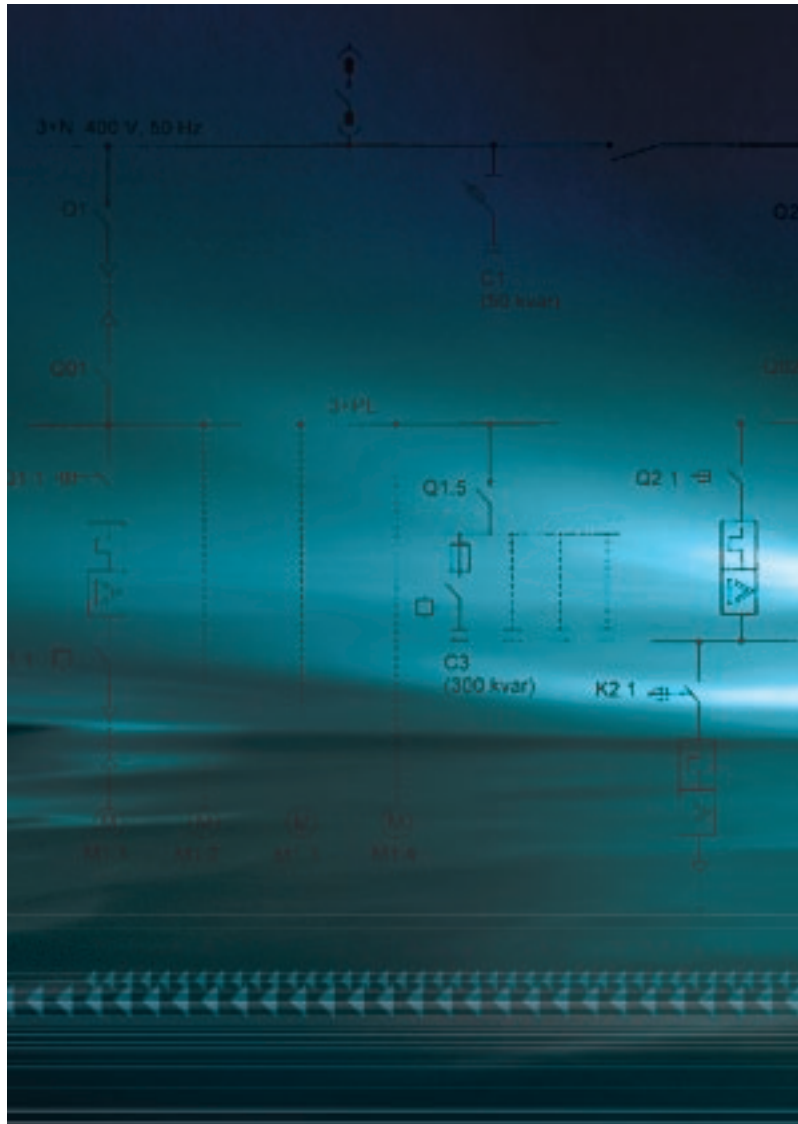


# LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

1



1.1. El factor de potencia en las redes eléctricas 1.2. Necesidad de la corrección del factor de potencia 1.3. El condensador estático como medio de corrección del factor de potencia 1.4. Determinación de la potencia necesaria de condensadores 1.5. Formas de realizar la compensación 1.6. Corrección automática del factor de potencia.

## 1. LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

### 1.1. El factor de potencia en las redes eléctricas.

Un factor de potencia o  $\cos \varphi$  de valor bajo implica una baja utilización de la capacidad o potencia de la instalación. De la corriente que circula por sus líneas, una parte importante no contribuye a transmitir potencia activa o útil.

A esa corriente se le denomina corriente reactiva y su potencia y energía asociadas potencia y energía reactiva.

Mientras la potencia activa  $P$  da lugar a una potencia útil que se utiliza en el eje de un motor o en los bornes de un alternador, la potencia reactiva  $Q$ , si bien es necesaria para establecer los campos magnéticos que ciertas máquinas o aparatos necesitan para su funcionamiento (motores, transformadores, reactancias) no produce potencia útil alguna. A diferencia de la potencia activa, la potencia reactiva es una onda alterna que pulsa a doble frecuencia de la de red (Fig. 1.1-1c), es decir, está en continuo trasiego en la misma circulando alternativamente de generador a receptor.

Así una vez establecido el campo magnético en éste, es devuelta al generador para ser solicitada de nuevo (1). La suma geométrica de la potencia activa y la reactiva nos da la potencia total transmitida, denominada potencia aparente ( $S$ ).

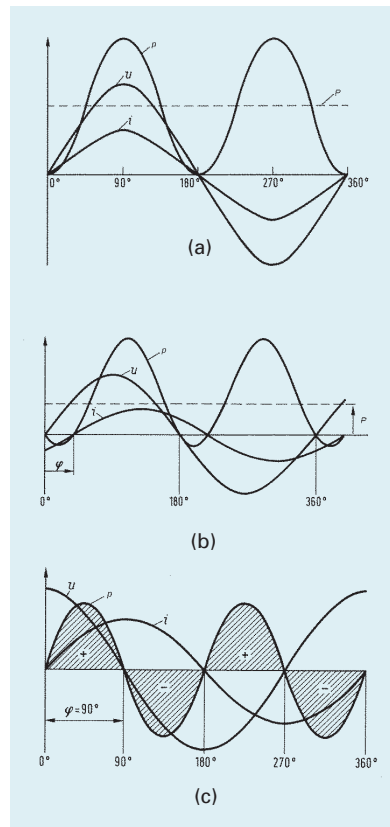
En los gráficos de la Fig. 1.1-1 se han representado las ondas de corriente, tensión y potencia instantánea.

En la fig. 1.1-1(a) no existe componente reactiva de la potencia, mientras que en (b) cabría descomponer  $p$  en potencia activa ( $P$ , línea de puntos de la figura) y potencia reactiva, no representada y que correspondería a una onda alterna pulsando a una frecuencia doble de la red. En la fig. 1.1-1(c) al no existir potencia activa y solo reactiva, la única onda de potencia es una senoide a frecuencia doble de la red.

La relación entre la potencia activa y la aparente se denomina factor de potencia. Corresponde al coseno del ángulo de desfase entre la potencia activa y la aparente, por lo que se habla indistintamente de factor de potencia o de  $\cos \varphi$ , salvo en redes con contenido de armónicos en cuyo caso estos dos valores no coinciden (2).

### 1.2. Necesidad de la corrección del factor de potencia.

Corregir el factor de potencia o compensar la energía reactiva supone aumentar la capacidad de la instalación, reducir sus pérdidas y conseguir una reducción de la factura de electricidad.



### 1.2.1. Aumento de la capacidad de la instalación.

Tanto las líneas como los transformadores de potencia tienen una capacidad determinada por la corriente y tensión nominales, representada por la potencia aparente o transportada,

$$S = \sqrt{3} U I$$

para sistemas trifásicos.

Sin embargo la potencia activa o útil viene dada por,

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

Un  $\cos \varphi$ , o factor de potencia, bajo supone por tanto una baja utilización de la potencia de transformador y línea.

► Fig. 1.1-1. El tipo de carga determina las potencias absorbidas que por definición se expresan para receptores trifásicos por:

Instantánea,  $p = u i$  (representada en los gráficos).

