargas no lineales. Las cargas lineales son aquellas en las que obtenemos como respuesta a una señal de tensión senoidal una corriente también senoidal, por ejemplo: resistencias, motores, transformadores, etc.

Las cargas no lineales son aquellas en las que la corriente que absorbe no tiene la misma forma que la tensión que la alimenta. Por ejemplo: alimentaciones conmutadas, motores en el momento del arranque, variadores, etc.

Son estas últimas cargas "las cargas no lineales" las que pueden contaminar la instalación con la generación de armónicos.

Cuando la presencia de armónicos es importante puede provocar alteraciones en la instalación eléctrica, tal como se ha visto en apartados anteriores. Estas perturbaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Consecuencias a corto plazo (aumento de la corriente eficaz, disparos intempestivos de las protecciones, vibraciones y ruidos anormales en los cuadros de Baja Tensión, etc.).
- Consecuencias a largo plazo (calentamiento progresivo de conductores, transformadores, alternadores, etc.).

Especial atención merece la compensación de energía reactiva en instalaciones con presencia de armónicos. Los condensadores son receptores que por sus características intrínsecas influyen en la distorsión armónica de la instalación y, al mismo tiempo, son parte afectada por las consecuencias de las perturbaciones armónicas presentes en la instalación.



### Recordar que:

**La presencia de una batería de condensadores en una instalación no genera armónicos, sin embargo puede amplificar los armónicos existentes agravando el problema.**

Por otro lado, el condensador es uno de los elementos más sensibles a los armónicos ya que presenta una baja impedancia a frecuencias elevadas y absorbe las intensidades armónicas más fácilmente que otras cargas reduciendo considerablemente la vida de los condensadores.

# Soluciones a la compensación en presencia de armónicos

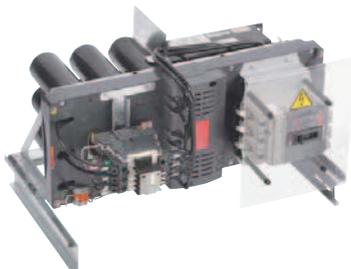
(continuación)

## Información técnica

2 La única manera de conocer si nuestra instalación va a necesitar una batería de condensadores estándar, o una batería de condensadores clase SAH, es realizar mediciones a la salida del interruptor automático de protección de la instalación; si no es posible realizar la medición, se pueden utilizar las tablas de elección.



Condensador Varplus<sup>2</sup>.



Módulo Varpact SAH.



Batería Varset SAH.

## Nuestras soluciones: compensación de la energía reactiva

La oferta Schneider Electric para equipos de compensación en BT está pensada para ofrecer la solución más idónea para cada tipo de instalación.

Soluciones recomendadas en función de la THDU presente en la instalación, medida en cabecera de la misma (si en la instalación ya hubiese baterías de condensadores, éstas se deberían desconectar para obtener los valores reales sin la posible amplificación producida por los condensadores).

### • Redes no contaminadas con armónicos, THDU < 1,5 %.

Para este tipo de redes, la solución que propone Schneider Electric son los **equipos estándar**: equipos con tensión nominal de los condensadores igual a la tensión de red.

#### Ejemplo:

Red de 400 V.

Condensadores con tensión asignada de 400 V.

### • Redes contaminadas, THDU > 1,5 % < 6 %.

Cuando la compensación de la energía reactiva implica una posible amplificación de los armónicos presentes en la instalación.

Para este tipo de redes, la solución ofrecida por Schneider Electric son los **equipos SAH (baterías con filtros de rechazo, sintonizados a 215 Hz)**.

Los equipos SAH son conjuntos L-C sintonizados a una frecuencia de resonancia serie de 215 Hz, y provocan el desplazamiento de la frecuencia de resonancia paralelo fuera del espectro armónico evitando de esta manera la amplificación.

Si el THDU es superior al 5% e inferior al 6% es necesaria la utilización de **equipos SAH reforzados** (incremento de corriente  $I_{m\acute{a}x}$  que puede circular por la inductancia).

### • Redes contaminadas, THDU > 6 %.

Para las redes con THDU superior al 6 % se hace necesaria la utilización de filtros pasivos de rechazo (filtros sintonizados) que pueden ir acompañados de filtros activos (AccuSine), para reducir el THDU a valores inferiores a un 3-2 %.

A lo mencionado anteriormente, hay que tener en cuenta lo que dice la Norma UNE EN 61642 en su apartado 3 subapartado 3.3 lo siguiente:

"... no se pueden añadir reactancias en serie con los condensadores existentes para hacer un filtro desintonizado..."

"... no se deberá asociar a un equipo de compensación del factor de potencia que tenga una reactancia serie, con un equipo que no la lleve..."

Se puede decir que los condensadores ya instalados en una instalación que no estén debidamente dimensionados en tensión, como mínimo en un 10% sobre la tensión de red, no pueden ser utilizados para añadirles inductancias antiarmónicas (convertirlos en filtros); y que en aquellas instalaciones donde haya presencia armónica y se desee compensar la energía reactiva no deberán instalarse baterías de condensadores con inductancias antiarmónicas conjuntamente con baterías sin inductancias antiarmónicas.

# Ejemplo: compensación de energía reactiva en presencia de armónicos

## Información técnica



### ¿Problemas con la batería de condensadores?

Una imprenta ha ampliado su negocio y para ello ha necesitado, entre otros elementos, una pequeña rotativa. Se ha modificado un poco la parte eléctrica de la instalación, aprovechando gran parte de lo que había, incluyendo una batería de 300 kVAr/ 400 V que tenía con anterioridad y que estaba sobredimensionada.

En el funcionamiento normal de la instalación no tiene ningún problema, excepto cuando trabaja la rotativa. Es cuando con frecuencia se empieza a notar que en la línea donde está la rotativa los cables están muy calientes y se le dispara el disyuntor de cabecera de la instalación. ¿Por qué?

Los datos de la instalación son:

- Potencia del transformador: 500 kVA.
- Potencia activa consumida: 375 kW.
- Cos  $\varphi$  de la instalación, sin batería: 0,78.
- Cos  $\varphi$  de la instalación, con batería: 1.
- Potencia de la rotativa: 125 kVA.

Lo primero que hay que saber es que una rotativa es una fuente de contaminación armónica, para situarnos donde estamos, es decir, si la instalación donde nos encontramos está o no contaminada. Para ello habrá que aplicar la siguiente relación:

$$\% = \frac{GH}{SN} \times 100$$

con esta relación sabremos si hay o no contaminación armónica

Relación Gh/Sn	0 a 15 %	15 a 60 %
Red	Estándar	Contaminada
Tipo equipo	Estándar	Clase SAH

Obteniendo como resultado un 25 %.

Por lo tanto, teóricamente, estamos en una red contaminada.

Sin embargo el único modo de saber si estamos en una red contaminada o no es haciendo mediciones en la instalación y observando la THDU (tasa de distorsión global en tensión).

THDU	< 1,5 %	1,5 al 5,5 %	5,5 al 6,5 %
Red	Estándar	Contaminada	Contaminada
Tipo equipo	Estándar	Clase SAH	Clase SAH reforzada

Como en este caso, si hay la posibilidad de hacer mediciones, se observaron tasas de THD U del orden del 4-4,3 %; lo que confirmaba el cálculo teórico.

Además, en este caso, al haber una batería de condensadores instalada podemos saber a qué frecuencia puede entrar en resonancia, el rango resultante en nuestro caso es 6,45, un valor muy próximo a 7 (350 Hz), uno de los armónicos más usuales.

### ¿Qué debemos hacer?

Como debemos compensar la instalación para optimizarla al máximo tanto técnica como económicamente, hay que buscar la solución más apropiada.

La solución pasa, aunque resulte inicialmente gravoso económicamente, por la sustitución de la batería existente por otra con inductancias antiarmónicos.

El no aprovechamiento de la batería existente es debido a:

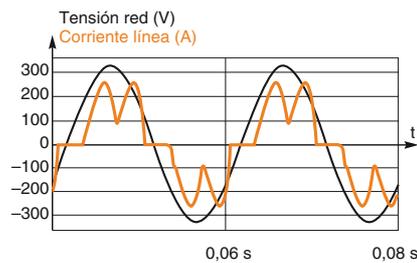
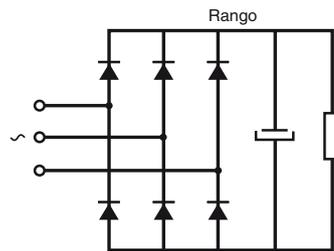
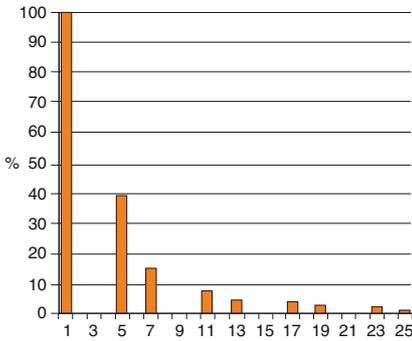
- La batería de condensadores no está técnicamente preparada para soportar las tasas de distorsión que se producen en la instalación.
- Cuando se coloca una inductancia en serie con un condensador, en el punto de unión condensador-inductancia se produce una pequeña sobretensión debida a la frecuencia de sintonización del conjunto.
- El normal funcionamiento de la instalación así lo aconseja.

El equipo recomendado es una batería clase SAH (con inductancias antiarmónicos) sintonizada a 215 Hz, modelo Varsset con una potencia de 300 kVAr/400 V y una regulación 50 + 50 + 2  $\times$  100.

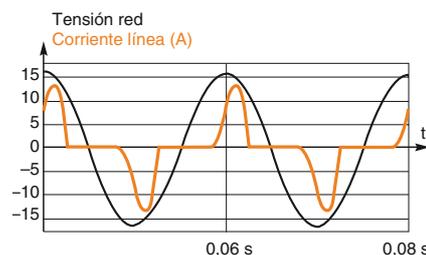
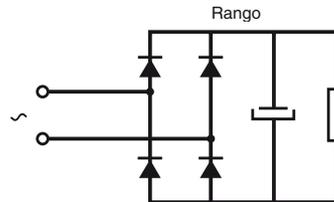
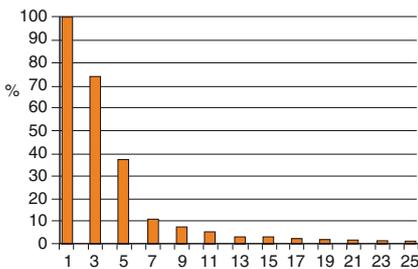
# Las peculiaridades del 3.º armónico

## Información técnica

2



Puente rectificador trifásico con filtro capacitivo con la gráfica de corriente absorbida y el espectro armónico.



Puente rectificador monofásico con filtro capacitivo con la gráfica de corriente absorbida y el espectro armónico.

## Origen de los armónicos

En las instalaciones eléctricas con el neutro distribuido, las cargas no lineales pueden provocar en este conductor sobrecargas importantes debidas a la presencia del armónico de 3.º orden.

Las cargas no lineales producen corrientes armónicas, es decir, absorben una corriente que no tiene la misma forma que la tensión que las alimenta. Las cargas que más frecuentemente producen este fenómeno son los circuitos rectificadores.

Una carga no lineal absorberá una corriente que contiene todos los armónicos, pares e impares.

La mayor parte de las cargas conectadas a la red son, sin embargo, simétricas, es decir, que las dos semiondas de corriente son iguales y opuestas. En este caso, **los armónicos de orden par son nulos**.

Si en una instalación nos encontramos con cargas trifásicas, no lineales, equilibradas, simétricas y sin conexión de neutro; y estas cargas no lineales absorben componente armónica de 3.º orden, las corrientes armónicas del 3.º armónico serán iguales; pero como no hay conexión a neutro la suma de las corrientes del 3.º armónico será 0.

Por tanto, **si no están conectadas a un cable de neutro, las cargas trifásicas equilibradas simétricas no producen armónico de 3.º orden**.

Este planteamiento se puede aplicar a todos los armónicos múltiplos de 3.

El armónico de 3.º orden generalmente predomina en las cargas monofásicas.

En las cargas con rectificador monofásico a diodos con filtro capacitivo, el armónico de 3.º orden puede alcanzar el 80% de la fundamental.

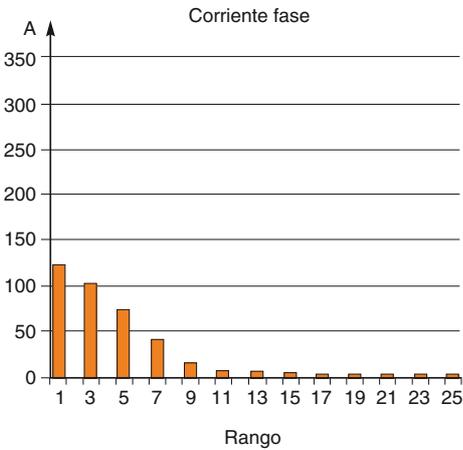
Este tipo de cargas monofásicas están presentes en los diferentes ámbitos de nuestras actividades:

Actividad	Aparatos
doméstica	TV, hi-fi, vídeo, horno, microondas...
terciaria	microordenadores, impresoras, fotocopiadoras, fax...
industrial	alimentación conmutada, variadores de velocidad...

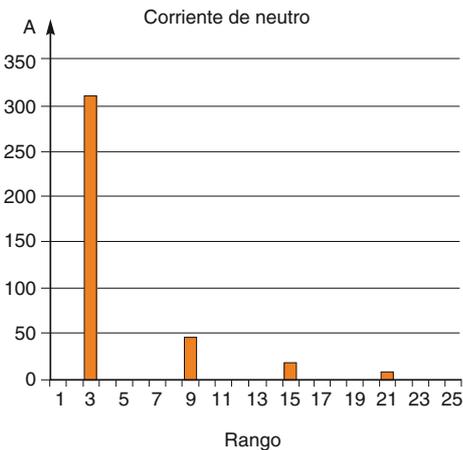
# Las peculiaridades del 3.<sup>er</sup> armónico

(continuación)

## Información técnica



Espectro de la corriente de fase que alimenta una carga monofásica no lineal.



