
Factor de Potencia

Julio, 2002

Factor de potencia (1/2)

- El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; esto es:

$$FP = \frac{P}{S}$$

- Comúnmente, el factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

Factor de potencia (2/2)

- El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.
- Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Tipos de potencia (1/3)

Potencia efectiva

- La potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo.
- Unidades: Watts (W)
- Símbolo: P

Tipos de potencia (2/3)

Potencia reactiva

- La potencia reactiva es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores.
- Unidades: VAR
- Símbolo: Q

Tipos de potencia (3/3)

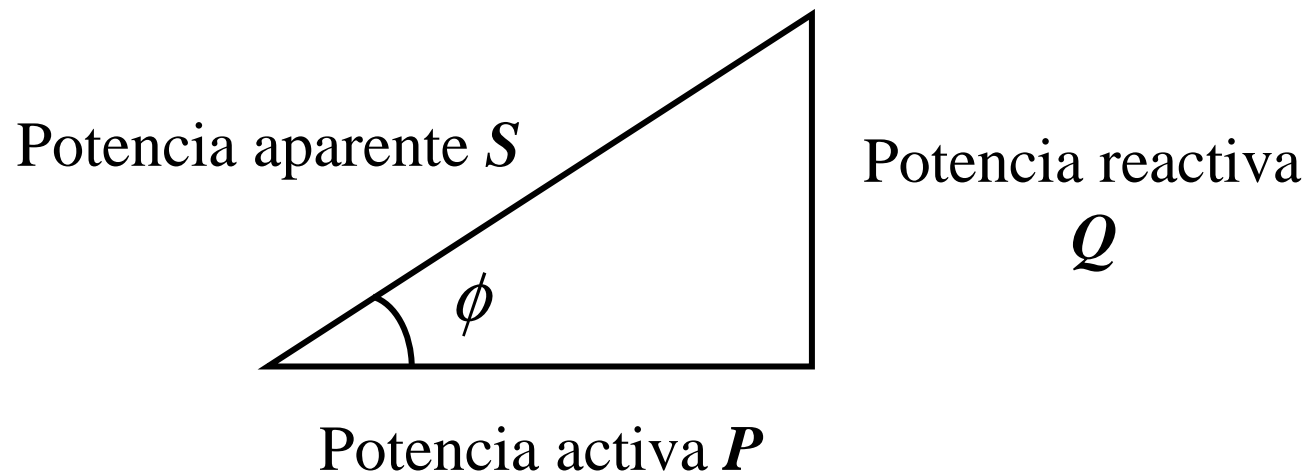
Potencia aparente

- La potencia aparente es la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva; es decir:

$$S = \sqrt{P + Q}$$

- Unidades: VA
- Símbolo: S

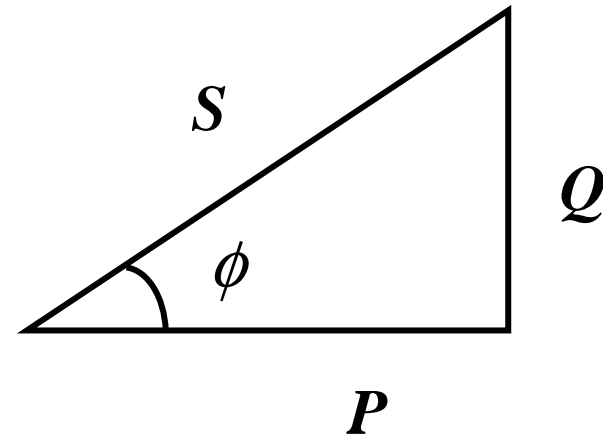
El triángulo de potencias (1/2)



El triángulo de potencias (2/2)

De la figura se observa:

$$\frac{P}{S} = \cos \phi$$



Por lo tanto,

$$FP = \cos \phi$$

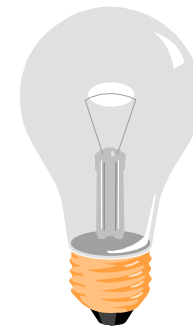
El ángulo ϕ

- En electrotecnia, el ángulo ϕ nos indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase.
- Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia ($FP = \text{Cos } \phi$) puede ser:
- adelantado
- retrasado
- igual a 1.

Tipos de cargas (1/3)

Cargas resistivas

- En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, el voltaje y la corriente están en fase.
- Por lo tanto, $\phi = 0$
- En este caso, se tiene un factor de potencia unitario.