Activa,  $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$  (corresponde al valor medio),

$$P = 1/T \int_0^T p \, dt$$

Reactiva,  $Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$

Aparente,  $S = \sqrt{3} U I = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

Los gráficos corresponden a,

- (a) Carga resistiva pura,  
( $P \neq 0, Q = 0, S = P$ )
- (b) Carga mixta,  
( $P \neq 0, Q \neq 0, S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$ )
- (c) Carga inductiva pura,  
( $P = 0, S = Q$ )

(1) Definición de energía reactiva según el Vocabulario Electrónico Internacional VEI (601-01-20): "En una red de tensión alterna, energía intercambiada continuamente entre los distintos campos eléctricos y magnéticos asociados a su funcionamiento y al de los aparatos conectados a ella".

(2) El factor de potencia se define como el cociente entre la potencia activa y aparente,  $\lambda = P/S$ . Mientras el factor de desfase se define por  $\lambda_1 = \cos \varphi_1 = P_1/S_1$ , es decir, como el factor de potencia para la frecuencia fundamental. En circuitos con tensión senoidal y corriente distorsionada  $\lambda = f_1 \cos \varphi_1$ , siendo  $f_1$  el factor fundamental de la corriente ( $f_1 = I_1/I$ ).

■ Ejemplo

Supóngase una instalación industrial alimentada por un transformador de 500 kVA y con una red adecuada para transmitir esta potencia, siendo el factor de potencia global de la instalación.

$$\cos \varphi = 0,5$$

La potencia activa útil que suministra el transformador será:

$$P = S \cos \varphi = 500 \cdot 0,5 = 250\text{kW}$$

Si el factor de potencia fuera la unidad (potencia reactiva totalmente compensada) la potencia activa que podría suministrar el transformador sería de 500 kW, exactamente el doble de la anterior.

**1.2.2. Reducción de pérdidas.**

Las pérdidas en líneas son debidas a la resistencia de los conductores. En transformadores si bien hay dos tipos de pérdidas, inductivas o de vacío y resistivas o de carga, estas últimas son las más importantes. Para una misma potencia activa transportada, la reducción de pérdidas resistivas viene dada por la siguiente expresión en %,

$$\delta = 100 ( 1 - \cos^2 \varphi_1 / \cos^2 \varphi_2 )$$

■ Ejemplo

Sea un transformador de 1000 kVA, 24 kV con pérdidas en el cobre Pk a plena carga de 11.000 W.

Suponiendo un factor de carga,  $\alpha = 0,8$  y  $\cos \varphi_1 = 0,75$ , con  $\cos \varphi_2$  a corregir = 0,95 y servicio permanente (8760h/año), se obtendría,

**pérdidas reales:**

$$\alpha^2 \cdot P_k = 0,8^2 \cdot 11 = 7,04 \text{ kW.}$$

**energía anual de pérdidas:**

$$8760 \text{ (h/año)} \cdot 7,04 = 61.670 \text{ kWh.}$$

**coste de pérdidas** a razón de 0,06 euro/ kWh: 3707 euros anuales.

**reducción de pérdidas** por corrección del  $\cos \varphi$  de 0,75 a 0,95:

$$\delta = 100 ( 1 - 0,75^2 / 0,95^2 ) = 37,7\%$$

**ahorro anual :**

$$3707 \cdot 37,7 / 100 = 1397 \text{ euros}$$

La potencia necesaria de la batería de condensadores para corregir el factor de potencia a 0,95 sería (1.4) :

$$Q = P ( \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 ) = 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,75 (0,553) = 332 \text{ kvar}$$

Si se elige una batería de corrección automática de 350 kvar , **el periodo de retorno sin contabilizar intereses sería aproximadamente de 4 años por solo este concepto de ahorro de pérdidas en el transformador**, con independencia de la reducción de otras pérdidas en líneas.

**Del ejemplo anterior se desprende la gran importancia de un alto factor de potencia para reducir las pérdidas en transformadores. En líneas es válido el mismo razonamiento.**

**1.2.3 Ahorro en la factura eléctrica.**

La energía reactiva tradicionalmente se ha venido contemplando en las tarifas eléctricas a través de recargos con la finalidad de incentivar su compensación. En la actualidad, la energía reactiva se contempla de dos formas distintas según la categoría del usuario:

**Clientes cualificados**, básicamente aquellos con suministro en alta tensión o a partir de Enero de 2003 cualquier usuario, siempre que hayan solicitado la cualificación. Estos clientes deberán abonar en sus facturas el “**Término de energía reactiva**”,

expresado en euro/kvarh y aplicado sobre la energía reactiva consumida siempre que exceda del 33% de la energía activa consumida durante el período horario de facturación considerado. Esto equivale a penalizar el consumo de reactiva hasta alcanzar un  $\cos \varphi$  de 0,95. Por encima de este  $\cos \varphi$  no se aplica cargo ni tampoco bonificación como sucede en las tarifas para clientes no cualificados. Además cabe destacar que este término no se aplica en las horas valle en el caso de las tarifas 3.0A y 3.1A ni en similar periodo, el 6, de la tarifa 6. En cuanto a la tarifa 2.0A hasta 15 kW el usuario deberá compensar para garantizar un  $\cos \varphi$  superior a 0,89 (R.D. 1164/2001).

**Clientes no cualificados**, son los que permanecen a tarifa regulada en la que se contempla el “**Complemento por energía reactiva**”, constituido por un recargo o descuento porcentual que se aplica sobre la totalidad de la facturación básica (BOE nº12, 14/1/95). Este complemento se aplica a todas las tarifas excepto a las 1.0 y 2.0 (doméstica y general hasta 15 kW de potencia contratada). Su valor, Kr, se calcula por la siguiente fórmula:

$$K_r (\%) = (17/\cos^2 \varphi) - 21$$

No se aplican recargos superiores al 47 %, ni descuentos superiores al 4 %.

**La energía reactiva en las tarifas eléctricas**

Tarifa	Periodo	Reactiva (1)
<b>Cualificados</b>		
2.0A	–	No se aplica si E. reactiva < 50% E. activa
3.0A, 3.1A	1 (punta)	0,036962€ x (E.reactiva - 33% E.activa)
	2 (llano)	0,036962€ x (E.reactiva - 33% E.activa)
	3 (valle)	No se aplica
6...	1 a 5	0,036962€ x (E.reactiva - 33% E.activa)
	6	No se aplica
<b>No Cualificados</b>		
2.0 y 2.0	–	No se aplica si $\cos \varphi > 0,8$
Resto	–	De aplicación en todos los periodos horarios

cosφ	Kr(%)	cosφ	Kr(%)
1	-4,0	0,70	13,7
0,95	-2,2	0,65	19,2
0,90	0,0	0,60	26,2
0,85	2,5	0,55	35,2
0,80	5,6	0,50	47,0
0,75	9,2		

