

**APUNTE:**  
**ELECTRICIDAD-1**  
**CONDENSADORES**

**Área de EET**

Derechos Reservados  
Titular del Derecho: INACAP  
N° de inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual # \_\_\_\_ de fecha \_\_\_\_-\_\_\_\_-\_\_\_\_.  
© INACAP 2002.

## INDICE

Los Condensadores .....	Pág. 04
Capacidad.....	Pág. 04
Tipos de Condensadores Comerciales.....	Pág. 05
Capacidad Nominal y Tolerancia.....	Pág. 05
Tensión Nominal.....	Pág. 05
Tipos de Condensadores.....	Pág. 06
Condensadores Fijos.....	Pág. 06
Condensadores Variables (no polarizados).....	Pág. 08
Carga y Descarga de un Condensador.....	Pág. 09
Ecuaciones Matemáticas.....	Pág. 10
Circuitos y Oscilogramas de Carga y Descarga de un Condensador.....	Pág. 11
Constante de Tiempo.....	Pág. 11
Efecto Dieléctrico en un Condensador.....	Pág. 12
Constante Dieléctrica K.....	Pág. 13
Capacidad de un Condensador de Placas Paralelas.....	Pág. 14
Energía Almacenada en un Condensador.....	Pág. 15
Conexión de Condensadores y Capacidad Equivalente.....	Pág. 16
Conexión en Serie.....	Pág. 16

Los condensadores son componentes eléctricos fabricados con el propósito de almacenar carga eléctrica.

Básicamente un condensador consiste de dos placas de material conductor denominadas **placas o armaduras**. Las placas están separadas por un material aislante denominado **dieléctrico**. El dieléctrico puede ser aire u otro material aislante como papel, mica, cerámica o un electrolito.



La propiedad fundamental de un condensador es su capacidad o capacitancia. La **capacidad** se define como **la propiedad de los condensadores para almacenar cargas eléctricas**.

La unidad de medida de la capacidad es el **Faradio** y se simboliza por la letra **F**. Un faradio ( 1 F ) es una unidad grande para cuantificar la capacidad de un condensador y por esta razón en la práctica se usan sub- múltiplos del faradio, siendo los más usuales los siguientes:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ mF ( un mili faradio )} &= 10^{-3} \text{ F} \\
 1 \mu \text{ F ( un micro faradio )} &= 10^{-6} \text{ F} \\
 1 \text{ n F ( un nano faradio )} &= 10^{-9} \text{ F} \\
 1 \text{ p F ( un pico faradio )} &= 10^{-12} \text{ F}
 \end{aligned}$$

### Capacidad

En términos eléctricos, la capacidad es directamente proporcional a la carga acumulada e inversamente proporcional al voltaje entre placas, es decir:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde:

C = capacidad en faradios (F).

Q = carga acumulada en una de las placas en coulombs (C).

V = voltaje entre placas en voltios (V).

***"Entre las placas de un condensador existirá una capacitancia de 1 faradio si se almacena la cantidad de 1 coulomb de cargas cuando se aplica un voltaje de 1 volt entre ellas".***

Las placas de un condensador se cargan, es decir almacenan carga eléctrica, en igual cantidad pero de signos opuestos. Así una placa queda cargada positivamente y la otra negativamente. Al referirse a la carga de un condensador, se hace referencia a la carga acumulada en una de las dos placas, pero no en ambas. Por ejemplo, si un condensador tiene una carga acumulada de  $20 \mu\text{C}$  ( veinte micro coulomb) debe entenderse que en la placa positiva existen  $+ 20 \mu\text{C}$  y en la placa negativa hay  $- 20\mu\text{C}$ .

### **Tipos de Condensadores Comerciales**



Las propiedades de un condensador se indican mediante magnitudes características entre las que destacan:

- Capacidad Nominal
- Tolerancia
- Tensión Nominal

#### **Capacidad Nominal y Tolerancia:**

La capacidad nominal es aquella que posee el condensador a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se puede especificar, impresa sobre el dispositivo, mediante un valor numérico con unidad completa ( Ej.  $1 \mu\text{F}$  ) o con unidad abreviada ( Ej. 6n8 que significa  $68 \text{ nF}$  ). También puede ser indicada mediante código de colores.

La tolerancia indica las variaciones que puede experimentar la capacitancia sobre el valor nominal ( Ej.  $22\text{nF} \pm 10 \%$  ).

