



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Instalaciones Eléctricas

Compensación de Energía Reactiva

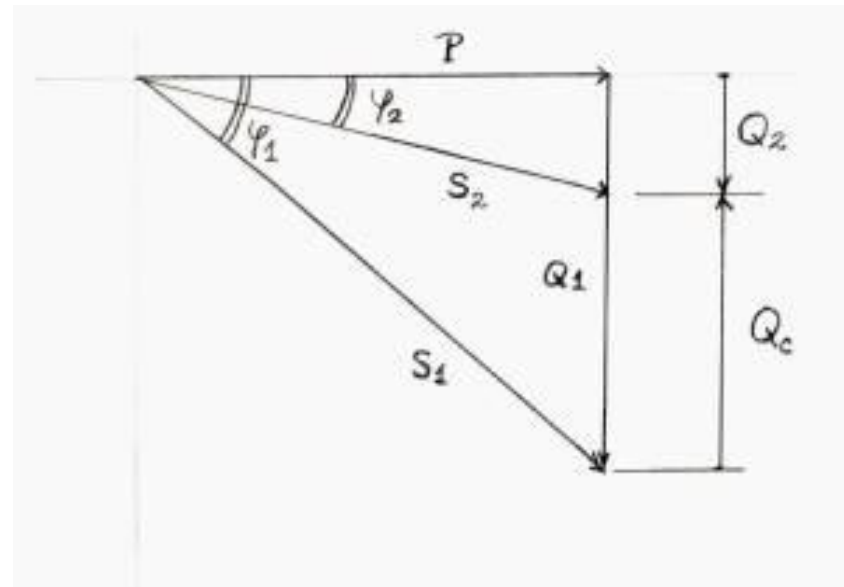
Presentación 2

Cálculo de la reactiva a compensar

Se debe determinar:

- P
- $\cos \phi_1$ (factor de potencia inicial)
- $\cos \phi_2$ (factor de potencia **objetivo**)

$$Q_C = P \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$



Cálculo de la reactiva a compensar

- Si se realiza en etapa de **proyecto**: se debe calcular consumos de todas las cargas. Evaluar compensar individual cargas importantes.
- Si la instalación es **existente** y se quiere mejorar el FP:

Se puede determinar Q mediante registradores (curva de demanda) o con medidas puntuales (cargas aproximadamente constantes).

En caso de no poder registrar ni medir, se puede utilizar un **promedio mensual**:

$$Q_C = \frac{E_a}{t} \cdot \left(\frac{E_r}{E_a} - \tan \varphi_2 \right) = \frac{E_r - E_a \cdot \tan \varphi_2}{t}$$

Donde QC es la potencia reactiva de compensación a instalar.

Con este método se obtiene un valor medio de la Q a compensar, y por lo tanto es apropiado para aquellas instalaciones que tienen un consumo aproximadamente constante.

Efecto de los armónicos en los condensadores

Se incrementan en la actualidad los armónicos en las instalaciones eléctricas.

Son consecuencia de equipos de **electrónica de potencia**:

- Variadores de frecuencia y arrancadores de estado sólido.
- Rectificadores y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).
- Hornos de arco, balastos de lámparas de descarga y fluorescentes.

Armónicos en la corriente:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

Armónicos en la tensión:

$$U_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

Efecto de los armónicos en los condensadores

Los condensadores son especialmente sensibles al contenido de armónicos, presentándose fundamentalmente dos problemas:

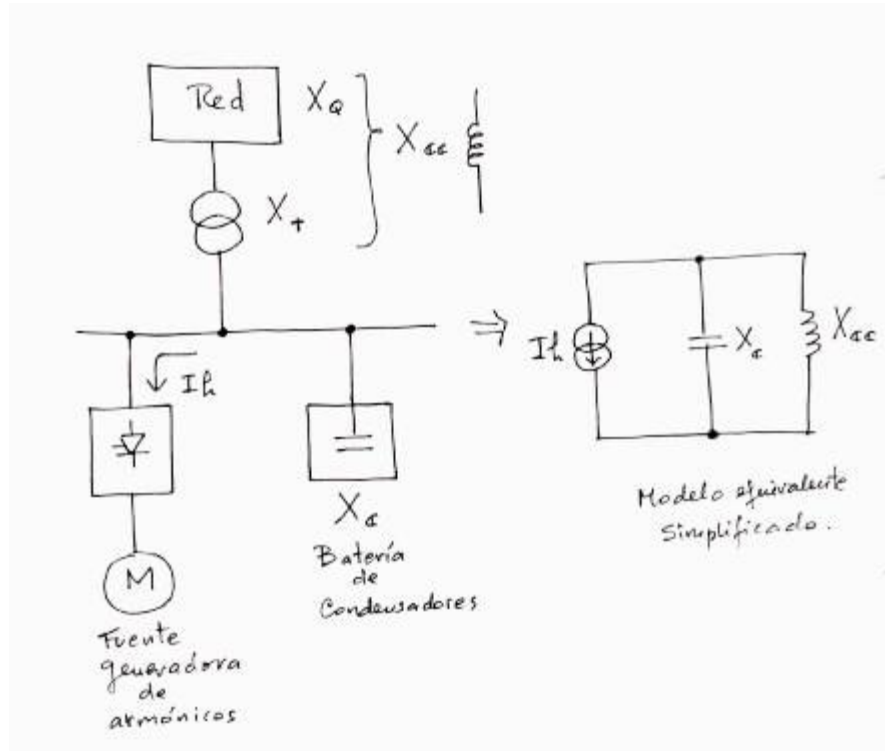
- Impedancia se reduce con la frecuencia: $X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$