(1) Precio según tarifas de 2002

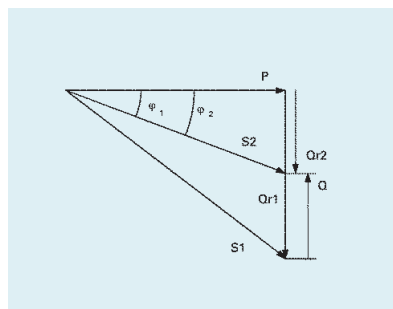
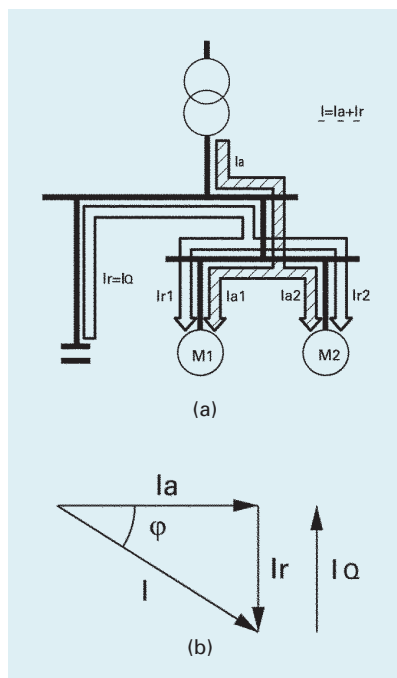
$$K_r = \frac{17}{\cos^2 \varphi} - 21, \text{ (ver tabla)}$$

### 1.3. El condensador estático como medio de corrección del factor de potencia.

Los condensadores mejoran el factor de potencia suministrando la energía reactiva a los receptores en lugar de que éstos la tomen de la red de suministro.

El medio más comúnmente empleado para la corrección del factor de potencia, consiste en la conexión a la red de condensadores estáticos. En la figura 1.3-1 se ha representado una línea de distribución para la alimentación de una sección de motores y una batería centralizada de condensadores para compensación a  $\cos \varphi = 1$ .

En este caso la corriente y potencia reactiva asociada necesaria para el establecimiento de los campos magnéticos de los receptores, es suministrada por la batería de condensadores que actúa, como un generador de energía reactiva inductiva. De esta forma, el trasiego de energía reactiva se produce únicamente entre los condensadores y receptores, descargando así el tramo de red desde el generador hasta el punto de conexión de los condensadores, por donde sólo circula  $I_w$  (activa) donde antes circulaba  $I$  (total).



► Fig. 1.4-1. Diagrama de potencias para corrección desde un factor de potencia  $\cos \varphi_1$  a  $\cos \varphi_2$ .

### 1.4. Determinación de la potencia necesaria de condensadores.

En la figura 1.4-1 se han representado las condiciones existentes en una instalación, con un factor de potencia  $\cos \varphi_1$ , correspondiente a la potencia reactiva  $Q_{r1}$  y las condiciones que se desean alcanzar, consiguiendo un  $\cos \varphi_2$  y reduciendo la potencia reactiva a  $Q_{r2}$ . La potencia necesaria de condensador  $Q$  será,

$$Q = Q_{r1} - Q_{r2}$$

Teniendo en cuenta  $Q_{r1} = P \tan \varphi_1$  y que  $Q_{r2} = P \tan \varphi_2$  resulta,

$$Q = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = P f$$

Para facilitar los cálculos, el factor "f" ha sido tabulado en la tabla 1.4-I. El valor de la potencia activa y del  $\cos \varphi$  pueden deducirse de los recibos de la compañía suministradora, o bien de la lecturas de los contadores de activa y reactiva.

#### 1.4.1 Determinación de la potencia necesaria de condensadores partiendo de los datos de las facturas de la Empresa Comercializadora o Distribuidora

##### ■ Ejemplo 1

**Ciente cualificado** con tarifa 3.1A (alta tensión de 1 a 36 kV y potencia contratada inferior a 450 kW). Trabaja en 2 turnos de 8 h de 6:00 a 14:00 y de 14:00 a 22:00 de lunes a viernes. Datos de la fra. de la Comercializadora de Electricidad correspondiente al mes de febrero.

Conceptos	Base	
Consumo de energía activa	Punta	65.050 kwh
	Llana	184.870 kwh
	Valle	123.140 kwh
Consumo de energía reactiva	Punta	40.116 kwh
	Llana	126.447 kwh

El cálculo de la potencia necesaria de condensadores deberá realizarse para cada uno de los periodos sometidos a recargo:

► Fig. 1.3-1 El esquema fig (a) muestra las siguientes corrientes:

$I_1, I_2$ , Corrientes absorbidas por los motores compuestas de sus respectivas componentes activas y reactivas.

$$I_1 = I_{a1} + I_{r1}$$

$$I_2 = I_{a2} + I_{r2}$$

$I_a$ , Corriente activa suministrada por el transformador.

$I_r$ , Corriente reactiva de motores y condensadores ( $I_r = I_q$ )

$I$ , Corriente aparente  $I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$   
En la fig. (b) se muestra la representación fasorial.

$$\text{Punta} : \frac{40116 - 0,33 \cdot 65050}{4 \cdot 22 \text{ días}} = 211,9 \text{ kvar}$$

$$\text{Llana} : \frac{126447 - 0,33 \cdot 184870}{10 \cdot 22 \text{ días}} = 297,5 \text{ kvar}$$

Cabe observar que en el periodo punta se contempla la totalidad del mismo, es decir 4 h, mientras que en el periodo llana solo se contemplan 10 h de la totalidad de las 12 h que comprenden este período (8:00 a 18:00 y 22:00 a 4:00 por tratarse de invierno) por ser las comprendidas en los turnos de trabajo. De las dos potencias calculadas se adoptará el valor superior sobre el que puede aplicarse un margen de seguridad del 10% al 20%. En resumen podría adoptarse una potencia de 350 kvar, teniendo en cuenta que los cálculos están basados en un solo mes, por lo que debería efectuarse un cálculo análogo para el resto de meses de un periodo de un año por ejemplo.

■ Ejemplo 2

Cliente no cualificado con tarifa de baja tensión 3.0 y discriminación horaria tipo 2, por este motivo se desglosa el consumo de energía activa en estos dos periodos Según se muestra en el recibo:

Lecturas y Consumos			
Tipo	Lect. 9/12/02	Lect. 8/10/02	Consumo
Punta	67.012	35.670	31.342
Llana	28.718	16.305	12.413
Reactiva	49.865	8.305	41.560

Del recibo se puede deducir:

$$\tan \phi = \frac{c.\text{reactiva}}{c.\text{activa}} = \frac{41650}{43755} = 0,95$$

que corresponde según la tabla 1.4-1 a un  $\cos \phi = 0,72$

Suponiendo que el factor de potencia deseado fuera  $\cos \phi = 1$  se halla en la columna correspondiente  $f=0,964$ .

Suponiendo una jornada de trabajo de 8 horas diarias y 21 días laborables al mes, se obtiene, teniendo en cuenta que se trata de un recibo bimensual, una potencia activa media:

$$P = \frac{43755}{21 \cdot 2 \cdot 8} = 130 \text{ kW}$$

Por tanto, la potencia necesaria de condensadores sería:

$$Q = P \cdot f = 130 \cdot 0,964 = 125 \text{ kvar}$$

Cabe observar que no es suficiente con los datos de un recibo para poder realizar un estudio fiable, por lo general se aconseja trabajar con los recibos correspondientes al periodo de un año. El programa **Cálculo CYDESA** facilita este tipo de cálculos.

El programa **Cálculo CYDESA** permite de forma rápida y fiable obtener tanto la potencia necesaria de condensadores como el ahorro obtenido al compensar. A continuación se muestran algunas de la pantallas del programa para un caso concreto.