Espectro de la corriente de neutro absorbida por cargas monofásicas no lineales.

## Sobrecarga del conductor neutro

Imaginemos una instalación en la que tengamos una fuente trifásica equilibrada y tres cargas monofásicas iguales, conectadas entre fase y neutro.

**Si las cargas son lineales**, las corrientes forman un sistema trifásico equilibrado. Por tanto, la suma de las corrientes de fase es nula y también la corriente de neutro:  
 $i_n = i_1 + i_2 + i_3 = 0$

**Si las cargas no son lineales**, las corrientes de las fases no serán senoidales y por tanto contienen armónicos, destacando el rango de los múltiplos de 3. Como las corrientes de las 3 fases son iguales, las **corrientes armónicas de 3.<sup>er</sup> orden de las 3 fases son idénticas**.

Si la corriente en el neutro es igual a la suma de las corrientes de las fases, la componente del 3.<sup>er</sup> armónico de la corriente de neutro es igual a la suma de las corrientes del 3.<sup>er</sup> armónico:  $i_{n3} = 3i_{r3}$ .

Si lo generalizamos, con cargas equilibradas, las corrientes armónicas de rango múltiplo de 3 están en fase y se suman aritméticamente en el conductor neutro, puesto que se anulan las componentes fundamentales y las armónicas de rango no múltiplo de 3.

**Las corrientes armónicas de 3.<sup>er</sup> orden son por tanto corrientes homopolares, puesto que circulan en fase por las tres fases.**

Hay que remarcar que la corriente de neutro sólo tiene las componentes impares múltiplos de 3 (3, 9, 15...), y por tanto su amplitud es 3 veces respecto a la de las fases.

Para determinar el valor de la corriente del neutro se tiene que realizar el supuesto de que las corrientes de las tres fases se superpongan o no.

Cuando las corrientes no se superponen, el valor eficaz de la corriente de neutro puede calcularse para un intervalo igual a  $T/3$ .

En este intervalo la corriente de neutro está también constituida por una onda positiva y una onda negativa, idénticas a las de la corriente de fase. Por tanto, la corriente en el conductor neutro tiene en este caso un valor eficaz 3 veces superior a la corriente en una fase.

Y si la corriente de las 3 fases se superponen, el valor eficaz de la corriente en el neutro es menor de 3 veces el valor eficaz de la corriente en una fase.

En aquellas instalaciones en las que existe un gran número de cargas no lineales, como las alimentaciones conmutadas de los equipos informáticos, la corriente en el neutro puede llegar a rebasar la corriente en cada fase. Esta situación, aunque poco frecuente, necesita un conductor de neutro sobredimensionado.

La solución que normalmente se utiliza es instalar un conductor de neutro de sección doble de la del conductor de fase. Los aparatos de protección y mando (interruptor automático, interruptores, contactores...) deben estar dimensionados en función de la corriente en el neutro.

### ¿Qué soluciones hay?

En el sector terciario frecuentemente nos encontraremos instalaciones donde habrán alimentaciones conmutadas, alumbrado fluorescente con balastro electrónico.

El alto porcentaje del 3.<sup>er</sup> armónico en este tipo de cargas puede tener una importancia significativa en el dimensionamiento del conductor neutro.

Las diferentes soluciones a adoptar son:

- Utilizar un conductor neutro separado para cada fase.
- Duplicar la sección del conductor neutro.
- Utilizar un transformador triángulo-estrella.
- Filtro de rango 3 en el neutro.

# Normativa referente a armónicos

## Información técnica

2

### Normativa y recomendaciones

A continuación se citan, a título orientativo, las distintas normativas y recomendaciones existentes sobre los niveles de distorsión permitidos hasta la fecha de publicación del presente catálogo.

#### Norma UNE-EN 61642:

##### • Título de la norma.

Redes industriales de corriente alterna afectadas por armónicos.  
Empleo de filtros y condensadores a instaladores en paralelo.

##### • Campo de aplicación.

Esta norma da las indicaciones para la utilización de filtros pasivos de armónicos de corriente alterna y de condensadores a instalar en paralelo destinados a la limitación de armónicos y a la corrección del factor de potencia en las instalaciones industriales de baja y alta tensión. Las disposiciones propuestas en esta norma son aplicables a los armónicos cuyo orden sea mayor que 1 e inferior o igual a 25.

##### • Objeto.

Identificar los problemas y dar recomendaciones para las aplicaciones generales de los condensadores y de los filtros de armónicos de corriente alterna en redes de energía de corriente alterna afectadas por la presencia de tensiones y corrientes armónicas.

#### Norma UNE-EN 50160:

##### • Título de la norma.

Características de la tensión suministrada para las redes públicas de distribución.

##### • Campo de aplicación.

Esta norma describe las principales características de la tensión suministrada en el punto de conexión del cliente por una red de distribución pública de BT y MT en condiciones normales de explotación.

##### • Objeto.

Definir los valores que caracterizan la tensión, en particular la forma de onda.

##### • Valores límite.

En condiciones normales de explotación, el 95 % de los valores de distorsión individual de tensión medidos durante un período de una semana, calculados sobre medidas efectuadas cada 10 minutos, no deben exceder de los valores indicados en la tabla de la fig. 41.

Armónicos impares no múltiplos de 3		Armónicos impares múltiplos de 3		Armónicos pares	
Rango	Uh (%)	Rango (h)	Uh (%)	Rango (h)	Uh (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,2				
		THD (V) < 8 %			

Fig. 41: valores límite de distorsión armónica individual en tensión.

# Normativa referente a armónicos

(continuación)

Información técnica

2

## Norma UNE-EN 61000-2-2:

### • Título de la norma.

Compatibilidad electromagnética, entorno, niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes públicas de alimentación en BT.

### • Campo de aplicación.

Perturbaciones producidas hasta 10 kHz.

Por tanto trata de los armónicos pero también de otros tipos de perturbaciones tales como: fluctuaciones de tensión, caídas de tensión, microcortes, desequilibrios, etc.

Se aplica a las redes alternas de distribución a 50 o 60 Hz de tensión máxima, 240 V en monofásico y 415 V en trifásico.

### • Objeto.

Precisar los niveles de compatibilidad que hay que respetar en las redes públicas de BT, por lo que:

- Los armónicos generados por cualquier aparato no deben perturbar la red por encima de los valores especificados.
- Cada aparato debe poder funcionar normalmente en presencia de perturbaciones iguales a los niveles especificados.

### • Valores límite.

Los niveles de armónicos en tensión elegidos para las redes públicas de distribución se indican en la tabla de la [fig. 42](#).

La tasa total de distorsión armónica en tensión tiene un valor de THD (V) < 8 %. Por lo tanto, todos los aparatos deberán poder soportar este valor y, al mismo tiempo, será el máximo valor que todos los receptores podrán contaminar.

Armónicos impares no múltiplos de 3		Armónicos impares múltiplos de 3		Armónicos pares	
Rango	Uh (%)	Rango (h)	Uh (%)	Rango (h)	Uh (%)
> 5	6	> 3	5	> 2	2
7	5	> 9	1,5	> 4	1
11	3,5	>15	0,3	> 6	0,5
13	3	>21	0,2	> 8	0,5
17	2	> 21	0,2	>10	0,5
>19	1,5			>12	0,2
>23	1,5			> 12	0,2
25	1,2				
> 25	0,2 + 0,5225/h				
		THD (V) < 8 %			

Fig. 42: valores límite de niveles de compatibilidad.

La importancia de los armónicos de tensión queda definida de la siguiente manera:

- Si THDu > 8 %: contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso; se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- Si 5 % < THDu < 8 %: contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- Si THDu < 5 %: se considera una situación normal.

La importancia de los armónicos de corriente queda definida de la siguiente manera:

- Si THDi > 50 %: contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso; se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- Si 10 % < THDi < 50 %: contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- Si THDi < 10 %: situación normal.

# Normativa referente a armónicos

(continuación)

Información técnica

2

La importancia de los espectros de frecuencia será:

- Los armónicos de rango 3 superiores al 50 % recorrerán el cable de neutro y crearán fuertes calentamientos.
- Los armónicos de rango 5, 7 y más, superiores al 40 %, perturbarán las baterías de condensadores y los receptores sensibles.

## Norma UNE-EN 61000-2-4:

### • Título de la norma.

Compatibilidad electromagnética, entorno, niveles de compatibilidad en las instalaciones industriales de potencia, BT o MT, a 50 o 60 Hz.

### • Campo de aplicación.

Esta norma se aplica a las redes industriales de potencia de baja o media tensión, a 50 o 60 Hz.

### • Objeto.

Determinar los distintos niveles de compatibilidad para distintas clases de entorno electromagnético:

- Clase 1: redes protegidas que tienen niveles de compatibilidad más bajos que los de las redes públicas.
- Clase 2: entorno industrial en general. Los niveles de compatibilidad son los mismos que en las redes públicas.
- Clase 3: entorno industrial severo

### • Valores límite.

En la tabla de la [fig. 43](#) se indican los niveles máximos de armónicos en tensión para los armónicos de rango impar no múltiplos de 3 para las distintas clases.

Armónicos impares no múltiplos de 3			
Rango	Clase 1 U <sub>h</sub> (%)	Clase 2 U <sub>h</sub> (%)	Clase 3 U <sub>h</sub> (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
> 25	0,2 + 12,5/h	0,2 + 12,5/h	5 × √(11/h)

Fig. 43: valores límite para las distintas clases.

## Norma UNE-EN 61000-3-2:

### • Título de la norma.

Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corriente armónica (para aparatos de I<sub>n</sub> i 16 A por fase).

### • Campo de aplicación.

Norma aplicable a los aparatos eléctricos, destinados a ser conectados en redes de 50 o 60 Hz de tensión máxima, igual a 240 V en monofásico y 415 en trifásico.

### • Objeto.

Definir los límites de emisión de corriente armónica con el fin de asegurar que los niveles de perturbaciones armónicas no exceden los niveles de compatibilidad definidos en la norma IEC 61000-2-2.

# Normativa referente a armónicos

(continuación)

Información técnica

2

## • Valores límite.

Los aparatos se clasifican de la manera siguiente:

- Clase A: aparato trifásico equilibrado y cualquier otro aparato distinto de los indicados en una de las otras clases.

En la tabla de la fig. 44 se indican los valores máximos de emisión para los aparatos clase A.

- Clase B: herramientas portátiles.
- Clase C: aparatos de iluminación.
- Clase D: aparatos de una potencia < 600 W y una corriente de entrada con forma de onda "especial", como los receptores de TV.

Los límites para los equipos de potencia > 1 kW de uso profesional están en estudio.

Armónicos impares		Armónicos pares	
Rango	Ih (%)	Rango (h)	Ih (%)
3	2,3	2	1,08
5	1,14	4	0,43
7	0,77	6	0,3
11	0,4	8 < h < 40	0,23 × 8/h
13	0,21		
15 < h < 39	0,15 × 15/h		

Fig. 44: valores límite de máxima distorsión armónica individual en intensidad admisibles por cada aparato clase A.

## Norma UNE-EN 61000-3-4:

### • Título de la norma.

Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corrientes armónicas en las redes de BT para aparatos con una corriente asignada superior a 16 A.

### • Campo de aplicación.

Esta norma será aplicable a los aparatos eléctricos destinados a ser conectados en redes de 50 o 60 Hz de tensión máxima, igual a 240 V en monofásico y 415 en trifásico y cuya intensidad nominal sea mayor de 16 A.

### • Objeto.

Proporcionar recomendaciones para la conexión de equipos generadores de armónicos. Ya que este documento se encuentra actualmente en discusión, se resumirán las generalidades sobre el objeto del mismo, basado en considerar 3 categorías para los distintos aparatos:

- Categoría 1: aparatos poco contaminantes que pueden ser conectados a la red pública sin restricción. Se indicarán los límites de  $I_h/I_1$  que, como máximo, deberán emitir.
- Categoría 2: los aparatos que superen los límites indicados en la categoría 1 se podrán conectar a la red, si la relación entre la potencia del equipo y la potencia de cortocircuito en el punto de conexión no excede de cierto valor. En función de esta relación, se imponen unos límites de porcentaje de armónicos.
- Categoría 3: si se exceden los límites de la categoría 2, deberán utilizarse medios de reducción de armónicos, o bien llegar a un acuerdo particular con el distribuidor de energía.

# → Calidad de la energía



Nuestra gama  
de compensación

+



Las necesidades  
de su instalación

=

Ahorro económico  
y ventajas técnicas

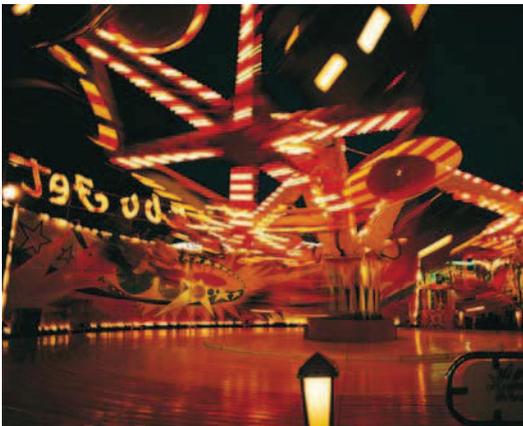
## Calidad de la energía

	Introducción	
	Generalidades	1/1
	Armónicos	2/1
<b>3</b>	Compensación de la energía reactiva y la calidad de energía	3/3
	Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad	3/4
	Ficha para la realización de un preestudio armónico	3/11
	Catálogo	4/1
	Media Tensión	5/1
	Catálogo Media Tensión	6/1
	Tarifa	7/1
	Dimensiones	8/1
	Índice de referencias y precios	9/1



# Compensación de la energía reactiva y la calidad de energía

## Información técnica



### Introducción

La permanente optimización de las instalaciones eléctricas conlleva el empleo con más frecuencia de cargas no lineales. Al mismo tiempo el empleo de equipos más sensibles a las perturbaciones hace necesario que a la hora de diseñar los equipos de compensación se tomen en consideración factores que hasta ahora no eran relevantes.

