

# Compensación de Energía Reactiva

Beneficios

Eficiencia  
energética

Calidad y  
protección

Ahorro  
económico



**Madrid, España**  
**RTR Energía, S.L.**

c/ Gavilanes, 11 Bis | Pol. Ind. Pinto - Estación | 28320 Pinto (Madrid)  
Tel.: 34 916 916 612 | Fax: 34 916 912 257  
E-mail: [info@rtr.es](mailto:info@rtr.es)  
[www.rtr.es](http://www.rtr.es)



**Madrid, España**  
**RTR Energía, S.L.**

c/ Albatros, 30 | Pol. Ind. Pinto - Estación | 28320 Pinto (Madrid)  
Tel.: 34 916 916 612 | Fax: 34 916 912 257  
E-mail: [info@rtr.es](mailto:info@rtr.es)  
[www.rtr.es](http://www.rtr.es)



**Chile**  
**RTR DNA Chile S.A.**

La Estera nº 668 | Panamericana Norte, Km 17  
Loteo Valle Grande - Lampa, Chile  
Tel.: 56 2 328 44 00 | Fax: 56 2 738 69 11  
E-mail: [dnachile@rtr.cl](mailto:dnachile@rtr.cl)  
[www.rtr.cl](http://www.rtr.cl)



**China**  
**RTR (Beijing) Electric CO., LTD.**  
**Oficina Comercial**

Room 1007, Building 2 | Cameo Center, No. 16 GuangShunNan Av.  
Chaoyang District, Beijing 100120, P.R.C.  
Tel.: 010-84763795 84763895 | Fax: 010-84763995  
[www.rtr-energia.cn](http://www.rtr-energia.cn)

**A**

**Potencia eléctrica**

**B**

**Problemas ocasionados por la energía reactiva**

**C**

**Beneficios de compensar la energía reactiva**

**D**

**Ahorro económico por la compensación de energía reactiva**

**E**

**Cálculo de la energía capacitiva necesaria para la compensación**

**F**

**Configuraciones para compensar la energía reactiva**

**G**

**Compensación de motores y transformadores**

**H**

**Calidad, instalación y protección**

**I**

**Caso práctico, local comercial**

**J**

**Conclusiones**

# Potencia Eléctrica

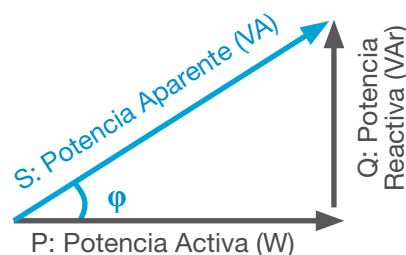
En líneas generales la potencia eléctrica se define como “la capacidad que tiene un equipo eléctrico para realizar un trabajo o la cantidad de trabajo que realiza por unidad de tiempo”.

Su unidad de medida es el vatio (W) y sus múltiplos más empleados son el kilovatio (kW) y el megavatio (MW), mientras el submúltiplo corresponde al milivatio (mW).

Sin embargo, en los equipos que funcionan con corriente alterna cuyo funcionamiento se basa en el electromagnetismo, generando sus propios campos magnéticos (transformadores, motores, etc.) coexisten tres tipos diferentes de potencia:

- Potencia Activa (P)
- Potencia Reactiva (Q)
- Potencia Aparente (S)

Estos tres tipos de potencias se pueden relacionar mediante un triángulo de potencias. El ángulo “ $\varphi$ ” formado entre la potencia aparente y la potencia activa define el desfase entre la tensión (U) y la intensidad (I) y su coseno es equivalente al factor de potencia (FP) en redes sin distorsión armónica.



$$P = S \cdot \cos(\varphi)$$

donde S es:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ en trifásica}$$

$$S = U \cdot I \text{ en monofásica}$$

$$Q = S \cdot \sin(\varphi)$$

donde S es:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ en trifásica}$$

$$S = U \cdot I \text{ en monofásica}$$

## FACTOR DE POTENCIA (FP)

El factor de potencia (FP) es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) y está determinado por el tipo de cargas conectadas a la instalación, siendo las cargas resistivas las que tienen un factor de potencia próximo a la unidad. Al introducir cargas inductivas y reactivas, el factor de potencia varía retrasando o adelantando la fase de la intensidad respecto a la de la tensión.

Ese desfase es el que mide el factor de potencia.

Factores de potencia más comunes en la industria	
Motor asíncrono al 50% de carga	0,73
Motor asíncrono al 100% de carga	0,85
Centros estáticos monofásicos de soldadura por arco	0,5
Grupos rotativos de soldadura	0,7-0,9
Rectificadores de soldadura por arco	0,7-0,9

Factores de potencia en pequeñas instalaciones eléctricas	
Lámparas de fluorescencia	0,5
Lámparas de descarga	0,4-0,6
Hornos de calefacción dieléctrica	0,85
Hornos de arco	0,8
Hornos de inducción	0,85

# Potencia Eléctrica

## POTENCIA ACTIVA (P)

La potencia activa representa en realidad la potencia útil medida en wattios (W), es decir, la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Por ejemplo, la energía que entrega el eje de un motor cuando pone en movimiento un mecanismo o maquinaria, la del calor que proporciona la resistencia de un calentador eléctrico, la luz que proporciona una lámpara, etc.