► Fig. 1.4.2-2. Pantalla del programa **Cálculo CYDESA**, mostrando los datos de consumo de 12 recibos y los relativos a la tarifa contratada. La columna coseno PHI calcula para cada recibo el factor de potencia y haciendo un doble clic con el ratón el recargo Kr en %.



► Fig. 1.4.2-3. Pantalla del programa **Cálculo CYDESA** donde se calcula la potencia de condensadores para alcanzar el  $\cos \phi$  medio deseado. Al mismo tiempo se muestra mes a mes el recargo o bonificación así como el ahorro obtenido de acuerdo con los precios de la tarifa previamente elegida.

# 1. LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Existente		FACTOR "f" $Q \text{ (kvar)} = P \text{ (kw)} \cdot f$												
		Factor de potencia deseado ( $\cos \phi_2$ )												
$\tan \phi_1$	$\cos \phi_1$	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
1,98	0,45	1,235	1,365	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	1,311	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	1,258	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	1,208	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	1,159	1,295	1,323	1,353	1,384	1,416	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
1,73	0,50	0,982	1,112	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	1,067	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	1,023	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	0,980	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	0,939	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	0,899	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	0,860	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	0,822	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	0,785	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,37	0,59	0,618	0,749	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60	0,583	0,714	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	0,679	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	0,646	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	0,613	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64	0,451	0,581	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	0,549	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	0,519	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	0,488	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	0,459	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69	0,299	0,429	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,70	0,270	0,400	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	0,372	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	0,344	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	<b>0,964</b>
0,94	0,73	0,186	0,316	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	0,289	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	0,262	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	0,235	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	0,209	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	0,183	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,78	0,79	0,026	0,156	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,75	0,80		0,130	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,72	0,81		0,104	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		0,078	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		0,052	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		0,026	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		0,000	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			0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,57	0,87			0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88			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
0,48	0,90				0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,46	0,91					0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,43	0,92						0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,40	0,93							0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,36	0,94								0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,33	0,95									0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,29	0,96										0,041	0,089	0,149	0,292
0,25	0,97											0,048	0,108	0,251
0,20	0,98												0,061	0,203
0,14	0,99													0,142

► Tabla 1.4-1. Determinación del factor f para el cálculo de potencia necesaria de condensadores Q. Para el cálculo, se halla primero  $\tan \phi_1 = Q \text{ (reactiva)}/P \text{ (activa)}$ . Con este dato la tabla proporciona el  $\cos \phi_1$  existente que corresponde. Una vez elegido el  $\cos \phi_2$  que se desea, puede determinarse el factor f y con ello la potencia necesaria de condensadores  $Q = P \cdot f$

### 1.5. Formas de realizar la compensación.

Los motores, transformadores, lámparas de descarga y equipos electrónicos de potencia entre otros son consumidores de energía reactiva. Estos receptores pueden compensarse con condensadores de forma individual, por grupos o en conjunto (compensación centralizada).

#### 1.5.1. Compensación individual.

Consiste en la conexión de un condensador o de un grupo de condensadores directamente a cada receptor. Todas las líneas quedan perfectamente descargadas y el sistema se regula por sí solo, ya que la conexión o desconexión de la carga y el condensador son simultáneas. Sin embargo, este sistema resulta en general antieconómico comparándolo con los de compensación en grupos o compensación central. A pesar de ello se utiliza con ventaja en instalaciones con servicio ininterrumpido o de larga duración y con carga prácticamente constante. Sobre todo cuando el número de receptores es reducido.

#### 1.5.2. Compensación de motores.

En caso de que el condensador se conecte directamente a bornes de motor pueden producirse, al desconectar éste de la alimentación y por la descarga del condensador, tensiones de autoexcitación superiores a las de red, si el motor sigue girando por inercia o arrastrado por la carga. Para evitar este inconveniente debe asegurarse que la corriente del condensador sea inferior a la corriente magnetizante del motor. Se recomienda un valor del 90% (EN 60831-1 apar. 32). Si se toma la corriente de vacío,  $I_0$ , como magnetizante, la potencia de compensación sería:

$$Q = 0,9 \sqrt{3} U I_0 \cdot 10^{-3} \text{ [kvar]}$$

Si se desconoce  $I_0$ , puede determinarse este valor haciendo funcionar el motor en vacío y midiendo la corriente absorbida. Conociendo  $\cos \varphi$  a plena carga, dato que figura en la placa de características, puede también determinarse  $Q$  por la siguiente expresión aproximada (1).

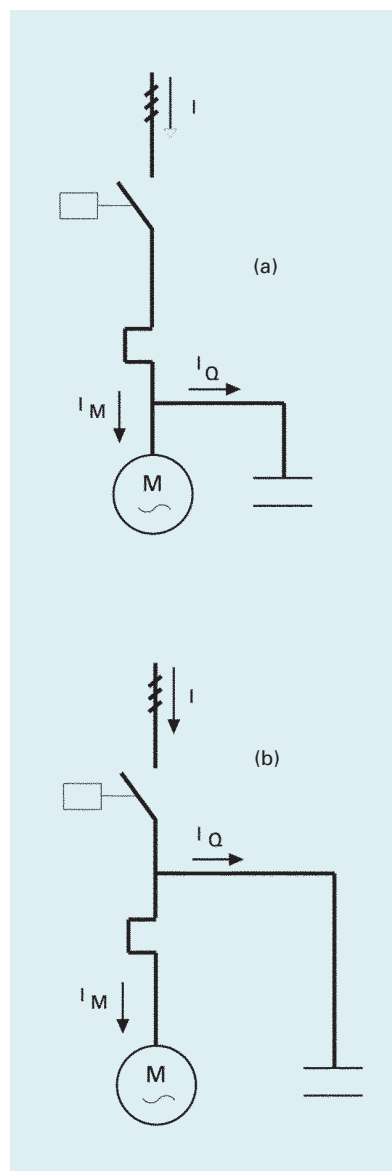
$$Q \cong 0,9 \frac{P_N}{\eta} \cdot \frac{1 - \cos \varphi_N}{\cos \varphi_N \cdot \sin \varphi_N}$$

Siendo,

$P_N$  = Potencia nominal del motor (kW)

$\eta$  = rendimiento (tanto por uno)

$\cos \varphi_N, \sin \varphi_N$  a plena carga.



► Fig. 1.5.2-1. Compensación individual de motores mostrando dos alternativas:

(a) Condensador a bornes de motor y por tanto después del relé térmico

(b) Condensador a bornes de contactor, es decir, antes del relé térmico.

$$\text{En (a), } I_{\text{relé}} = I = \sqrt{I_M^2 + I_Q^2}$$

$$\text{En (b), } I_{\text{relé}} = I_M$$

Luego el caso (a) deberá modificarse la regulación del relé térmico:

$$I_{\text{relé}} = \sqrt{(I_M \cos \varphi)^2 + (I_M \sin \varphi - I_Q)^2}$$

para mantener la protección del motor.

Siendo,

$I_M$ , corriente nominal del motor

$I_Q$ , corriente nominal del condensador

$\cos \varphi, \sin \varphi$  a plena carga.

