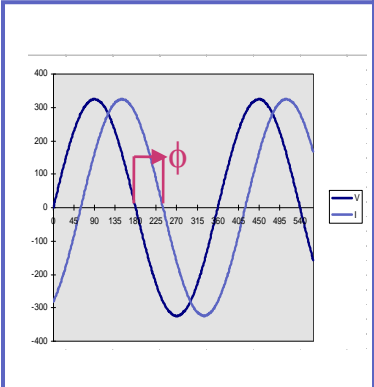


Ing. Ramón Ramírez R.

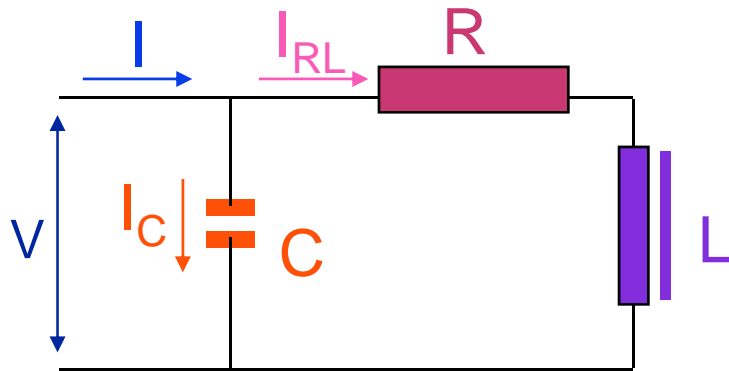


Capacitores y Factor de Potencia en la Industria



CARGAS COMBINADAS

■ CONEXION DEL CAPACITOR



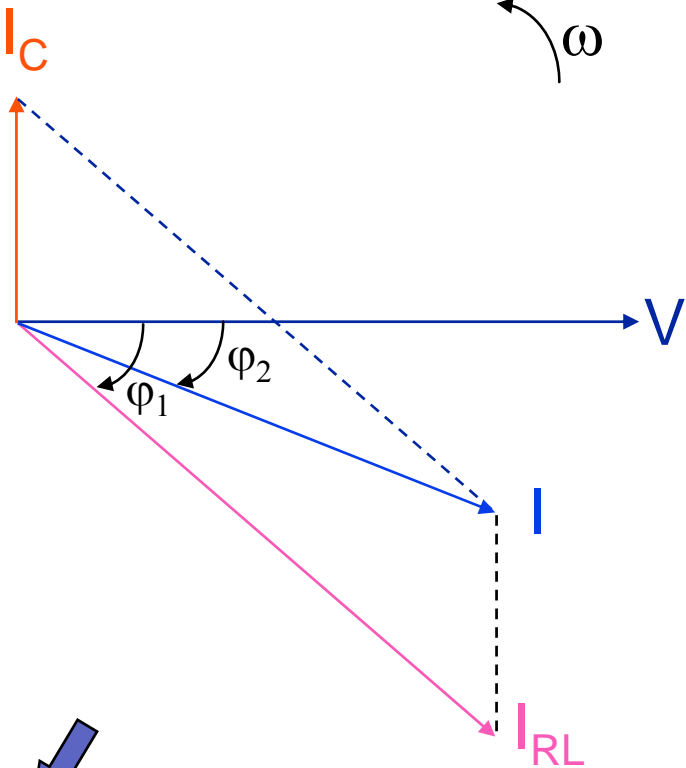
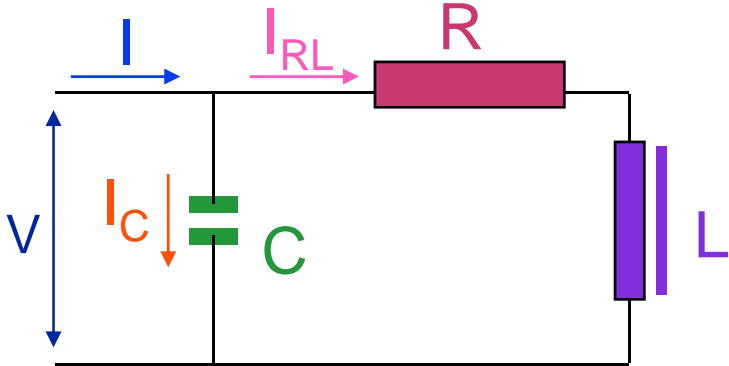
I_{RL} : corriente a través de la carga

I_C : corriente a través del capacitor

I : Corriente total
entregada por el suministrador

CARGAS COMBINADAS

■ CONEXION DELCAPACITOR



$\phi_1 \rightarrow \phi_2$

$\phi \rightarrow \cos \phi$

I



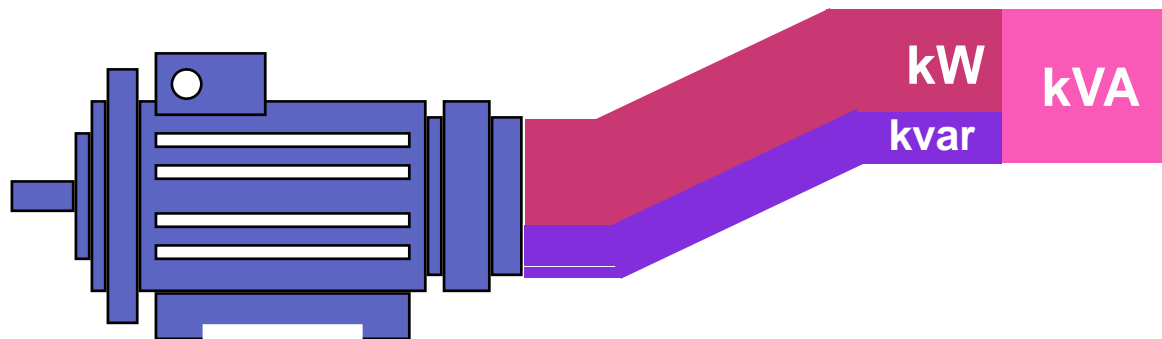
COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

- Potencia Real (**kW**)

☞ se transforma en trabajo (potencia útil)

- Potencia Reactiva (**kvar**)