Por otra parte, la potencia activa es realmente la potencia contratada en la empresa eléctrica y que llega al domicilio, la industria, la oficina o cualquier otro lugar donde se necesite a través de la red eléctrica de distribución. La potencia consumida por todos los aparatos eléctricos utilizados normalmente se registra en contadores o medidores de electricidad, que instala la empresa suministradora para medir el total de la energía eléctrica consumida en el periodo de tiempo determinado en el contrato.

## POTENCIA REACTIVA (Q)

La potencia reactiva es la consumida por los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina para crear un campo electromagnético. Esas bobinas, que forman parte del circuito eléctrico, constituyen cargas para el sistema eléctrico que consumen tanto potencia activa como potencia reactiva y la eficiencia de su trabajo depende el factor de potencia. Mientras más bajo sea el factor de potencia (más alejado de la unidad) mayor será la potencia reactiva consumida. Además, esta potencia reactiva no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica, por lo que su consumo está penalizado por la compañía suministradora en la tarifa eléctrica. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR y su múltiplo es el kVAR (kilovoltio-amperio-reactivo).

## POTENCIA APARENTE (S)

La potencia aparente o potencia total es la suma, según el teorema de Pitágoras, de la potencia activa y la aparente. Estas dos potencias representan la potencia total que se toma de la red de distribución eléctrica, que es igual a toda la potencia que entregan los generadores en las plantas eléctricas. Estas potencias se transmiten a través de las líneas o cables de distribución para hacerla llegar hasta los consumidores, es decir, hasta los hogares, fábricas, industrias, etc. Su unidad de medida es el VA.





# Problemas ocasionados por la Energía Reactiva

## INCREMENTO DE LAS PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES

- Calentamiento de conductores, acelerando el deterioro de los aislamientos reduciendo la vida útil de los mismos y pudiendo ocasionar cortocircuitos.
- Disminución de la capacidad de la REE, al tener que generar una electricidad extra que compense las pérdidas.
- Calentamiento en los bobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo de las protecciones sin una causa aparente.

Pérdidas por efecto Joule

$$P_{\text{pérdidas}} = I^2 \cdot R$$

donde:

$I$ : intensidad de corriente que atraviesa el conductor en Amperios (A)

$R$ : resistencia ohmica del conductor en Ohmios ( $\Omega$ )

## SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES Y GENERADORES

El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia origina que generadores y transformadores trabajen con cierto grado de sobrecarga, reduciendo así su vida útil al sobrepasar sus valores de diseño.

## AUMENTO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN

La circulación de corriente a través de un conductor eléctrico produce una caída de tensión definida por la Ley de Ohm.

El aumento de la intensidad de corriente debido al bajo factor de potencia producirá una mayor caída de tensión, resultando un insuficiente suministro de potencia a las cargas en el consumo, reduciendo las cargas su potencia de salida.



# Beneficios de compensar la Energía Reactiva

## DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE

Si se sustituye la expresión de la intensidad de corriente en función de la potencia activa en la fórmula de las pérdidas por efecto Joule, se obtiene:

$$\frac{Pérdidas_i}{Pérdidas_f} = \left( \frac{\cos\phi_i}{\cos\phi_f} \right)^2$$

donde:

$Pérdidas_i$ : las pérdidas iniciales

$Pérdidas_f$ : las pérdidas finales

$\cos\phi_i$ : el factor de potencia inicial

$\cos\phi_f$ : el factor de potencia final

Disminución de pérdidas por efecto Joule

$\cos\phi_{inicial}$	$\cos\phi_{final}$			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	65,40%	69,14%	72,30%	75,00%
0,55	58,13%	62,65%	66,48%	69,75%
0,60	50,17%	55,56%	60,11%	64,00%
0,65	41,52%	47,84%	53,19%	57,75%
0,70	32,18%	39,51%	45,71%	51,00%
0,75	22,15%	30,56%	37,67%	43,75%
0,80	11,42%	20,99%	29,09%	36,00%
0,85	-	10,80%	19,94%	27,75%
0,90	-	-	10,25%	19,00%
0,95	-	-	-	9,75%

## REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Si se tiene en cuenta que las pérdidas diarias aproximadas en la distribución eléctrica son 8850 kWh y que las emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción eléctrica son unos 400 g/kWh, esto supone el lanzamiento a la atmósfera 3,5 toneladas de CO<sub>2</sub> diarias a nivel nacional. Estas emisiones representan el 1,25% de las emisiones anuales por generación de energía eléctrica.

La compensación de Energía Reactiva evitaría, por término medio, la emisión a la atmósfera de 1,36 toneladas de dióxido de carbono diarias, prácticamente 500 toneladas al año.



# Beneficios de compensar la Energía Reactiva



## DISMINUCIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

En el proceso de transporte de la energía eléctrica se produce una caída de tensión, ya que la corriente debe vencer la impedancia eléctrica propia del conductor ( $Z$ ).