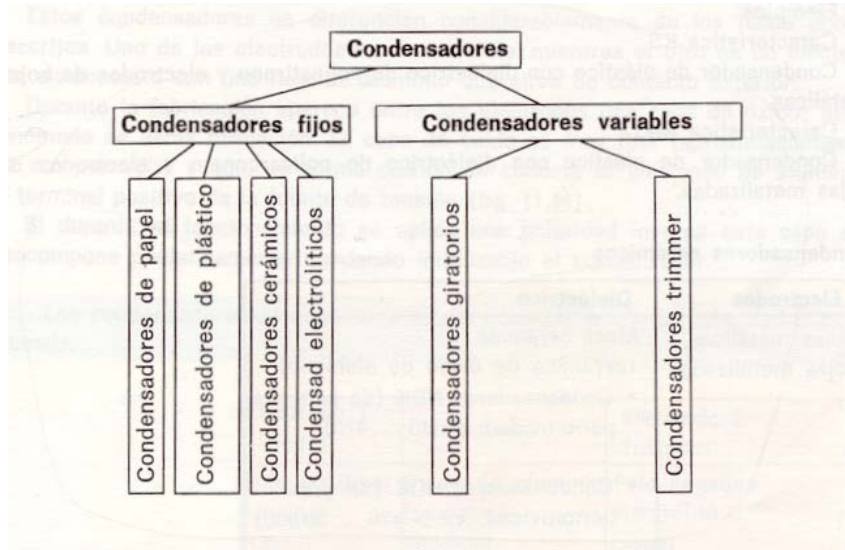
#### **Tensión Nominal:**

La tensión nominal es la tensión máxima, continua o alterna, a la que puede someterse un condensador permanentemente sin dañar el dispositivo. Si se excede el valor máximo de tensión existe el peligro de perforación del condensador.

## Tipos de Condensadores

Los condensadores comerciales son fabricados a partir de variados materiales. Normalmente, el nombre del material usado como dieléctrico le da el nombre al tipo de condensador.

Según sea su estructura los condensadores se clasifican en condensadores fijos ( de capacidad nominal fija ) y condensadores variables ( de capacidad nominal variable).



### Condensadores Fijos:

#### a) Condensadores de papel:

- De papel impregnado: El dieléctrico es de celulosa. Sus características mejoran si la celulosa se impregna en aceite o parafina. Se construyen enrollando dos láminas metálicas separadas por el papel impregnado. Son en general robustos y toleran sobretensiones.
- De papel metalizado: Se fabrican con un depósito metálico sobre una de las caras del papel y enrollándolo. Su principal característica es la **autoregeneración** fenómeno que se presenta cuando salta una chispa en el interior del condensador, vaporizando el metal sin destruir el papel y formando alúmina que es un material dieléctrico. Entre otras características se puede mencionar su reducido tamaño y su gran estabilidad frente a los cambios de temperatura.

#### b) Condensadores cerámicos:

La utilización de materiales cerámicos como dieléctricos se debe principalmente a que son buenos aislantes térmicos y eléctricos. El proceso de fabricación consiste principalmente en la metalización de las dos caras del material cerámico.

**c) Condensadores de plástico:**

Los dieléctricos mas usados son el poliestireno, polipropileno y politetrafluoretileno. Entre sus características destacan: gran resistencia al aislamiento, volumen reducido y autorregeneración en los de poliéster metalizado.



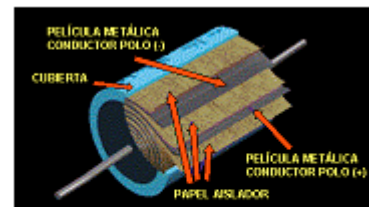
Los condensadores descritos se caracterizan por ser **no polarizados**.

El símbolo de los condensadores no polarizados se presenta a continuación:

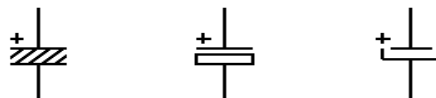


**d) Condensadores electrolíticos:**

Su principal característica consiste en presentar una elevada capacidad en relación con su tamaño. Pueden clasificarse en: electrolíticos de aluminio y en electrolíticos de tántalo. Ambos tipos de condensadores se fabrican depositando mediante electrolisis una fina capa de aislante. En los primeros el deposito electrolítico es de oxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) y en los segundos es de oxido de tántalo ( $Ta_2O_3$ ). Debido al proceso de fabricación los condensadores electrolíticos deben conectarse respetando la polaridad que viene marcada en el encapsulado; de no ser así, el dieléctrico no se comportará como material aislante y presentará conducción produciendo la posterior destrucción del componente.



