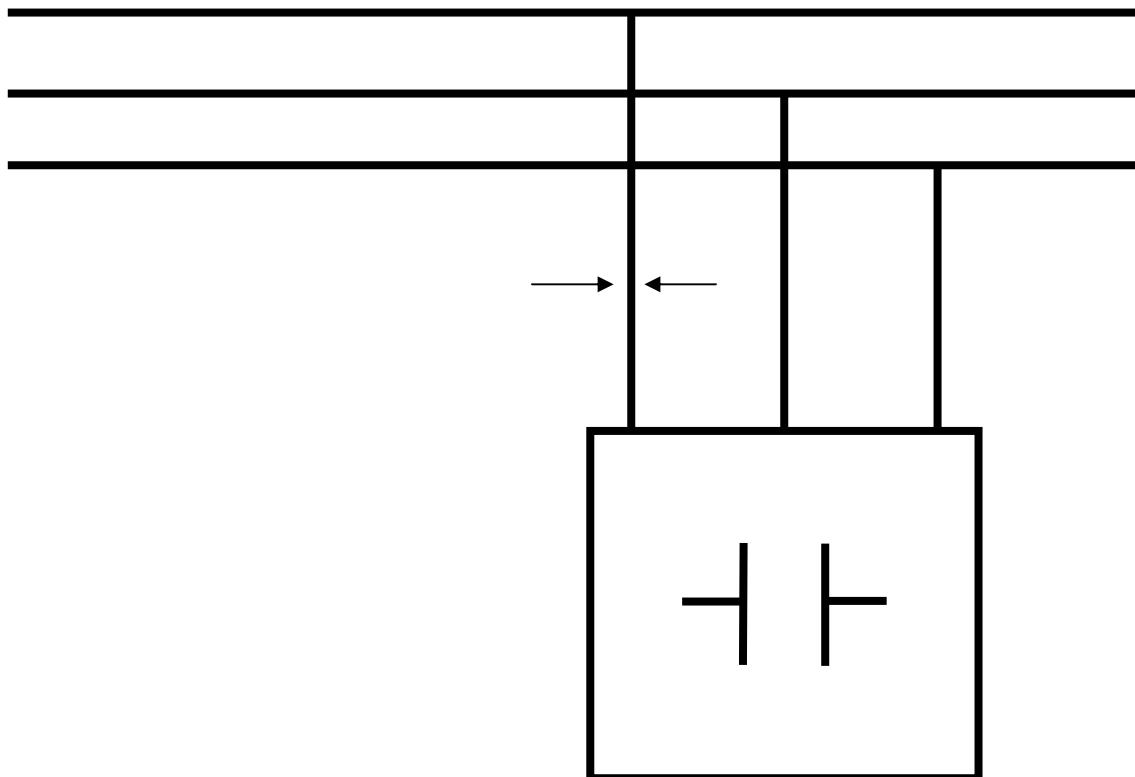


## Eficiencia energética. Ejemplo de cálculo de sección de los conductores de alimentación a una batería de condensadores.

La corrección del factor de potencia con baterías de condensadores es una forma de mejorar la eficiencia energética de una instalación porque reducimos la intensidad eficaz al elevar el  $\cos \phi$ . La idiosincrasia de estos receptores aconseja tener en cuenta varios factores a la hora de dimensionar las secciones de los conductores que los alimentan.



A diferencia de la gran mayoría de aparatos eléctricos los condensadores de compensación de Energía Reactiva, ER, una vez que están conectados a una red de alimentación de nivel de tensión eficaz apreciablemente constante, funcionan a plena carga de forma permanente.

Las baterías de compensación de la ER pueden instalarse de forma centralizada, descentralizada o mixta. En este artículo nos ceñiremos a los sistemas de corrección del factor de potencia, suministrados en forma de conjuntos equipados completos, para instalar sin ninguna modificación en un punto concreto de la red de distribución interior del usuario interesado en tal mejora del mencionado factor de potencia.

Dejamos a un lado, por lo tanto, el cálculo del cableado interior de dichos cuadros, cuyos criterios se detallan en el ANEXO A de la Norma UNE-EN 60439-1, para centrarnos en la canalización eléctrica que une el citado cuadro con el punto en el que se va a inyectar la compensación.