La caída de tensión se determina mediante la ley de Ohm y es igual al producto de la intensidad de corriente por la resistencia, luego al sustituir la intensidad demandada por la potencia conectada al suministro se obtiene:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{activa}} \cdot Z}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{cte}{\cos\varphi} \rightarrow \frac{\Delta U_i}{\Delta U_f} = \frac{\cos\varphi_i}{\cos\varphi_f}$$

siendo:

$\Delta U$  la caída de tensión en la línea

$U$ , la tensión de distribución

$Z$ , la impedancia del conductor

### Disminución de la caída de tensión en las líneas

COS $\varphi$ <sub>inicial</sub>	COS $\varphi$ <sub>final</sub>			
	0,85	0,90	0,95	1,00
0,50	41,18%	44,44%	47,37%	50,00%
0,55	35,29%	38,89%	42,11%	45,00%
0,60	29,41%	33,33%	36,84%	40,00%
0,65	23,53%	27,78%	31,58%	35,00%
0,70	17,65%	22,22%	26,32%	30,00%
0,75	11,76%	16,67%	21,05%	25,00%
0,80	5,88%	11,11%	15,79%	20,00%
0,85	-	5,56%	10,53%	15,00%
0,90	-	-	5,26%	10,00%
0,95	-	-	-	5,00%

## AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE LA RED ELÉCTRICA

Considerando todo lo que se produce como extra para contrarrestar las pérdidas, si se compensara el factor de potencia, parte de ese extra podría utilizarse para suministrar electricidad en el consumo. Consultando el histórico de consumos y pérdidas, se observa como la capacidad de la Red Eléctrica Española aumentaría 0,5%, que sería suficiente para abastecer a Ceuta y Melilla durante algo más de dos años.



# Ahorro económico por la compensación de la Energía Reactiva

La compensación de reactiva no sólo reporta ventajas técnicas, sino también económicas. Desde enero de 2010 las empresas con un contrato superior a 15 kW, lo cual incluye prácticamente a cualquier negocio, desde una pequeña tienda a una gran industria, pueden estar sufriendo importantes incrementos en el importe de su factura eléctrica.

Esto se debe a un cambio legislativo, publicado el 31 de diciembre de 2009 en el BOE, que busca impulsar la eficiencia energética a través de un uso más responsable de la energía en las empresas.



Precios de la Energía Reactiva			
cosφ	€/kVAh 2009	€/kVAh 2010	Incremento 2009-2010
cosφ ≥ 0,95	0	0	-
0,9 ≤ cosφ < 0,95	0,000013	0,041554	319,546%
0,85 ≤ cosφ < 0,9	0,017018	0,041554	144,18 %
0,8 ≤ cosφ < 0,85	0,034037	0,041554	22,08 %
cosφ < 0,8	0,051056	0,062332	22,08 %

Con las nuevas tarifas, cualquier instalación que disponga de equipamientos tan básicos como máquinas de hornos o lámparas fluorescentes (ver cuadros de la sección A), es susceptible de estar sufriendo importantes recargos en concepto de energía reactiva. Esta modificación ha provocado que usuarios que hasta ahora no pagaban por el consumo de energía reactiva, pasen a ver como este concepto se dispara en su factura de energía eléctrica a partir de enero 2010.

Como es lógico, esta nueva legislación afecta especialmente a las industrias en las que se utilizan tanto transformadores, motores y en general distintos receptores industriales que necesiten crear campos magnéticos para su funcionamiento.

La compensación de la Energía Reactiva se realiza mediante la instalación en la red eléctrica de baterías de condensadores eléctricos, los cuales generan cargas capacitivas que contrarrestan las pérdidas reactivas de la instalación.



# Cálculo de la energía capacitiva necesaria para la compensación

La manera de determinar el factor de potencia que se desea corregir tiene tres partes fundamentales que se desarrollan el diagrama de bloques de la derecha:

1. Cálculo de la potencia reactiva de la instalación.
2. Cálculo de la potencia capacitiva necesaria para la compensación.
3. Determinación de la variabilidad del factor de potencia (*FP*) de la instalación.

## CÁLCULO DE LA ENERGÍA REACTIVA

Calcular la potencia reactiva de una instalación es calcular su factor de potencia (*FP*), para ello es necesario hacer un estudio de la instalación mediante, entre otras:

- Un analizador de la red eléctrica.
- Un estudio de los recibos del consumo de energía, como muestra el diagrama de bloques.

## CÁLCULO DE LA POTENCIA CAPACITIVA

Una vez determinado el *FP* de la instalación, es necesario decidir el factor de potencia deseado para eliminar la Energía Reactiva ( $FP_{deseado}$ ) que será un valor lo más próximo a la unidad.

El valor definido por la diferencia de tangentes se denomina “**factor *k***” y sus valores más habituales se resumen en la tabla de la página siguiente.

Una vez definidos y calculados los valores *k* y *F* se puede calcular la potencia capacitiva necesaria ( $P_{kVAr}$ ) medida en kVAr para la compensación del factor de potencia. **RTR Energía S.L.** recomienda incrementar este valor ( $P_{kVAr}$ ) entre un 15-20% para prever posibles ampliaciones.

$$P = \Sigma \text{ Energías activas (kWh)}$$
$$Q = \Sigma \text{ Energías reactivas (kVArh)}$$

$$FP = \cos(\varphi) = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Decidir el

$$FP_{deseado} = \cos(\varphi_{deseado})$$

$$k = \tan(\varphi_{inicial}) - \tan(\varphi_{deseado})$$

Determinar el valor *F* (kW):

- Potencia (kW) indicada por un maxímetro.
- Potencia contratada en la instalación (kW).
- El valor calculado de P (kWh) multiplicada por el número de horas de funcionamiento.