Los símbolos de los condensadores polarizados se presentan a continuación:



## Condensadores Variables ( No Polarizados)

### a) Condensadores giratorios:

Los condensadores giratorios constan de un grupo de armaduras capaces de girar sobre un eje de forma tal que la superficie enfrentada a la armadura fija sea variable. El dieléctrico generalmente es el aire aunque su construcción resulta más económica colocando láminas de material plástico o de mica como separador.

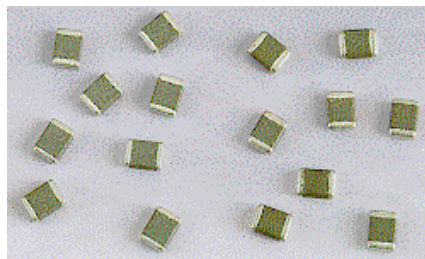
Este tipo de condensador es muy común en los circuitos de sintonía de los aparatos de radio.

### b) Condensadores ajustables o Trimmer:

Los trimmer son condensadores en los cuales la capacidad se puede variar moviendo unas placas respecto a otras. Como dieléctrico se usa aire, mica o cerámica.

Los materiales y las técnicas de fabricación de los condensadores está en continuo desarrollo. Se busca principalmente mayor capacidad en el más reducido espacio posible, con el fin de miniaturizar aun más los circuitos electrónicos.

Algunos ejemplos de los avances son los condensadores multicapa encapsulados para montaje superficial (SMD ó *Surface Mounted Device*) como los que se muestran en la siguiente figura, donde la capacidad es de 100nF y el largo del componente no es mayor que 3mm.



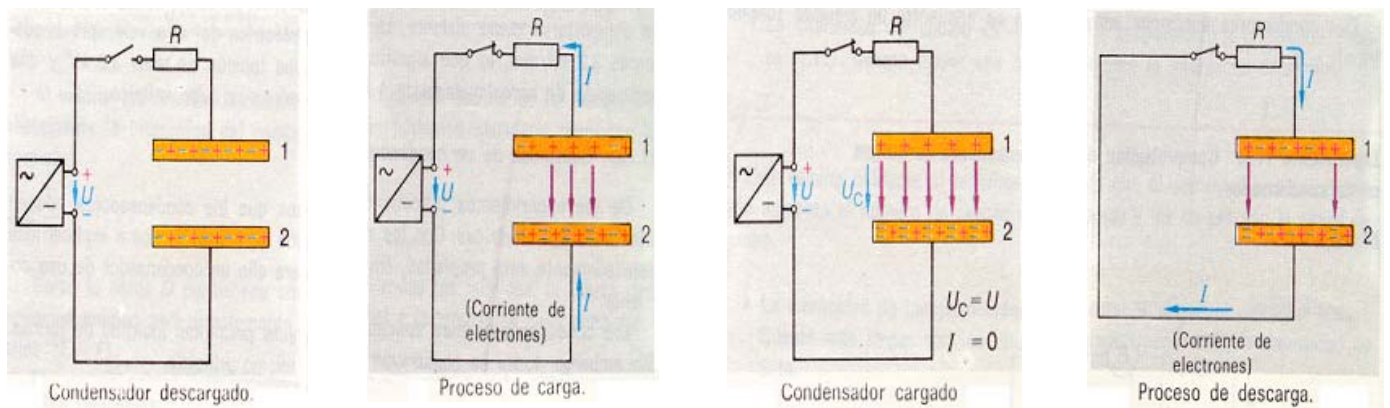
Actualmente están en desarrollo los "**súper condensadores**", cuyo fin es almacenar una cantidad de carga muy grande en un espacio muy reducido. Se pretende usar los súper condensadores en vehículos impulsados por la energía eléctrica, reemplazando a las baterías.



### Carga y Descarga De Un Condensador

Cuando un condensador se conecta a una fuente de energía, esta permite que el condensador empiece a acumular carga eléctrica en sus placas y se dice que el condensador se está *cargando*.

En los siguientes esquemas se describe el fenómeno físico de carga y descarga de un condensador.



**a) Condensador descargado:**

Las placas son eléctricamente neutras. Sobre cada placa se encuentra el mismo número de cargas positivas y negativas.