Tipos de cargas (2/3)

Cargas inductivas

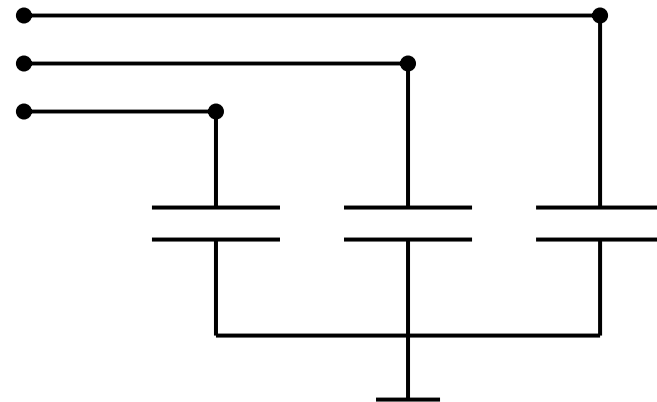
- En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje.
- Por lo tanto, $\phi < 0$
- En este caso se tiene un factor de potencia retrasado.



Tipos de cargas (3/3)

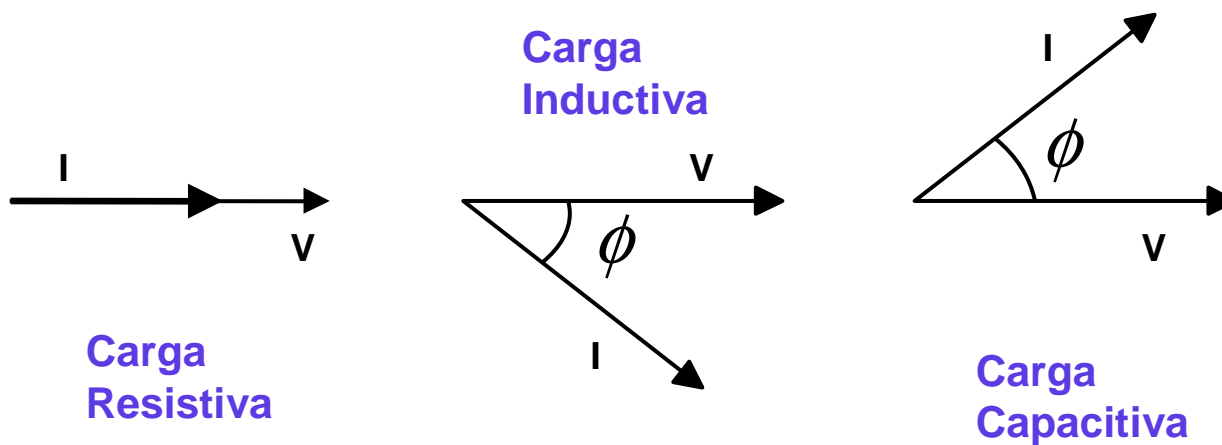
Cargas capacitivas

- En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje.
- Por lo tanto, $\phi > 0$
- En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.



Diagramas fasoriales del voltaje y la corriente

- Según el tipo de carga, se tienen los siguientes diagramas:



El bajo factor de potencia (1/2)

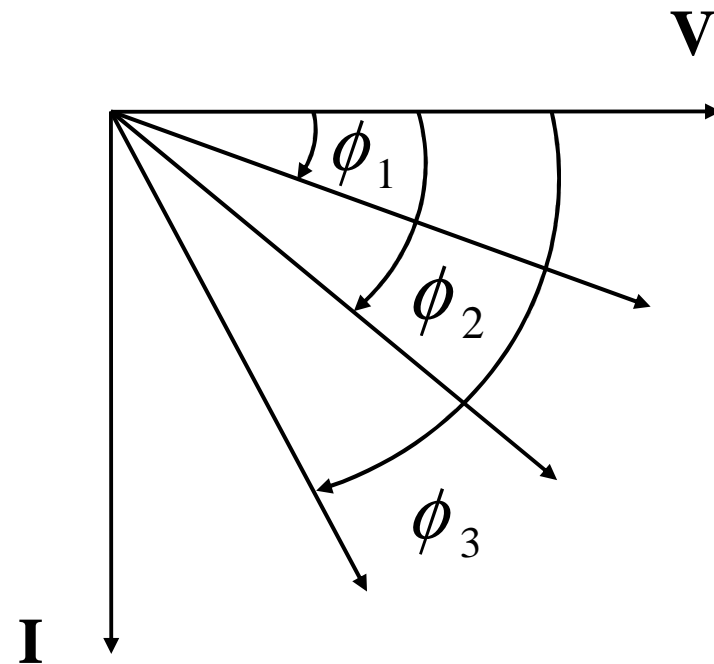
Causas:

- Para producir un trabajo, las cargas eléctricas requieren de un cierto consumo de energía.
- Cuando este consumo es en su mayoría energía reactiva, el valor del ángulo ϕ se incrementa y disminuye el factor de potencia.