$$P_{kVAr} = k \cdot F$$

### Ejemplo

$F = 85\text{kW}$  potencia máxima

$$\cos(\varphi_{inicial}) = 0,73$$

$$\cos(\varphi_{deseado}) = 1$$

$k = 0,936$  según la tabla

$$P_{kVAr} = 85 \cdot 0,936 = 79,56 \text{ kVAr}$$

$$P_{kVAr \text{ recomendado}} = 95 \text{ kVAr}$$

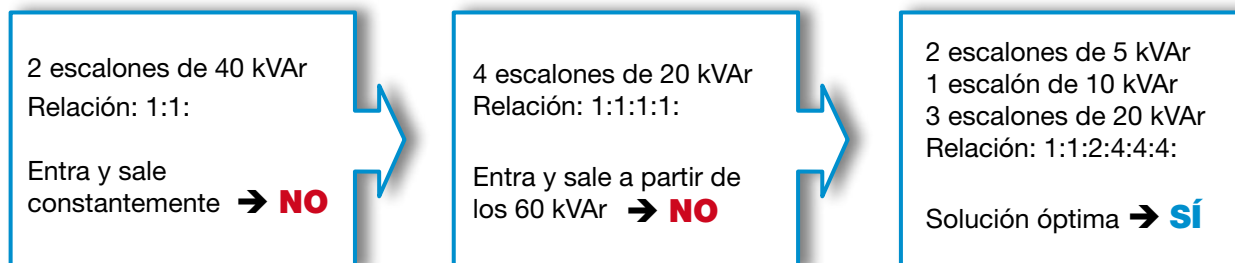
# Cálculo de la energía capacitiva necesaria para la compensación

## DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL FACTOR DE POTENCIA

Cuando se decida realizar la compensación de forma central (ver la sección F), hay que saber como varía el valor FP a lo largo del tiempo para decidir el número de escalones que necesita la batería para lograr la potencia de capacitiva calculada en todo momento.

Por ejemplo, supóngase que se necesita una batería de 80 kVAr, sabiendo que 60 kVAr los produce un motor concreto y los otros 20 aparecen y desaparecen de forma intermitente a lo largo del día.

- 1:1:1:1...la potencia todos los escalonamientos es igual.
- 1:2:2:2...la potencia del 1er escalón es la mitad que los demás.
- 1:2:4:4...la potencia del 1er escalón es la mitad del 2º y está a su vez la mitad del resto.



Valores del factor *k* más usuales

FP antes de compensar	cosφ	tgφ	Factor de potencia después de compensar										
			0,80	0,84	0,88	0,90	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,400	2,291		1,541	1,645	1,752	1,807	1,865	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
0,430	2,100		1,350	1,454	1,560	1,615	1,674	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
0,460	1,930		1,180	1,284	1,391	1,446	1,504	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
0,490	1,779		1,029	1,133	1,239	1,295	1,353	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
0,520	1,643		0,893	0,997	1,103	1,158	1,217	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,550	1,518		0,768	0,873	0,979	1,034	1,092	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
0,580	1,405		0,655	0,759	0,865	0,920	0,979	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
0,610	1,299		0,549	0,653	0,759	0,815	0,873	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
0,640	1,201		0,451	0,555	0,661	0,716	0,775	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
0,670	1,108		0,358	0,462	0,568	0,624	0,682	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
0,700	1,020		0,270	0,374	0,480	0,536	0,594	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,730	0,936		0,186	0,290	0,396	0,452	0,510	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,760	0,855		0,105	0,209	0,315	0,371	0,429	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,790	0,776		0,026	0,130	0,236	0,292	0,350	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,800	0,750		-	0,104	0,210	0,266	0,324	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,810	0,724		-	0,078	0,184	0,240	0,298	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,820	0,698		-	0,052	0,158	0,214	0,272	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,830	0,672		-	0,026	0,132	0,188	0,246	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,840	0,646		-	-	0,106	0,162	0,220	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,850	0,620		-	-	0,080	0,135	0,194	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,860	0,593		-	-	0,054	0,109	0,167	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,870	0,567		-	-	0,027	0,082	0,141	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,880	0,540		-	-	-	0,055	0,114	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,890	0,512		-	-	-	0,028	0,086	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,900	0,484		-	-	-	-	0,058	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,910	0,456		-	-	-	-	0,030	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,920	0,426		-	-	-	-	-	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,930	0,395		-	-	-	-	-	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,940	0,363		-	-	-	-	-	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,950	0,329		-	-	-	-	-	-	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,960	0,292		-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,089	0,149	0,292
0,970	0,251		-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,108	0,251
0,980	0,203		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,203
0,990	0,142		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,142

# Configuraciones para compensar la Energía Reactiva

## COMPENSACIÓN INDIVIDUAL

La compensación individual se utiliza en equipos que tienen un ciclo continuo de operación y cuyo consumo de reactiva es considerable, principalmente motores eléctricos y transformadores. El condensador se instala en cada una de las cargas de manera que los únicos conductores afectados por la energía reactiva son los que unen la carga con el condensador.

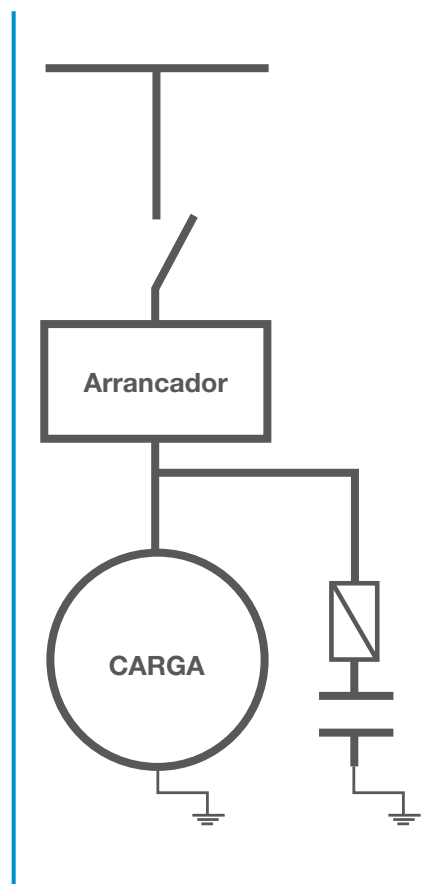
Las ventajas de esta configuración son:

- La energía reactiva queda confinada entre el condensador y la carga, quedando el resto de las líneas libres de energía reactiva.
- Los condensadores entran en servicio sólo cuando la carga está conectada, ya que el arrancador puede servir como interruptor del condensador de manera que no son necesarios otros sistemas de regulación.