(1) Just, W., Blindstrom- Kompensation... (VDE-verlag GmbH, 1991)

Compensación de Motores											
Potencia nominal del motor		3000 rpm		1500 rpm		1000 rpm		750 rpm		500 rpm	
kW	CV	vacío/p.carga kvar	cond. kvar	vacío/p.carga. kvar	cond. kvar	vacío/p.carga kvar	cond. kvar	vacío/p.carga kvar	cond. kvar	vacío/p.carga kvar	cond. kvar
1,1	1,5	0,7 / 0,9	<b>0,6</b>	0,7 / 1,0	<b>0,6</b>	0,9 / 1,2	<b>0,8</b>	1,0 / 1,3	<b>0,9</b>	1,1 / 1,4	<b>1,0</b>
1,5	2	0,8 / 1,0	<b>0,7</b>	1,0 / 1,2	<b>0,9</b>	1,1 / 1,4	<b>1,0</b>	1,2 / 1,6	<b>1,0</b>	1,3 / 1,8	<b>1,2</b>
2,2	3	1,1 / 1,4	<b>1,0</b>	1,2 / 1,5	<b>1,0</b>	1,4 / 1,8	<b>1,3</b>	1,7 / 2,2	<b>1,5</b>	2,0 / 2,4	<b>1,8</b>
3	4	1,5 / 1,8	<b>1,3</b>	1,6 / 2,0	<b>1,5</b>	1,8 / 2,4	<b>1,6</b>	2,3 / 3,0	<b>2,0</b>	2,5 / 3,2	<b>2,2</b>
4	5,5	1,8 / 2,6	<b>1,6</b>	2,0 / 2,6	<b>1,8</b>	2,2 / 2,9	<b>2,0</b>	2,7 / 3,5	<b>2,4</b>	2,9 / 3,8	<b>2,6</b>
5,5	7,5	2,2 / 2,9	<b>2,0</b>	2,4 / 3,3	<b>2,2</b>	2,7 / 3,6	<b>2,4</b>	3,2 / 4,3	<b>2,9</b>	4,0 / 5,2	<b>3,6</b>
7,5	10	3,4 / 4,4	<b>3,0</b>	3,6 / 4,8	<b>3,2</b>	4,1 / 5,4	<b>3,7</b>	4,6 / 6,1	<b>4,1</b>	5,5 / 7,2	<b>5,0</b>
11	15	5,0 / 6,5	<b>4,5</b>	5,5 / 7,2	<b>5,0</b>	6,0 / 8,0	<b>5,0</b>	7,0 / 9,0	<b>6,0</b>	7,5 / 10	<b>7,0</b>
15	20	6,5 / 8,5	<b>6,0</b>	7,0 / 9,5	<b>6,0</b>	8,0 / 10	<b>7,0</b>	9,0 / 12	<b>8,0</b>	1,0 / 1,3	<b>9,0</b>
18,5	25	8,0 / 11	<b>7,0</b>	9,0 / 12	<b>8,0</b>	10 / 13	<b>9,0</b>	11 / 15	<b>10</b>	12 / 16	<b>10</b>
22	30	10 / 12,5	<b>9,0</b>	11 / 13,5	<b>10</b>	12 / 15	<b>10</b>	13 / 16	<b>12,5</b>	16 / 18	<b>15</b>
30	40	14 / 18	<b>12,5</b>	15 / 20	<b>12,5</b>	17 / 22	<b>15</b>	20 / 25	<b>20</b>	22 / 28	<b>20</b>
37	50	18 / 24	<b>15</b>	20 / 27	<b>20</b>	22 / 30	<b>20</b>	26 / 34	<b>25</b>	29 / 39	<b>25</b>
45	60	19 / 28	<b>15</b>	21 / 31	<b>20</b>	24 / 34	<b>22</b>	28 / 38	<b>25</b>	31 / 43	<b>30</b>
55	75	22 / 34	<b>20</b>	25 / 37	<b>20</b>	28 / 41	<b>25</b>	32 / 46	<b>30</b>	36 / 52	<b>30</b>
75	100	28 / 45	<b>25</b>	32 / 49	<b>30</b>	37 / 54	<b>30</b>	41 / 60	<b>40</b>	45 / 68	<b>40</b>
90	125	34 / 54	<b>30</b>	39 / 59	<b>35</b>	44 / 65	<b>40</b>	48 / 72	<b>45</b>	54 / 83	<b>50</b>
110	150	40 / 64	<b>35</b>	46 / 70	<b>40</b>	52 / 76	<b>50</b>	58 / 85	<b>50</b>	63 / 98	<b>60</b>
132	180	45 / 72	<b>40</b>	53 / 80	<b>50</b>	60 / 87	<b>50</b>	67 / 97	<b>60</b>	75 / 110	<b>70</b>
160	220	54 / 86	<b>50</b>	64 / 96	<b>60</b>	72 / 103	<b>70</b>	81 / 116	<b>70</b>	91 / 132	<b>80</b>
200	270	66 / 103	<b>60</b>	77 / 115	<b>70</b>	87 / 125	<b>80</b>	97 / 140	<b>80</b>	110 / 160	<b>100</b>
250	340	75 / 115	<b>70</b>	85 / 115	<b>75</b>	95 / 137	<b>90</b>	105 / 150	<b>100</b>	120 / 175	<b>110</b>

Potencias superiores: si se conoce el  $\cos\phi$  a plena carga puede aplicarse la formula antes mencionada, en caso contrario puede considerarse el 30% de la potencia en kW del motor.

► Tabla 1.5.2-I. Potencia reactiva en vacío y a plena carga de motores asíncronos junto con la potencia de condensadores recomendada para alcanzar un  $\cos\phi \approx 0,95$

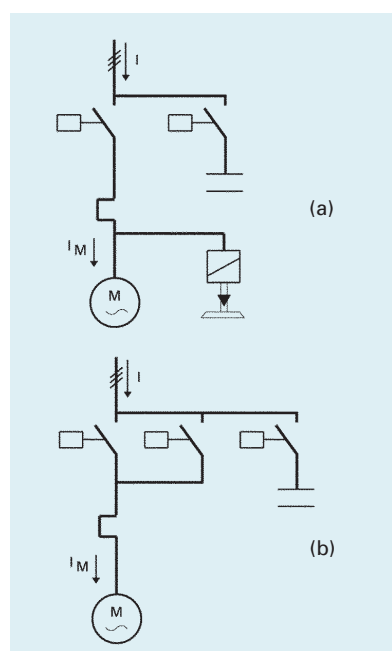
La tabla 1.5.2-I da la potencia reactiva absorbida por motores asíncronos en vacío y a plena carga, así como la potencia del condensador, recomendada. Estos valores son orientativos y pueden variar según el fabricante del motor, alcanzándose un factor de potencia igual o superior a 0,95. En la compensación individual de motores deberán tomarse precauciones en casos concretos.

Así cabe citar a título de ejemplo:

•**Motores con funcionamiento intermitente** en que no se da el suficiente tiempo para la descarga del condensador. En estos casos una reconexión con el condensador en oposición de fase puede llegar a producir picos de tensión de hasta  $2\sqrt{2}$  veces la tensión de servicio, resultando recomendable la descarga por inductancias (apéndice 2)

•**En motores de grúas** que pueden ser impulsados por la carga pueden también producirse sobretensiones

como ya se ha citado por el fenómeno de autoexcitación, sobre todo por el hecho de que el motor puede funcionar a más revoluciones de las de sincronismo (hipersincronismo).



