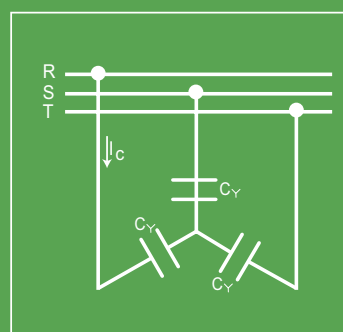
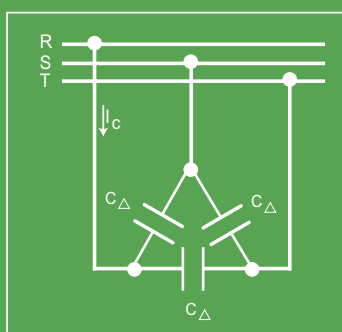
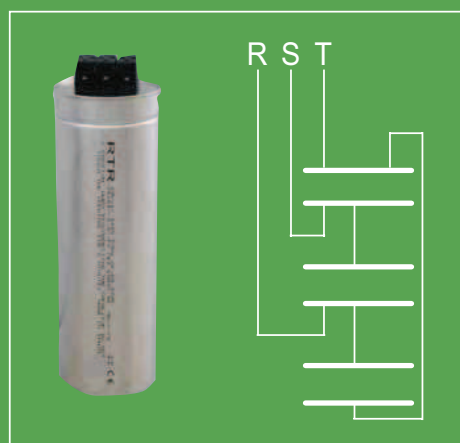


Condensadores Eléctricos



Generalidades

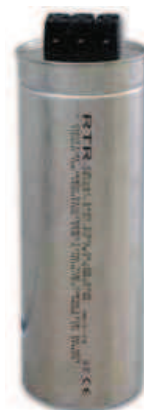
El condensador es un componente eléctrico cuya función es la de almacenar carga eléctrica y su aplicación más importante es la de corregir el factor de potencia (**ver el capítulo de Compensación de Reactiva**).

El material constructivo del elemento capacitivo depende de su aplicación. En **RTR Energía S.L.** fabricamos condensadores cilíndricos contruidos con film de propileno metalizado con diferentes metales (Al, Zn) autorregenerable de bajas pérdidas y diferentes espesores de film de propileno en función de la tensión de utilización. Actuando la metalización como elemento conductor de la corriente y el propileno como dieléctrico.

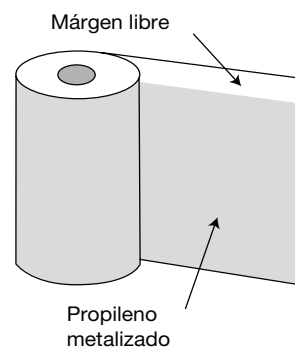
Los elementos capacitivos (bobinas) son introducidos, después de un meticuloso proceso de fabricación y control de calidad, en botes de aluminio o material plástico y posteriormente encapsulados con resinas de poliuretano no tóxica y ecológica especialmente diseñados y fabricados por la **División Química** de **RTR Energía S.L.** para su utilización en diferentes tipos de condensadores y equipos eléctricos que requieran ser encapsulados.

TIPOS DE CONDENSADORES

- Condensadores de **MICA**, utilizados como condensadores de alta frecuencia y telecomunicación.
- Condensadores **CERÁMICOS**, se usan en aplicaciones de telecomunicación cuando la ausencia de espacio sea considerable.
- Condensadores **ELECTROLÍTICOS**, son utilizados principalmente para rectificar tensiones continuas.
- Condensadores **VARIABLES**, son aquellos que permiten modificar su capacidad en función de las necesidades.



Condensador trifásico



Elemento capacitivo



Tipos de condensadores

Función eléctrica del condensador

La función del condensador, como hemos dicho anteriormente, es la de almacenar energía eléctrica. El condensador está cargado cuando se iguala la tensión U_c entre las placas del condensador y la tensión de alimentación U_{ca} .

El movimiento de electrones entre las placas o armaduras del condensador es la corriente eléctrica capacitiva I_c que fluye por las líneas y suministra energía eléctrica al condensador, provocando la aparición de un campo eléctrico entre las placas del condensador. Si se interrumpe I_c la energía queda almacenada en el campo eléctrico, esto es, en el condensador.

CARGA DEL CONDENSADOR

El número de electrones que se desplazan durante el proceso es la carga del condensador (Q), cuya unidad es el Coulombio y que dimensionalmente se corresponde a amperios por segundo (A·s). Representa la cantidad de electricidad que almacena el condensador.