Aunque esta configuración esta recomendada para estos casos también presenta algún inconveniente como, por ejemplo:

- El precio de varios condensadores por separado es mayor que el de uno mayor equivalente.
- En cargas que no son usadas con frecuencia los condensadores pueden estar infrutilizados.

En esta configuración de compensación fija hay dos casos que por su singularidad se van a estudiar por separado: la compensación en los motores asíncronos y en los transformadores de potencia ([ver la sección G](#)).



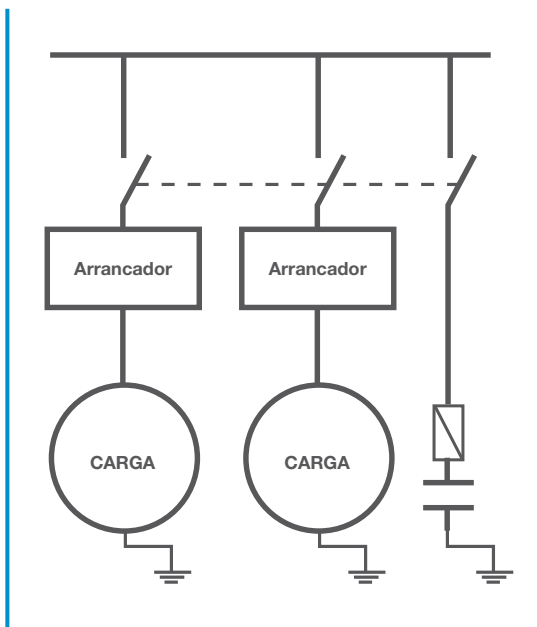
# Configuraciones para compensar la Energía Reactiva

## COMPENSACIÓN EN GRUPO

La configuración de compensación en grupo se recomienda cuando un grupo de cargas, ya sean iguales o diferentes, se conectan simultáneamente y demandan una cantidad de reactiva constante. La configuración en grupo presenta las siguientes ventajas:

- La batería de condensadores puede instalarse en el centro de control de motores.
- Los condensadores se utilizan sólo cuando las cargas están en funcionamiento.
- La inversión económica en la instalación es menor.
- Se elimina la potencia reactiva de las líneas de distribución de energía eléctrica.

En las líneas de alimentación principal, presenta como desventaja que sigue apareciendo potencia reactiva entre las cargas y el centro de control de motores.

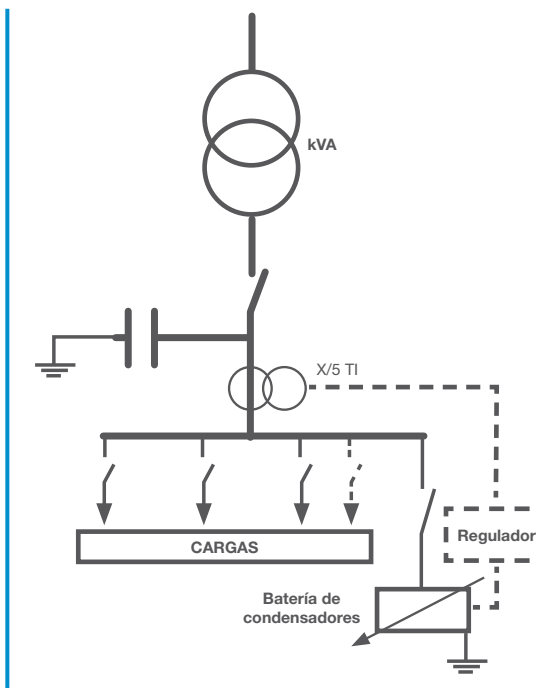


## COMPENSACIÓN CENTRALIZADA

La potencia total de la batería de condensadores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de la energía. La potencia total de la batería se divide en varios bloques o escalones comunicados con un regulador automático que los conecta o desconecta en cada momento, según el consumo de reactiva instantáneo. La compensación centralizada presenta las siguientes ventajas:

- Mayor aprovechamiento de la capacidad de los condensadores.
- Mejor regulación del voltaje en el sistema eléctrico.
- Adecuación de la potencia de la batería de condensadores según los requerimientos de cada momento.

La desventaja de corregir el factor de potencia con una configuración centralizada es que las líneas de distribución no son descargadas de potencia reactiva, además de la necesidad del regulador automático en la instalación.





# Compensación de motores asíncronos y transformadores

## ARRANQUE DIRECTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO

Con la compensación individual de motores asíncronos hay que tomar ciertas precauciones ya que puede aparecer la autoexcitación del motor. Este fenómeno surge al desconectar el motor, ya que este sigue girando hasta detenerse debido a su inercia. En el momento de cortar la alimentación, si se ha realizado la compensación en bornes del motor, las corrientes capacitivas de los condensadores en el estator generarán un campo magnético en el rotor en la misma dirección del campo magnético decreciente. Por lo tanto, el motor comenzará a funcionar como generador, provocando sobretensiones en los bornes del motor.