Baja impedancia para las corrientes armónicas. Estas corrientes elevadas producen calentamiento, con degradación del dieléctrico, pudiendo llegar a su perforación.

- X_c forma un circuito oscilante con las reactancias de trafos y red de distribución.

Pueden **amplificarse armónicos** presentes en la red. Sobretensiones en armónicos cercanos a frecuencia de resonancia.

Efecto de los armónicos en los condensadores



$$X_c(h) = \frac{1}{j(\omega \cdot h \cdot C)} = \frac{1}{h} jX_c$$

$$X_{cc}(h) = j(\omega \cdot h \cdot L_{cc}) = h \cdot jX_{cc}$$

Frecuencia de resonancia se da en armónico:

$$h = \sqrt{\frac{X_c}{X_{cc}}}$$

Consideraciones prácticas

¿Cómo especificar condensadores?

Valores nominales:

- U_n , tensión eficaz nominal (V)
- f_n , frecuencia nominal (Hz)
- Q_n , potencia reactiva entregada a tensión y frecuencia nominal (kVAr)

- $I_n = \frac{Q_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$ corriente nominal (A)

$$Q_{C_{\text{triángulo}}} = 3 \cdot U_n^2 \cdot \omega \cdot C$$

$$Q_{C_{\text{estrella}}} = U_n^2 \cdot \omega \cdot C$$

Consideraciones prácticas

Norma condensadores de potencia de BT es la IEC 60831 y establece, entre otros, los siguientes requerimientos:

- **Capacidad de sobrecorriente permanente:** 30% para los condensadores estándar.
- **Capacidad de sobretensión permanente:** 10% para los condensadores estándar.
- **Resistencia de descarga:** los condensadores almacenan cargas eléctricas que luego de su desconexión pueden resultar peligrosas para las personas durante su operación. Para reducir estas tensiones a valores seguros se emplean resistencias de descarga. La norma establece que la tensión en bornes de un condensador no debe exceder de 75 V transcurridos 3 minutos desde su desconexión.

Consideraciones prácticas

Los condensadores en la actualidad, cumplen en su mayoría con las siguientes características:

- Son de construcción seca, por lo cual no tienen riesgo de incendio.
- Son del tipo autoregenerables, lo que implica que frente a pequeñas fallas internas de perforación del dieléctrico, este se regenera de forma de poder seguir en funcionamiento.
- Cuentan con resistencias de descarga.
- Protección interna con fusible interno de alta capacidad de ruptura contra cortocircuitos y sistema de sobrepresión que produce la desconexión en forma mecánica del elemento cuando aumenta la presión en el interior del elemento.