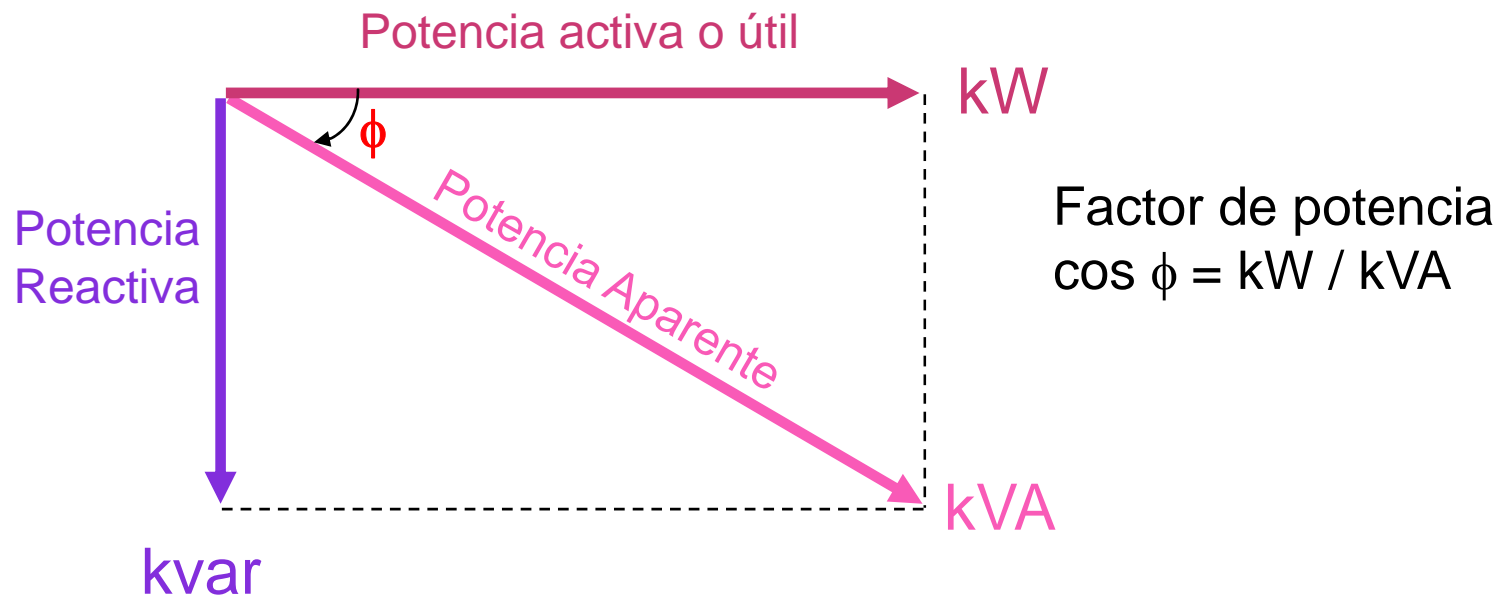
☞ soporta campos electromagneticos (potencia no útil)



- Potencia Aparente (**kVA**)

☞ potencia total consumida

COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA



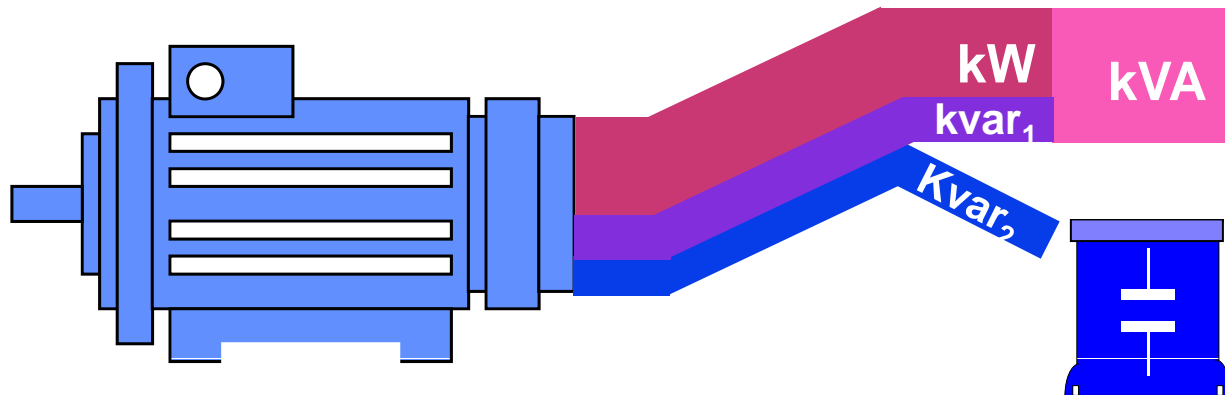
COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

¿COMO PODEMOS MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA Y ASÍ REDUCIR EL CONSUMO DE POTENCIA?