Existen dos posibles soluciones para evitar la aparición de la autoexcitación:

- Limitar las corrientes capacitivas de los condensadores, limitando la potencia de la batería de condensadores instalada, para que éstas sean inferiores a la intensidad de vacío del motor (La norma **EN-60831-1** recomienda que nunca sea superior al 90 % de la potencia reactiva en vacío del motor).
- Realizar la compensación en bornes a través de un contactor, de forma que al desconectar el motor de la alimentación los condensadores queden aislados de los terminales del motor.



$$Q_{compensar} = P \cdot (\tan\phi_i - \tan\phi_f)$$

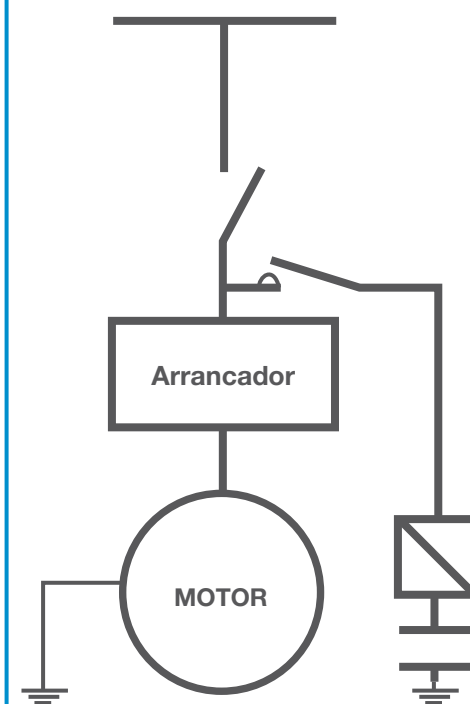
$$Q_{compensar} \leq Q_{limite}$$

$$Q_{limite} = 0.9 \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0 \quad \text{ó}$$

$$Q_{limite} = 2 \cdot P (1 - \cos\phi_{inicial})$$

En la práctica se puede aproximar como:

$$Q_{compensar} = 0,3 \cdot P_{nominal \ motor}$$



# Compensación de motores asíncronos y transformadores

## ARRANCADOR ESTRELLA-TRIÁNGULO

La conexión directa de motores asíncronos no es posible en algunas ocasiones debido a las puntas de intensidad que se producen durante su arranque. En estos casos se utilizan conmutadores estrella-triángulo.

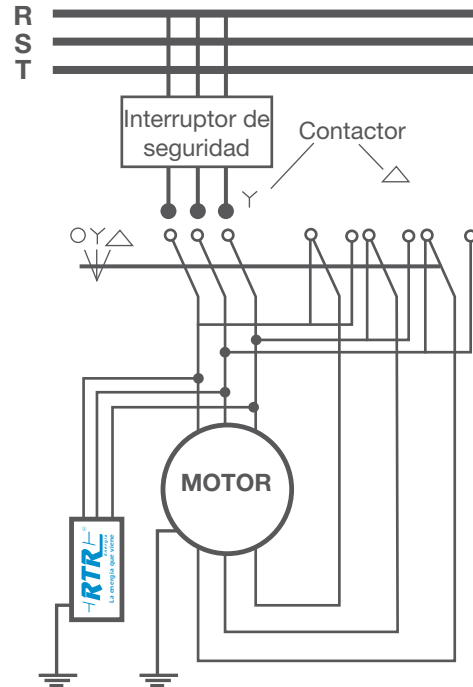
Si un motor tiene un dispositivo de arranque estrella-triángulo, se realizará la conexión de los condensadores a través de contactores, de manera que el condensador se conecte una vez que el motor ha terminado su arranque (estrella) y se encuentre en régimen permanente (triángulo).

La utilización de este esquema evita las sobreintensidades y sobretensiones que se producen al conectar el motor.

## TABLA DE COMPENSACIÓN DE MOTORES TRIFÁSICOS ASÍNCRONOS

Potencia del motor		Potencia de los condensadores en kVAr			
kW	CV	3000 rpm	1500 rpm	1000 rpm	750 rpm
7,5	10	2,50	2,50	2,50	5,00
11	15	2,50	2,50	5,00	5,00
15	20	5,00	5,00	5,00	7,50
18	25	5,00	5,00	7,50	10,00
22	30	7,50	7,50	10,00	10,00
30	40	10,00	10,00	12,50	15,00
37	50	12,50	15,00	17,50	20,00
45	60	15,00	17,50	20,00	22,50
55	75	17,50	25,00	22,50	25,00
75	100	22,50	27,50	27,50	32,50
90	125	25,00	30,00	35,00	40,00
110	150	30,00	35,00	42,50	45,00
132	180	37,50	45,00	45,00	55,00
160	220	45,00	50,00	60,00	65,00
200	270	50,00	60,00	67,50	80,00
250	340	60,00	65,00	75,00	85,00
280	380	70,00	77,50	85,00	95,00
355	485	85,00	95,00	107,50	122,50
400	544	100,00	105,00	125,00	135,00

Estos valores son indicativos



Conexión de cerrado a estrella:

1. Abrir las conexiones del triángulo.
2. Cerrar las conexiones de la red.
3. Cerrar las conexiones del punto neutro.

Conmutación estrella - triángulo:

1. Abrir las conexiones del punto neutro.
2. Cerrar las conexiones del triángulo.

# Compensación de motores asíncronos y transformadores

## TRANSFORMADORES DE POTENCIA

La compensación de energía reactiva de los transformadores debe ser la necesaria para corregir la reactiva que aparece en su funcionamiento en vacío, que es una cantidad fija ( $Q_0$ ), y la reactiva que absorbe cuando se encuentra en carga ( $Q_{carga}$ ).