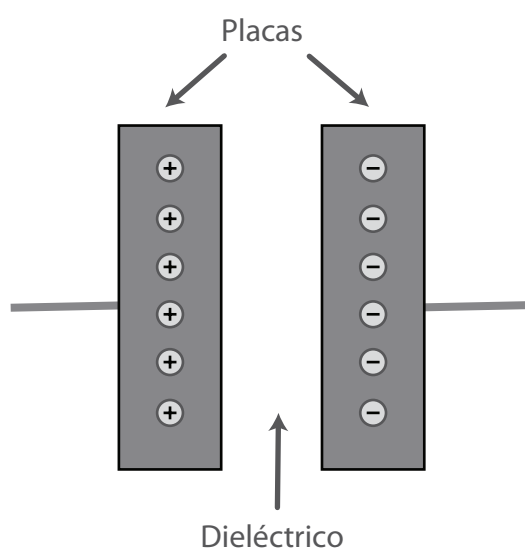
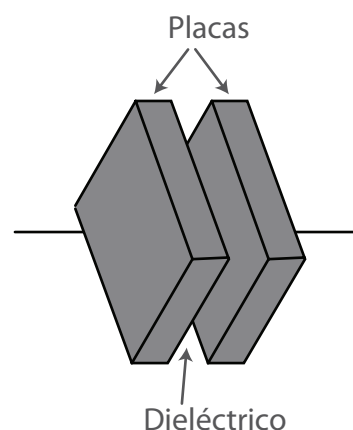
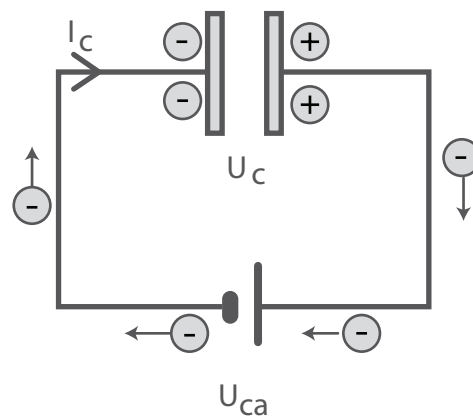
$$Q = I \cdot t$$

I = Amperios (A)

t = Segundos (s)

Una vez cargado el condensador, la carga se mantiene incluso cuando se desconecta de la energía eléctrica externa, ya que se mantiene la fuerza de atracción entre las placas debido a la diferencia de polaridad entre ellas.

Por esta razón los condensadores están dotados entre sus terminales de una resistencia de descarga de seguridad, para evitar la descarga del condensador al ser manipulado por algún operario. Esta resistencia debe cumplir lo establecido por las normas **UNE-EN-60831-1-2** en su capítulo 22 para condensadores trifásicos de potencia y la **UNE-EN-61048-49** para los condensadores de alumbrado.



La capacidad y el dieléctrico

En el condensador la tensión tiene un papel importante en el comportamiento del mismo, de tal forma, que la carga variará en función de la tensión. La relación entre la carga Q y la tensión de alimentación U es una constante que depende de la estructura del condensador y que se denomina capacidad (C), cuya unidad es el Faraday o faradio (F).

$$C = \frac{Q}{U} \quad \begin{array}{l} Q = [\text{Coulombios}] \\ U = [\text{Voltios}] \end{array} \quad C = [\text{Faradios}]$$

Un condensador posee una capacidad de un Faradio cuando almacena una carga de un Coulombio al aplicar una tensión de un Voltio entre las placas.

Manteniendo el **principio básico de dependencia de los condensadores** de que a más superficie de placas, más capacidad y a más distancia entre placas (espesor del dieléctrico) menos capacidad, se puede definir la intensidad del campo eléctrico (E) del condensador como:

$$E = \frac{U}{d} \left(\frac{V}{m} \right)$$

DIELÉCTRICO Y REGENERACIÓN

Los condensadores eléctricos utilizan en la actualidad como dieléctricos film de propileno metalizado con Al o Zn, entre otros, y de diferentes espesores en función de la tensión que se vaya a aplicar entre las placas.

Según se ha visto en el principio básico de dependencia cuanto menos espesor de dieléctrico mayor intensidad de campo eléctrico, lo que justifica que los tamaños de los condensadores sean cada vez más pequeños al tener como distancia entre las placas el espesor de micras del film.

Tabla de submúltiplos

10^n	Prefijo	Símbolo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

Ecuación de diseño de los condensadores

$$C = \frac{\epsilon}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d}$$

C : es la capacidad del condensador en faradios.

S : es la superficie de las placas en m^2 .

d : espesor del dieléctrico en metros.

ϵ : constante dieléctrica del dieléctrico.