El bajo factor de potencia (2/2)

Factor de potencia VS ángulo ϕ

ϕ	FP=Cos ϕ
0	1
30	0.866
60	0.5
90	0



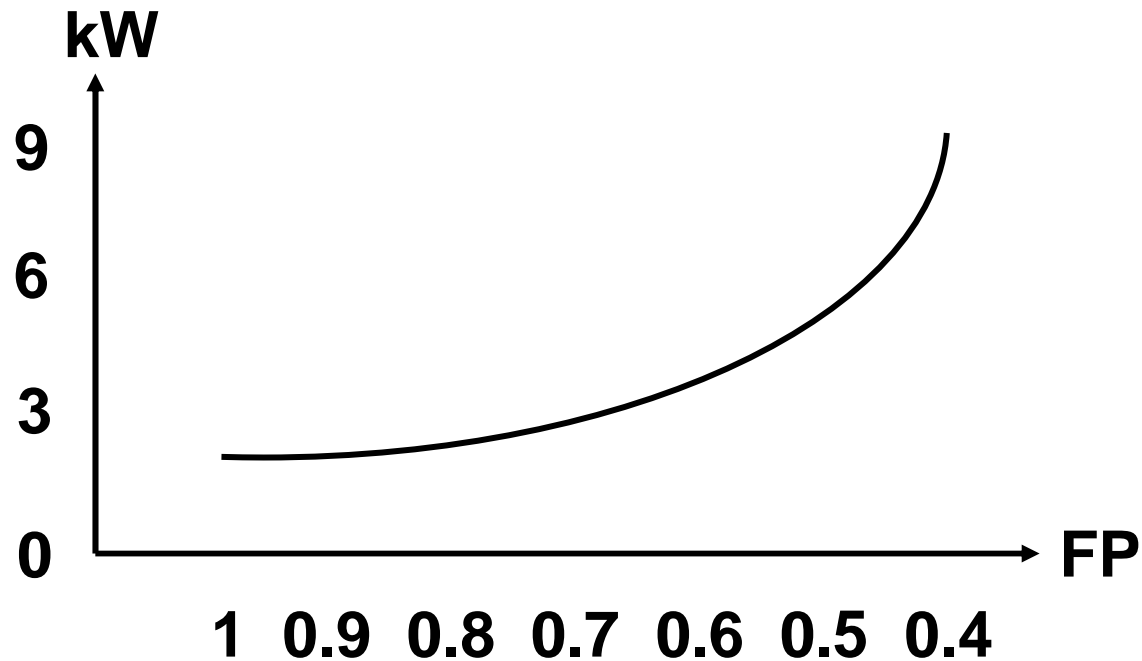
Problemas por bajo factor de potencia (1/3)

Problemas técnicos:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.

Problemas por bajo factor de potencia (2/3)

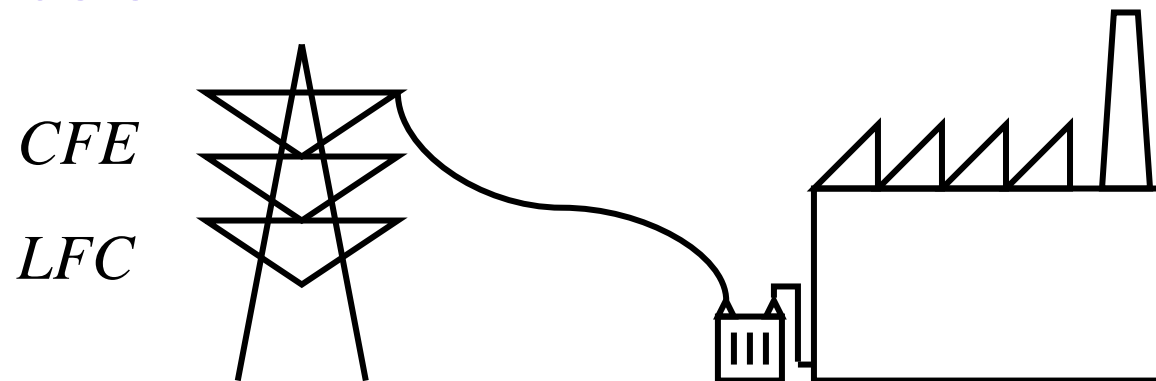
Pérdidas en un conductor VS factor de potencia



Problemas por bajo factor de potencia (3/3)

Problemas económicos:

- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
- Penalización de hasta un 120 % del costo de la facturación.



Beneficios por corregir el factor de potencia (1/2)

Beneficios en los equipos:

- Disminución de las pérdidas en conductores.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones.