En la tabla adjunta se muestran algunos valores aproximados de la potencia reactiva de los condensadores en función de la potencia del transformador.

$$Q_{compensar} = Q_0 + Q_{carga}$$

$$Q_{compensar} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{I_0}{100} + \frac{U_{CC}}{100} \cdot \left( \frac{S}{S_n} \right)^2 \cdot S_n$$

donde:

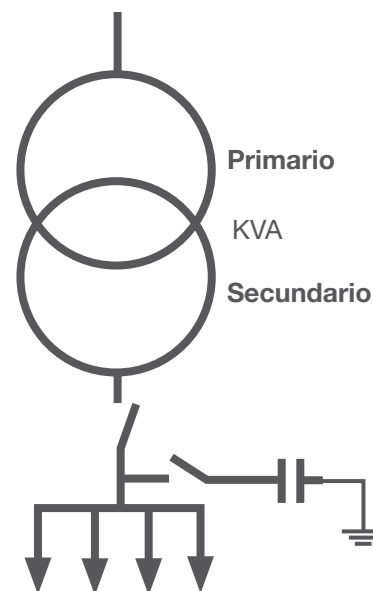
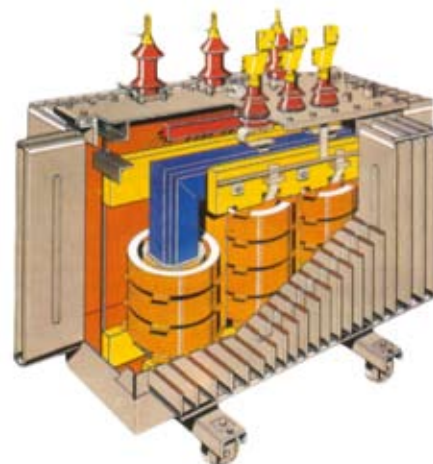
$I_0$  = corriente de vacío en %

$U$  = tensión nominal en el primario

$U_{CC}$  = tensión de cortocircuito en %

$S$  = potencia aparente nominal

$S_n$  = potencia de trabajo



## TABLA DE COMPENSACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Potencia kVA	Tensión < 24 kV	Tensión > 24 kV
25	2,50	2,50
50	5,00	5,00
100	7,50	10,00
160	10,00	12,50
250	15,00	20,00
400	20,00	25,00
500	25,00	30,00
630	30,00	40,00
800	45,00	50,00
1000	60,00	65,00
1250	70,00	80,00
1600	90,00	100,00
2000	112,50	120,00
2500	155,00	165,00

Estos valores son indicativos

En la práctica se puede aproximar como:

$$Q_{compensar} = 0,05 \cdot S_{nominal} \text{ si } S_n \leq 1000kVA$$

$$Q_{compensar} = 0,03 \cdot S_{nominal} \text{ si } S_n > 1000kVA$$

# Calidad, instalación y protección

Los condensadores de potencia de **RTR Energía S.L.** están fabricados con un estricto control de Calidad que verifica el correcto funcionamiento del condensador en cada una de sus líneas productivas.

Se considera muy conveniente para su perfecto funcionamiento instalar el correspondiente aparellaje según el esquema que se incluye en nuestros condensadores.

## INTERRUPTORES

Deberán ser preferentemente de ruptura brusca y dimensionado para una intensidad de 1,6 a 2 veces la nominal del condensador.

## FUSIBLES

Al igual que los interruptores, deben ser de ruptura rápida y capaces de soportar las elevadas intensidades instantáneas de carga y descarga de los condensadores, por lo que su calibración deberá hacerse entre 1,6 y 2 veces la nominal del condensador.

## CONDUCTORES

Por las razones expuestas, la sección mínima de los hilos de conexión deberá ser de 1,8 veces superior de la que habría que instalarse para la intensidad nominal.

## TEMPERATURA

La temperatura ambiente de trabajo del condensador deberá estar comprendida entre un mínimo de  $-25^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $55^{\circ}\text{C}$  (por este motivo, si existieran reactancias en la instalación, los condensadores se situarán en la parte inferior de las mismas). Su instalación deberá realizarse en lugares aireados y atemperados si fuera necesario.



En su recorrido permanente hacia la mejora continua, **RTR Energía S.L.** ha obtenido la certificación de sus sistema de calidad basado en la Norma **ISO 9001:2008** por parte de **AENOR** e **IQNet**.



No manipular nunca el condensador con corriente. Cuando se vaya a tocar un condensador, a pesar de tener instaladas las resistencias de descarga, se recomienda cortocircuitar entre sí y a tierra las bornas del condensador.

H

# Caso Práctico: Local Comercial

A continuación se presenta el caso real de un local comercial dedicado a la actividad hostelera. La instalación tiene contratados 40 kW y paga en su factura mensual 1468,66 € por la energía consumida y 420,42 € de energía reactiva. Esto es, si se compensa la energía reactiva la facturación se verá reducida en un 28%.