Diferentes aislantes

Substancia	ϵ
Aire	1
Polipropileno	2,2
Aceite mineral	2,3
Poliéster	3,3
Papel	3,5
Aceite de transformadores	4,5
Vidrio pyrex	4,7
Mica	5,4
Porcelana	6,5
Silicio	12

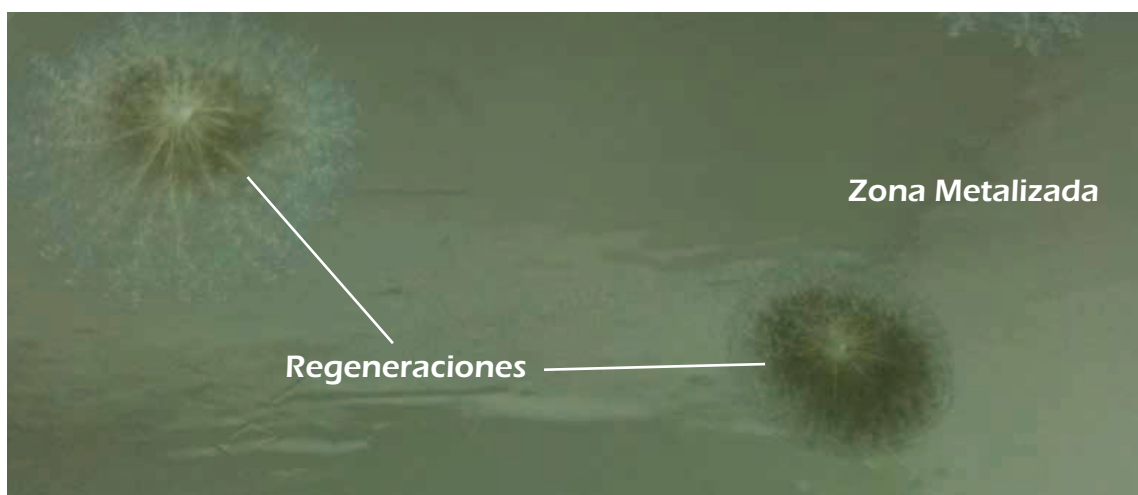
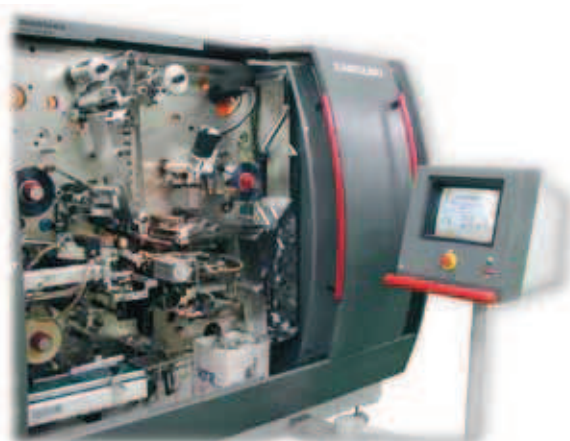
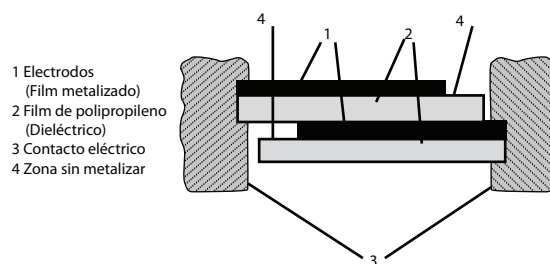
La capacidad y el dieléctrico

En función de los valores de las constantes de cada dieléctrico, existe una diferencia de potencial límite que cada material puede soportar por unidad de espesor.

Si debido a determinadas condiciones de la red eléctrica y de temperatura extrema, inadmisibles para el correcto funcionamiento de los condensadores, se supera ese límite, denominado rigidez dieléctrica, se perfora el dieléctrico y salta un arco entre las dos placas.

La autoregeneración del film de propileno consiste en que el arco eléctrico, en vez de generar un cortocircuito, evapora el metal en la zona que rodea al punto de ruptura, restableciéndose así el aislamiento entre las placas en el punto de perforación.

Después de la autoregeneración el condensador puede seguir trabajando en condiciones normales con una pérdida de capacidad inferior a los 100 pF.



Durante el proceso de control de Calidad del film de propileno metalizado, en **RTR Energía S.L.** forzamos la ruptura dieléctrica (propileno) y observamos que se produce la autoregeneración. En la fotografía se observa como el metalizado se ha evaporado permitiendo que el condensador siga funcionando.

Influencia de la tensión en el condensador

TENSIÓN CONTINUA

En el momento de conectar un condensador a una tensión continua U_{cc} , la corriente es de mucha intensidad, estando limitada por la resistencia óhmica prácticamente despreciable del condensador. Al aumentar la tensión entre las placas del condensador la corriente disminuye paulatinamente.

Al terminar el proceso de carga la intensidad de corriente se hace cero. En régimen permanente y en tensión continua, el condensador se considera un circuito abierto.

En el proceso de descarga del condensador, la tensión y la corriente se reducen en la misma proporción, alcanzando el valor cero simultáneamente.

El tiempo de carga y descarga está en función directa de la capacidad y de la resistencia del circuito, de forma que variando la resistencia del circuito podemos acortar o aumentar el proceso de carga y descarga de un condensador.