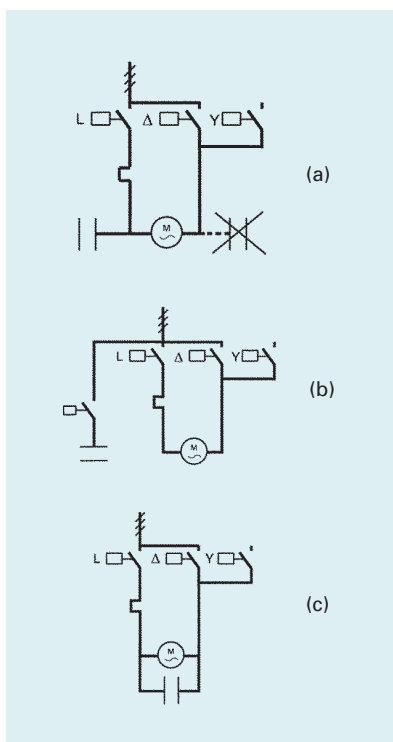
Debiendo limitar en este supuesto la potencia de compensación. Por otra parte según el tipo de arranque también deberán tomarse precauciones particulares:

•Deberá tenerse en cuenta la influencia de la descarga del condensador, con su efecto retardador en la actuación de **freños electromagnéticos**. Éste puede ser el caso en instalaciones de elevación, tales como ascensores, grúas, etc.. En estas instalaciones es conveniente conectar el condensador a través de un contactor y no directamente a bornes de motor (fig.1.5.2-2a)

•**En inversores**, si la inversión de marcha se produce directamente, con un tiempo de inversión muy corto, será conveniente, como en el caso anterior conectar el condensador a través de un contactor independiente (Fig. 1.5.2-2b).

► Fig. 1.5.2-2. Compensación de un motor con electroimán de freno (a) y de un motor con inversión de marcha (b).

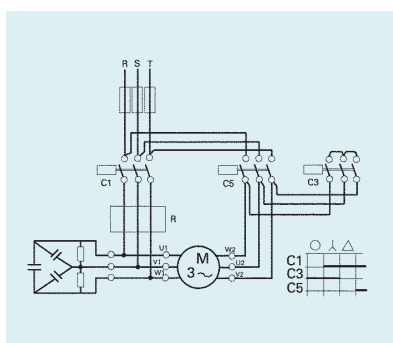




El condensador sigue bajo tensión durante la transición de estrella a triángulo. No se produce la descarga sobre el motor, por tanto deberán preverse resistencias de descarga como se indica con más detalle en la fig. 1.5.2-4, donde se acompaña un diagrama de la secuencia de la transición del arrancador. Si se tratara de otro tipo de arrancador en donde el paso de estrella a triángulo supusiera dejar sin tensión el motor, como podría ser el caso de arrancadores con conmutadores manuales, este esquema debería descartarse.

Deberá tenerse en cuenta el cambio de regulación del relé térmico si el condensador se conecta después de éste (1.5.2). La conexión en el lado triángulo de la fig. 1.5.2-3a debe descartarse por el problema de conmutación de fases en el condensador. En la alternativa de la fig. 1.5.2-3b no caben excepciones y no es necesario el cambio del ajuste del relé térmico. El contactor del condensador puede ser excitado simultáneamente con el contactor de línea o de triángulo, debiendo prever resistencias de descarga en el condensador.

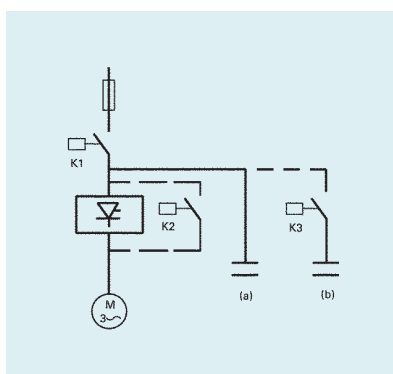
► Fig. 1.5.2-3. Modos de compensación en caso de arranque estrella-triángulo.



► Fig. 1.5.2-4. Compensación en caso de arranque estrella-triángulo por contactores. Condensador conectado en los bornes de motor y arrancador con la secuencia indicada.

Otra solución actualmente poco utilizada es la compensación con un condensador de 6 terminales conectado a bornes de motor. Al desconectar el contactor estrella se inicia la descarga del condensador, aunque no puede completarse debido a la tensión residual del motor a causa de la rotación. Por tanto al pasar a triángulo se produce cierta oposición de fases y en consecuencia corrientes de conexión relativamente elevadas. Por otra parte debe ajustarse de nuevo la regulación del relé térmico a consecuencia de la corriente del condensador (fig. 1.5.2-3c).

•En **arrancadores estáticos** no es recomendable conectar el condensador a bornes de motor ya que la punta de corriente, del transitorio de conexión del condensador, podría dañar los semiconductores de potencia del arrancador. La compensación debe efectuarse según se indica en la fig. 1.5.2-5.



► Fig. 1.5.2-5. Compensación en caso de arrancadores estáticos. La solución (b) puede ser necesaria si no existe el contactor de línea K1.

•En el **arranque estrella triángulo** caben diversas alternativas según muestra la fig. 1.5.2-3. En (a) el condensador está conectado a bornes del motor en el lado del contactor de línea.

### 1.5.3. Compensación de transformadores

Los transformadores de potencia necesitan absorber potencia reactiva para crear su campo magnético.

En vacío esta potencia será la correspondiente a la corriente magnetizante, aproximadamente igual a la de vacío, por tanto la potencia necesaria del condensador será:

$$Q_0 = \sqrt{3} U I_0$$

Compensación de transformadores										
Valores orientativos de la potencia reactiva de transformadores										
Serie hasta 24 kV						Serie hasta 36 kV				
Poten kVA	$I_0$ %	$u_k$ %	$Q_0$ kvar	$Q_s$ kvar	Poten del Cond. Q (kvar)	$I_0$ %	$u_k$ %	$Q_0$ kvar	$Q_s$ kvar	Poten del Cond. Q (kvar)
25	4,0	4,0	1,0	1,0	2	5,2	4,5	1,3	1,0	2
50	3,5	4,0	1,8	2,0	3	3,8	4,5	1,9	2,0	3
100	2,5	4,0	2,5	4,0	5	3,0	4,5	3,0	4,0	5
160	2,3	4,0	3,7	6,4	7,5	2,5	4,5	4,0	6,4	7,5
250	2,0	4,0	5,0	10,0	10	2,4	4,5	6,0	10,0	10
400	1,8	4,0	7,2	16,0	15	2,2	4,5	8,8	16,0	20
500	1,7	4,0	8,5	20,0	20	2,0	4,5	10,0	20,0	25
630	1,6	4,0	10,1	25,2	25	1,8	4,5	11,3	25,2	25
800	1,4	6,0	11,2	48,0	40	1,6	6,0	12,8	48,0	40
1000	1,3	6,0	13,0	60,0	50	1,5	6,0	15,0	60,0	50
1250	1,2	6,0	15,0	75,0	60	1,4	6,0	17,5	75,0	70
1600	1,1	6,0	17,6	96,0	80	1,3	6,0	20,8	96,0	80
2000	1,0	6,0	20,0	120,0	100	1,2	6,0	24,0	120,0	100
2500	0,9	6,0	22,5	150,0	120	1,0	6,0	25,0	150,0	120

► Tabla 1.5.3-I Potencia reactiva de transformadores de Potencia,

$I_0$  = Corriente de vacío en %

$u_k$  = Tensión c.c. en %

$Q_0$  = Potencia reactiva en vacío

$Q_s$  = Potencia reactiva de la reactancia de dispersión a plena carga

Q = Potencia de compensación recomendada  $\cong Q_0 + 0,8^2 \cdot Q_s$ , el factor 0,8 corresponde al 80% de la plena carga.