En función de la naturaleza de los diferentes equipos eléctricos utilizados en los diversos procesos de producción, se pueden generar dentro de la instalación diferentes tipos de perturbaciones que se deben de conocer.

Por este motivo se hace necesario evaluar el nivel de calidad de la energía eléctrica de la instalación, y esta evaluación consiste en cuantificar los fenómenos electromagnéticos súbitos o generados que pueden llegar a perturbar la forma, la continuidad, el equilibrio o la estabilidad de la tensión y de la corriente.

Los parámetros más importantes que hay que conocer y cuantificar para poder adoptar la solución más apropiada son:

- $\cos \varphi$ .
- La tasa de distorsión armónica, THD, en tensión y en corriente.
- La amplitud y la duración de los huecos y cortes de tensión.
- Los valores y la duración de las sobretensiones (temporales o permanentes).
- La amplitud, la duración y la frecuencia de las fluctuaciones de tensión.

Las perturbaciones más comunes que podemos encontrarnos son:

- Los huecos de tensión.
- Las sobretensiones.
- Los armónicos.
- Desequilibrios.
- Fluctuaciones de tensión.

La manifestación dentro de las instalaciones de estos fenómenos de la no calidad de la energía eléctrica puede hacerse de formas muy diversas, más o menos penalizables y costosas para los usuarios:

- Parada de los procesos.
- Pérdida de la fabricación.
- Rotura de maquinaria.
- Pérdida de datos.
- Calidad irregular.
- Costes de fabricación elevados.
- ...

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

## Información técnica

3

Sector industria										
Industria	Procesos		Cos $\phi$ bajo en Baja Tensión	Cos $\phi$ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves
Agroalimentaria	Salas blancas, filtración, concentración, destilación, hornos eléctricos									
Textil	Telares, impresión, inducción									
Madera	Serrado									
Papelera	Rodaje, bombeo									
Imprenta	Impresión, fotoimpresión, grabación (CD-DVD-Vídeo)									
Química-farmacia	Dosificación, salas blancas, filtración, concentración, destilación									
Plásticos	Extrusión, termomoldeado									
Vidrio-cerámica	Laminación, hornos									
Siderurgia	Hornos de arco, laminados, trefilación, bombeo, corte									
Metalúrgica	Soldadura, horno, tratamiento superficies, estampación									
Automóvil	Soldadura, estampación									
Cementos	Hornos, ventilación, bombeo, elevación, trituración, transporte									
Minería	Trituración, transporte, elevación									
Refinerías	Ventilación, bombeo, PLC									
Microelectrónica	PLC, informática									

- procesos fuertemente generadores de los fenómenos de la no calidad eléctrica.
- procesos que pueden generar fenómenos de la no calidad eléctrica.

Sector terciario											
Terciario	Procesos		Cos $\phi$ bajo en Baja Tensión	Cos $\phi$ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves	Tensión de señalización
Banca	Informática, iluminación, climatización, ascensores										
Supermercados	Informática, iluminación, climatización, ascensores										
Hospitales	Informática, electrónica										
Estadios	Iluminación										
Parques de ocio	Iluminación, atracciones										
Hoteles	Informática, iluminación, climatización, ascensores										
Oficinas	Iluminación, ascensores										

- procesos fuertemente generadores de los fenómenos de la no calidad eléctrica.
- procesos que pueden generar fenómenos de la no calidad eléctrica.

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

(continuación)

## Información técnica

Sector industria		Cos $\varphi$ bajo en Baja Tensión	Cos $\varphi$ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves
Industria	Procesos								
Agroalimentaria	Salas blancas, filtración, concentración, destilación, hornos eléctricos								
Textil	Telares, impresión, inducción								
Madera	Serrado								
Papelera	Rodaje, bombeo								
Imprenta	Impresión, fotoimpresión, grabación (CD-DVD-Vídeo)								
Química-farmacia	Dosificación, salas blancas, filtración, concentración, destilación								
Plásticos	Extrusión, termomoldeado								
Vidrio-cerámica	Laminación, hornos								
Siderurgia	Hornos de arco, laminados, trefilación, bombeo, corte								
Metalúrgica	Soldadura, horno, tratamiento superficies, estampación								
Automóvil	Soldadura, estampación								
Cementos	Hornos, ventilación, bombeo, elevación, trituración, transporte								
Minería	Trituración, transporte, elevación								
Refinerías	Ventilación, bombeo, PLC								
Microelectrónica	PLC, informática								

- procesos muy sensibles a los fenómenos de la no calidad eléctrica.
- procesos que pueden verse afectados por los fenómenos de la no calidad eléctrica.

Sector terciario		Cos $\varphi$ bajo en Baja Tensión	Cos $\varphi$ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves	Tensión de señalización
Terciario	Procesos									
Banca	Informática, iluminación, climatización, ascensores									
Supermercados	Informática, iluminación, climatización, ascensores									
Hospitales	Informática, electrónica									
Estadios	Iluminación									
Parques de ocio	Iluminación, atracciones									
Hoteles	Informática, iluminación, climatización, ascensores									
Oficinas	Iluminación, ascensores									

- procesos muy sensibles a los fenómenos de la no calidad eléctrica.
- procesos que pueden verse afectados por los fenómenos de la no calidad eléctrica.

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

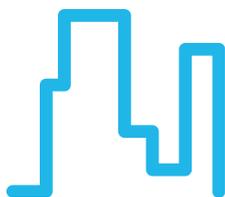
(continuación)

Información técnica

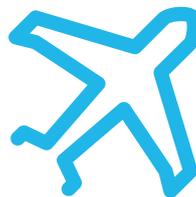
3

Sector infraestructuras-energía.		Cos $\phi$ bajo en Baja Tensión	Cos $\phi$ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves	Tensión de señalización
Energía infraestructuras	Procesos									
Subestaciones	Distribución de energía									
Distribución de agua	Bombeo									
Internet	Informática, electrónica									
Eólicos	Producción de energía									
Ferrocarriles	Tracción eléctrica									
Aeropuertos	Iluminación, informática, transporte									
Metro	Tracción eléctrica, ventilación									
Puertos	Grúas									
Túneles	Ventilación, iluminación									

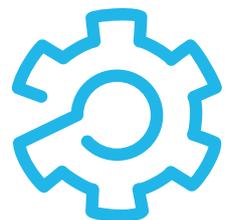
■ procesos fuertemente generadores de los fenómenos de la no calidad eléctrica.  
 ■ procesos que pueden generar fenómenos de la no calidad eléctrica.



Edificios



Aeropuertos



Ferrocarriles

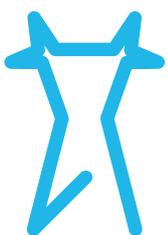
# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

(continuación)

Información técnica

Sector infraestructuras-energía.		Cos φ bajo en Baja Tensión	Cos φ bajo en Media Tensión	Armónicos	Sobretensiones transitorias	Fluctuaciones de tensión	Huecos de tensión	Cortes largos	Cortes breves	Tensión de señalización
Energía infraestructuras	Procesos									
Subestaciones	Distribución de energía									
Distribución de agua	Bombeo									
Internet	Informática, electrónica									
Eólicos	Producción de energía									
Ferrocarriles	Tracción eléctrica									
Aeropuertos	Iluminación, informática, transporte									
Metro	Tracción eléctrica, ventilación									
Puertos	Grúas									
Túneles	Ventilación, iluminación									

■ procesos muy sensibles a los fenómenos de la no calidad eléctrica.  
 ■ procesos que pueden verse afectados por los fenómenos de la no calidad eléctrica.



Energía e Infraestructuras



Internet



Eólicos

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

(continuación)

## Información técnica

### • Soluciones Schneider para los fenómenos de la no calidad eléctrica.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las soluciones de Schneider Electric para los fenómenos de la no calidad.

3

Fenómenos	Soluciones BT									Soluciones MT						
	Compensación fija		Compensación automática			Filtraje				Compensación fija		Compensación automática			Circuitos tapón	Onduladores MGE-UPS
	Varsset fija con protección automática	Varsset SAH fija con protección automática con inductancias antiarmónicas	Varsset estándar	Varsset SAH	Varsset rápida (contactores estáticos)	Filtros pasivos (H5, H7, H11)	Filtros activos (Sinewave/AccuSine)	Filtros híbridos	AccuSine HVC	Equipos CP214/CP227/CP229	Equipos CP214SAH/CP227SAH	Equipos CP253/CP254	Equipos CP253SAH/CP254SAH	Filtros pasivos		
Coseno $\phi$ insuficiente BT																
Coseno $\phi$ insuficiente MT																
Armónicos																
Sobretensiones transitorias					Prv									Prt		
Fluctuaciones de tensión (flicker)																
Frecuencia de telemando																
Bajadas de tensión																
Cortes de tensión (largos)																
Cortes de tensión (breves)																
Desequilibrio de tensión																

■ lo más habitual.

■ ocasionalmente.

Prv prevención.

Prt protección.

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

(continuación)

## Información técnica

### Las soluciones.

Según lo visto en los apartados anteriores, y tras comprobar qué problemas se pueden presentar en una instalación eléctrica y en función de cuáles serán nuestras necesidades, se deberá buscar la solución más idónea para cada caso.

En la siguiente tabla están las soluciones propuestas más utilizadas dentro de los diferentes sectores de actividad.

		Soluciones para BT							Soluciones para MT			
		Estándar	SAH (filtros desintonizados)	Baterías con contactores estáticos	Filtros pasivos (sintonizados) en BT	Filtros activos en BT	Filtros híbridos en BT	Compensadores híbridos en tiempo real	Estándar	SAH	Filtros pasivos en MT	Condensadores para sobretensiones en MT
Industria	Agroalimentaria											
	Textil											
	Madera											
	Papelera											
	Imprenta											
	Química-farmacia											
	Plásticos											
	Vidrio-cerámica											
	Siderurgia											
	Metalúrgica											
	Automóvil											
	Cementos											
	Minería											
	Refinerías											
	Microelectrónica											
Terciario	Banca											
	Supermercados											
	Hospitales											
	Estadios											
	Parques de ocio											
	Hoteles											
	Oficinas											
	Infraestructuras	Subestaciones										
Distribución de agua												
Eólicos												
Ferrocarriles												
Aeropuertos												
Metro												
Puertos												
Túneles												

■ equipo recomendado.  
■ equipo óptimo.  
■ ocasionalmente (en función de las necesidades).

Antes de validar la opción elegida, es preferible realizar mediciones sobre el terreno.

# Tablas guías de procesos y fenómenos de la no calidad

(continuación)

Información técnica

3

La presente tabla es una guía para facilitar la elección de los equipos de compensación y filtraje de Schneider Electric, en función de las necesidades de nuestra instalación.

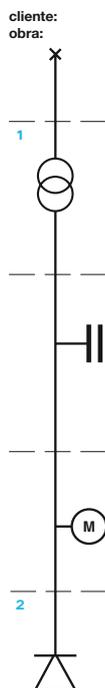
Oferta compensación energía reactiva BT Schneider Electric	Baterías condensadores BT		Baterías con contactores estáticos	Filtros pasivos (sintonizados) en BT	Filtros activos en BT	Filtros híbridos en BT	Compensadores híbridos en tiempo real
	Estándar	SAH (filtros desintonizados)					
Varset STD							
Varset SAH							
Varset rápida							
Filtro H5							
Filtro H5 H7							
Filtro H5 H7 H11							
AccuSine							
Filtro híbrido							
AccuSine HVC							

Oferta compensación energía reactiva MT Schneider Electric	Baterías condensadores MT		Filtros pasivos en MT	Condensadores para sobretensiones en MT
	Estándar	SAH		
PROPIVAR				
CP214				
CP227				
CP253				
CP254				
CP214 SAH				
CP227 SAH				
CP253 SAH				
CP254 SAH				
CP229/CP230				
Condensadores sobretensión				

Tabla de elección de equipos compensación energía reactiva Schneider Electric.

# Ficha para la realización de un preestudio armónico

## Información técnica



### Datos de la red

- Scc: ..... MVA
- Un: ..... kV
- Importación de armónicos:  Sí  No

### Transformadores

TRAFO 1	TRAFO 2	TRAFO 3	TRAFO 4
• Sn kVA	• Sn kVA	• Sn kVA	• Sn kVA
• U2 V	• U2 V	• U2 V	• U2 V
• Ucc %	• Ucc %	• Ucc %	• Ucc %

- Conexión secundario en paralelo:  Sí  No

### Compensación de energía reactiva

- Existente 
  - Fija  kVAR.....
  - Automática  kVAR.....
  - SAH o filtros  kVAR.....
  - Fs (Hz).....
- A calcular 
  - Cos  $\phi$  deseado: .....

### Cargas no generadoras de armónicos

- Datos nominales carga:
  - Pn: .....kW
  - Cos  $\phi$ : .....
- Funcionamiento habitual carga:
  - 100 %  75 %  50 %  25 %
  - Pn: .....kW
  - Cos  $\phi$ : .....