La constante de tiempo τ es el tiempo que invierte un condensador en adquirir el 63% de la carga de la tensión aplicada y se define como:

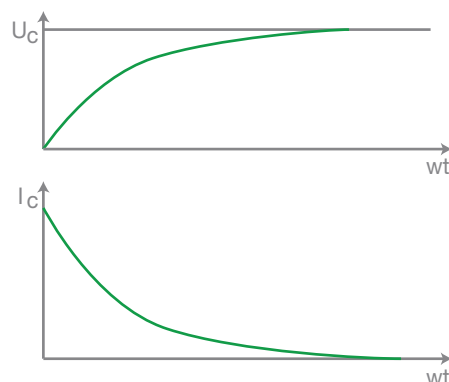
$$\tau = R \cdot C$$

$$R = \text{Ohmios (}\Omega\text{)}$$

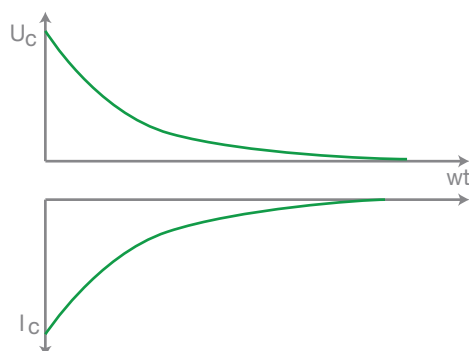
$$C = \text{Faradios (F)}$$

Teóricamente la carga o descarga total de un condensador se produce tras el transcurso de un tiempo infinito, ya que la función matemática que lo define llega al límite de manera asintótica, pero en la práctica en un intervalo de 5 veces el condensador se encuentra completamente cargado o descargado.

Proceso de carga



Proceso de descarga



Influencia de la tensión en el condensador

TENSIÓN ALTERNA

Cuando se conecta un condensador a una tensión alterna, las placas se cargan positiva y negativamente de manera alternativa y periódica circulando una corriente alterna.

El condensador se carga y descarga periódicamente por lo que consideraremos los dos procesos simultáneamente al circular por la red una corriente alterna.

Este proceso periódico significa una inversión en el sentido de la corriente, cuando la intensidad pasa por cero, al igual que el circuito en corriente continua, el condensador actúa como una resistencia finita medida en ohmios (Ω):

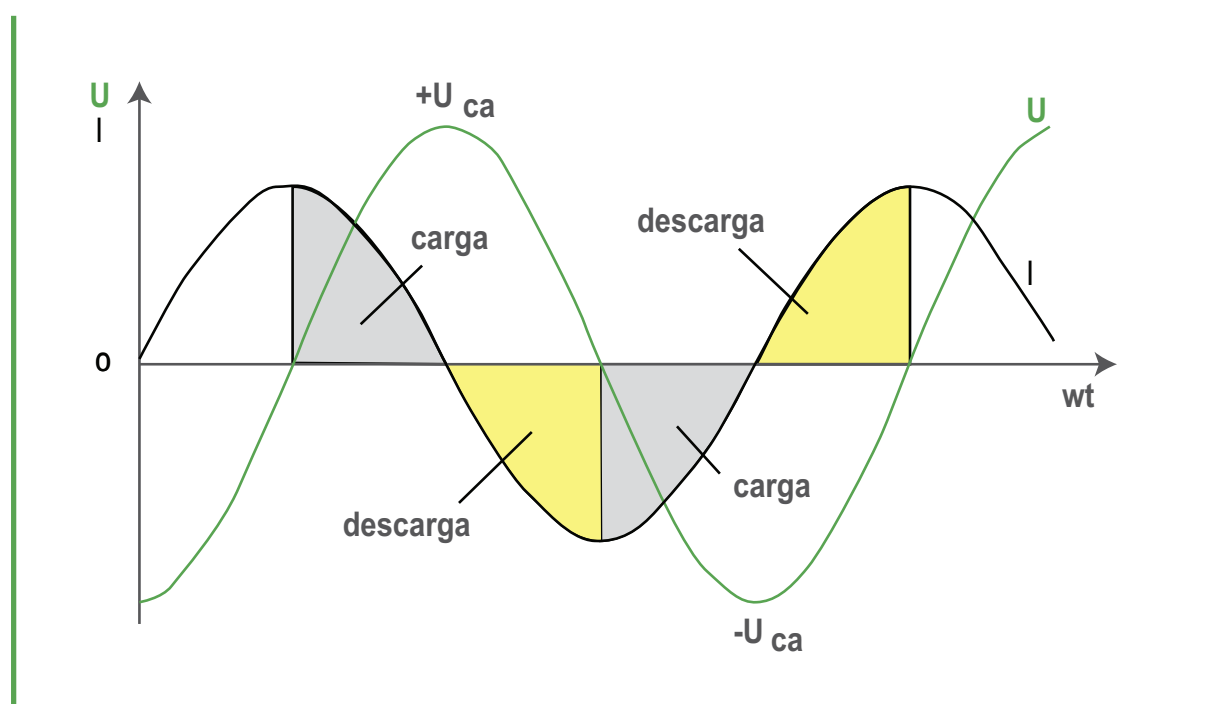
$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} (\Omega) \quad \begin{array}{l} f = \text{frecuencia (Hz)} \\ C = \text{Faradios (F)} \end{array}$$