Con carga en el secundario y debido a la reactancia de dispersión habrá que contar con una potencia reactiva adicional:

$$Q'_s = \frac{u_k}{100} \left[ \frac{S}{S_N} \right]^2 \cdot S_N$$

Así pues la demanda de potencia reactiva total será:

$$Q_0 + Q'_s$$

Teniendo en cuenta los valores normalizados para  $I_0$  y  $u_k$  (UNE 20138-2R) se ha confeccionado la tabla 1.5.3-I.

La potencia recomendada, columna Q (kvar) de la tabla con valores redondeados, pretende compensar la potencia reactiva del transformador suponiendo que esté trabajando al 80% de su potencia nominal, criterio utilizado con frecuencia para el dimensionado de transformadores.

En cualquier caso se pueden utilizar otros criterios sin sobrepasar ciertos límites de la potencia de condensadores con la finalidad de evitar sobretensiones en vacío o incluso resonancias (5.6.1).

#### 1.5.4. Compensación de lámparas de descarga.

La tabla 1.5.4-I indica la capacidad y potencia del condensador necesario para compensación de lámparas de descarga con balastos convencionales (reactancias). Con balastos electrónicos el factor de potencia es prácticamente la unidad, haciendo innecesaria la compensación.

Como alternativa a la compensación individual de lámparas merece especial mención **la compensación por grupos**, sistema que permite resolver al mismo tiempo problemas relacionados con las corrientes armónicas.

#### ■ Ejemplo:

Se trata de compensar un grupo de 25 lámparas de vapor de sodio de alta presión de 400 W cada una, a 220 V, 50 Hz.

Según la tabla 1.5.4-I la potencia de compensación necesaria a  $\cos \phi \cong 0,95$  sería,

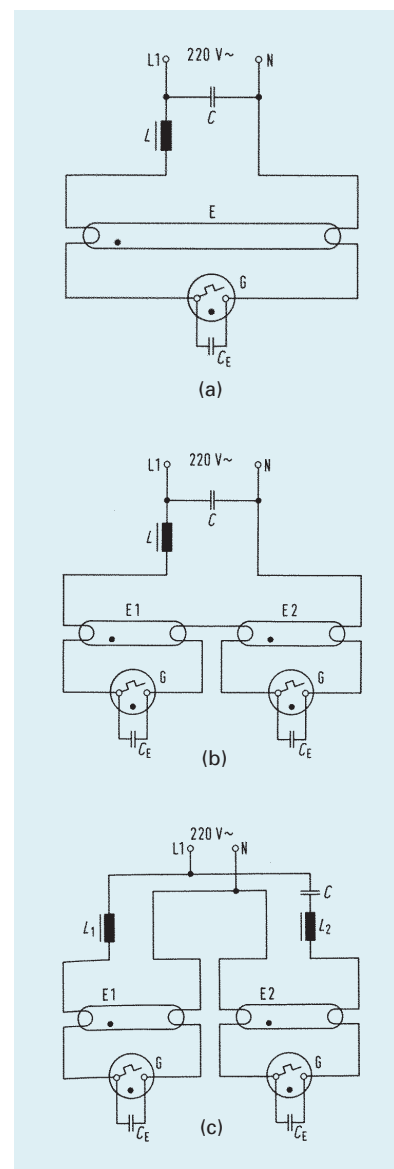
$$Q = 25 \cdot 0,76 = 19 \text{ kvar}$$

Para tal fin podría utilizarse un condensador de 20 kvar / 400 V, conectado en paralelo como se indica en la fig. 1.5.4-2,

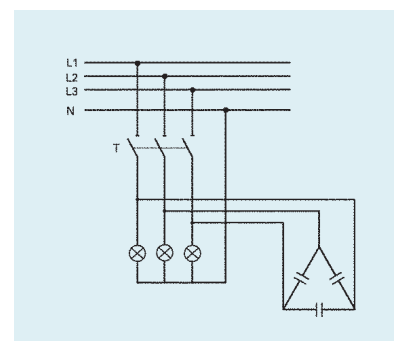
Compensación de lámparas de descarga			
Lámparas fluorescentes, 220 V, 50 Hz			
Potencia de la lámpara W	Compensación en paralelo		Compensación serie
	Capacidad (1) $\mu\text{F}$	Potencia kvar	Capacidad (2) $\mu\text{F}$
4,8,10,13	2,0	0,030	
18,20	4,5	0,068	2,9 (3)
36,40	4,5	0,068	3,6 (4)
58,65	7,0	0,106	5,7 (4)
Vapor de mercurio de alta presión, 220 V, 50Hz			
Potencia de la lámpara W	Capacidad $\mu\text{F}$	Potencia kvar	
50	7	0,106	
80	8	0,122	
125	10	0,152	
250	18	0,274	
400	25	0,380	
700	40	0,608	
1000	60	0,912	
Vapor de halógenos metálicos, 220 V, 50 Hz			
Potencia de la lámpara W	Capacidad $\mu\text{F}$	Potencia kvar	
75	12	0,18	
150	20	0,30	
250	32	0,48	
400	35	0,53	
1000	85	1,30	
Vapor de sodio de alta presión, 220 V, 50Hz			
Potencia de la lámpara W	Capacidad $\mu\text{F}$	Potencia kvar	
50	8	0,12	
70	12	0,18	
100	12	0,18	
150	20	0,30	
250	32	0,48	
400	50	0,76	
1000	100	1,52	
Vapor de sodio de baja presión, 220 V, 50Hz			
Potencia de la lámpara W	Capacidad $\mu\text{F}$	Potencia kvar	
18	5	0,076	
35	20	0,304	
55	20	0,304	
90	26	0,395	
135	45	0,684	

► Tabla 1.5.4-I. Compensación individual de lámparas de descarga según datos de fabricantes. La compensación se supone en paralelo según el esquema a de la fig. 1.5.4-1, excepto para las lámparas fluorescentes en que se contempla también la compensación serie (esquema c).

El factor de potencia alcanzado es  $> 0,9$



► Fig.1.5.4-1. Sistemas de compensación de lámparas fluorescentes.



► Fig.1.5.4-2. Compensación de grupos de lámparas.

(1) Tolerancia  $\pm 10$ . (2) Tolerancia  $\pm 4\%$ . (3) Tensión nominal del condensador 420V. (4) Tensión nominal del condensador 440 V.

### 1.5.5 Compensación de convertidores.

Los convertidores estáticos de potencia se utilizan ya sea como rectificadores controlados en la regulación de velocidad de motores de corriente continua y hornos de inducción o simplemente como rectificadores en la primera etapa de los inversores para regulación de velocidad de motores de inducción, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI's), etc.

Un **rectificador controlado** con un ángulo de retardo  $\alpha$ , tendrá un  $\cos \varphi$  en la línea de alterna:

$$\cos \varphi \cong \cos \alpha$$

En un **rectificador no controlado**, caso de un **variador de velocidad para motor de inducción**, si bien el factor de potencia es inferior a la unidad, ello es debido a la distorsión o factor fundamental de la corriente (apar 1.1 nota 2), ya que el  $\cos \varphi$  es igual a la unidad. Si bien y debido a las inductancias de red comunmente utilizadas para filtrado, el  $\cos \varphi$  resulta algo inferior.