### Cargas generadoras de armónicos

- Tipo: ..... • Modelo: ..... • Pn: ..... kW • N.º: .....
- Punto de medición:  1  2

	h1	h3	h5	h7	h11	h13	h	h	h	h	h	$\Sigma$ THD
In (A)												
Ih (%)												
Uh (%)												

3



Varset SAH.



Varset STD.

Breve descripción de los equipos para la compensación automática de la energía reactiva y el filtrado de armónicos que aparecen en este catálogo-tarifa.

**Baterías de condensadores tipo estándar.** Baterías automáticas de condensadores para redes no polucionadas por armónicos (THDU inferior o igual al 1,5 %), donde la tensión nominal de los condensadores es igual a la tensión de red (230 V y 415 V).

**Baterías de condensadores sobredimensionadas en tensión.** Baterías automáticas de condensadores para redes no polucionadas por armónicos (THDU inferior o igual al 1,5 %), donde la tensión nominal de los condensadores es de 480 V; siendo la tensión de red 400 V.

Estas baterías están especialmente indicadas para instalaciones donde puede haber una sobretensión más o menos permanente (inferior a 8 horas al día); o bien en aquellas instalaciones donde la temperatura ambiente de la sala eléctrica está comprendida entre 30 y 35 °C.

**Baterías de condensadores SAH (filtros desintonizados).** Baterías automáticas de condensadores para redes polucionadas por los armónicos (THDU máximo 6 %), donde el conjunto LC (condensador-inductancia) está sintonizado a 215 Hz (rango 4,3). Este tipo de baterías permite realizar la compensación de la energía reactiva sin amplificar los armónicos existentes, protegiendo la instalación y a los condensadores, reduciendo al mismo tiempo la componente armónica de la instalación. Generalmente la THDU de la instalación con una batería de condensadores SAH se mantendrá por debajo de valores del 4 %.

A este tipo de equipos también se les conoce como filtros de rechazo.

**Baterías de condensadores estáticas.** Baterías automáticas de condensadores válidas tanto para redes no polucionadas con armónicos (Varset rápida estándar) como para redes polucionadas y con un THDU máximo del 6 % (Varset rápida SAH).

La principal característica de las baterías estáticas es la utilización de contactores estáticos para realizar la maniobra de los condensadores, lo que les permite:

- Una respuesta rápida, 2 segundos (20 mseg en opción).
- Libre de transitorios de tensión y corriente, tanto en la conexión como en la desconexión de los condensadores.
- Maniobras ilimitadas.
- Mantenimiento reducido.

# Glosario

(continuación)

Información técnica



Varsset.

**Filtros sintonizados.** Equipos de compensación para redes contaminadas por armónicos (THDU > 6 %), donde a la necesidad de compensación de energía reactiva se añade la necesidad de disminuir (e incluso eliminar) parte de la componente armónica de la instalación.

Los más utilizados son:

- H5, filtro del 5.º armónico.
- H7, filtro del 7.º armónico.
- H11, filtro del 11.º armónico.

Generalmente con un filtro sintonizado se obtendrá un THDU global inferior a un 3 %, y en función de la sintonización un THDU individual sobre el rango sintonizado en torno a un 1 %.

Estos equipos son también conocidos como filtros de absorción.

**AccuSine (filtro activo).** Equipo diseñado para eliminar la componente armónica en redes industriales.

Principalmente diseñado para poder reducir/eliminar la componente armónica de los rangos 3, 5, 7, 11, 13 hasta el 25.

Es un buen complemento tanto para una batería de condensadores Varsset SAH (filtro desintonizado) como para un filtro sintonizado cuando se desee reducir o eliminar completamente la componente armónica de la instalación.

Ocasionalmente se puede utilizar como equipo de compensación de reactiva, utilizando los amperios “sobrantes”.

**Filtros híbridos.** Equipo que integra dentro de la misma envolvente un filtro pasivo sintonizado (250 Hz) y un filtro activo. La parte de compensación de la energía reactiva la realiza el filtro pasivo y la parte correspondiente a la eliminación de la componente armónica está a cargo del filtro activo.

**Filtro activo HVC (AccuSine HVC).** El único equipo capaz de realizar la compensación de energía reactiva en tiempo real (tiempo de respuesta 8 mseg).

Entre sus múltiples posibilidades se encuentran:

- La compensación de la energía reactiva.
- El filtrado pasivo.
- El filtrado activo.
- La corrección de desequilibrios.
- Huecos.
- ...

# → Oferta Media Tensión



Nuestra gama  
de compensación

Las necesidades  
de su instalación

## Oferta Media Tensión

	Introducción	
	Generalidades	1/1
	Armónicos	2/1
	Calidad de la energía	3/1
	Catálogo	4/1
<b>5</b>	Compensación de energía reactiva en MT	5/2
	Aparata de maniobra y protección de condensadores MT	5/8
	Tipo de conexión y protección de condensadores MT	5/10
	Catálogo Media Tensión	6/1
	Tarifa	7/1
	Dimensiones	8/1
	Índice de referencias y precios	9/1

# Compensación de energía reactiva en MT

## Información técnica



### Introducción

La presencia de energía reactiva en las instalaciones eléctricas no permite obtener el máximo rendimiento de las mismas a no ser que sea compensada mediante condensadores y baterías de condensadores.

Todas las instalaciones de MT y AT, donde exista consumo de energía reactiva, son susceptibles de ser compensadas y optimizadas, como por ejemplo: subestaciones eléctricas, centros de transformación, depuradoras, estaciones de bombeo, parques eólicos, etc. Es decir, aquellas instalaciones que posean transformadores de potencia, motores asíncronos, aerogeneradores, hornos de inducción y un largo etcétera de equipos.

La utilización de condensadores permite optimizar técnicamente la instalación, ayudando a la gestión en la calidad del suministro eléctrico al aprovechar al máximo el transformador de potencia y descargar las líneas de distribución, así como reducir las caídas de tensión y las pérdidas en los cables por el efecto Joule. Desde el punto de vista económico es posible eliminar las penalizaciones por el consumo de energía reactiva y, en instalaciones concretas, optar a bonificaciones en su facturación de energía.

Uno de los elementos que más aparecen en una instalación de MT es un motor asíncrono, por ejemplo: generador eléctrico, bomba de un centro de bombeo de aguas o estación depuradora, que por lo general el consumo de potencia reactiva necesaria que absorben de la red es del orden del 30 % de su potencia nominal, por lo que se hace acreedor de ser uno de los elementos de mayor consumo de reactiva en la instalación.

Normalmente este consumo se compensa mediante la colocación de un condensador fijo, en bornes, en paralelo a la máquina, y dependerá si el condensador lo vamos a maniobrar y proteger con el mismo aparato del motor, o con uno propio para el condensador, evitando principalmente el riesgo de autoexcitación de dicho motor.

A la hora de compensar un transformador MT/BT, siempre es recomendable hacerlo en el lado de BT, al ser la aparamenta en BT más económica y existir una mayor facilidad a la hora de regular por número de maniobras. En los casos en los que por tipología de instalación y espacio no sea posible, se optará por la compensación en barras de MT o AT.

### ¿Por qué compensar la energía reactiva?

#### Compensación energía reactiva

- Optimización de la red eléctrica:
- Reducción de las caídas de tensión.
- Reducción de pérdidas por efecto Joule.
- Descarga de líneas eléctricas.
- Optimización del transformador de potencia.
- Aumento de tensión disponible en líneas.
  
- Factura eléctrica:
- Reducción/eliminación de las penalizaciones por consumos de reactiva.
- Obtención de bonificaciones (p.e.: instalaciones generadoras).

# Compensación de energía reactiva en MT

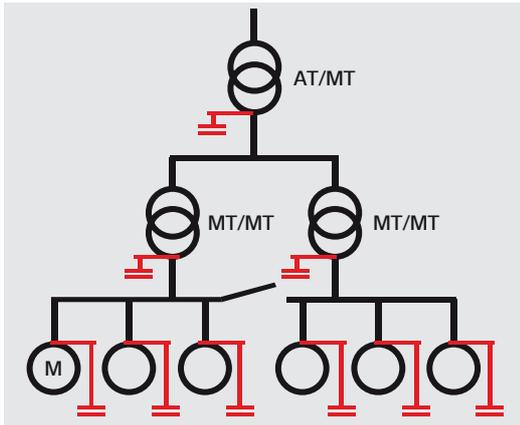
(continuación)

## Información técnica

### ¿Dónde compensar y cómo compensar?

Se plantean varias dudas a la hora de realizar la compensación en las instalaciones. Como se ha comentado anteriormente, la compensación en transformadores de potencia MT/BT se realiza en los lados del secundario o lados de inferior tensión al ser la aparatada de menor coste. Lo mismo ocurre con transformadores de AT/MT.

Como complemento a la información del apartado de información técnica, [página 1/12](#) de este catálogo, las posibilidades de compensar la energía reactiva en instalaciones de tipo MT son:

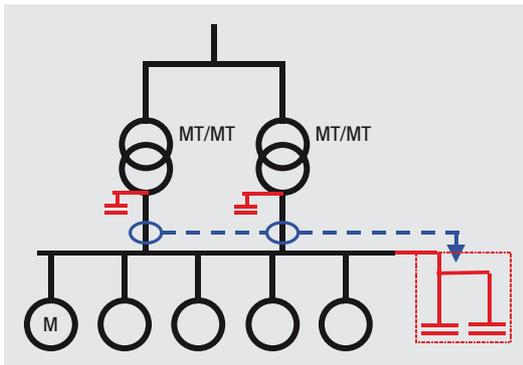


#### Compensación fija de transformadores

Baterías de condensadores con o sin aparatada de maniobra cuya potencia no exceda del 12 % de la potencia nominal del transformador. Estos equipos compensan las pérdidas de los transformadores en carga y en vacío.

#### Compensación fija de cargas

Si se utilizan baterías de condensadores fijas sin maniobra en bornes del motor, será necesario calcular la potencia máxima para evitar la autoexcitación del motor en vacío. Esta potencia normalmente no es suficiente para alcanzar un factor de potencia óptimo. Utilizando equipos con maniobra (mediante disyuntores o contactores) se evita el problema.

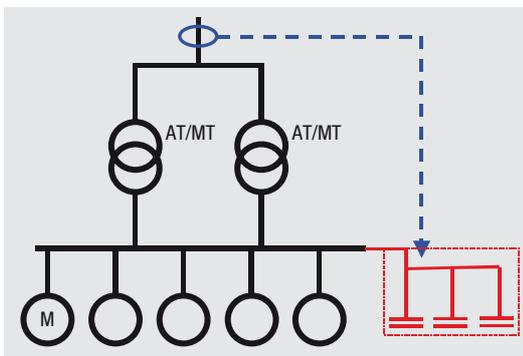


#### Compensación fija de transformadores

Baterías de condensadores con o sin aparatada de maniobra cuya potencia no exceda del 12 % de la potencia nominal del transformador. Estos equipos compensan las pérdidas de los transformadores en carga y en vacío.

#### Compensación automática de cargas

La utilización de baterías automáticas con maniobra de un escalón o varios dependiendo de la potencia y cargas, optimiza el espacio necesario para su colocación y, además, al ser equipos con maniobra independiente del motor (mediante disyuntores o contactores) se evita el problema de la autoexcitación, conectando mayor potencia reactiva y alcanzando los cosenos finales suficientes ( $> 0,95$  inductivo). También se pueden conectar equipos con regulación mediante reguladores o PLC's.



#### Compensación automática de la instalación

Es posible instalar equipos automáticos con varios escalones y regulados a través de autómatas o reguladores, que compensen la totalidad de cargas y transformadores. Estos equipos son de mayor potencia y tamaño, y en caso de fallo en la medida o pérdida de la misma, pueden dejar de compensar la instalación.

# Compensación de energía reactiva en MT

(continuación)

Información técnica

## Compensación fija o automática

A la hora de decidir el tipo de compensación para las instalaciones, es recomendable estudiar las posibilidades existentes:

- Compensación global.
- Compensación motor/individual.
- Compensación automática (con maniobra).

### A) Compensación global

Se tendrán en cuenta los siguientes datos:

Qc (kVAr): potencia reactiva calculada a partir de la ecuación general o mediciones (ver teoría general pág. 1/8).

Sn (kVA): potencia aparente del transformador de alimentación.

Si  $Qc/Sn < 12\%$  V Compensación FIJA.

Las baterías de condensadores son de una potencia reactiva y servicio constantes. Al no exceder del 12% de la potencia nominal del transformador se puede realizar este tipo de compensación "todo o nada", incluso con la instalación en vacío (compensando las pérdidas propias del trafo).

Si  $Qc/Sn > 12\%$  V Compensación AUTOMÁTICA.

Cuando existen fluctuaciones de carga y la compensación fija no es suficiente, se hace necesaria la utilización de baterías automáticas de varios escalones, regulados mediante PLC's o reguladores de energía reactiva. En este caso, la potencia reactiva se adaptará a la curva de carga existente en la instalación.

### B) Compensación motor/individual

En los casos donde la potencia reactiva a conectar en bornes del motor no supere la potencia crítica de autoexcitación del motor en vacío, la compensación se realizará mediante equipos fijos de condensadores. En la siguiente tabla se observan, dependiendo de la potencia de los motores de MT, las potencias reactivas máximas que se pueden conectar directamente en bornes del motor.

Por regla general, la potencia reactiva máxima que se puede conectar en bornes de un motor viene determinada por el fabricante en la placa de características o documentación técnica del motor, no siendo superior al 25% de su potencia nominal. El coseno final que se alcance con este tipo de compensación dependerá del coseno inicial del motor y su potencia activa, no siendo siempre superior a 0,95 inductivo. Esto puede significar una mejora del rendimiento del motor pero no la supresión de penalizaciones en la factura eléctrica.

