

Introducción

Los condensadores de potencia, almacenan cargas eléctricas que tras su desconexión pueden resultar peligrosas para las personas durante operaciones de inspección o mantenimiento. Para reducir estas tensiones a valores seguros se deben emplear resistencias de descarga.

La norma **CEI 60831:2014** establece que la tensión en bornes de un condensador no debe exceder de 75 V transcurridos 3 minutos desde su desconexión.

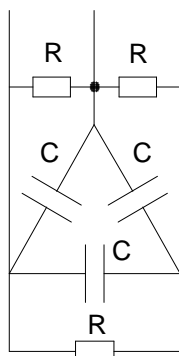
Cálculo de resistencias de descarga

La descarga de un condensador viene dada por una ley de tipo exponencial. El cálculo del valor de la resistencia se efectúa mediante la siguiente expresión:

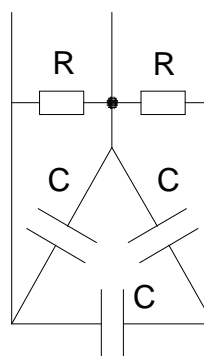
$$R = \frac{t}{k \cdot C \cdot \log_e \left(\frac{U_N \sqrt{2}}{U_R} \right)}$$

- R = Valor de la resistencia de descarga (MΩ)
- t = Tiempo de descarga desde U_N hasta U_R en segundos (180 s en CEI 60831)
- C = Capacidad por fase (μF)
- U_N = Tensión nominal del condensador (V)
- U_R = Tensión residual permisible (75 V en CEI 60831)
- k = Coeficiente según modo conexión:
 - k = 1 para tres resistencias (*conexión triángulo*)
 - k = 3 para dos resistencias (*conexión en "V"*)

Aplicando la fórmula a los casos mas comunes se obtiene:



$U_N = 230 \text{ V}$	400 V	500 V
$R = \frac{122,7}{C}$	$R = \frac{89,08}{C}$	$R = \frac{80,22}{C}$



$U_N = 230 \text{ V}$	400 V	500 V
$R = \frac{40,90}{C}$	$R = \frac{29,69}{C}$	$R = \frac{26,74}{C}$

Ejemplo: Cálculo de la resistencia para un condensador de $Q = 50 \text{ kvar}$ y $U_N = 400 \text{ V}$ 50 Hz en triángulo

- 1- Calcular el valor de la capacidad del condensador:

$$Q = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U_N^2 \Rightarrow C = \frac{50000}{3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 400^2} = 332 \mu\text{F}$$

- 2- Calcular el valor de la resistencia:

$$R = \frac{89,08}{C} = \frac{89,08}{332} = 0,268 \text{ M}\Omega = 268 \text{ k}\Omega$$

- 3- Calcular la potencia de las resistencias, *teniendo en cuenta que los condensadores pueden trabajar con sobretensiones de hasta el 10% de su valor nominal:*

$$P = \frac{(1,1 \cdot U_N)^2}{R} = \frac{(1,1 \cdot 400)^2}{268000} = 0,72 \text{ W}$$

Comparación entre la norma CEI 60831:2014 y la antigua norma CEI 70:1967

La antigua CEI 70 establecía unos valores de descarga de 50 V tras un minuto de la desconexión. Estos requisitos implican unos valores de resistencia distintos a los actuales. Aplicando $t = 60$ s y $U_R = 50$ V a la fórmula anterior se obtiene:

$U_N = 230$ V	400 V	500 V
$R = \frac{32,04}{C}$	$R = \frac{24,73}{C}$	$R = \frac{22,65}{C}$

$U_N = 230$ V	400 V	500 V
$R = \frac{10,68}{C}$	$R = \frac{8,24}{C}$	$R = \frac{7,55}{C}$

Repetiendo los cálculos anteriores para el condensador de 50 kvar 400 V, el valor de la resistencia sería:

$$R = \frac{27,73}{C} = \frac{24,73}{332} = 0,0745 \text{ M}\Omega = 74,5 \text{ k}\Omega$$

y la potencia disipada:

$$P = \frac{(1,1 \cdot U_N)^2}{R} = \frac{(1,1 \cdot 400)^2}{268000} = 0,72 \text{ W}$$

Este valor supone una disipación de calor notablemente superior a la obtenida según la actual norma, lo que puede comportar diversos problemas. Tomemos como ejemplo una equipo compuesto por 12 condensadores de 50 kvar 400 V y veamos diversos parámetros de funcionamiento relacionados con las resistencias:

CARACTERÍSTICA	R (CEI 70)	R (CEI 60831)	OBSERVACIONES
Resistencia	74,5 kΩ	268 kΩ	
Potencia disipada por las resistencias	93,6 W	25,9 W	68 W más de pérdidas en R (CEI 70): <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de funcionamiento más elevada para todo el equipo: regulador, contactores, fusibles, condensadores, etc; • Mayor estrés térmico en condensadores.
Temperatura superficial de las resistencias	137 °C	78 °C	Temp. trabajo muy elevada en R (CEI 70): <ul style="list-style-type: none"> • Mayor riesgo para operarios y mayor posibilidad de averías en resistencias; • Deterioro de cableado y elementos plásticos próximos.
Energía consumida por las resistencia (por año)	819 kWh	227 kWh	Casi cuatro veces más consumo de energía activa (CEI 70): <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecostes permanentes en la instalación; • Ineficiencia energética en consumos sin ningún uso asociado

Se puede resumir que la norma CEI 60831 se ha alineado con las necesidades diarias tanto de las instalaciones, como de la sociedad, al reducir permanentemente tanto la emisión de temperatura superficial de las resistencias con un menor estrés de componentes, con una mejora de la fiabilidad de los mismos; como la reducción de la potencia disipada por las resistencias y en consecuencia una mayor eficiencia energética en línea con las normas de eficiencia energética y la introducción de energías renovables.

Atención: Las resistencias de descarga citadas en este documento tienen como objetivo proteger a las personas de posibles descargas eléctricas. Estas resistencias **no garantizan** sin embargo una descarga suficientemente rápida en el caso de Baterías de condensadores con regulación automática (*ver TS 03-011 Resistencias de descarga rápida*).