Beneficios por corregir el factor de potencia (2/2)

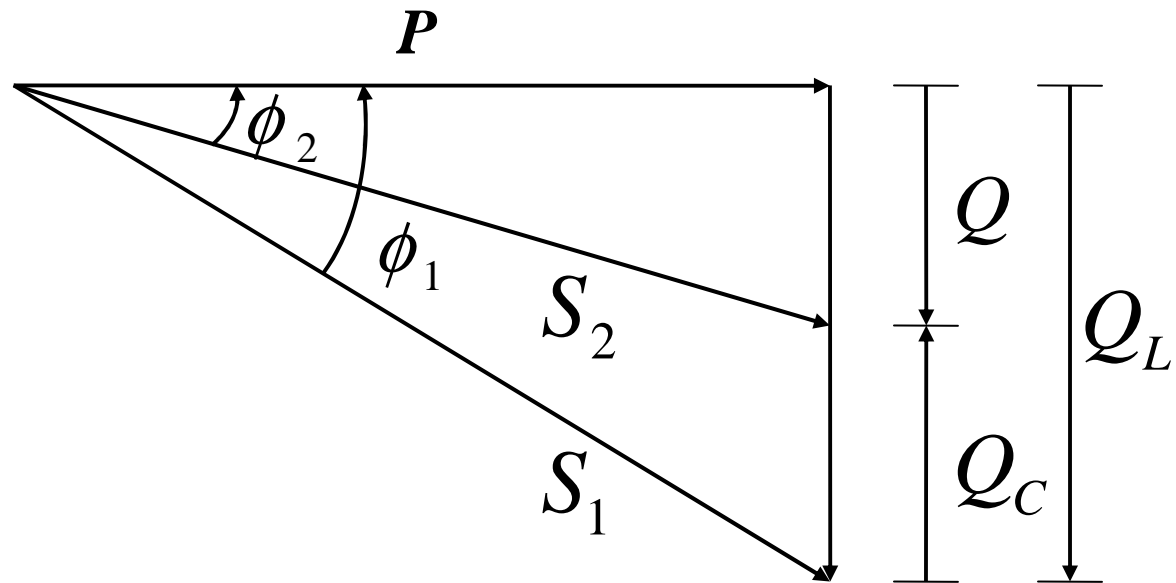
Beneficios económicos:

- Reducción de los costos por facturación eléctrica.
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.
- Bonificación de hasta un 2.5 % de la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0.9

Compensación del factor de potencia (1/5)

- Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento.
- Esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se colocan capacitores en paralelo con la carga.
- Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

Compensación del factor de potencia (2/5)



Compensación del factor de potencia (3/5)

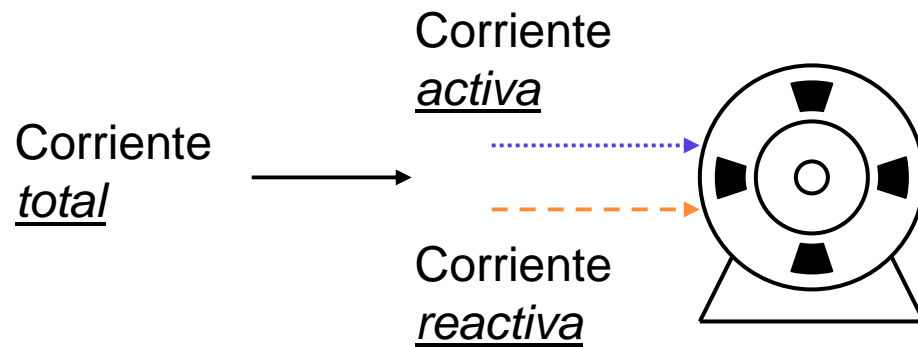
En la figura anterior se tiene:

- Q_L es la demanda de reactivos de un motor y S_1 la potencia aparente correspondiente.
- Q_C es el suministro de reactivos del capacitor de compensación
- La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa, por lo que P es constante.

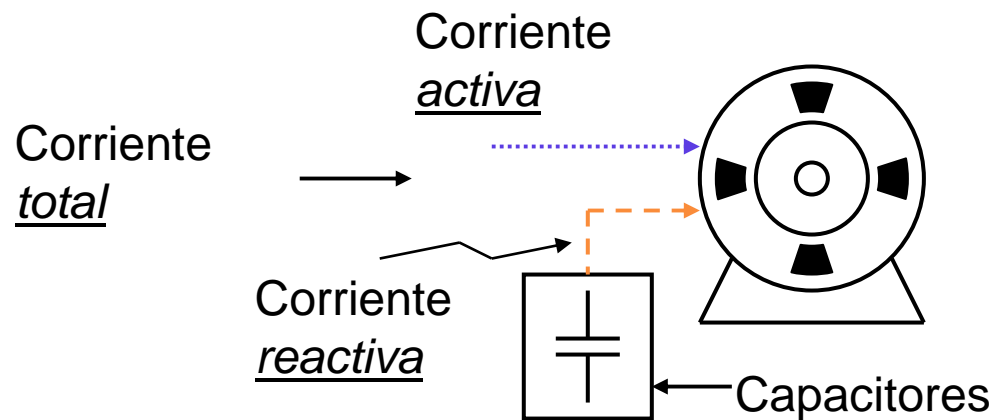
Compensación del factor de potencia (4/5)

- Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo ϕ_1 se reduce a ϕ_2
- La potencia aparente S_1 también disminuye, tomando el valor de S_2
- Al disminuir el valor del ángulo ϕ se incrementa el factor de potencia.