Como no se trata de diseñar la canalización sino simplemente de calcular su sección, partimos de la base de que todas las partes de diseño están ya realizadas y solamente resta realizar el cálculo bajo los tres puntos de vista, o hipótesis habituales:

- Equilibrio térmico en régimen permanente, o 1<sup>a</sup> Hipótesis (intensidad máxima admisible).
- Caída de tensión máxima en el extremo de la canalización, o 2<sup>a</sup> Hipótesis.
- Temperatura máxima de aislante después de la intervención de las protecciones tiempo-independiente, o 3<sup>a</sup> Hipótesis (intensidad máxima de cortocircuito admisible).

Es bien conocido que el peso relativo de estas hipótesis, es decir la sección resultante obtenida por la aplicación de los criterios de cálculo bajo cada uno de los puntos de vista, es variable. En el caso que nos ocupa es bastante evidente que tanto la segunda como la tercera son, en la práctica totalidad de los casos de canalizaciones eléctricas a baterías de condensadores, irrelevantes.

En el caso del cálculo por 3<sup>a</sup> Hipótesis, por ejemplo, la razón es que el tiempo corte total de la corriente de cortocircuito es del orden de los 10 ms, debido a la gran rapidez de actuación de las protecciones en baja tensión, que asegura el corte de la intensidad de la corriente en su primer paso por cero.

En el caso del cálculo por caída de tensión, o 2<sup>a</sup> Hipótesis, porque en la práctica totalidad de los casos la batería de condensadores está situada en las inmediaciones del Cuadro General de BT, o por lo menos de un gran cuadro secundario, unidas a las barras generales por una canalización eléctrica que muy raramente superará los 15 m.

Si a esto añadimos que el efecto que la instalación de una batería de condensadores provoca es realmente una elevación de la tensión y no una caída, llegaremos a la conclusión antes enunciada.

Esta elevación de tensión se recoge en el punto 5.3.5 de la Norma UNE-EN 61921, con la redacción siguiente:

- a) *Los condensadores en paralelo pueden causar un incremento de la tensión desde la fuente al punto donde están colocados (véase el anexo D); este incremento de tensión puede ser mayor debido a la presencia de armónicos.*

En el punto 3 del citado Anexo D, se recoge la expresión para el cálculo práctico de la elevación de tensión en régimen permanente:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

En la que:

- $\Delta U$**  es el incremento de la tensión en voltios (V);  
 **$U$**  es la tensión antes de la conexión del condensador (V);  
 **$Q$**  es la potencia de la batería de condensadores, en MVAR para hacer la expresión coherente;  
 **$S$**  es la potencia de cortocircuito en el punto donde se conecta la batería de condensadores, en MVA

La misma expresión figura en la Norma IEC 60871-1, para el cálculo del incremento de tensión que supone la conexión de una batería de condensadores en Alta Tensión, en la forma siguiente:

$$\underline{\Delta U\%} = \frac{Q_{bat}}{Scc}$$

En la que:

- $\Delta U\%$**  es el incremento de la tensión en tanto por ciento;  
 **$Q_{bat}$**  es la potencia de la batería de condensadores,  
 **$Scc$**  es la potencia de cortocircuito en el punto donde se introduce la batería de condensadores.

Para el cálculo por primera hipótesis hemos de tener en cuenta en primer lugar que el comportamiento como carga de los condensadores difiere ligeramente de otros tipos de cargas. En general los fabricantes de condensadores indican que la intensidad de la corriente para la cual debe dimensionarse la canalización eléctrica de la batería de condensadores, de 3L+PE, será de 1,4 a 1,5 veces la corriente asignada de la misma. La explicación es que la Norma UNE 60831 establece que los condensadores deben soportar una sobrecarga de 1,3 veces la asignada. Además, el punto 7.3 de la misma norma establece las tolerancias de capacidad siguientes:

- 5% a +10% para los condensadores unitarios y las baterías hasta 100 kVAR;  
-5% a +5% para los condensadores unitarios y las baterías superiores a 100 kVAR;

Por lo que la sobrecarga conjunta máxima sería  $1,3 \cdot 1,10 = 1,4$ , en el primer caso, baterías hasta 100 kVAR, y  $1,3 \cdot 1,05 = 1,365$  para las mayores de 100 kVAR.