#### ■ Ejemplo

Calcular la potencia de reactiva de un convertidor para regulación de velocidad a par constante de un motor de corriente continua de 250kW funcionando al 80% de su velocidad máxima. Se supone que el rendimiento del motor es 0,95.

El funcionamiento indicado supone,

$$\cos \varphi = \cos \alpha = \frac{n}{n_N} = 0,8$$

La potencia activa suministrada por el convertidor será,

$$P = \frac{250 \cdot 0,8}{0,95} = 210 \text{ kW}$$

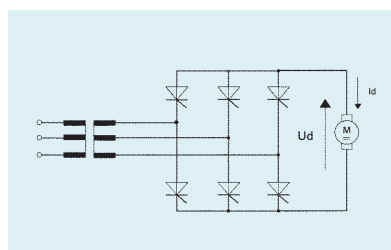
y por tanto la potencia reactiva, sería,

$$Q = P \tan \varphi = 210 \cdot 0,75 = 157,5 \text{ kvar}$$

### 1.5.6 Otros receptores.

Existen otros muchos receptores que absorben potencia reactiva. A continuación se dan valores orientativos de sus respectivos factores de potencia para los más usuales.

Receptor	Factor de potencia
Máquinas de soldar	
Por resistencia (a puntos, a tesa... )	
· Materiales férricos	0,6 a 0,8
· Materieles no férricos	0,3 a 0,5
Por arco en c.a. con equipos	
· Con transformadores	0,3 a 0,5
· Con rectificadores estáticos	0,7 a 0,8
· Electrónicos de A.F. para materiales no conductores	0,7 a 0,9
Hornos de inducción	
· Convencionales (según frecuencia)	0,01 a 0,5
· Con convertidor	(1)
Hornos de arco (2)	
· Durante la fusión	0,7 a 0,8



► Fig. 1.5.5-1 Convertidor de tipo rectificador controlado puente trifásico para regulación de velocidad de un motor de corriente continua.

### 1.5.7. Compensación en grupos.

Es generalmente una solución cuando grupos de receptores están situados en emplazamientos diferentes, según se refleja en la fig. 1.5.7.-1 permitiendo de esta forma descargar la acometida y las líneas de distribución.

### 1.5.8. Compensación central.

Es el sistema más generalizado y más económico. Una batería de condensadores se conecta al principio de la línea de acometida, concentrando todos los condensadores en un solo punto (ver fig. 1.5.8-1).

Por contra, presenta el inconveniente de no permitir la descarga de las líneas de distribución.

(1) Ver "Compensación de convertidores" en este mismo apartado. (2) Los hornos de arco son siempre objeto de un estudio particular debido a las numerosas perturbaciones que producen y en particular a la elevada generación de armónicos, aspectos que deberán tenerse en cuenta en el diseño de la batería de condensadores (apar. 5.7.1).

### 1.6. Corrección automática del factor de potencia.

En una instalación el elevado número de receptores generalmente aconseja realizar una compensación centralizada mediante equipos o baterías automáticas de condensadores. Varios condensadores o escalones son conectados o desconectados a través de contactores gobernados por un regulador capaz de ajustar en cada instante el factor de potencia al valor seleccionado.

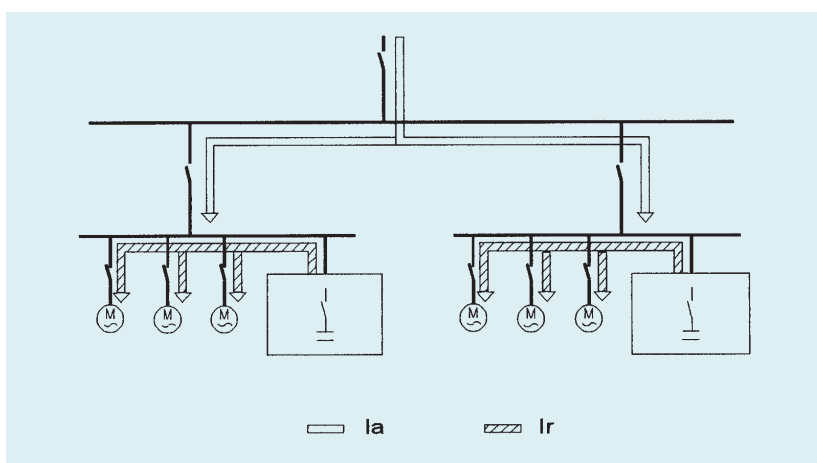
Del "Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión", actualmente en vigor, se transcribe a continuación el apar. 2.7 de la ITC-BT-43:

"Las instalaciones que suministren energía a receptores de los que resulte un factor de potencia inferior a 1, podrán

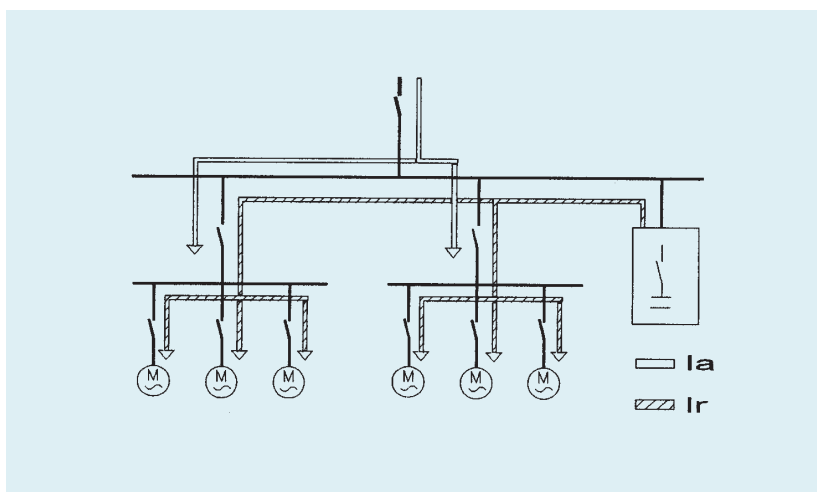
ser compensadas, pero sin que en ningún momento la energía absorbida por la red pueda ser capacitiva". La compensación del factor de potencia podrá hacerse por una de las dos formas siguientes:

"- Por cada receptor o grupo de receptores que funcionen simultáneamente y se conecten por medio de un solo interruptor. En este caso el interruptor debe cortar la alimentación simultáneamente al receptor o grupo de receptores y al condensador".

- Para la totalidad de la instalación. En este caso, la instalación de compensación ha de estar dispuesta para que, de forma automática, asegure que la variación del factor de potencia no sea mayor de un  $\pm 10$  por 100 del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento". Las características detalladas de los equipos o baterías para corrección automática del factor de potencia se tratan en el Capítulo 4.



► Fig. 1.5.7 - 1. Compensación por grupos de receptores. En el supuesto de factor de potencia unidad, los condensadores suministran la corriente reactiva demandada por los motores, descargando los embarrados secundarios, las líneas de distribución y la acometida.



► Fig. 1.5.8 -1. Compensación centralizada. La descarga de líneas se produce siempre desde el punto de conexión "red arriba" hasta la acometida. Luego en este caso no se descargan las líneas de distribución ni los embarrados secundarios.