El proceso completo de carga y descarga del condensador se realiza en un semiperiodo de la tensión eléctrica. Es decir, si el período en Europa de la tensión eléctrica es de 20 milisegundos, un condensador necesita la mitad de tiempo para cargarse y descargarse.

$$T_{\text{carga y descarga}} = 10 \text{ ms}$$

El paso de la intensidad por el punto cero indica el final del proceso de carga en el condensador, que estará cargado al final de la semionda positiva de la curva de corriente para un determinado valor de la tensión $+U_{ca}$ y al final de la semionda negativa de la curva de corriente para un valor de la tensión de $-U_{ca}$.

El proceso de descarga se produce en el momento en que la intensidad de corriente alcanza su valor máximo, en ese instante el valor de la tensión tiende a cero.



Condensadores monofásicos

Por condensador monofásico se entiende aquel que se encuentra acoplado entre dos fases o entre fase y neutro.

La potencia reactiva del condensador (Q) medida en VAR se define como:

$$I_c = \frac{U_{ca}}{X_c} = \frac{U_{ca}}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = U_{ca} \cdot \omega \cdot C = U_{ca} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$$

$$Q = U_{ca} \cdot I_c = U_{ca} \cdot (U_{ca} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C) = U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$$

donde,

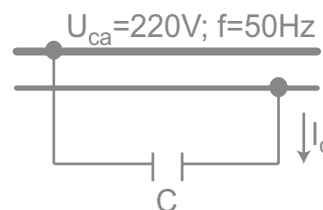
Q , potencia del condensador [VAR]

f , frecuencia de la red [Hz]

C , capacidad del condensador [F]

U_{ca} , tensión de alimentación [V]

I_c , corriente capacitiva [A]



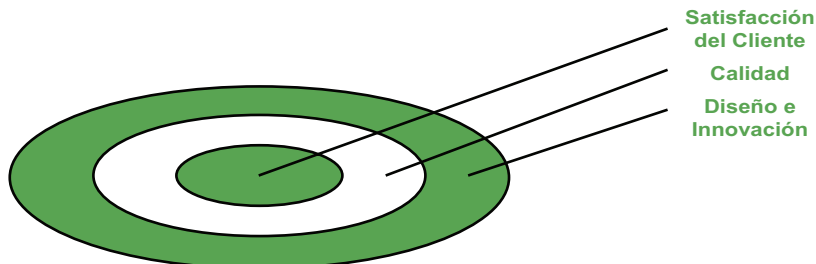
TENSIÓN DE 440 V

Ante la importancia que tiene la tensión de alimentación en la definición de la potencia reactiva del condensador cabría preguntarse por qué la práctica totalidad de **fabricantes** de condensadores, entre los que se encuentra **RTR Energía S.L.**, diseñan los condensadores a una tensión de 440 V.

La respuesta es sencilla, de esta forma se aumenta la fiabilidad y la vida del condensador, ya que con este diseño se garantiza que pueda soportar las sobretensiones que se producen en la red de alimentación y que según la norma **UNE-EN-50160** pueden llegar a ser del +10%.

Lo que dice la norma UNE-EN-60831-1 es que para frecuencias industriales el condensador debe soportar unos valores de tensión iguales a $1,10 \cdot U_{ca}$ (440 V) como mínimo 8 horas al día.

El problema es que la red puede suministrar 440 V que está dentro del 10% de la tensión nominal, luego los condensadores pueden que comiencen a fallar a partir de las 8 horas de servicio continuado, si se diseñan a 400 V.



Condensadores trifásicos de potencia

Estos condensadores están diseñados para ser conectados a una red eléctrica trifásica R-S-T y la forma de conectar los elementos capacitivos (bobinas) en su interior tiene dos posibilidades.

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

La capacidad total del condensador se divide en tres capacidades parciales C_{Δ} , como se muestra en el esquema.