Compensación del factor de potencia (5/5)



Motor de inducción
sin compensación



Motor de inducción
con capacitores
de compensación

Métodos de compensación

Son tres los tipos de compensación en paralelo más empleados:

- a) Compensación individual
- b) Compensación en grupo
- c) Compensación central

Compensación individual (1/3)

Aplicaciones y ventajas

- Los capacitores son instalados por cada carga inductiva.
- El arrancador para el motor sirve como un interruptor para el capacitor.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores.
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando.

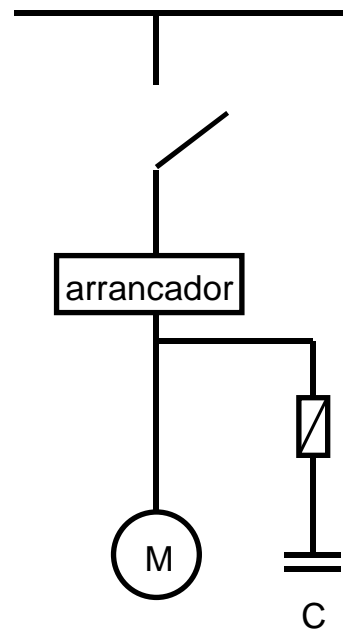
Compensación individual (2/3)

Desventajas

- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Compensación individual (3/3)

Diagrama de conexión



Compensación en grupo (1/3)

Aplicaciones y ventajas

- Se utiliza cuando se tiene un grupo de cargas inductivas de igual potencia y que operan simultáneamente.
- La compensación se hace por medio de un banco de capacitores en común.
- Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores.

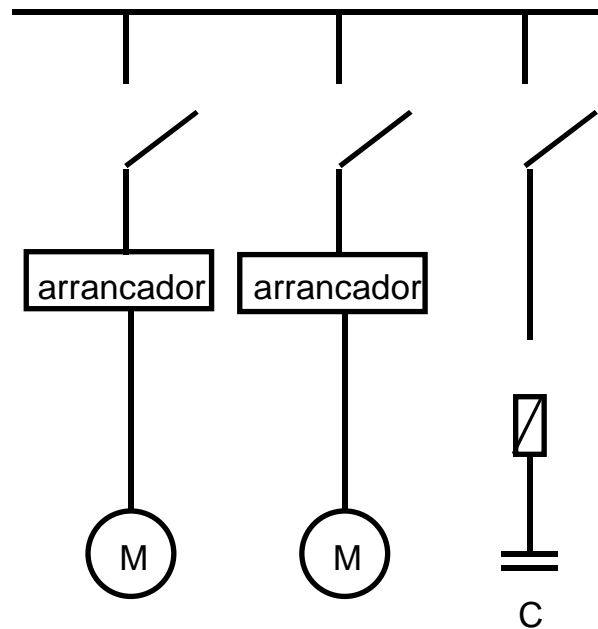
Compensación en grupo (2/3)

Desventajas

- La sobrecarga no se reduce en las líneas de alimentación principales

Compensación en grupo (3/3)

Diagrama de conexión



Compensación central (1/3)

Características y ventajas

- Es la solución más general para corregir el factor de potencia.
- El banco de capacitores se conecta en la acometida de la instalación.
- Es de fácil supervisión.

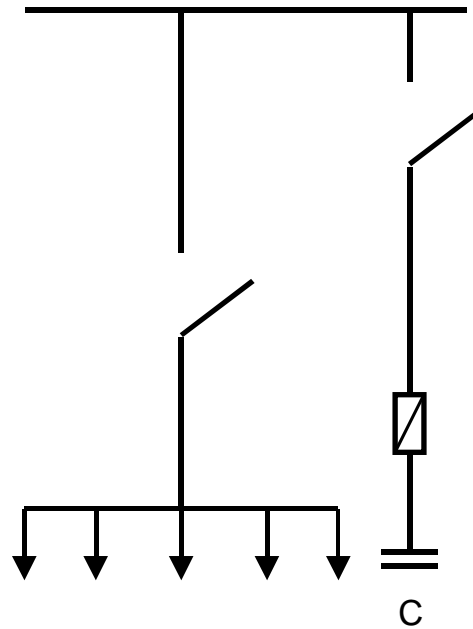
Compensación central (2/3)

Desventajas

- Se requiere de un regulador automático del banco para compensar según las necesidades de cada momento.
- La sobrecarga no se reduce en la fuente principal ni en las líneas de distribución.