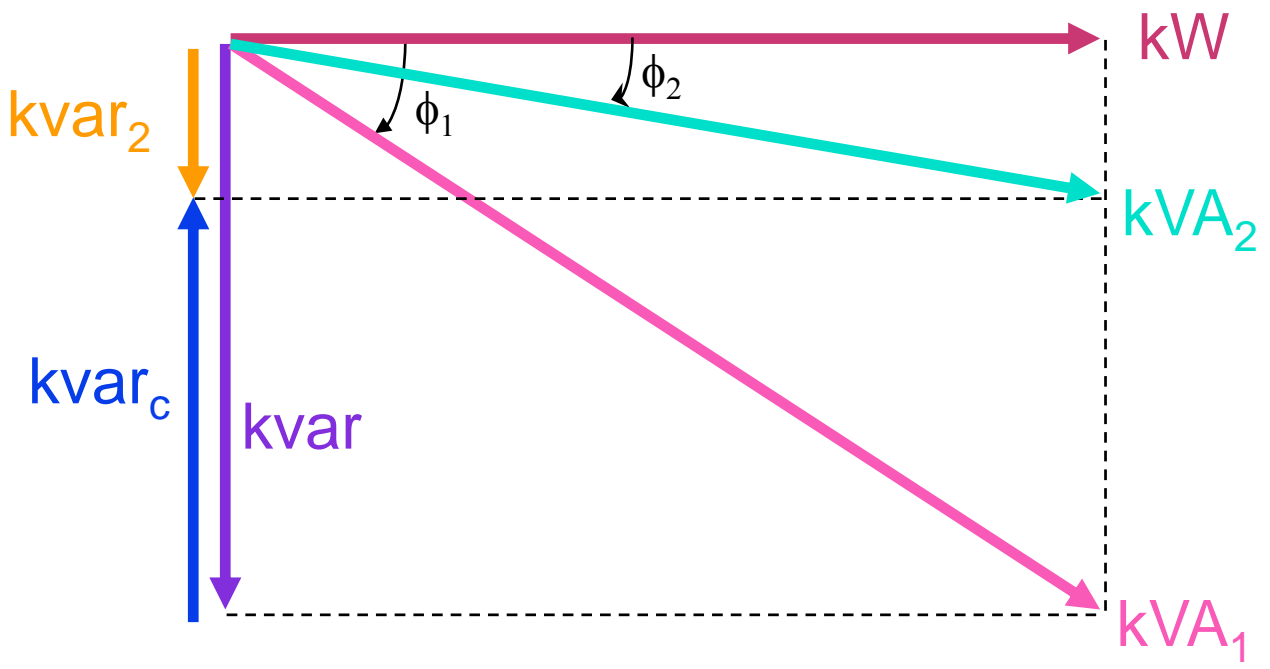


COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

El capacitor conectado en paralelo entregara kvar en la misma dirección que la carga pero en fase opuesta



COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA



COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

$$\cos \phi = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$

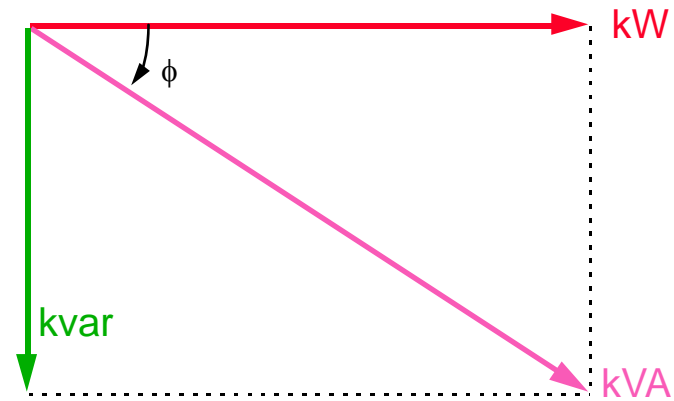
$$\sin \phi = \frac{\text{kvar}}{\text{kVA}}$$

$$\text{kVA} = \sqrt{\text{kW}^2 + \text{kvar}^2}$$

$$\cos \phi = \frac{\text{kW}}{\sqrt{\text{kW}^2 + \text{kvar}^2}}$$

$$\tan \phi = \frac{\text{kvar}}{\text{kW}}$$

$$\text{kvar}_c = \text{kW}(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$



Transformadores y Cables de Distribución (✓ I)

Reducción de la Corriente demandada del sistema.

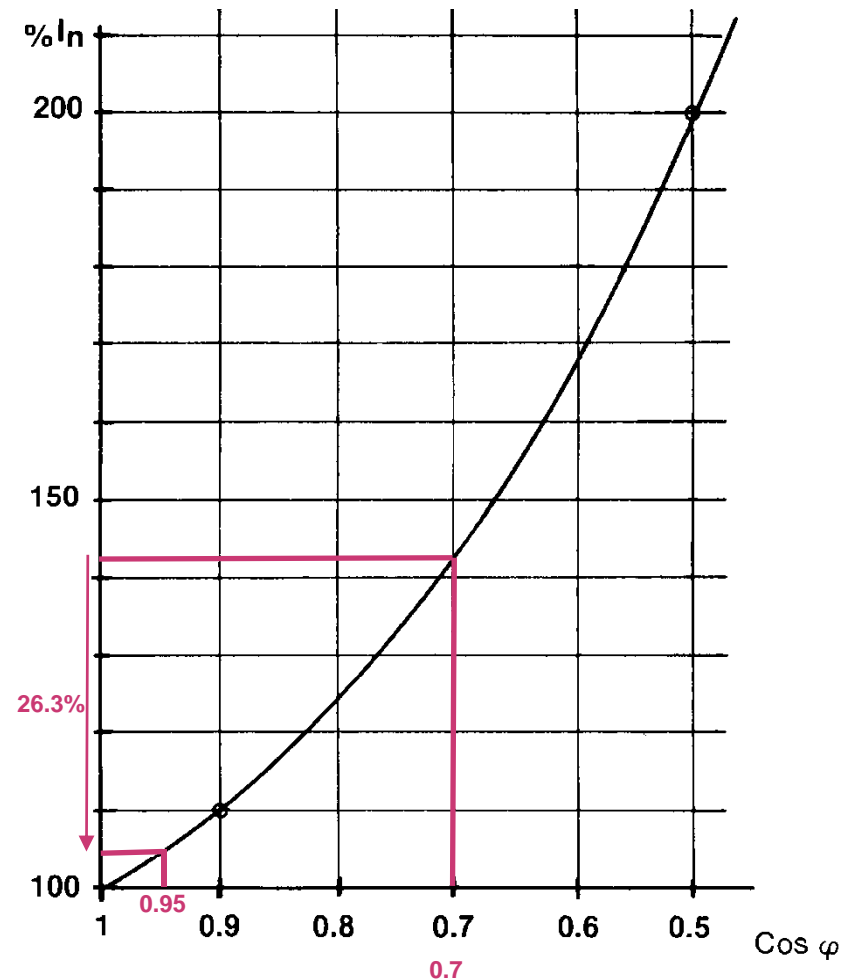
• Reducción del factor:

$$I_n (\%) = 1 - (\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2) * 100$$

• $\cos \varphi_1 = 1 \rightarrow I_n = 100\%$
(corriente útil requerida)

• $\cos \varphi \uparrow \rightarrow I_n \downarrow$

• Para los mismos kW, la corriente nominal se reduce en un 26.3% cuando el FP se incrementa de 0.7 a 0.95