**b) Proceso de carga:**

Al cerrarse el interruptor por los conductores circula brevemente una corriente. La fuente extrae electrones de la placa 1 y los desplaza hasta la placa 2. El condensador comienza a cargarse mientras aumenta la diferencia de potencial entre las placas. Simultáneamente la intensidad va disminuyendo.

**c) Condensador cargado:**

Cuando el condensador ha almacenado el máximo de carga en sus placas se dice que está cargado. Ya no circula corriente y el condensador se comporta como un elemento abierto en el circuito. La diferencia de potencial entre placas es máxima e igual al voltaje de la fuente.

**d) Condensador descargado:**

Si se desconecta la fuente y se unen ambas placas a través de una resistencia las cargas pueden compensarse mutuamente. El voltaje entre placas disminuye hasta hacerse cero. Circula una corriente ( en sentido contrario ) mientras dure el proceso de compensación de cargas. Concluido este, la corriente se hace cero y el condensador nuevamente se comporta como un elemento abierto en el circuito.

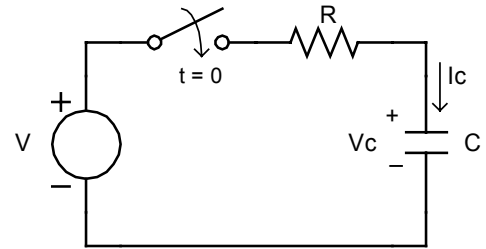
### Ecuaciones Matemáticas

Las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento del voltaje y la intensidad del condensador durante los procesos de carga y descarga son las siguientes:

#### Proceso de Carga:

$$V_c = V ( 1 - e^{-t/RC} )$$

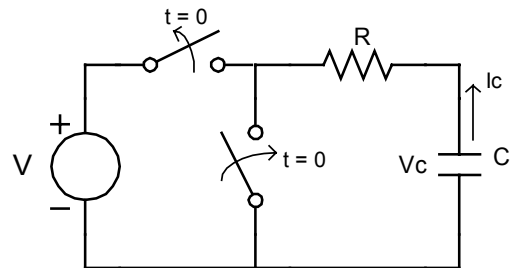
$$I_c = (V / R) e^{-t/RC}$$



**Proceso de Descarga:** Se supone que en el proceso anterior el condensador alcanzó el voltaje máximo igual al voltaje de la fuente.

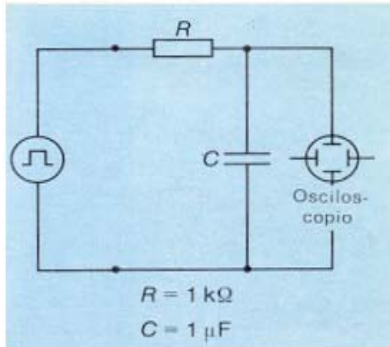
$$V_c = V e^{-t/RC}$$

$$I_c = (- V / R) e^{-t/RC}$$

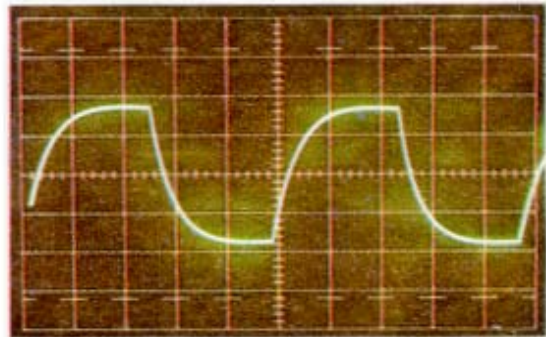


Donde : V = voltaje de la fuente en volts ( V )  
 t = tiempo transcurrido en segundos ( seg )  
 R = resistencia en ohms ( Ω )  
 C = capacidad en Faradios ( F )

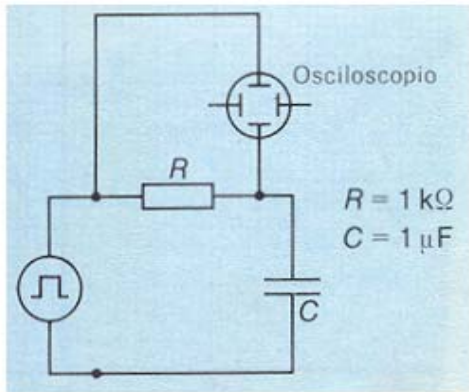
**Circuitos y Oscilogramas De Carga y Descarga De Un Condensador**