Compensación central (3/3)

Diagrama de conexión



Cálculo de los kVARs del capacitor (1/2)

- De la figura siguiente se tiene:

$$Q_c = Q_L - Q$$

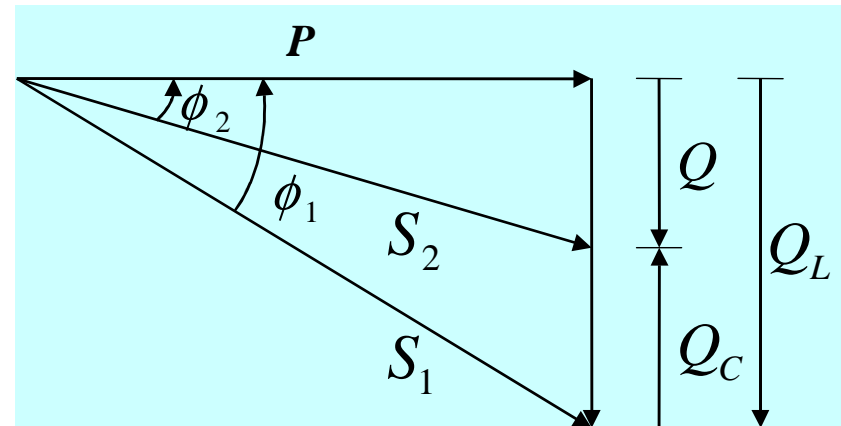
- Como:

$$Q = P * \text{Tan} \phi$$

$$\Rightarrow Q_c = P(\text{Tan} \phi_1 - \text{Tan} \phi_2)$$

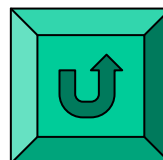
- Por facilidad,

$$Q_c = P * K$$



Cálculo de los kVARs del capacitor (2/2): Coeficiente *K*

	FP deseado				
FP actual	0.8	0.85	0.9	0.95	1
0.3	2.43	2.56	2.695	2.851	3.18
0.4	1.541	1.672	1.807	1.963	2.291
0.5	0.982	1.112	1.248	1.403	1.732
0.6	0.583	0.714	0.849	1.005	1.333
0.7	0.27	0.4	0.536	0.692	1.02
0.8		0.13	0.266	0.421	0.75
0.9				0.156	0.484



Ejemplo

- Se tiene un motor trifásico de 20 kW operando a 440 V, con un factor de potencia de 0.7, si la energía se entrega a través de un alimentador con una resistencia total de 0.166 Ohms calcular:
- a) La potencia aparente y el consumo de corriente
- b) Las pérdidas en el cable alimentador
- c) La potencia en kVAR del capacitor que es necesario para corregir el F.P. a 0.9
- d) Repetir los incisos a) y b) para el nuevo factor de potencia
- e) La energía anual ahorrada en el alimentador si el motor opera 600 h/mes

Solución (1/3)

a) La corriente y la potencia aparente

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \text{Cos}\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} * V * FP} \Rightarrow I_1 = \frac{20,000W}{\sqrt{3} * 440V * 0.7} = 37.49 \text{ _ A}$$

$$S = \sqrt{3} * V * I \Rightarrow$$

$$S_1 = \sqrt{3} * 440V * 37.49A = 28.571 \text{ _ kVA}$$

b) Las pérdidas en el alimentador

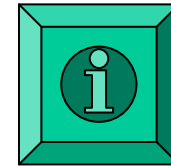
$$\text{Perd} = 3 * R * I^2 \Rightarrow$$

$$\text{Perd}_1 = 3 * 0.166 * 37.49^2 = 700 \text{ _ W}$$

Solución (2/3)

c) Los kVAR del capacitor

Nos referimos a la tabla del coeficiente “K”
y se escoge el valor que está dado por
el valor actual del FP y el valor deseado:



$$Q_c = P * K \Rightarrow$$

$$Q_c = 20kW * 0.536 = 10.72 _ kVAR$$

d.1) La corriente y la potencia aparente

$$I_2 = \frac{20,000W}{\sqrt{3} * 440V * 0.9} = 29.16 _ A$$

$$S_2 = \sqrt{3} * 440V * 29.16A = 22.22 _ kVA$$

Solución (3/3)

d.2) Las pérdidas en el alimentador

$$Perd_2 = 3 * 0.166 * 29.16^2 = 423.45 \text{ _ } W$$

e) Energía anual ahorrada

- La reducción de las pérdidas:

$$\Delta P = Perd_1 - Perd_2 \Rightarrow \Delta P = 700 - 423.45 = 276.55 \text{ _ } W$$

- La energía ahorrada al año:

$$\Delta E = \frac{\Delta P * hrs / mes * 12 \text{ _ } meses}{1000} \Rightarrow \Delta E = \frac{276.55W * 600h / mes * 12meses}{1000} = 1990.8 \text{ _ } kWh$$

- Considerando a \$ 0.122 por kWh, se tienen \$ 242.88 de ahorro tan sólo en el alimentador