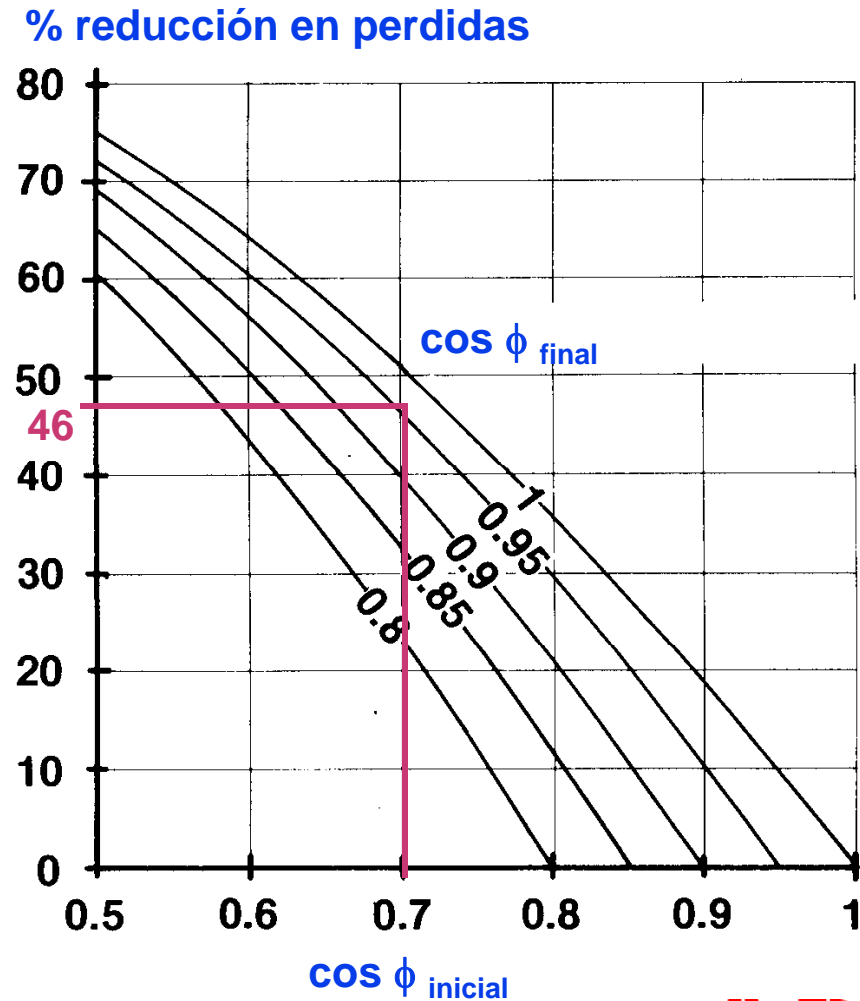
Reducción de Pérdidas por Efecto Joule (RI²)

Cables

Reducción del factor RI² (%):

$$RI^2 (\%) = 1 - (\cos \phi_1 / \cos \phi_2) * 100$$

Para la misma carga, las pérdidas se reducen en un **46%** cuando el FP se incrementa de 0.7 a 0.95



Reduccion de Pérdidas por Efecto Joule (RI^2)

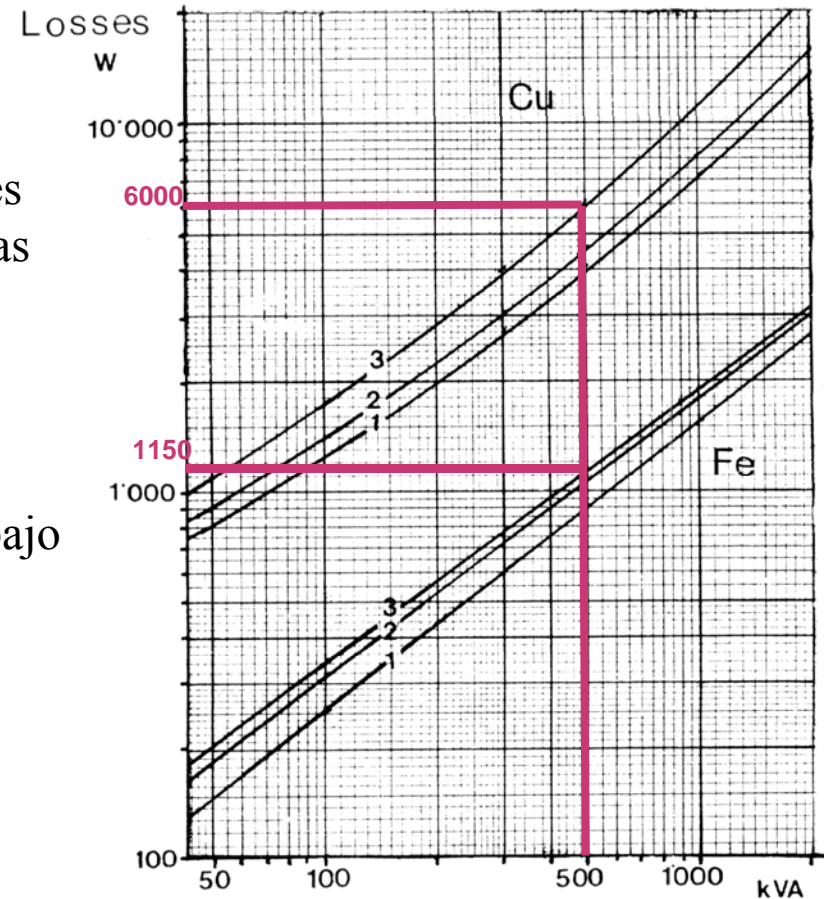
Transformador

- 3= transformador con pérdidas normales
- 2= transformador con pérdidas reducidas
- 1= transformador con pérdidas bajas

Dos tipos de pérdidas:

Entrehierro (o pérdidas en el núcleo)
potencia disipada en el transformador bajo
condiciones sin carga.