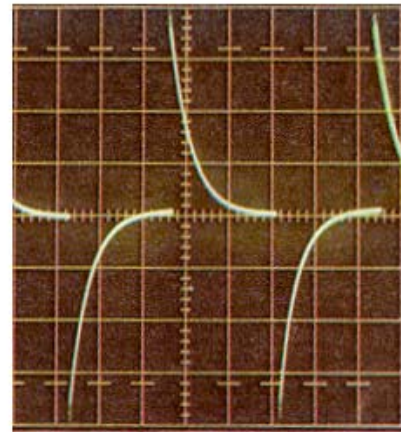
Circuito para medir la tensión durante la carga y descarga de un condensador mediante un osciloscopio



Oscilograma de la tensión durante la carga y descarga



Circuito para medir la intensidad durante la carga y descarga mediante un osciloscopio



Oscilograma de la intensidad durante la carga y la descarga de un condensador

**Constante de Tiempo  $\tau$  :**

La constante de tiempo se define como:

$$\tau = R C$$

La constante de tiempo representa el tiempo que tarda el condensador en alcanzar un 63 % de su voltaje máximo durante el proceso de carga.

**Tiempo De Carga De Un Condensador**

Un condensador invierte un tiempo determinado en alcanzar su carga completa. Este tiempo viene dado por la constante de tiempo y dependerá de los valores que tenga la resistencia y la capacidad del condensador.

Matemáticamente, el tiempo que tarda un condensador para estar completamente cargado ( $V_C = \text{máximo}$  e  $I_C = 0$ )

es infinito, ya que la función exponencial  $e^{-t/RC}$  tiende a cero en  $t = \infty$ . Sin embargo desde el punto de vista práctico, se considera suficiente un tiempo igual a 5 constantes de tiempo:

$$t_{\text{carga}} = 5 \tau$$

### Efecto Dieléctrico En Un Condensador

Entre las placas de un condensador cargado se produce un campo eléctrico dirigido de la placa positiva a la placa negativa.

Cuando se introduce un dieléctrico distinto del aire la carga acumulada en las placas aumenta. Si la carga aumenta y el voltaje permanece constante, de la ecuación:

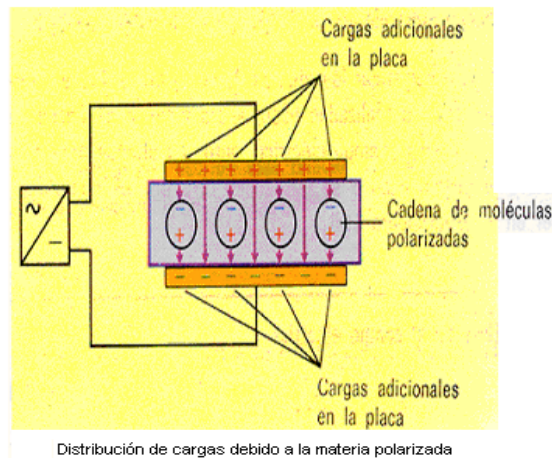
$$C = Q / V \quad \text{donde: } C = \text{capacidad en Faradios ( F )}$$

$$Q = \text{carga en coulomb ( C )}$$

$$V = \text{voltaje entre placas en volts ( V )}$$

se concluye que **la capacidad del condensador aumenta cuando se introduce un material dieléctrico.**

La razón por la cual se incrementa la carga al introducir el dieléctrico es que la materia ( dieléctrico) en presencia de un campo eléctrico se polariza, esto es, producto de las fuerzas sobre cargas que produce el campo eléctrico, las cargas positivas del material dieléctrico se "acercan" a la placa negativa del condensador en tanto que las cargas negativas lo hacen hacia la placa positiva del condensador. El efecto es un aumento de la carga sobre las placas y un consecuente aumento en la capacidad del condensador.



**Constante Dieléctrica  $K_e$  :**

La constante dieléctrica es el factor adimensional por el cual aumenta la capacidad de un condensador con dieléctrico con respecto a la capacidad con vacío (ausencia total de materia) entre placas.

$$K_e = C / C_o$$

donde  $C$  = capacidad con material dieléctrico entre placas.  
 $C_o$  = capacidad con vacío entre placas.

La presencia del dieléctrico limita también la diferencia de potencial que puede mantenerse entre placas. Si se excede este límite, el material dieléctrico se perfora, produciéndose una trayectoria conductora entre las placas y un arco eléctrico. Esto se explica debido a que cada material dieléctrico tiene una resistencia o **rigidez dieléctrica** característica, que es el valor máximo de voltaje por unidad de longitud, que puede soportar el material sin perforarse. A continuación se indican algunos de estos valores.