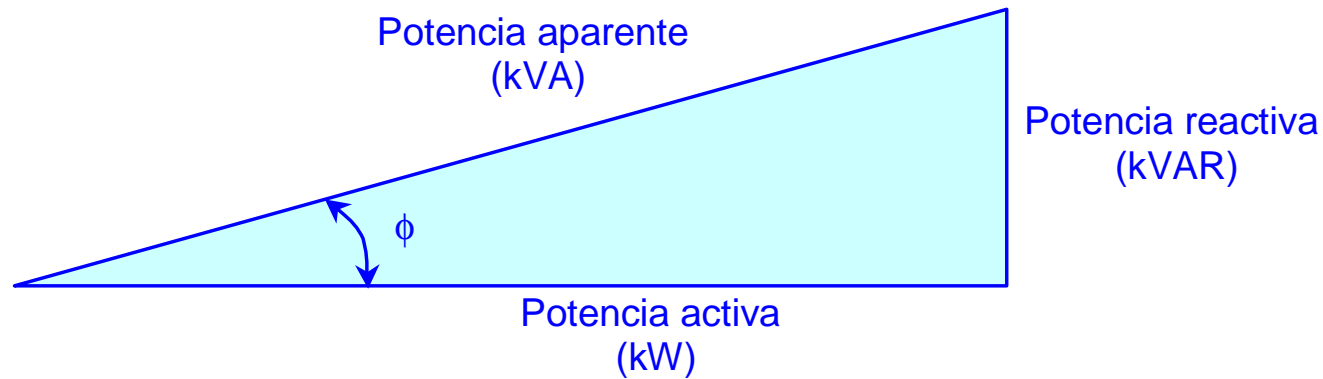
Ejemplo corrección factor de potencia

Mes	Demanda (kW)	Factor de potencia FP	Potencia Reactiva (kVAR) requeridos para elevar el FP a:					
			0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
Enero	315	0.8888	12	34	57	84	117	193
Febrero	294	0.7894	103	123	145	170	201	272
Marzo	293	0.8583	40	60	82	107	138	208
Abril	298	0.9249	-26	-5	17	42	74	146
Mayo	326	0.9321	-37	-15	10	38	72	151
Junio	328	0.9218	-25	-2	22	50	85	164
Julio	322	0.8898	11	33	57	85	119	197
Agosto	329	0.9021	-2	21	45	73	108	187
septiembre	326	0.8237	79	102	126	154	188	267
Octubre	333	0.8893	12	35	60	88	123	204
Noviembre	321	0.8930	8	30	54	81	115	193
Diciembre	321	0.9044	-5	17	42	69	103	180

FP promedio = 0.8848

Calcular porcentaje de bonificación con un FP deseado de 0.98

Potencia reactiva (kVAR)



$$\operatorname{tg} \phi = \frac{kVAR}{kW} \quad \longrightarrow \quad \phi = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{kVAR}{kW} \right]$$

$$FP = \operatorname{Cos} \phi \quad \longrightarrow \quad \phi = \operatorname{Cos}^{-1} FP$$

Potencia reactiva:

$$kVAR = kW * \operatorname{tg} \phi \quad \longrightarrow \quad kVAR = kW * \operatorname{tg} \left(\operatorname{Cos}^{-1} FP \right)$$

Compensación del FP

Potencia reactiva requerida

Potencia reactiva requerida para elevar el FP_1 a un FP_2

$$kVAR = kW \left[\operatorname{tg} \left(\cos^{-1} FP_1 \right) - \operatorname{tg} \left(\cos^{-1} FP_2 \right) \right]$$

Corrección de potencia reactiva debida al voltaje

$$kVAR_{\text{totales}} = kVAR \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2$$

V_1 = Voltaje de línea

V_2 = Voltaje de diseño banco de capacitores

Ejemplo: Compensación del FP

Datos:

Demanda (kW)	Factor de potencia	
	Actual (FP ₁)	Deseado (FP ₂)
315	0.8888	0.9600

$V_1 = 440$ Volts (voltaje de línea)

$V_2 = 480$ Volts (voltaje de diseño banco de capacitores)

Potencia reactiva requerida

$$kVAR = 315 \left[\operatorname{tg} \left(\cos^{-1} 0.8888 \right) - \operatorname{tg} \left(\cos^{-1} 0.9600 \right) \right] = 71$$

Corrección de potencia reactiva debida al voltaje

$$kVAR_{\text{totales}} = \frac{71}{\left(\frac{440}{480} \right)^2} = 84$$

Ejemplo: Compensación del FP

Calculo del porcentaje de penalización con un factor de potencia promedio anual de 0.8848

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left[\frac{0.9}{0.8848} - 1 \right] \times 100 = 1.1$$

Calculo del porcentaje de bonificación por mejorar el FP a 0.98

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[1 - \frac{0.9}{0.9800} \right] \times 100 = 2.1\%$$

Nota: Los cargos o bonificaciones económicas se determinan al multiplicar la suma de los cargos por demanda y consumo de energía, multiplicados por los porcentajes de penalización o bonificación, según sea el caso