Cobre (o pérdidas en el embobinado)
→ $f(I)^2$



Reducción de Pérdidas por Efecto Joule (RI^2)

Capacidad normal del transformador:
500 kVA
Carga actual: 300 kW a $\cos \phi = 0.7$

Pérdidas en el núcleo:

1,150 kW (independiente al costo)

Pérdidas en el embobinado:

$6,000 * (\text{carga actual} / \text{carga nominal})^2$

$6,000 * [(300/0.7) / 500]^2 = 4,410 \text{ W}$

Pérdidas totales = $1,150 + 4,450 = 5,560 \text{ W}$

Situación después de corregir el FP

$\cos \phi = 0.90$

Pérdidas en el núcleo:

1,150 kW

Pérdidas en el embobinado:

$6,000 * [(300/0.9)/500]^2 = 2,670 \text{ W}$

Pérdidas totales = $1,150 + 2,670 = 3,820 \text{ W}$

Ahorro de energía: 1,740 W



Salida Reducida de Potencia Aparente [kVA]

$$\text{kVA}_{\text{recuperado}} = \text{kW} (1/\cos \phi_1 - 1/\cos \phi_2)$$

Ejemplo:

Carga de 200 kW

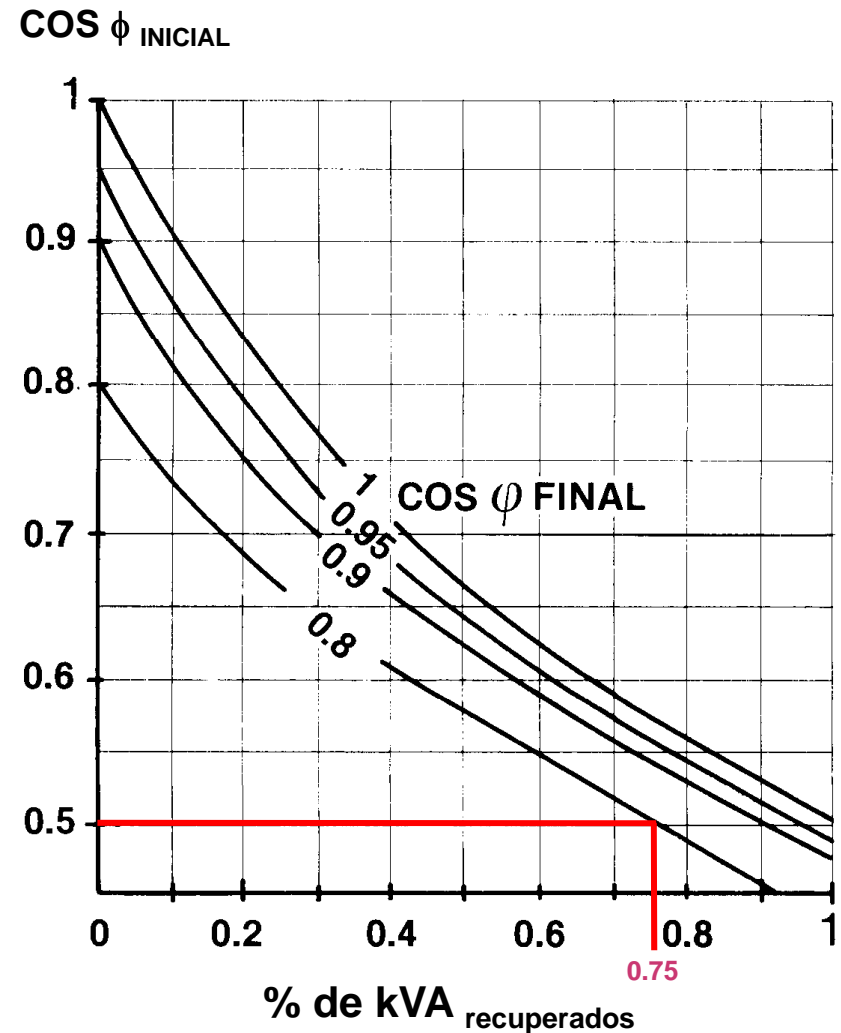
$$\text{kVA}_{\text{recuperado}} = 200 * 0.75 = 150 \text{ kVA}$$

Carga del transformador:

con $\cos \phi = 0.5 \rightarrow 200/0.5 = 400 \text{ kVA}$

con $\cos \phi = 0.8 \rightarrow 200/0.8 = 250 \text{ kVA}$

kVA recuperados = 150

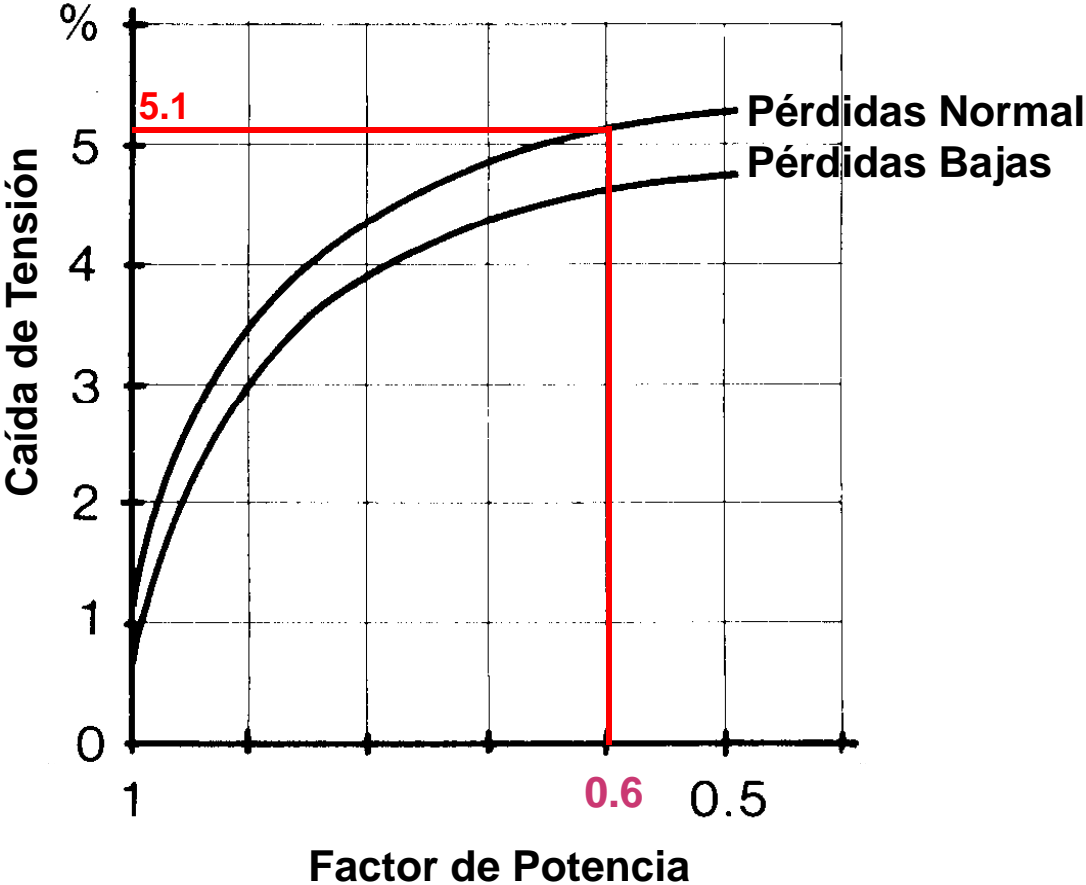


Caída de Tensión en Transformador

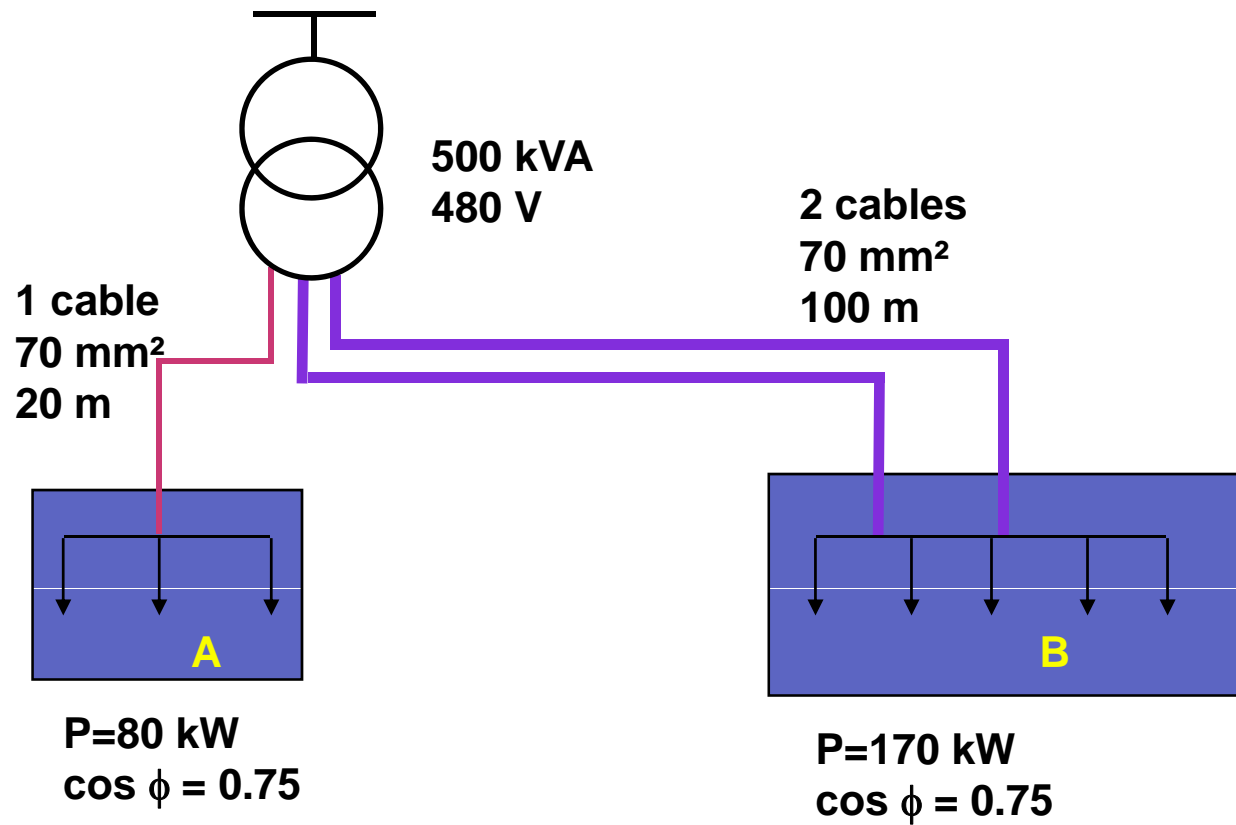
Caída de Tensión

$\cos \phi = 0.6$

Se tiene **5.1%** de caída de tensión



Reducción de Pérdidas (ejemplo)



Reducción de Pérdidas (ejemplo)

Cuenta del consumo eléctrico:

Consumo mensual = 70,125 kWh

Consumo mensual = 63,081 kvarh

Actividad de: 340 días/año

15 horas/día

$$P_{\text{promedio}} = 70,125 / 425 = 165 \text{ kW} \text{ (66\% de plena carga)}$$

$$Q_{\text{promedio}} = 63,081 / 425 = 148 \text{ kvar}$$

$$S_{\text{promedio}} = \sqrt{(165^2 + 148^2)} = 222 \text{ kVA}$$

$$PF_{\text{promedio}} = 165 / \sqrt{(165^2 + 148^2)} = 0.744$$



Reducción de Pérdidas (ejemplo)

Factor de Potencia para evitar penalización: 0.9

$$Q_c = kW (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2) \\ = 165 (0.898 - 0.484) = 68 \text{ kvar}$$

Situación Actual:

$$P_{\text{actual}} = 165 \text{ kW (no cambia)}$$

$$Q_{\text{actual}} = 148 - 68 = 80 \text{ kvar } (\downarrow)$$

$$S_{\text{actual}} = \sqrt{165^2 + 80^2} = 183 \text{ kVA } (\downarrow) \text{ (anterior 222)}$$

Reducción de potencia aparente en 18%



Reducción de Pérdidas (ejemplo)

Pérdidas en Cables

$$\cos \phi = 0.75$$

Almacén A:

$$I = (0.66 * P) / \sqrt{3} V \cos \phi$$
$$= 80,000 * 0.66 / \sqrt{3} * 480 * 0.75 = 85 \text{ A}$$