Si se mide la capacidad entre dos fases, R-S por ejemplo, la capacidad no será la de C_{Δ} de las fases RS, sino la de C_{Δ} (RS) en paralelo con la serie C_{Δ} (RT)- C_{Δ} (ST) (ver la sección G), esto es:

$$C_{RS} = C_{\Delta} + \frac{C_{\Delta} \cdot C_{\Delta}}{C_{\Delta} + C_{\Delta}} = 1,5 \cdot C_{\Delta}$$

A continuación definimos la potencia reactiva del condensador (Q) y la intensidad capacitiva del condensador (I_c).

$$Q = 3 \cdot U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{\Delta} \quad Q = [VAR]$$

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_{ca}} \quad C_{\Delta} = [F]$$

$$f = [Hz]$$

CONEXIÓN EN ESTRELLA

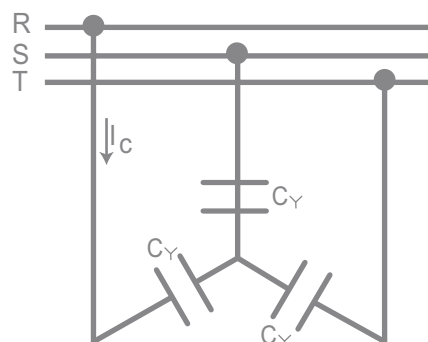
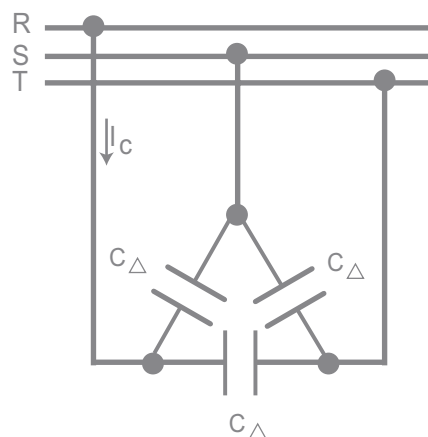
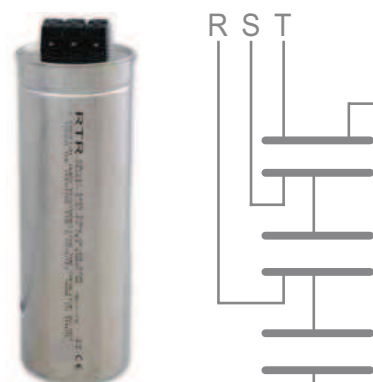
Este esquema de conexión es menos habitual y se utiliza cuando la tensión de red es superior a la tensión que puede aceptar individualmente cada bobina ya que:

$$U_{bobina} = \frac{U_{ca}}{\sqrt{3}}$$

La I_c se define igual que en la conexión en triángulo, mientras que la potencia reactiva es:

$$Q = U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{\gamma} \quad Q = [VAR] \quad C_{\gamma} = [F]$$

$$f = [Hz]$$



Para las mismas 3 bobinas:

$$Q_{\text{triángulo}} = 3 \cdot Q_{\text{estrella}}$$

Acoplamientos

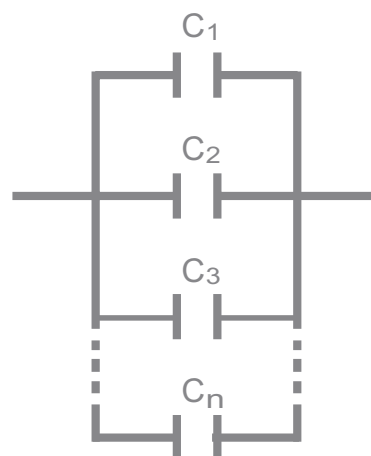
PARALELO

En la conexión en paralelo de condensadores, la capacidad total equivalente es la suma de las capacidades. Lo mismo ocurre con la energía reactiva total.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots Q_n$$

La tensión que se aplica entre las placas del condensador es la que puede soportar según sus características constructivas. Todos los condensadores están sometidos a la misma tensión.



SERIE

Cuando la tensión de servicio U_{ca} es superior a la tensión nominal para la que ha sido construido el condensador, podemos conectar varios condensadores en serie, en este caso cada condensador tendrá una tensión entre placas distinta, en función de su capacidad y de su potencia reactiva. Como cualquier conexión en serie, la corriente que los atraviesa es la misma en cada condensador.



La inversa de la capacidad total (C_T) es igual a la suma de las inversas.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\frac{1}{Q_T} = \frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \frac{1}{Q_3} + \dots + \frac{1}{Q_n}$$

La potencia reactiva (Q_T) tiene el mismo comportamiento que la capacidad, siendo la inversa de la reactiva total la suma de las inversas de las reactivas.

Tangente de pérdida del condensador

El concepto de tangente de pérdida de un condensador ($\tan \delta$) es el valor que define la calidad y el comportamiento de un condensador eléctrico. A continuación vamos a relacionar y representar las pérdidas sufridas por un condensador mediante las pérdidas de una resistencia óhmicamente pura (R).