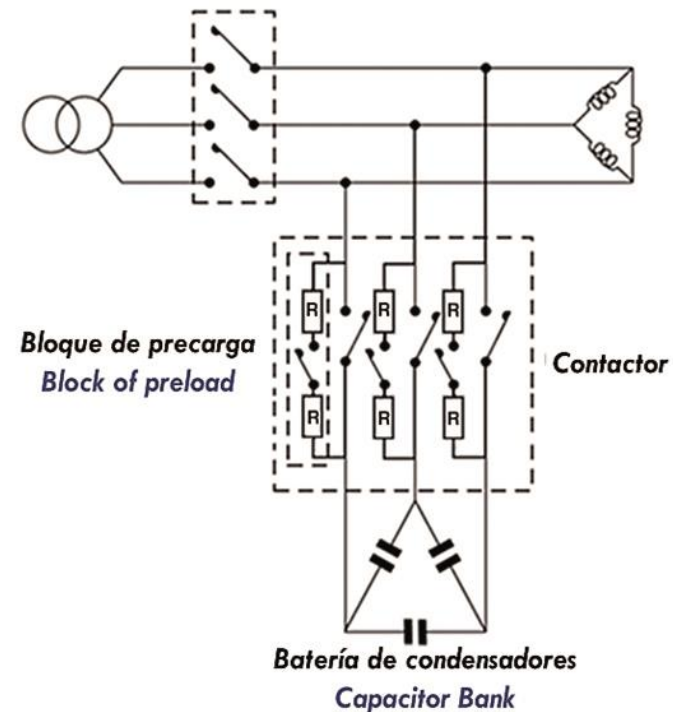
Consideraciones prácticas

- Maniobra mediante contactores:

Corriente de cresta de conexión puede alcanzar valores de hasta 30 veces la corriente nominal del condensador.

En bancos automáticos de varios pasos, la corriente de conexión depende de los condensadores que ya están conectados. En este caso los valores de la corriente de cresta pueden alcanzar fácilmente valores de hasta **180 a 200 veces** la corriente nominal.

Se deben utilizar contactores especiales con contactos de precierre y resistencias de amortiguación.



Consideraciones prácticas

- Maniobra mediante contactores:



Consideraciones prácticas

- Protección mediante interruptores automáticos:

Se considera que por efectos de armónicos, la corriente RMS efectivamente consumida puede ser un 30% superior a la nominal.

Además, según IEC 60831

- $Q_C \leq 100\text{kVAR}$: $I_{c\text{max}} = 1.3 * 1.1 * I_n = 1.43 * I_n$ (tolerancia de 10% en Q_C)
- $Q_C > 100\text{kVAR}$: $I_{c\text{max}} = 1.3 * 1.05 * I_n = 1.36 * I_n$ (tolerancia de 5% en Q_C)

Se debe regular la protección térmica en estos valores.

Para evitar disparos intempestivos de la protección instantánea:

$$I_m > 10 I_{c\text{max}}$$

Consideraciones prácticas

- Protección mediante **fusibles**:

En caso de utilizar fusibles como elementos de protección, los mismos deben ser de alta capacidad de ruptura ACR tipo gG y deben ser de corriente nominal 1.6 a 2 veces la corriente nominal de la batería de condensadores.

Consideraciones prácticas

- Conductores de conexión:

Dimensionado considerando hasta en un 30% por la presencia de armónicos.

Tabla con las secciones de los conductores de conexión, y los calibres de los fusibles para 230V y 400V, para distintas potencias de baterías de condensadores:

Potencia Q_{II} (kvar)	$U_{II} = 230 \text{ V}$			$U_{II} = 400 \text{ V}$		
	I_{II} (A)	Fusible (A)	$\text{mm}^2 \text{ Cu}^1$	I_{II} (A)	Fusible (A)	$\text{mm}^2 \text{ Cu}^1$
2	5,0	10	1,5	2,9	10	1,5
2,5	6,3	16	1,5	3,6	10	1,5
3	7,5	16	1,5	4,3	10	1,5
4	10,0	20	2,5	5,8	10	1,5
5	12,6	25	2,5	7,2	16	2,5
7,5	18,8	35	4	10,8	20	2,5
10	25,1	50	6	14,4	25	4
12,5	31,4	63	10	18,0	35	6
15	37,7	63	10	21,7	50	6
20	50,2	100	16	28,9	50	10
25	62,8	125	25	36,1	63	10
30	75,3	125	50	43,3	80	16
35	87,9	160	50	50,5	100	16
37,5	94,1	160	50	54,1	100	25
40	100,4	160	70	57,7	100	25
50	125,5	200	95	72,2	125	35
60	150,6	250	120	86,6	160	50
75	188,3	300	150	108,3	160	70
80	200,8	315	185	115,5	200	70
90	225,9	400	185	129,9	250	95
100	251,0	400	240	144,3	250	95
125	313,8	500	2x120	180,4	315	150
150	376,5	630	2x150	216,5	400	185
180	451,8	2x400	2x185	259,8	400	240
200	502,0	2x500	3x120	288,7	500	2x95
240	602,5	3x300	3x185	346,4	630	2x150
250	627,6	3x400	3x185	360,8	630	2x150

¹ Secciones de cable establecidas a partir de la norma HD 384-5-523 (UNE 20460), para cable multiconductor (tripolar) de PVC, instalado al aire y para una temperatura ambiente de 40 °C.