Pérdidas en cables:

$$P = 3 RI^2L \text{ (R}=\rho l/S \text{ [\Omega/m])}$$
$$= 3 * 246 \times 10^{-6} * 85^2 * 20 = 107 \text{ W}$$

5,100 hrs/año  $P = 544 \text{ kWh}$

Almacén B:

$$I = (170,000 * 0.66) / \sqrt{3} * 480 * 0.75 = 180 \text{ A}$$

Pérdidas en cables:

$$P = 2(3 RI^2L)$$
$$= 2 (3 * 246 \times 10^{-6} * (180/2)^2 * 100) = 1,196 \text{ W}$$

5100 hrs/año  $P = 6,097 \text{ kWh}$



Reducción de Pérdidas (ejemplo)

Pérdidas en Cables

$$\cos \phi = 0.90$$

Almacén A:

$$I = 85 (0.75 / 0.90) = 71 \text{ A}$$

Pérdidas en cables:

$$P = 107 (71 / 85)^2 = 75 \text{ W}$$

$$5100 \text{ hrs/año} \rightarrow P = 381 \text{ kWh}$$

Almacén B:

$$I = 180 (0.75 / 0.90) = 150 \text{ A}$$

Pérdidas en cables:

$$P = 1196 (150 / 180)^2 = 831 \text{ W}$$

$$5100 \text{ hrs/año} \rightarrow P = 4,236 \text{ kWh}$$



Reducción de Pérdidas (ejemplo)

Pérdidas en Transformadores y Pérdidas Totales

Antes de al corrección:

Pérdidas Transformador:

$$P = 1150 + 6,000 [(80 + 170) * 0.66 / (0.75 * 480)]^2 = 2,260 \text{ kW}$$

$$P = 5,100 * 2,260 = 11,528 \text{ kWh}$$

Pérdidas Totales:

$$P = 544 + 6,097 + 11,528 = \mathbf{18,169 \text{ kWh}}$$

Despues de al corrección:

Pérdidas Transformador:

$$P = 11,150 + 6,000 [(80 + 170) * 0.66 / (0.90 * 480)]^2 = 2,025 \text{ W}$$

$$P = 5,100 * 2,025 = 10,329 \text{ kWh}$$

Pérdidas Totales:

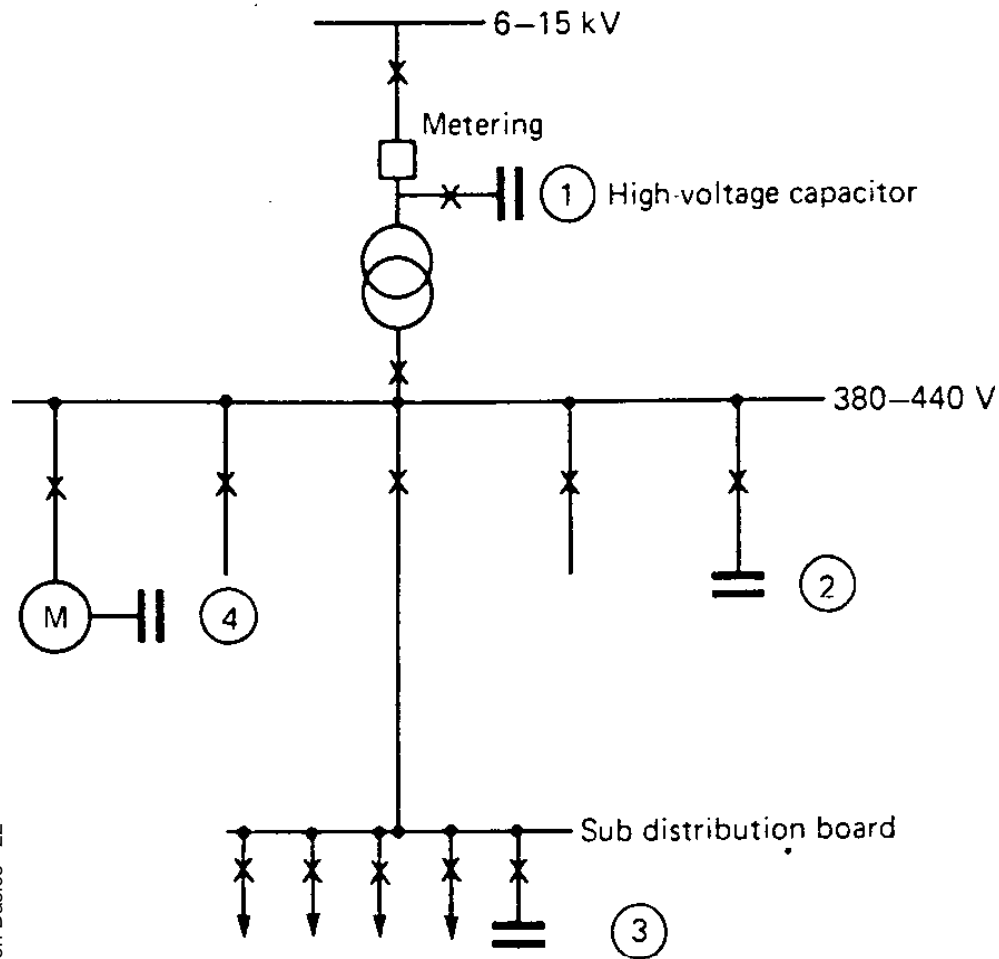
$$P = 381 + 4,236 + 10,329 = \mathbf{14,946 \text{ kWh}}$$

18% DE REDUCCIÓN DE PERDIDAS AL AÑO



Ubicación de capacitores

Los capacitores pueden ser instalados en varios sitios en su sistema eléctrico



- 1:** Capacitores a la entrada de la planta de servicio
- 2:** Capacitores en el alimentador principal
- 3:** Capacitores en un grupo de cargas
- 4:** Capacitores a un punto de carga individual



INSTALACIÓN TÍPICA

- Compensación Individual de Motores Grandes ($> 50\text{kW} \approx 70 \text{ HP}$)
- Compensación Fija de Transformadores (máximo 10 % en kvar del tamaño del transformador en kVA)
- Banco de Capacitores Automático para compensar carga variable