Algunos fabricantes aconsejan aplicar un coeficiente de 1,5, *por mayor seguridad*. Probablemente se pretende englobar en este coeficiente la minoración de la capacidad de carga provocada por el incremento del efecto pelicular debido a la presencia de armónicos. Recordemos que el efecto pelicular crece con el cuadrado de la frecuencia, por lo que los armónicos producen el efecto de una reducción de la sección efectiva. La norma UNE 21144-1-1 en su apartado 2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS, indica que la resistencia de un conductor por unidad de longitud, en corriente alterna y a la temperatura máxima de servicio, se calcula aplicando:

$$R = R'(1 + \lambda_s + \lambda_p)$$

En la que:

- R** es la resistencia del conductor con corriente alterna a la máxima temperatura de servicio, ( $\Omega/m$ );  
 **$R'$**  es la resistencia del conductor con corriente continua a la máxima temperatura de servicio, ( $\Omega/m$ );  
 **$\lambda_s$**  es el factor de efecto pelicular;  
 **$\lambda_p$**  es el factor de efecto proximidad;

La norma citada dedica los dos puntos siguientes al cálculo de estos factores de efecto pelicular,  $\lambda_s$ , y de proximidad,  $\lambda_p$ , cálculo prolífico y complejo que, en resumen, puede llegar a añadir por ambos efectos hasta un 56% más a la resistencia. Dado que la relación entre resistencia y capacidad de carga, a igualdad del resto de factores, es cuadrática inversa esta capacidad podría llegar a disminuir hasta un 25%, aunque la

Guía técnica de aplicación del REBT en su Anexo 2, en un alarde de optimismo, evalúa este efecto en solamente un 2%.

Resumiendo: en caso de fuertes secciones y altas tasas de distorsión armónica, THD, podríamos llegar a un factor, por el cual multiplicar la intensidad asignada de la batería de condensadores de:

$$1,3 \cdot 1,05 \cdot 1,25 = 1,7$$

En el caso contrario, secciones pequeñas y pequeñas tasas de distorsión armónica, el factor a aplicar podría ser de:

$$1,3 \cdot 1,10 \cdot 1,02 \sim 1,5$$

Finalmente para el dimensionado del conductor de protección PE, nos remitimos a lo indicado en el apartado 543.1.2 de la Norma UNE 20460-5-54 Puesta a tierra y conductores de protección.

## Ejemplo

Tensión de línea:  $U = 690 \text{ V}$

Potencia de la batería de condensadores:  $Q = 720 \text{ kVAR}$

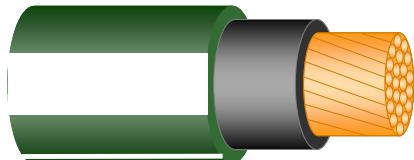
Se puede aproximar que la intensidad es puramente capacitiva y que el módulo de  $I$  que circula por el cable se obtendrá por tanto:

$$I = Q/(\sqrt{3}U) = 720\,000/(\sqrt{3} \times 690) = 602 \text{ A}$$

Aplicamos el coeficiente 1,7 en ausencia de datos más concretos y dado que se trata de una batería de potencia superior a 100 kVAR

$$I' = 1,7 \times 602 \text{ A} = 1023 \text{ A}$$

Instalamos **3 cables Afumex 1000 V (AS) de cobre de 1x185** en bandeja perforada en contacto (ordenando adecuadamente las fases de cada terna). Su intensidad admisible es de 415 A en condiciones estándar (UNE 20460-5-523) pero tenemos que considerar el efecto de la agrupación por tratarse de 3 ternas de cables que aún formando parte del mismo circuito se están influyendo térmicamente.



Afumex 1000 V (AS)

El coeficiente de corrección por agrupamiento de las 3 ternas en contacto es 0,87 (tabla 52-E5 de UNE 20460-5-523)...

Verificamos que los cables soportarán la intensidad necesaria  $I'$ .

$$3 \times 415 \times 0,87 = 1083 \text{ A} > 1023 \text{ A}$$