Si la potencia necesaria es superior a los valores indicados en la tabla, será necesario evitar el riesgo de autoexcitación mediante la inserción de un aparato de maniobra para el condensador. A la hora de maniobrar dicho equipo, será necesario o bien un contacto auxiliar del propio arranque del motor que opere el contactor o disyuntor asociado al condensador o bien un regulador de energía reactiva.

Se recomienda que la maniobra está siempre temporizada de forma que el condensador o la batería de condensadores entre en servicio cuando el motor haya alcanzado su régimen estacionario de funcionamiento. De igual modo y para evitar sobreintensidades de conexión de condensadores, el uso de inductancias de choque o limitadores de corriente es indispensable siempre que existan otros elementos capacitivos en la propia instalación.

# Compensación de energía reactiva en MT

(continuación)

## Información técnica

### Ejemplo:

Un motor genérico de 100 kW (136 CV) posee un coseno inicial de 0,86 inductivo al 100 % de carga. ¿Cómo podríamos realizar la compensación de energía reactiva?

Si aplicamos la ecuación general para el cálculo de reactiva:

$$Q_c = P(\text{tag } \varphi_{\text{inicial}} - \text{tag } \varphi_{\text{final}})$$

se obtienen, para distintos cosenos finales, las siguientes potencias reactivas:

$$\text{Cos } \varphi_{\text{final}} = 0,95 \text{ ind} \rightarrow Q_c = 100 (0,593 - 0,328) = 26,5 \text{ kVAr}$$

siendo:

$$\text{tag } \varphi_{\text{inicial}} = \text{tag}(\text{ArCos } \varphi_{\text{inicial}}) = 0,593$$

$$\text{tag } \varphi_{\text{final}} = \text{tag}(\text{ArCos } \varphi_{\text{final}}) = 0,328$$

$$\text{Cos } \varphi_{\text{final}} = 1 \rightarrow Q_c = 100 (0,593 - 0) = 59,3 \text{ kVAr}$$

siendo:

$$\text{tag } \varphi_{\text{final}} = \text{tag}(\text{ArCos } \varphi_{\text{final}}) = 0$$

Como para alcanzar un coseno final de 0,95 inductivo necesitamos 26,5 kVAr y este valor es superior al 25 % de la potencia nominal del motor, si se realiza la compensación fija del mismo el motor puede tener el riesgo de autoexcitación del motor en vacío. Es necesario un condensador o batería con elemento de maniobra que evite el posible arranque del motor cuando se desconecte de la red.

Corrección del factor de potencia en motores (*)																			
Potencia motor (kW)	Cos φ original = 0,75					Cos φ original = 0,8					Cos φ original = 0,785					Cos φ original = 0,9			
	Cos φ deseado					Cos φ deseado					Cos φ deseado					Cos φ deseado			
	0,9	0,92	0,95	0,96	0,98	0,9	0,92	0,95	0,96	0,98	0,9	0,92	0,95	0,96	0,98	0,9	0,92	0,95	0,96
150	75	75	100	100	100	50	50	75	75	100	50	50	50	50	75	No compen-	50	50	50
175	75	100	100	100	150	50	75	75	100	100	50	50	50	75	75	sación, poca	50	50	50
200	100	100	150	150	150	50	75	100	100	100	50	50	75	75	100	potencia	50	50	75
250	100	150	150	150	200	75	100	100	150	150	50	50	75	100	100		50	50	75
300	150	150	200	200	200	100	100	150	150	200	50	75	100	100	150		50	75	100
350	150	200	200	200	250	100	150	150	200	200	50	75	100	150	150		75	75	100
400	200	200	250	250	300	100	150	200	200	250	75	75	150	150	200		75	100	150
450	200	200	250	300	300	150	150	200	200	250	75	100	150	150	200		75	100	150
500	200	250	300	300	350	150	200	250	250	300	75	100	150	200	200	50	100	100	150
600	250	300	350	350	400	200	200	250	300	350	100	150	200	200	250	50	100	150	200
700	300	350	400	450	500	200	250	300	350	400	100	150	200	250	300	50	150	150	200
750	300	350	450	450	500	200	250	350	350	450	100	150	250	250	350	50	150	150	250
1.000	400	450	550	600	700	300	350	450	500	550	150	200	300	350	450	75	200	200	300
1.200	500	550	700	750	850	350	400	500	550	650	200	250	350	400	500	75	200	250	350
1.250	500	600	700	750	850	350	450	550	600	700	200	250	400	450	550	75	200	250	400
1.400	600	650	800	850		400	500	600	650	800	200	300	450	500	600	100	250	300	400
1.500	600	700	850	900		400	500	650	700	850	200	300	450	500	650	100	250	300	450
1.750	700	800				500	600	750	800		250	350	500	600	750	150	300	350	500
2.000	800					550	650	850			300	400	600	700	850	150	350	400	600
2.300						650	750				350	450	700	800		150	400	450	650
2.500						700	850				350	500	750	850		150	400	500	750
3.000			(**)			800		(**)			450	600	900		(**)	200	500	850	850
3.500											500	700				250	550	700	(**)

■ Riesgo posible de autoexcitación.

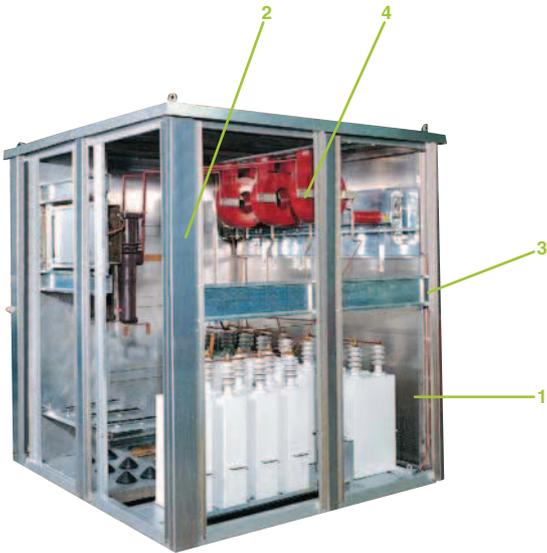
(\*) Consultar con los datos del motor o seleccionar baterías automáticas tipo CP253.

(\*\*) No es posible con diseño CP214 seleccionar modelo CP227.

# Compensación de energía reactiva en MT

(continuación)

## Información técnica



- 1 Condensadores.
- 2 Interruptor automático o contactor.
- 3 Dispositivo de derivación a tierra.
- 4 Inductancias de limitación de corriente.

### C) Compensación automática:

La batería de condensadores automática, un ejemplo perfecto de tecnología avanzada, es el fruto de más de 30 años de experiencia adquirida por Rectiphase en el campo de los condensadores de media tensión.

La batería de condensadores opera con un contactor Rollarc 400 o un interruptor SF1 de SF6, mostrando un control perfecto de los fenómenos eléctricos que se producen cuando los condensadores se conectan o desconectan a redes de potencia.

Su original concepto de diseño satisface todas las necesidades relacionadas con la fiabilidad, continuidad de servicio y facilidad de instalación.

La nueva generación de baterías de condensadores con cabinas metálicas se ha desarrollado como respuesta al creciente compromiso con la calidad:

- Todas las partes bajo tensión expuestas están protegidas para aumentar la seguridad de los usuarios.
- La fiabilidad del servicio se ha mejorado eliminando fallos externos (p. e. impactos, animales, vegetación).
- Se ha incorporado la función de control.
- Las conexiones y el montaje se han simplificado mediante la utilización de unidades compactas prefabricadas ya preparadas para la utilización.
- Los costes de instalación son más bajos que los de una unidad típica para exteriores.

Una batería automática es aquella que incorpora un elemento de maniobra, ya sea mediante contactor o interruptor automático. Una batería automática puede ser además regulada cuando incorpora un elemento regulador de escalones, como por ejemplo un regulador de energía reactiva Varlogic o un PLC.

La batería de condensadores puede estar formada por:

- Una envolvente de aluminio con puerta para el acceso al compartimento BT, separado del de MT.
- Un grupo de condensadores Propivar, con o sin fusibles internos, cuyo número y características varían según la tensión de la red y los requisitos de alimentación de cada elemento. Estos condensadores están instalados según una configuración en triángulo con protección por fusibles externos APR o en doble estrella con protección por TI y relé para el desequilibrio de la misma.
- Un contactor Rollarc o interruptor automático SF1 de SF6 tripolar que se utilizan para la maniobra y protección de la batería.
- Un seccionador de puesta a tierra.
- Tres reactancias de limitación de corriente utilizadas para la limitación de la intensidad de conexión de la batería.
- Otros equipos se pueden incluir en las baterías bajo demanda ([consultar](#)).

Según la tensión de la red, la potencia de la batería de condensadores se determina por el número y el tipo de los condensadores:

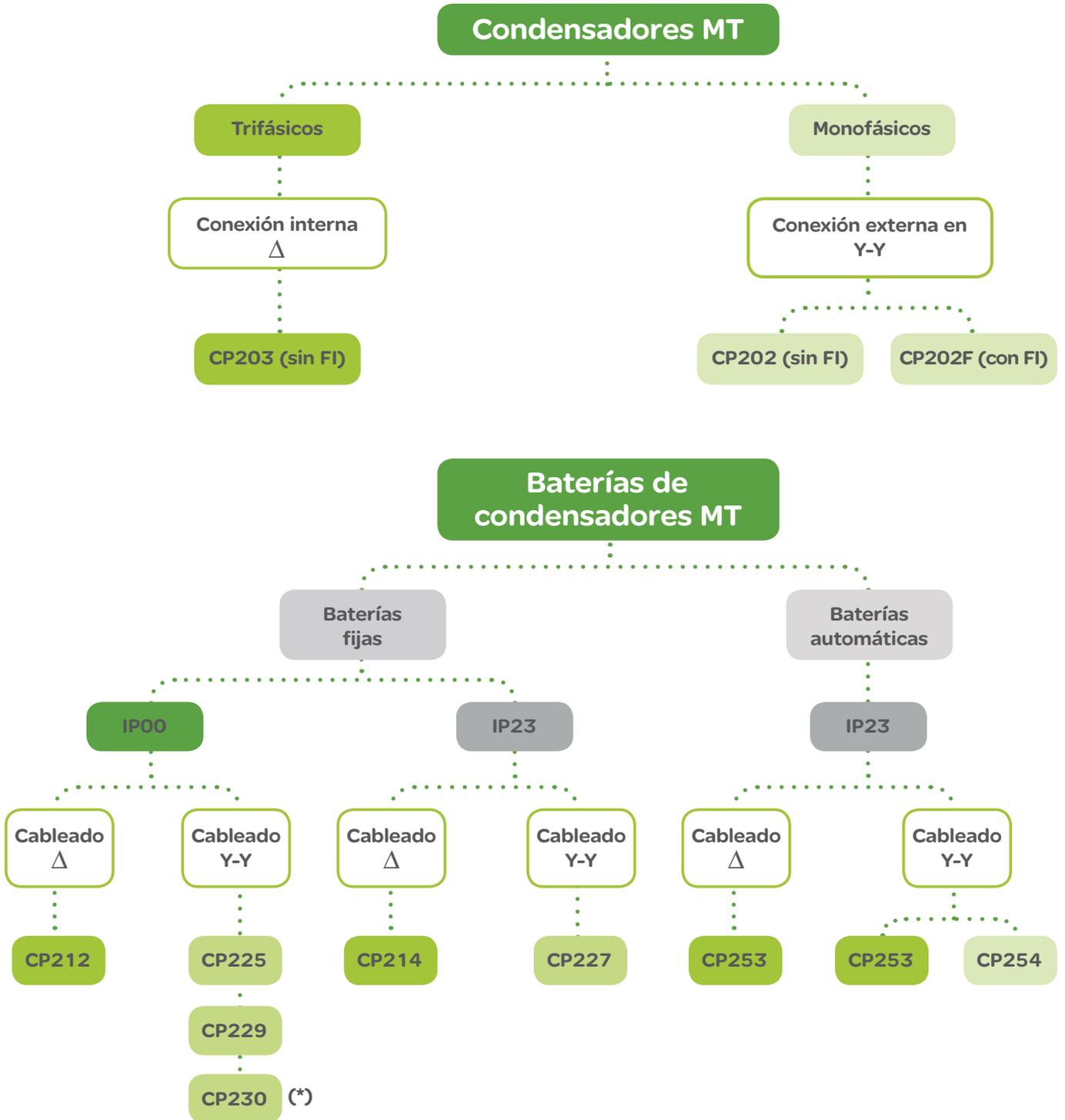
- Tensión de la red: hasta 36 kV.
- Número máximo de condensadores: 18.
- Potencia reactiva por banco: hasta 10,8 Mvar.

# Compensación de energía reactiva en MT

(continuación)

Información técnica

## Panorama de equipos de compensación en MT



Aislamiento: 7,2-12 kV
  Aislamiento: 7,2-12-17,5-24-36 kV
  Aislamiento: 17,5-24-36 kV

(\*) Superior a 36 kV

Todos los equipos pueden ser suministrados en clase SAH, es decir, con inductancias antiarmónicas en serie a los condensadores y con frecuencia estándar de sintonización 215 Hz (filtrado a partir del 5.º armónico).