Si consideramos un condensador ideal, sin pérdidas, el ángulo $\hat{\phi}$ de desfase entre la corriente I_C y la tensión U_{CA} sería 90° . Naturalmente esta es una situación ideal, la realidad es que todos los condensadores sufren pérdidas en mayor o menor medida provocadas por el film de propileno, la metalización de las placas, las soldaduras, sus conductores, etc. Debido a estas pérdidas el ángulo de desfase $\hat{\phi}$ no es de 90° , sino que la corriente I_{activa} se adelanta respecto a la tensión U_{CA} formando un nuevo ángulo $\hat{\phi} = 90^\circ - \delta$, este ángulo se llama ángulo de pérdidas y su tangente es la tangente de pérdidas del condensador.

$$\tan \delta = \frac{I_{\text{activa}}}{I_C} = \frac{\frac{U_{CA}}{R}}{\frac{U_{CA}}{X_C}} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\frac{2\pi \cdot f \cdot C}{R}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot R}$$

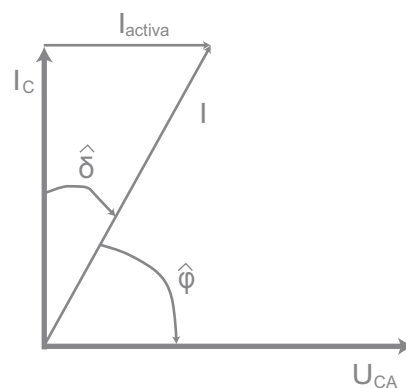
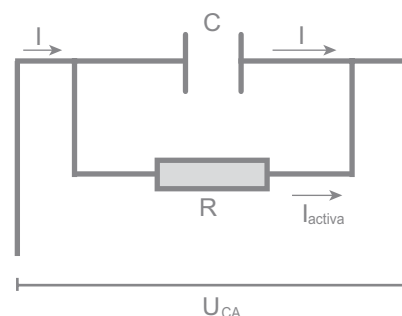
Por lo tanto la potencia de pérdida (P_p) de un condensador medida en vatios (W) es:

$$P_p = U_{CA} \cdot I \cdot \cos \hat{\phi} = U_{CA} \cdot I \cdot \sin \hat{\delta} = Q \cdot \tan \hat{\delta}$$

$$P_p = Q \cdot \tan \hat{\delta}$$

$$P_p = [W] \quad Q = [VAr]$$

La capacidad de un condensador disminuye con el tiempo de vida, produciéndose un aumento paulatino de las pérdidas, ya que la relación entre la tangente de pérdidas y la capacidad es inversa.



RTR Energía S.L. en su apuesta por la **calidad** de sus productos utiliza el mejor film metalizado, fabricado en la Unión Europea.

El proceso de control garantiza que en nuestros condensadores la potencia de pérdidas es inferior a 0.5 W/kVAr, esto es:

$$0.5 \leq \frac{P_p (W)}{Q (kVAr)} \rightarrow \tan \hat{\delta} \leq 5 \cdot 10^{-4}$$

Precauciones de manipulación y seguridad

Al manipular un condensador es conveniente tomar una serie de precauciones por seguridad. Cuando se desconecta un condensador de la tensión, el condensador continúa cargado con la tensión de alimentación, por lo que si se cortocircuitan las placas al tocarlo puede provocar un accidente peligroso al descargarse el condensador violentamente.

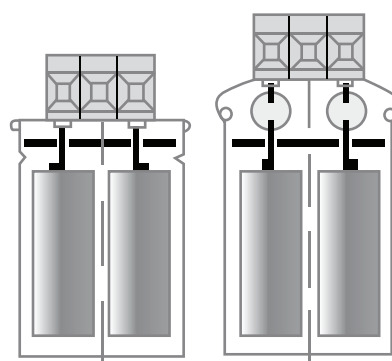
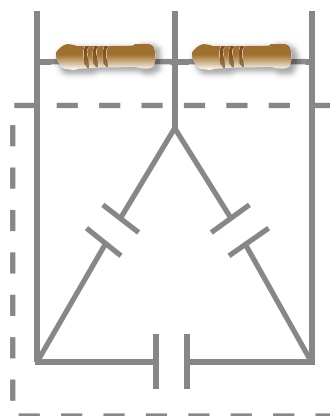
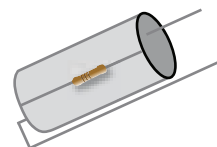
La normas **EN-61048** y **EN-60252** establecen la necesidad de dotar a los condensadores de alumbrado y motor de la resistencia de descarga adecuada, de tal forma que al dejar de aplicar la tensión de alimentación, este debe acumular una tensión máxima de 50 V en un periodo de 60 segundos.

Igualmente los condensadores trifásicos deben estar equipados con una resistencia de seguridad que descargue hasta lograr una tensión máxima de 75 V en 3 minutos, según se establece en la norma **EN-60831-1** en su Anexo B.

SISTEMA DE DESCONEXIÓN

Debido a condiciones de trabajo extremas e inadmisibles de sobretensión, sobreintensidad y altas temperaturas, **RTR Energía S.L.** ha diseñado un sistema de desconexión por sobrepresión que actúa expandiendo la tapa de los terminales, interrumpiendo la conexión del terminal con el elemento capacitivo.