Compensación individual de transformadores

La frecuencia resonante se puede calcular con la sig. formula :

$$f = f_p \sqrt{\frac{P_{sc}}{P_c}}$$

f = frecuencia resonante

f_p = frecuencia de potencia

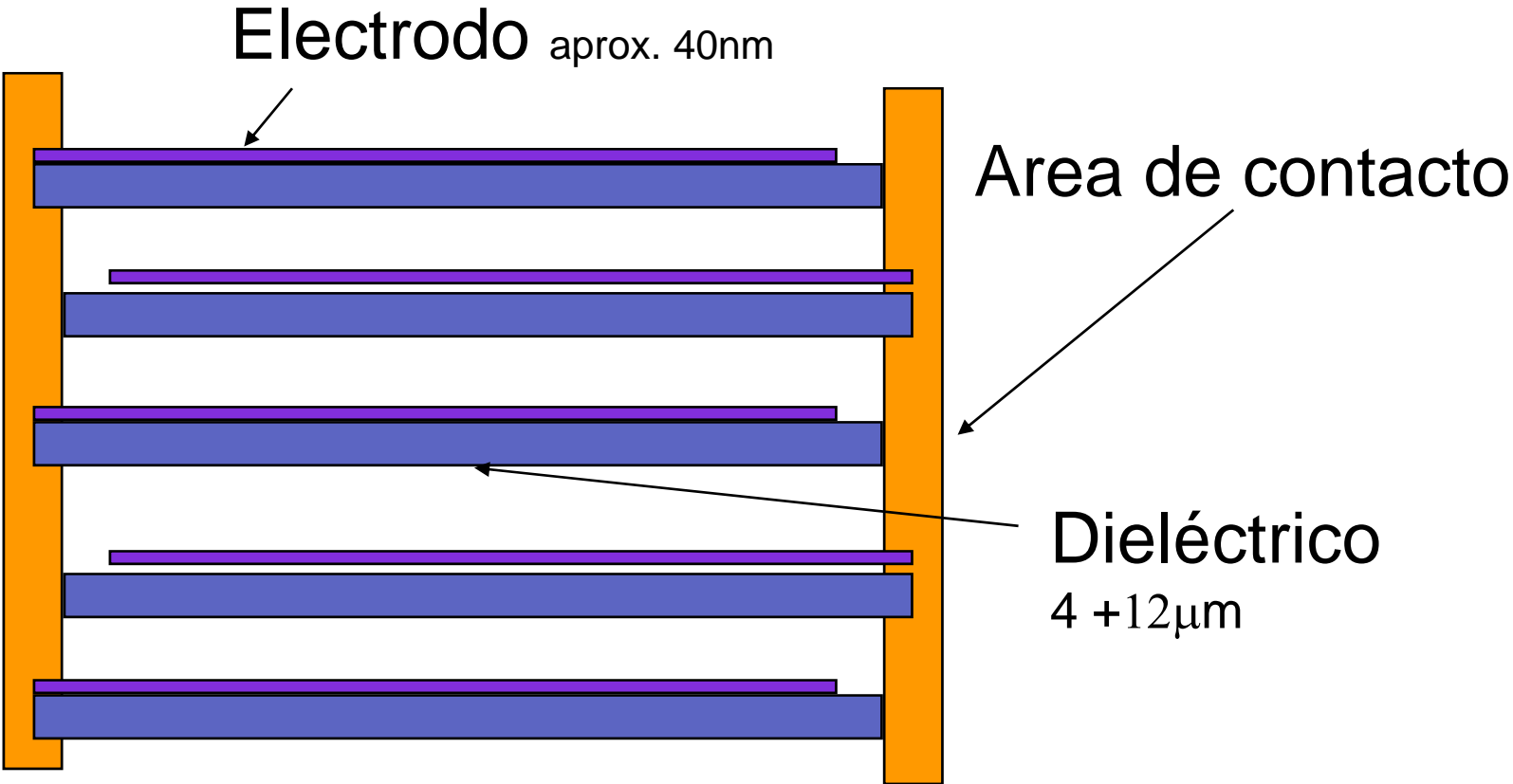
P_{sc} = Potencia de corto circuito del transformador (kVA)

P_c = Potencia del capacitor (kvar)

Si la frecuencia obtenida esta cercana de la armónica existente en la red, el valor (en kvar) del capacitor deberá ser modificado. Las frecuencias armónicas más comunes son, **3a, 5a, 7a, etc...**



GENERALIDADES (CAP)



CAPACITOR FIJO (CLMD)



- Terminales robustas
- Resistencias de descarga
- Orificio de entrada de cables
- Terminal de tierra
- Cubierta de trabajo pesado
- Autorregeneración
- Dieléctrico seco
- Pérdidas muy bajas
- Regulador térmico
- Fácil de instalar
- Vermiculita



BANCO AUTOMÁTICO (CMX)



- Controlador del F.P. (tipo RVT)
- Protección general (ITM)
- Protección por capacitor (fusibles)
- Contactores para cargas capacitivas
- Capacitor fijo (desde 1 a 12 capacitores)
- Mini-interruptores de control
- Barras en ITM principal
- Transformador de corriente
- 4 tamaños de gabinete (613, 633, 653 y 663)

REGULADOR DEL F.P. (RVT)

- Medición y Control:
 - Potencias
 - Tensión
 - Corriente
 - Temperatura
 - THD (I) y THD (V)
 - Frecuencia
- Parametros programables
 - Cos ϕ objetivo
 - Desplazamiento de fases
 - C/k
 - Secuencia de conmutación
 - Numero de salidas activas
 - Tiempo de retardo de conmutación
 - Estrategia de conmutación
 - Umbrales de alarma



REGULADOR DEL F.P. (RVC)



- Fácil puesta en servicio
- Ajuste totalmente automático
 - C/k
 - Número de salidas activas
 - Tipo de secuencia de conmutación
 - Desplazamiento de fase
- Fácil de usar gracias a interfaz
- Alarmas (no se alcanza $\cos \phi$, temperatura, no suministro de energía)
- Estrategia de conmutación
 - Controlar el $\cos \phi$
 - Reducir número de conmutaciones
 - Evitar conmutaciones inútiles
 - Aumentar vida útil de capacitores



ABB