El historial de consumo que se muestra a la derecha divide la facturación en 6 periodos distintos cada día y muestra para cada uno de ellos: la energía activa, la energía reactiva y la potencia máxima alcanzada en ese periodo (lectura del maxímetro).



## CÁLCULO TOTAL

Siguiendo los pasos indicados en el **Apartado E** y considerando el valor de  $F$  como la potencia contratada, determinamos el factor de potencia de la instalación y la potencia capacitiva necesaria para compensar la energía reactiva.

## CÁLCULO ESCALONAMIENTO

Siguiendo los pasos indicados en el **Apartado E** para cada periodo y considerando el valor de  $F$  como la potencia del maxímetro, determinamos el factor de potencia y la potencia capacitiva necesaria de cada periodo.

Cálculo Potencia	$FP = \cos\phi$	$k$	$F(kW)$	$P_{kVAr}$
	0,73	0,935	40	37,42

Cálculo Potencia	$FP = \cos\phi$	$k$	$F(kW)$	$P_{kVAr}$
<b>P1</b>	0,77	0,826	35	28,89
<b>P2</b>	0,77	0,841	40	33,65
<b>P3</b>	0,61	1,291	22	28,40
<b>P4</b>	0,78	0,807	32	25,82
<b>P5</b>	0,70	1,012	32	32,37
<b>P6</b>	0,68	1,085	21	22,79

Periodo horario	Consumos	
Energía activa P1	1737	kWh
Energía activa P2	4863	kWh
Energía activa P3	1427	kWh
Energía activa P4	683	kWh
Energía activa P5	1820	kWh
Energía activa P6	610	kWh
Energía reactiva P1	1434	kVArh
Energía reactiva P2	4091	kVArh
Energía reactiva P3	1842	kVArh
Energía reactiva P4	551	kVArh
Energía reactiva P5	1841	kVArh
Energía reactiva P6	662	kVArh
Maxímetro P1	35	kW
Maxímetro P2	40	kW
Maxímetro P3	22	kW
Maxímetro P4	32	kW
Maxímetro P5	32	kW
Maxímetro P6	21	kW

A la vista de los resultados la potencia de la batería debe ser como mínimo de 37,5 kVAr.

**RTR Energía S.L.** recomienda incrementar un 15-20% ese valor para tener reservas en futuras ampliaciones.

La batería elegida sería una de la serie mural de 45 kVAr con 5 escalones (1x5+4x10). La serie minimural no sería indicada por su 3 escalonamientos (3x15).



# Conclusiones

**FAVORECE LA EFICIENCIA** del consumo energético eléctrico al reducir las pérdidas en el transporte. Al eliminar las pérdidas no es necesario producir una electricidad extra que las compense, por lo que además se contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero producidos en la generación de energía eléctrica.

**AMPLIA LA CAPACIDAD** de la REE, ya que todo lo que se produce como extra para contrarrestar las pérdidas podría utilizarse para suministrar electricidad en el consumo. Consultando el histórico de consumos y pérdidas, se observa como la capacidad de la Red Eléctrica Española aumentaría 0,5%, lo que sería suficiente para abastecer a Ceuta y Melilla durante algo más de dos años.

**OPTIMIZA EL DISEÑO** de la instalación al evitar que sea necesario incrementar la sección de los conductores por el aumento de la intensidad de corriente, favoreciendo la eficiencia en consumo de recursos como el cobre, cuya influencia económica en los presupuestos de instalaciones no es desdeñable.

**AUMENTA LA DURABILIDAD** de máquinas eléctricas. La eliminación de la energía reactiva evita el aumento de la intensidad que las obliga a trabajar fuera de su punto de diseño reduciendo su ciclo de vida.

**MEJORA LA CALIDAD** del suministro eléctrico al eliminar los incrementos de caída de tensión en el transporte, lo que ocasionaría que se suministrara una tensión insuficiente en el consumo, provocando que las cargas (motores, lámparas,...) sufrieran una reducción de su potencia de salida.

**AHORRO ECONÓMICO** en la factura eléctrica al suprimir el recargo por consumo de energía reactiva. En la actualidad, el impacto de la energía reactiva en el recibo de la luz puede llegar a suponer un 30% del mismo.



**Madrid, España**  
**RTR Energía, S.L.**

c/ Gavilanes, 11 Bis | Pol. Ind. Pinto - Estación | 28320 Pinto (Madrid)  
Tel.: 34 916 916 612 | Fax: 34 916 912 257  
E-mail: info@rtr.es  
www.rtr.es

**Madrid, España**  
**RTR Energía, S.L.**

c/ Albatros, 30 | Pol. Ind. Pinto - Estación | 28320 Pinto (Madrid)  
Tel.: 34 916 916 612 | Fax: 34 916 912 257  
E-mail: info@rtr.es  
www.rtr.es

**Chile**  
**RTR DNA Chile S.A.**

La Estera nº 668 | Panamericana Norte, Km 17  
Loteo Valle Grande - Lampa, Chile  
Tel.: 56 2 328 44 00 | Fax: 56 2 738 69 11  
E-mail: dnachile@rtr.cl  
www.rtr.cl

**China**  
**RTR (Beijing) Electric CO., LTD.**  
**Oficina Comercial**

Room 1007, Building 2 | Cameo Center, No. 16 GuangShunNan Av.  
Chaoyang District, Beijing 100120, P.R.C.  
Tel.: 010-84763795 84763895 | Fax: 010-84763995  
www.rtr-energia.cn