# Aparata de maniobra y protección de condensadores MT

## Información técnica

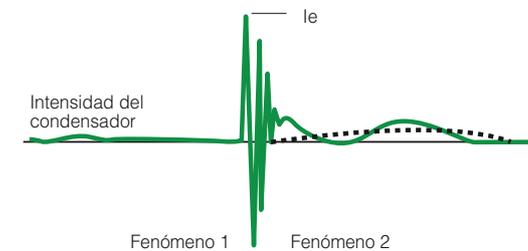
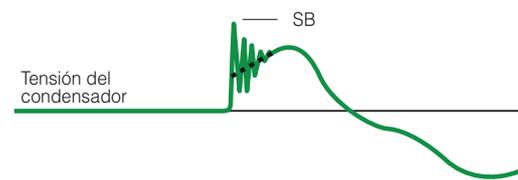
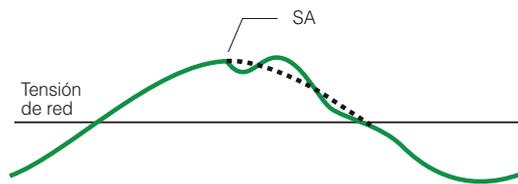


Fig. 45.

## Mando de baterías de condensadores

### Fenómenos asociados a las baterías de condensadores

La conexión de una batería de condensadores da lugar a un régimen transitorio de corriente y de tensión en la línea y en el equipo.

Si esta sobreintensidad es inferior a la máxima admisible por los condensadores y por el aparellaje que los maniobra, el equipo no resultará perjudicado.

En caso contrario, será necesario atenuar la sobreintensidad de cierre mediante inductancias en serie.

Para el dimensionado de estas inductancias de choque hay que considerar dos casos:

#### • Batería única.

La conexión de la batería a la red produce un régimen transitorio de corriente de valor:

$$I_e = I_c \sqrt{2} \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

y de frecuencia:

$$f_e = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L_0 C}}$$

Si  $I_e$  resulta un valor mayor que  $100 I_c$  o que el valor máximo admisible por el aparato de maniobra, es necesario equipar la batería con una inductancia de choque, por fase, de valor:

$$L \geq \left( \frac{10^6}{\omega} \frac{2Q}{31^2 \text{ cresta}} - \frac{U^2}{S_{cc}} \right)$$

Siendo  $I_{cresta}$  la menor de entre las intensidades máximas admisibles por el condensador ( $100 I_c$ ) y por el aparato de maniobra (valor facilitado por el fabricante), cuya intensidad nominal será:

$$I_n \geq \frac{I_c}{0,7}$$

Por lo general, no suele ser necesario el empleo de inductancias de choque de baterías únicas, salvo cuando  $S_{cc}$  es muy grande y  $Q$  muy pequeña.

#### • Baterías en paralelo o una batería formada por varios escalones (fig. 45).

Nota: para simplicidad de cálculo se ha considerado sólo el caso de baterías o escalones de la misma potencia.

Tras la conexión de un condensador a una red en la que ya hay condensadores conectados se produce una sobreintensidad transitoria de valor:

$$I_e = I_c \sqrt{2} \frac{n}{n+1} \frac{f_e}{f}$$

y de frecuencia:

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

Si  $I_e$  resulta de un valor mayor que  $100 I_c$  o que el máximo admisible por el aparato de maniobra, es necesario equipar la batería con una inductancia de choque, por fase, de valor:

$$L \geq \left( \frac{n}{n+1} \right)^2 \frac{2 \cdot 10^6}{3\omega} \frac{Q}{I_{cresta}^2}$$

Siendo  $I_{máx.}$  el menor de entre los valores máximos admisibles por el condensador ( $100 I_c$ ) y por el aparato de maniobra (valor facilitado por el fabricante), cuya intensidad será:

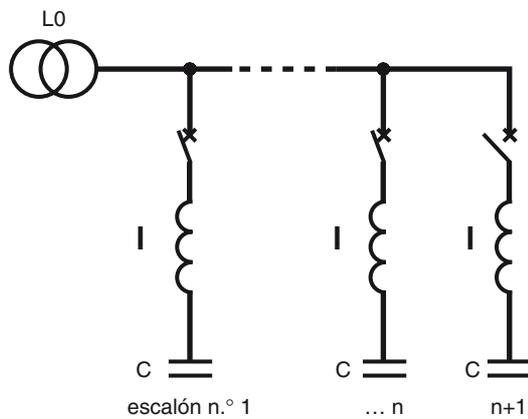
$$I_n \geq \frac{I_c}{0,7}$$

El empleo de inductancias de choque es muy frecuente en instalaciones con varias baterías en paralelo o en baterías compuestas por varios escalones.

# Aparata de maniobra y proteccin de condensadores MT

(continuacin)

## Informacin tcnica



### Definiciones:

- $I_c$ : corriente de cierre, en A.
  - $I_c$ : corriente capacitiva de la batera, en A ( $Q = \sqrt{3} UI_c$ ).
  - $n$ : nmero de escalones o bateras, conectadas cuando se conecta el  $n+1$ .
  - $f_c$ : frecuencia propia de la instalacin, en Hz.
  - $f$ : frecuencia del suministro de la red, en Hz.
  - $L$ : inductancia de la conexin del condensador a la red, en mH (orientativamente: 0,5 mH/m).
  - $C$ : capacidad de la batera, en mF ( $Q = U^2 C \omega$ ).
  - $\mathcal{E}$ : inductancia de choque en mH.
  - $\omega$ : pulsacin (2pf).
  - $Q$ : potencia de la batera, o escaln, en Mvar.
  - $I_{m\acute{a}x.}$ : intensidad mxima admisible, en kA.
  - $S_{cc}$ : potencia de cortocircuito de la red, en MVA ( $S_{cc} = \div 3 UI_{cc}$ ).
- Una vez definida la inductancia de choque (los valores ms utilizados son 50, 100 y 150 mH), hay que estudiar:
- Su instalacin: interior o exterior.
  - La corriente permanente nominal:  $1,3 I_c$ .
  - La tolerancia del valor de la inductancia: 0 % + 20 %.
  - La sobreintensidad trmica momentnea: 30 a 50  $I_n$ .
  - El esfuerzo electrodinmico:  $I_{cc}$  en el punto de conexin.
- Las inductancias empleadas son encapsuladas con ncleo de aire.

### Fenmenos asociados a la desconexin de las bateras de condensadores

La puesta fuera de tensin de un condensador por un aparato de corte se hace precisamente durante el paso por cero de la corriente, lo que coincide con la tensin en el mximo instantneo. Esto implica: por una parte una sobretensin si el aparato no tiene un restablecimiento dielctrico rpido, caso de aparatos en corte en el aire; este fenmeno ha desaparecido con los aparatos en SF6.

Por otra parte, el condensador queda cargado a su tensin mxima. En caso de reconexin rpida se produce un fenmeno transitorio incrementado.

Las normas imponen dispositivos de descarga de los condensadores a fin de que la tensin en bornes no sobrepase los 75 V, 10 minutos despus de su desconexin segn IEC o 50 V en 5 minutos segn RAT.

Puede obtenerse una descarga casi instantnea utilizando inductancias de descarga, sin embargo este sistema tiene un lmite fijado en 10 descargas, espaciadas 6 minutos, por hora por el calentamiento de las inductancias. Esto deber evaluarse cuando la utilizacin de bateras tenga un ritmo de trabajo elevado.

### Aparellaje Merlin Gerin utilizado para mando de los condensadores

Se elegirn interruptores para las bateras conectadas en triángulo (pequeas potencias) de dbil cadencia de maniobra (alrededor de 2 maniobras por da); si el ritmo es mayor se utilizarán contactores.

Para las bateras de ms potencia (conectadas en doble estrella), el interruptor o disyuntor en SF6 es el aparato ms apropiado.

Todo el aparellaje de mando deber estar dimensionado a 1,43 veces la corriente nominal de la batera de condensadores.

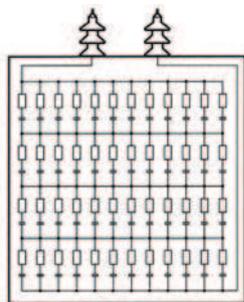
Se debern respetar los valores de corrientes de corte capacitivas (ver tabla adjunta).

Principales caractersticas del aparellaje MT			
Interruptores automticos	Caractersticas de corte	Intensidad nominal	Corriente de corte capacitiva
LF1	Hasta 12 kV - 31,5 kA	630 y 1250 A	440
LF2	50 kA - 7,2 kV 40 kA - 12 kV 31,5 kA - 17,5 kV	De 630 a 1250 A	440
LF3	Hasta 50 kA - 7,2 kV Hasta 50 kA - 12 kV Hasta 34,5 kA - 17,5 kV	De 1250 a 3150 A	400
SF1 (♦)	Hasta 25 kA - 40,5 kV	630 y 1250 A	De 400 a 800 A
SF2	Hasta 40 kA - 36 kV	2500 A	De 400 a 1750 A
<b>Contactores</b>			
Rollarc R400 / R400 D (♦)	10 kA - 7,2 kV	400 A	240 A
<b>Interruptor para condensador</b>			
ISF1	24 kV	200 A	160 A

(♦) Equipos ms utilizados en proteccin y maniobra para compensacin MT.

# Tipo de conexión y protección de condensadores MT

## Información técnica



## Protecciones y esquemas de baterías de condensadores

### Los condensadores

El condensador es un elemento seguro si es utilizado en las condiciones para las cuales ha sido fabricado. En MT, un condensador está constituido por numerosos elementos capacitivos dispuestos en paralelo para obtener la potencia deseada, y en varios grupos en serie para alcanzar la tensión necesaria.

Existen actualmente dos tipos de condensadores: con y sin protección interna:

#### • Condensadores sin protección interna.

El fallo de un condensador es el resultado de la ruptura de un elemento interno. El defecto de un elemento se traduce por la puesta en cortocircuito de un grupo en serie y, por tanto, la elevación de la tensión sobre los otros grupos serie.

No disponiendo de dispositivo de protección en el interior del condensador, el fallo sólo puede ser eliminado por el corte de tensión de la batería o la separación del circuito de los condensadores defectuosos.

Se utiliza este tipo de condensadores en batería triángulo con protección por fusibles HPC o por relé de máxima corriente, porque el defecto interno se manifiesta por una fuerte corriente entre fases.

También se utiliza este tipo de condensadores en baterías doble estrella con una protección de desequilibrio.

#### • Condensadores con fusibles internos.

Cada elemento está protegido por un fusible. En este caso todo elemento en defecto es eliminado y el circuito defectuoso queda aislado.

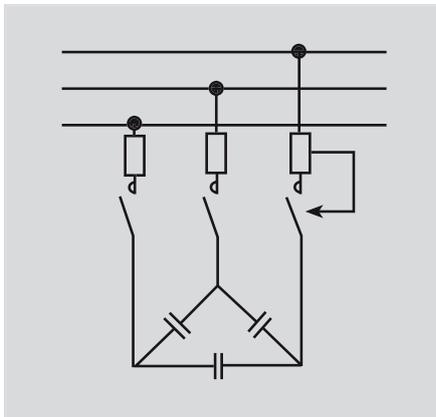
Tras el fallo se produce una débil variación de la capacidad y la tensión se reparte entre los elementos sanos que quedan en serie. Este tipo de condensadores se utiliza sólo en montajes doble estrella. El calibrado del relé de desequilibrio será tal que la pérdida de elementos de un mismo grupo en serie provocaría la desconexión de la batería ya que la sobretensión resultante sobrepasaría los límites determinados por las normas.

La protección por fusibles internos aumenta la fiabilidad de las baterías de condensadores porque la pérdida de un elemento ya no conduce sistemáticamente a la desconexión de la batería.

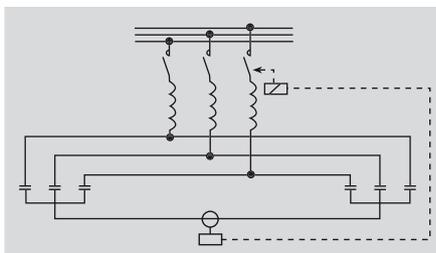
# Tipo de conexión y protección de condensadores MT

(continuación)

## Información técnica



Batería en triángulo.



Batería en doble estrella.

## Esquema de baterías

### • Baterías en triángulo.

Este esquema se utiliza para las tensiones de aislamiento 7,2 kV y 12 kV. La potencia máxima es de 1.000 kVAr (según tensión).

Este tipo de esquema es la solución para la compensación de motores MT.

En el caso de baterías por escalones de media tensión, es la solución a utilizar en 7,2 y 12 kV, aunque el coste puede ser elevado en comparación a la potencia.

### Protección de las baterías en triángulo

Es necesario una protección contra las sobreintensidades, por fusibles APR o por relés de máxima corriente.

#### Importante:

Se elegirán los fusibles APR con un calibre, como mínimo de 1,8 veces la corriente nominal de la batería. En este tipo de esquema no se utilizarán condensadores con fusibles internos porque el poder de corte de los fusibles internos no está previsto para las corrientes de cortocircuito de las redes.

### • Baterías en doble estrella.

Para todas las potencias, la batería está dividida en dos estrellas, permitiendo detectar un desequilibrio entre los dos neutros con un relé apropiado.

Este tipo de batería permite la utilización de condensadores con o sin fusibles internos. Se puede concebir para todo tipo de redes, hasta redes de AT. El principio de montaje es siempre el mismo: para alcanzar los niveles de tensión de 110 kV, 220 kV, se puede colocar en serie un número suficiente de condensadores MT.

Se utilizará este tipo de esquema para grandes potencias a instalar en baterías fijas.

### Protección de las baterías en doble estrella

La protección está asegurada por un relé de desequilibrio detectando una eventual corriente que circule por la unión entre los dos neutros de las estrellas. La corriente de desequilibrio, en general, es inferior a 1 A. El valor de ajuste se da después del cálculo para cada batería. Además de esta protección, hace falta prever las protecciones contra sobrecargas.

# Equipos de compensación MT

## Información técnica



Mando del interruptor automático SF1 instalado en una batería CP254.