Consideraciones del FP (1)

- Cargos y bonificaciones máximas

FP = 0.30 Penalización máxima 120%

FP = 1.00 Bonificación máxima 2.5%

- Compensación individual de transformadores
 - De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, la potencia reactiva (kVAR) de los capacitores, no debe exceder al 10% de la potencia nominal del transformador

Consideraciones del FP (2)

- Compensación individual de motores
 - Generalmente no se aplica para motores menores a 10 KW
 - Rango del capacitor
 - En base a tablas con valores normalizados, o bien,
 - multiplicar los hp del motor por 1/3
 - el 40% de la potencia en kW

Bancos automáticos de capacitores (1)

- Cuenta con un regulador de VARS que mantiene el FP prefijado, ya sea mediante la conexión o desconexión de capacitores conforme sea necesario
- Pueden suministrar potencia reactiva de acuerdo a los siguientes requerimientos:
 - constantes
 - variables
 - instantáneos
- Se evitan sobrevoltajes en el sistema

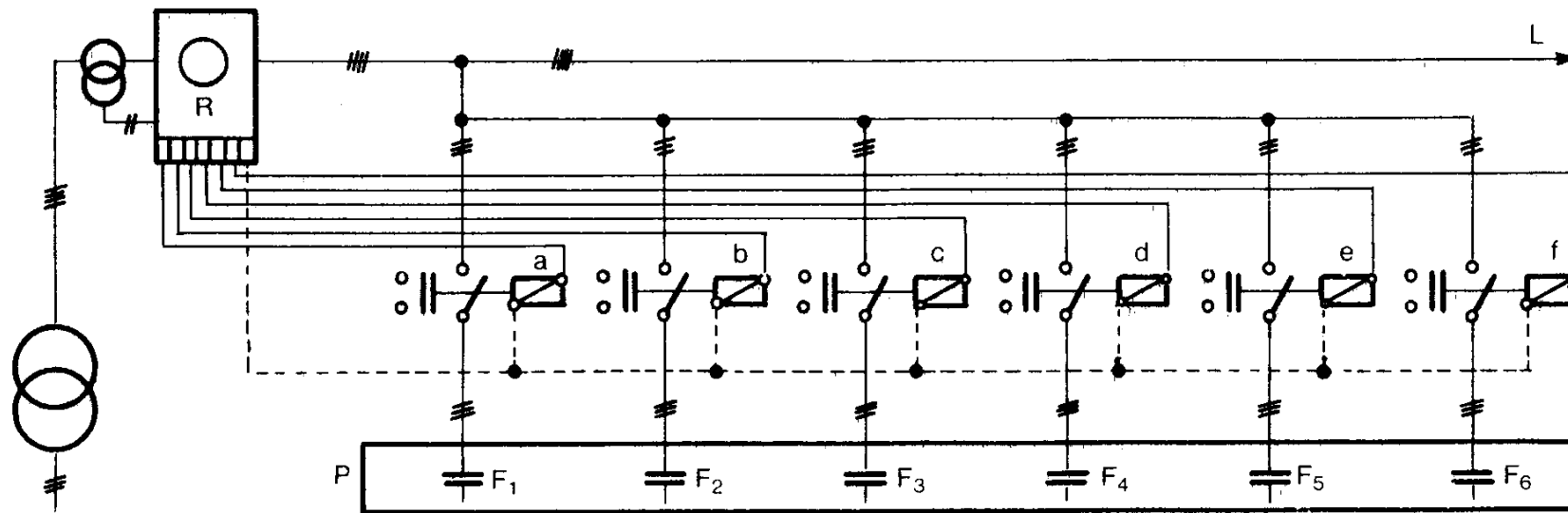
Bancos automáticos de capacitores (2)

- Elementos de los bancos automáticos:
 - Capacitores fijos en diferentes cantidades y potencias reactivas (kVAR)
 - Relevador de factor de potencia
 - Contactores
 - Fusibles limitadores de corriente
 - Interruptor ternomagnético general
- Los bancos de capacitores pueden ser fabricados en cualquier No. De pasos hasta 27 (pasos estandar 5,7,11 y 15)

Bancos automáticos de capacitores (3)

- El valor de los capacitores fijos depende del No. De pasos previamente seleccionado, así como, de la cantidad necesaria en kVAR's para compensar el FP a 1.0
- A mayor No. de pasos, el ajuste es más fino, dado que cada paso del capacitor es más pequeño, permitiendo lograr un valor más cercano a 1.0, no obstante ocasiona un mayor costo
- La conmutación de los contactores y sus capacitores individuales es controlada por un regulador (vármetro)

Esquema de un banco automático de capacitores



a,b,c,d,e,f: contactores
F1,F2,F3,F4,F5,F6: pasos

L = Carga
R = Regulador varmétrico.