En estas condiciones y para el correcto funcionamiento del sistema de desconexión, es de vital importancia que la resina del encapsulado este diseñada de forma que no atrape los gases generados por la fusión del metal y permita que asciendan, ya que de otro modo el sistema no funcionaría. Por este motivo **RTR Energía S.L.** cuenta con una **División Química** que desarrolla y fabrica las resinas eléctricas para cada aplicación.



Condiciones de funcionamiento

TEMPERATURA

Los condensadores deben trabajar por debajo de los siguientes límites:

Máxima	55°C
Media diaria	45°C
Media anual	35°C

Es decir, un condensador nunca puede estar por encima de los 55 °C, ni más de 24 horas a más de 45 °C, ni un año entero superando los 35 °C de temperatura.

TENSIÓN

La sobretensión máxima que soporta el condensador es 1,10 veces el valor de la tensión nominal, como se ha explicado más detalladamente en el [Apartado E](#).

INTENSIDAD

La intensidad máxima que puede alcanzar un condensador es una vez y media su intensidad nominal ($1,5 \cdot I_n$).

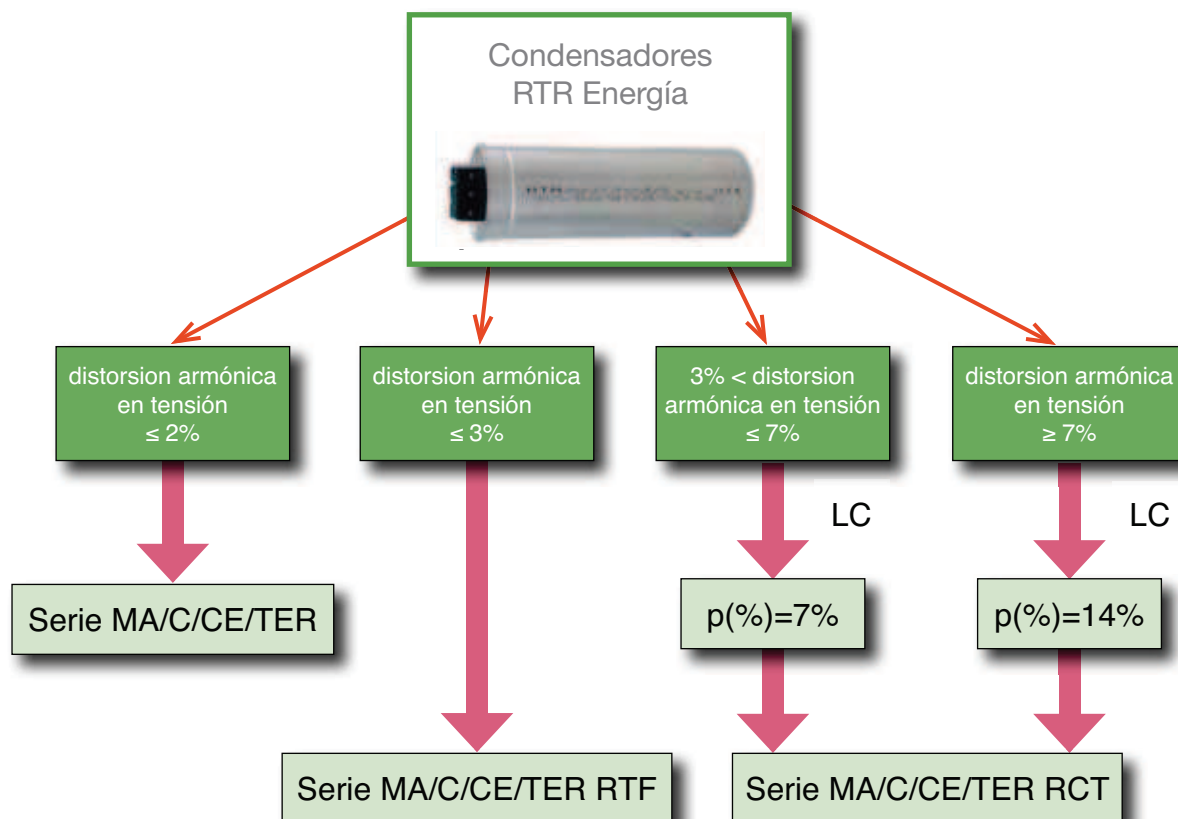
ALTITUD

La altitud de instalación de los condensadores no debe superar los 2000 metros sobre el nivel del mar. En alturas superiores, la disipación de calor se reduce, lo que debe considerarse a la hora de dimensionar el condensador.

ARMÓNICOS

La presencia de armónicos que puede soportar el condensador se determina de forma que no se superen los límites de tensión e intensidad máxima indicados a continuación:

THDU _{max}	2%
THDI _{max}	25%



NOTAS

[illegible]