## Presentación

### Constitución de las baterías

Hasta 12 kV entre fases y para una potencia reactiva inferior a 450 kVAr, el equipo se limita a un condensador Propivar trifásico. Para potencias superiores es posible acoplar condensadores unitarios trifásicos Propivar en paralelo, hasta un máximo de tres unidades o utilizar una de las soluciones previstas para tensiones superiores.

Hasta 22 kV entre fases, los equipos contienen esencialmente condensadores unitarios monofásicos, ver a continuación.

Merlin Gerin está en disposición de realizar todos los tipos de baterías de condensadores cualquiera que sea:

- La complejidad de la red (cálculo de filtros).
- El valor de la potencia reactiva deseada.
- Las tensiones nominales de aislamiento.

Para simplificar la elección, los equipos de condensadores han sido estandarizados en 2 variantes:

- Sobre chasis abierto IP00.
- En celda IP235, con o sin aparellaje de mando.

Las baterías con su equipamiento son realizadas según 2 modos de conexión de los condensadores: en triángulo o en doble estrella.

El desarrollo cada vez más grande de las celdas se justifica por la mejora de:

- La seguridad del personal de explotación.
- Protección de partes activas.
- Integración de las funciones de maniobra y protección.
- La continuidad de servicio.
- Reducción de los riesgos de falta eléctrica por aislamiento de los puntos eléctricos bajo tensión.
- Supresión de los fallos de origen externo (caídas de ramas, animales...).

La integración del aparellaje de mando de las baterías en las celdas se justifica porque:

- La compensación realizada es individual junto a cada máquina consumidora de energía reactiva.
- Las baterías son independientes y repartidas por toda la instalación.
- Es necesaria una compensación escalonada.

# Equipos de compensación MT

(continuación)

## Información técnica



Detalle de batería en envoltorio IP235, paneles extraíbles.

### Protección de condensadores

Es esencial que los condensadores estén protegidos contra los cortocircuitos y los defectos a tierra.

Se recomienda también una protección de sobrecarga en tensión y corriente.

### Baterías con condensadores en triángulo (o condensadores trifásicos)

La protección de estos condensadores debe asegurarse mediante un dispositivo capaz de actuar muy rápido en caso de defectos internos.

Sólo los fusibles APR limitadores permiten asegurar esta protección. El calibre de estos fusibles tiene que ser como mínimo de 1,8 In. Para la determinación exacta del calibre es necesario conocer las características de la instalación. Sólo con un disyuntor no permite asegurar una protección suficiente.

### Baterías con condensadores monofásicos

Para asegurar la protección contra los defectos internos de los condensadores, se emplea un montaje en doble estrella con detección de desequilibrio. Este sistema se puede utilizar tanto como en condensadores con fusibles internos como con condensadores sin fusibles internos. Los umbrales de regulación de esta protección dependen de las características internas de los equipos y se suministran con cada equipo. Esta protección provoca la apertura del aparato de maniobra/protección en cabecera de la batería. Se debe instalar una protección de sobrecarga y cortocircuito, para la protección de la batería.

### Protecciones contra sobreintensidades y sobretensiones transitorias

Las baterías de condensadores MT necesitan protecciones contra:

- Los riesgos de sobretensiones debidas a las reconexiones rápidas antes de la descarga de los condensadores.
- Las sobreintensidades en la conexión, sobreintensidades a menudo presentes durante la conexión de los escalones de una batería.

# Equipos de compensación MT

(continuación)

## Información técnica



Detalle de las inductancias monofásicas limitadoras de la corriente de conexión.

### Soluciones

La instalación de dos inductancias de descarga entre fases permite reducir a menos de 10 s el tiempo de descarga de los condensadores. En la explotación de un conjunto equipado con inductancias de descarga debe respetarse el tiempo de enfriamiento de las inductancias, las maniobras deben estar espaciadas 6 minutos como mínimo (entre dos maniobras de descarga consecutivas). Las inductancias de choque colocadas en serie sobre las conexiones de cada escalón limitan las sobreintensidades de conexión.

### Equipos en bastidor abierto

Suelen ser baterías de tipo fijo.

Sistemáticamente utilizadas para tensiones superiores a 30 kV, esta variante permite realizar equipos de gran potencia para todos los niveles de tensión.

Para interior, o exterior, el chasis es de aluminio no pintado.

### Equipos en envoltorio de aluminio IP23

- Baterías tipo fijo.

Estos equipos están concebidos para interior o exterior con:

- Un chasis de aluminio no pintado.
- Paneles de aluminio no pintados.

Las celdas están fabricadas con un fondo con pasacables:

- Para 1 a 6 condensadores: 1 pasacables de diámetro 100 mm.
- Para más de 6 condensadores: 3 pasacables de diámetro 100 mm.
- Baterías tipo "escalón".

Estos equipos son de la misma estructura que las baterías tipo fijo: tienen aparellaje de mando y protección: Rollarc (SF6), contactor Rollarc 400 con fusibles MT Merlin Gerin con un poder de corte de 50 kA/7,2 kV o 40 kA/12 kV.

SF1 Interruptor automático tripolar MT para interior, corte en SF6, tiene una corriente capacitiva asignada de 280 a 875 A.

## Equipos y modo de conexión

Son realizables varios montajes:

- Conexión en triángulo:
- Condensadores trifásicos (sin fusibles internos) cableados en paralelo.
- Conexión en doble estrella:
- De 6 condensadores monofásicos, como mínimo, a 48 condensadores monofásicos (con o sin fusibles internos).

Su elección depende:

- De las características, tensión de red y potencia de la batería.
- Del tipo de compensación fija o regulada (escalones).
- Del tipo de protección.
- Condensadores con o sin fusibles internos.
- Protección diferencial (de desequilibrio) o con fusibles MT.
- De imperativos económicos.

# Baterías fijas para compensación motor CP214

## Conexión en triángulo

### Información técnica



#### Batería fija de condensadores CP214

Las baterías para la compensación de energía reactiva en motores está fabricada en chasis y paneles de acero pintado (versión para interior), que incluye:

- 1 o 2 condensadores trifásicos Propivar cableados internamente en triángulo.
- 3 inductancias de choque (tipo seco/núcleo al aire), límite  $100 \times I_n$  según IEC 60871-1.
- 3 fusibles APR + base portafusibles.

La versión para exterior está fabricada en chasis y envoltorio de aluminio no pintado.

#### Características:

- Potencia/nivel de aislamiento máximo: 900 kVAr/12 kV.
- Frecuencia de utilización: 50 Hz.
- Ubicación: interior.
- Grado de protección (IEC 529 y 78): IP23.
- La batería CP214 ha sido diseñada para unas condiciones normales de operación definidas en la norma IEC 694:
  - Rango de temperatura ambiente entre  $-25\text{ °C}$  y  $+35\text{ °C}$ , con un máximo de temperatura de  $+45\text{ °C}$  (puntuales según norma).
  - Altitud igual o menor a 1.000 m.

#### Normas:

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Fusibles MT: IEC 282-1/IEC 787.

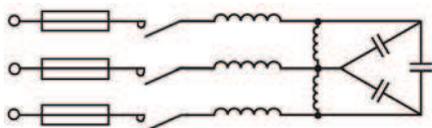
#### Baterías con condensadores en triángulo (o condensadores trifásicos)

La protección de estos condensadores debe asegurarse mediante un dispositivo capaz de actuar muy rápido en caso de defectos internos.

Sólo los fusibles APR limitadores permiten asegurar esta protección. El calibre de estos fusibles tiene que ser como mínimo de  $1,8 \times I_n$ . Para la determinación exacta del calibre es necesario conocer las características de la instalación. Sólo con un disyuntor no permite asegurar una protección suficiente.

#### Otras opciones disponibles:

- Ubicación exterior.
- Reactancias de descarga rápida.
- Seccionador de entrada en vacío.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Aisladores capacitivos/detección presencia de tensión.
- Puerta de acceso con cerradura.
- Disponible opción antiarmónica SAH, sintonización 215 Hz, se fabrica tanto para exterior como interior, en envoltorio de aluminio no pintado.



CP214

Potencias (kVAr)	Tensión asignada (kV)										
	2,4	3	3,3	4,16	5,5	6	6,3	6,6	10	11	12
50 a 100											
100 a 200											
200 a 300											
300 a 350											
350 a 400											
400 a 450											
450 a 500											
500 a 550											
550 a 600											
600 a 650											
650 a 700											
700 a 750											
750 a 800											
800 a 850											
850 a 900											

Para otras tensiones y potencias, consultar.

**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Baterías fijas para compensación CP227S

## Conexión en doble estrella

### Información técnica



Las baterías para la compensación de energía reactiva modelo CP227S están fabricadas en chasis y paneles de aluminio no pintado que incluyen:

- De 6 a 18 condensadores monofásicos Propivar en conexión doble estrella, con/sin fusibles internos dependiendo de la potencia de los condensadores.
- 3 inductancias de choque (tipo seco/núcleo al aire), límite  $100I_n$  según IEC 60871-1.
- Transformador de intensidad de desequilibrio.

#### Características:

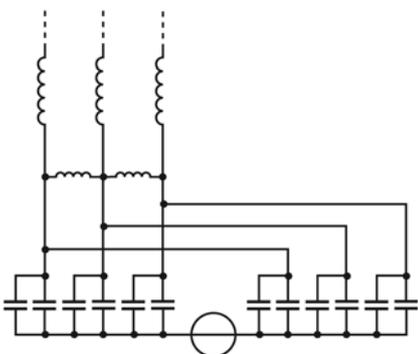
- Potencia/nivel aislamiento máximo: 10.800 kVAr/36 kV.
- Frecuencia de utilización: 50 Hz.
- Ubicación: interior/exterior (los equipos de exterior incluyen resistencias anticondensación).
- Grado de protección (IEC 529 y 78): IP23.
- La batería CP227S ha sido diseñada para unas condiciones normales de operación definidas en la norma IEC 694:
  - Rango de temperatura ambiente entre  $-25\text{ °C}$  y  $+35\text{ °C}$ , con un máximo de temperatura de  $+45\text{ °C}$  (puntuales según norma).
  - Altitud igual o menor a 1.000 m.

#### Normas:

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Transformador de intensidad: IEC 185.

#### Otras opciones disponibles:

- Relés de protección de desequilibrio (suministrados por separado).
- Seccionador de puesta a tierra.
- Puerta de acceso con cerradura.
- Disponible opción antiarmónica SAH, sintonización 215 Hz, se fabrica tanto para exterior como interior, en envoltorio de aluminio no pintado.



CP227

Potencias (kVAr)	Tensión de aislamiento (kV)				
	hasta 7,2 kV	hasta 12 kV	hasta 17,5 kV	hasta 24 kV	hasta 36 kV
300 a 600					
600 a 1.000					
1.000 a 2.000					
2.000 a 3.000					
3.000 a 4.000					
4.000 a 5.000					
5.000 a 7.200					
7.200 a 10.800					

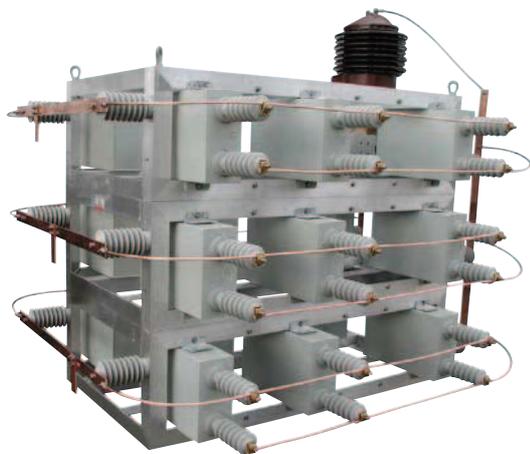
Para otras tensiones y potencias, consultar.

**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Baterías fijas IP00 para compensación

## Conexión en doble estrella

### Información técnica



Los equipos CP229 y CP230 para la compensación fija están formados por condensadores monofásicos en conexión doble estrella sobre bastidores tipo rack con grado de protección IP00. Estas baterías fijas se colocan principalmente en el exterior, ya sea en subestaciones o centros de transformación, sobre perfiles metálicos para su elevación. Las baterías de pequeña potencia (6 condensadores) pueden fabricarse en chasis IP00 directamente en un bastidor sobre suelo.

#### Los componentes que se incluyen son:

- Condensadores monofásicos con o sin fusibles internos (según potencia y tensión).
- Transformador de corriente de desequilibrio para la protección del equipo.
- Chasis abierto de aluminio no pintado, IP00.

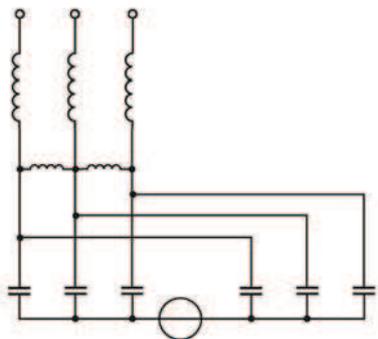
Opcionalmente, se pueden suministrar por separado inductancias de limitación de corriente o de choque para ubicación en exterior (recomendadas por Schneider Electric), inductancias antiarmónicas de exterior y relés de protección de corriente de desequilibrio.

#### Características:

- Potencias: a partir de 300 kVAr sin límite Q
- Tensión de aislamiento máximo: 7, 9, 12, 24, 36, 41...
- Equipos con posibilidad de ampliación según petición (cálculo de los perfiles soporte).

#### Normas:

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Transformador de intensidad: IEC 185.



**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Baterías automáticas para compensación CP253

## Información técnica



### CP253 - conexión en triángulo

Las baterías para la compensación de energía reactiva modelo CP253 están fabricadas en chasis y paneles de aluminio no pintado que incluyen:

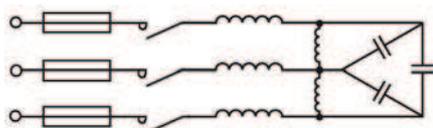
- 1, 2 o 3 condensadores trifásicos Propivar en conexión triángulo.
- Contactor Rollarc (corte en SF6), con protección mediante fusibles APR.
- 3 inductancias de choque (tipo seco/núcleo al aire), límite 100In según IEC 60871-1.
- 3 fusibles APR + base portafusibles.

### Características:

- Potencia/nivel de aislamiento máximo: 900 kVAr/12 kV.
- Frecuencia de utilización: 50 Hz.
- Ubicación: interior/exterior (los equipos de exterior incluyen resistencias anticondensación).
- Grado de protección (IEC 529 y 78): IP23.
- La batería CP253 ha sido diseñada para unas condiciones normales de operación definidas en la norma IEC 694:
  - Rango de temperatura ambiente entre -25 °C y +35 °C, con un máximo de temperatura de +45 °C (puntuales según norma).
  - Altitud igual o menor a 1.000 m.

### Otras opciones disponibles:

- Reactancias de descarga rápida.
- Regulador de energía reactiva Varlogic.
- Aisladores capacitivos/detección presencia de tensión.
- Puerta de acceso con cerradura.
- Disponible opción antiarmónica SAH, sintonización 215 Hz, se fabrica tanto para exterior como interior, en envoltorio de aluminio no pintado.



CP253 en triángulo.

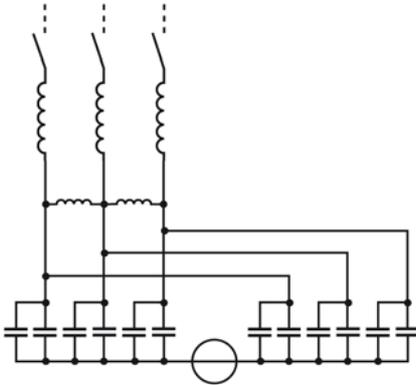
Potencias (kVAr)	Tensión asignada (kV)											
	2,4	3	3,3	4,16	5,5	6	6,3	6,6	10	11	12	
50 a 100												
100 a 150												
150 a 300												
300 a 600												
600 a 750												
750 a 900												

**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Baterías automáticas para compensación CP253

(continuación)

## Información técnica



CP253 doble estrella.

### CP253 - conexión en doble estrella

Las baterías CP253 en conexión doble estrella se diferencian de la anterior en el número de condensadores y tipo, ya que se fabrican con condensadores monofásicos y además se añade un transformador de desequilibrio para protección.

#### Características:

- Potencia/nivel de aislamiento máximo: 2.000 kVAr/12 kV.
- Frecuencia de utilización: 50 Hz.
- Ubicación: interior/exterior (los equipos de exterior incluyen resistencias anticondensación).
- Grado de protección (IEC 529 y 78): IP23.
- La batería CP253 ha sido diseñada para unas condiciones normales de operación definidas en la norma IEC 694:
- Rango de temperatura ambiente entre  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un máximo de temperatura de  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (puntuales según norma).
- Altitud igual o menor a 1.000 m.

#### Normas:

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Contactor: IEC 420 y 470.
- Para equipos en triángulo: fusibles MT (IEC 282-1/IEC 787).
- Para equipos en doble estrella: transformador de intensidad (IEC 185).

#### Otras opciones disponibles:

- Reactancias de descarga rápida.
- Regulador de energía reactiva Varlogic.
- Aisladores capacitivos/detección presencia de tensión.
- Puerta de acceso con cerradura.
- Disponible opción antiarmónica SAH, sintonización 215 Hz, se fabrica tanto para exterior como interior, en envoltorio de aluminio no pintado.
- Para equipos en doble estrella: relés de protección de desequilibrio (suministrados por separado).

Potencias (kVAr)	Tensión asignada (kV)										
	2,4	3	3,3	4,16	5,5	6	6,3	6,6	10	11	12
900 a 1.600											
1.600 a 2.100											
2.100 a 2.500											
2.500 a 2.750											
2.750 a 3.000											
3.000 a 3.150											
3.150 a 3.450											
3.450 a 3.800											
3.800 a 4.500											

**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Baterías automáticas para compensación CP254

## Conexión en doble estrella

### Información técnica



Las baterías para la compensación de energía reactiva modelo CP254 están fabricadas en chasis y paneles de aluminio no pintado que incluyen:

- 6 o 12 condensadores monofásicos Propivar en conexión doble estrella, con/sin fusibles internos dependiendo de la potencia de los condensadores.
- Interruptor automático tripolar SF1, corte en SF6.
- 3 inductancias de choque (tipo seco/núcleo al aire), límite  $100I_n$  según IEC 60871-1.
- Transformador de intensidad de desequilibrio.

#### Características:

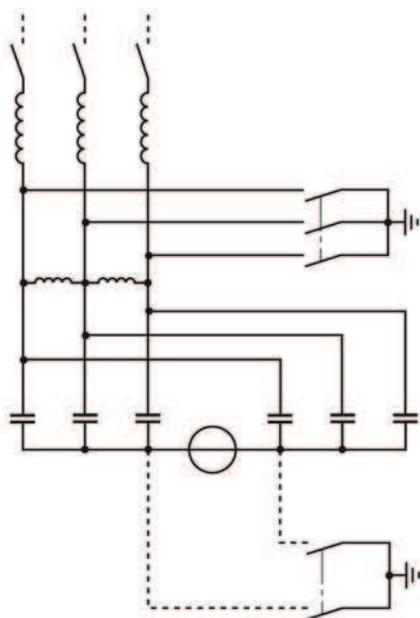
- Potencia/nivel de aislamiento máximo: 10.800 kVar/36 kV.
- Frecuencia de utilización: 50 Hz.
- Ubicación: interior/exterior (los equipos de exterior incluyen resistencias anticondensación).
- Grado de protección (IEC 529 y 78): IP23.
- La batería CP254 ha sido diseñada para unas condiciones normales de operación definidas en la norma IEC 694:
  - Rango de temperatura ambiente entre  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un máximo de temperatura de  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (puntuales según norma).
  - Altitud igual o menor a 1.000 m.

#### Normas:

- Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.
- Reactancias: IEC 289.
- Interruptor automático: IEC 56.
- Transformador de intensidad: IEC 185.

#### Otras opciones disponibles:

- Relés de protección de desequilibrio (suministrados por separado).
- Regulador de energía reactiva Varlogic.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Protecciones contra sobrecargas/cortocircuitos (transformadores, relés o ambos).
- Puerta de acceso con cerradura.
- Disponible opción antiarmónica SAH, sintonización 215 Hz, se fabrica tanto para exterior como interior en envoltorio de aluminio no pintado.



CP254

Potencias (kVar)	Tensión de aislamiento (kV)				
	hasta 7,2 kV	hasta 12 kV	hasta 17,5 kV	hasta 24 kV	hasta 36 kV
300 a 600					
600 a 1.000					
1.000 a 2.000					
2.000 a 3.000					
3.000 a 4.000					
4.000 a 5.000					
5.000 a 7.200					
7.200 a 10.800					

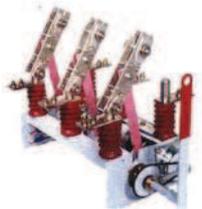
**Nota:** Los esquemas son orientativos. En ningún caso corresponden a un equipo estándar.

# Accesorios que pueden incorporar las baterías de condensadores MT

## Información técnica



Inductancias de choque.



Seccionador de entrada en vacío.



Relé SEPAM.

## Accesorios

Además de los condensadores de Media Tensión, las baterías de condensadores fijas o automáticas con contactor Rollarc o Disyuntor SF1, las baterías de condensadores MT pueden albergar:

- Inductancias de choque o de limitación de corriente:
  - 3 inductancias monofásicas secas de núcleo al aire.
  - Limitación a 100In (según norma UNE-EN 60871-1 "Sobretensiones de maniobra").
  - Limitación a valores inferiores según demanda y tras estudio técnico.
- Inductancias antiarmónicas (equipos clase SAH):
  - 3 inductancias monofásicas o 1 inductancia trifásica en aceite según potencias y tensiones.
  - Sintonización de las inductancias a 215 Hz (rango 4,3).
  - Reducen la THD armónica de la instalación y limitan la I conexión por debajo de 100In.
- Seccionador de puesta a tierra:
  - Opcional s.p.a.t. tripolar con enclavamientos.
  - Mando manual.
  - Opcional en todos los equipos.
- Seccionador de entrada en vacío:
  - Opcional seccionador de entrada en vacío tripolar con enclavamientos.
  - Mando manual.
  - Para baterías FIJAS de condensadores CP214FS y CP227S.
- Relés de desequilibrio:
  - Opcional en equipos de conexión en doble estrella.
  - Relés RM4 de Telemecanique (máx. I).
  - Suministrados por separado en CP227S e incluidos en celda BT para CP253 y CP254.
- Transformadores de protección contra sobrecargas y cortocircuitos:
  - Transformadores de corriente y tensión según tensiones de servicio/aislamiento.
  - 2 transformadores de tensión y 2 o 3 de intensidad según necesidades.
  - Incluidos dentro de la misma envolvente de la batería de condensadores.
- Relés de protección:
  - Posibilidad de conexionado con Sepam o simplemente bornes de salida.
  - Sepam suministrado por separado en armario auxiliar.
- Transformadores de potencia de descarga rápida:
  - Dos transformadores por celda para su conexión entre fases.
  - Descarga en tiempo inferior a 10 segundos. Tiempo de refrigeración de 6 minutos.

# Condensadores de sobretensión CP201

## 1-2 bornas

### Información técnica



Los condensadores Propivar de sobretensión están diseñados para la protección de aquellos equipos sensibles a las sobretensiones transitorias que se producen en las redes eléctricas, como por ejemplo, maniobras de apartamiento, perturbaciones atmosféricas y faltas.

Esta protección se utiliza para proteger líneas aéreas, motores, generadores, transformadores de potencia y baterías de condensadores de Media y Alta Tensión. Se colocan como mínimo 3 condensadores (1 por fase) lo más cerca posible al equipo que se desea proteger, entre fases y tierra.

Las puntas de las ondas transitorias por sobretensión son la razón de muchos defectos producidos en los rotores de los equipos, principalmente motores y generadores.

Los condensadores de sobretensión introducen una capacidad en la red que modifica la punta de la sobretensión transitoria, reduciendo estos picos de tensión (dv/dt).

En consecuencia, convierten la onda en admisible para las máquinas más sensibles. En cualquier caso, se recomienda combinar esta protección junto a otras detecciones de sobretensiones.

Los condensadores de sobretensión están fabricados con la misma tecnología que los condensadores de potencia Propivar, utilizados en la compensación de energía reactiva, en cuba de acero inoxidable pintada, con tratamiento anticorrosión y sin PCB's, de acuerdo a las Normativas Medioambientales vigentes.

#### Características:

- Frecuencia de utilización: 50/60 Hz.
- Número de bornas: 1 o 2, de resina epoxy.
- Dieléctrico líquido biodegradable no clorado (Jarylec C101).
- Películas de polipropileno (condensadores SIN PCB's).
- Ubicación: interior/exterior.
- Factor de pérdidas: 0,12 W/kVAR.
- Tolerancia sobre la capacidad: entre -5% y +15% la capacidad nominal.
- Tensiones/niveles de aislamiento: ver tablas.
- Rango de temperatura ambiente entre -25 °C y +35 °C (clase D).
- Resistencia interna de descarga: 75 V/10 min, según norma IEC 60871 (50 V/5 min bajo demanda).

#### Comportamiento a sobretensiones y sobreintensidades

Según la norma IEC 60871, los condensadores deben admitir:

- Sobretensión de 1,10 Un, durante 12 horas por día.
- Sobretensión a frecuencia industrial de 1,15 Un, 30 minutos por día.
- Sobreintensidad permanente de 1,3 In.

#### Normas

Condensadores MT: IEC 60871-1-2-4.

Potencias (kVAR)	Tensión de aislamiento (kV)		
	hasta 17,5 kV	hasta 24 kV	hasta 36 kV
0,10 µF			
0,15 µF			
0,20 µF			
0,25 µF			
0,30 µF			
0,50 µF			
0,75 µF			
1,00 µF			

Para otras tensiones y potencias, consultar.

# Filtro pasivo de bloqueo

## Circuito tampón sintonizado

### Información técnica



La instalación de grupos de producción de energía autónomos puede generar perturbaciones en las señales de telemando y telecontrol. Para que esto no ocurra, se recomienda utilizar filtros pasivos de bloqueo.

Dentro de la gama de soluciones, Merlin Gerin dispone de circuitos tampón que permiten evitar las perturbaciones de las señales de telemando emitidas a las líneas de distribución, y que se instalan dentro de la línea de producción autónoma o cogeneración.

Para definir el filtro de bloqueo es necesario conocer las condiciones impuestas por la compañía de distribución y para cada caso, estudiarlo en función de las siguientes características:

- Línea de alimentación de MT.
- Características eléctricas del transformador de AT/MT.
- Frecuencias características de las líneas y valores permisibles de atenuación.
- Cargas en los embarrados de MT.
- Características de los grupos generadores.

Un circuito pasivo de bloqueo está formado por un condensador monofásico y una inductancia sintonizada por fase, cuyos valores son calculados para permitir el bloqueo de una frecuencia determinada. En el caso de tener más de una frecuencia que bloquear, se colocan series de filtros monofrecuencia.

Estos equipos pueden ser instalados en interior o exterior y con dos diferentes montajes, superpuestos (como la imagen) o montaje yuxtapuesto (suministrados por separado).

Los condensadores utilizados son Propivar monofásicos en cuba de acero inoxidable con tratamiento anticorrosión, libres de PCB's de acuerdo a las Normativas Medioambientales. La inductancia es seca, con núcleo al aire y con pintura anticorrosión.