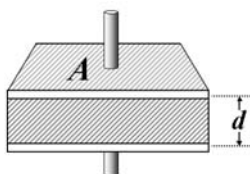
Material	Constante dieléctrica $K_e$	Rigidez dieléctrica ( KV/ mm )
Vacío	1 ( exacto )	infinito
Aire ( 1 atm )	1,00059	
Poliestireno	2,6	24
Papel	3,5	16
Pyrex	4,7	14

Mica	5,4	160
Porcelana	6,5	4
Silicio	12	
Cerámica de titanio	130	

**Nota:** Debido a la similitud del valor de  $K_e$  del vacío y del aire, suele no hacerse diferencia entre ambos y se considera  $K_e = 1$  tanto para el aire como para el vacío. Para efectos del cálculo de capacidad se identifica con  $C_o$  la capacidad de un condensador con vacío o aire entre sus placas, y se identifica con  $C$  la capacidad de un condensador con un dieléctrico material (mica, cerámica, papel impregnado, etc.) entre sus placas.

**Capacidad De Un Condensador De Placas Paralelas**

La capacidad entre dos placas conductoras aisladas es directamente proporcional al área de las superficies enfrentadas y es inversamente proporcional a la distancia que las separa. También depende de la naturaleza del material que se use como dieléctrico.



La capacidad de un condensador de placas paralelas viene dada por la siguiente expresión:

$$C = \epsilon_o K_e A / d$$

Si se considera que  $K_e = 1$  tanto para el vacío como para el aire, la capacidad del condensador, que se simboliza por  $C_o$ , viene dada por la expresión:

$$C_o = \epsilon_o A / d$$

Donde, para ambos casos:

$$C_{\text{eq (paralelo)}} = C_1 + C_2 + C_3$$

- A = superficie enfrentada de las placas en m<sup>2</sup>  
(se considera el área de una de las placas)
- d = separación entre placas en metros
- K<sub>e</sub> = constante dieléctrica
- ε<sub>o</sub> = 8,85 \* 10<sup>-12</sup> F/m ( permitividad del vacío )

Observar que se cumple la relación: C = K<sub>e</sub> C<sub>o</sub>

### Energía Almacenada En Un Condensador

El proceso de acumulación de carga eléctrica en las placas de un condensador produce un campo eléctrico, el cual almacena energía. Esta energía permanece almacenada por algún tiempo después que se desconecta la fuente de alimentación. La cantidad de energía almacenada en el condensador depende de la capacidad y del voltaje del condensador, según la siguiente ecuación:

$$W = \frac{1}{2} C V_c^2$$

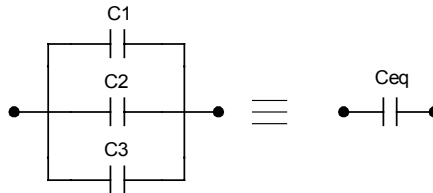
- Donde: W = energía almacenada en el condensador en Joule ( J )  
 C = capacidad en Faradios ( F )  
 V<sub>c</sub> = voltaje entre placas del condensador en voltios ( V )

La energía almacenada en el condensador no se libera en el instante en que se desconecta de la fuente. La liberación de la carga depende de varios factores tales como la constante dieléctrica, la resistencia dieléctrica, la humedad del medio ambiente entre otras. Todo esto influye en la disipación gradual de la energía almacenada. Por seguridad los condensadores grandes están equipados con resistencias en paralelo que sirven para descargar el condensador a tierra, después de ser desconectados de la línea.

## Conexión De Condensadores y Capacidad Equivalente

### Conexión en paralelo:

La capacidad equivalente de condensadores conectados en paralelo es igual a la suma de las capacidades de los condensadores individuales.

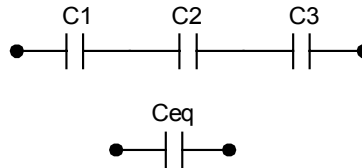


En la conexión paralelo el efecto es como si aumentara la superficie de la placa con lo que también aumenta la capacidad del condensador equivalente.

### Conexión en Serie:

La capacidad equivalente de condensadores conectados en serie es igual al inverso de la suma de los inversos de las capacidades individuales.

$$C_{eq (serie)} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}}$$



En la conexión serie el efecto es como si aumentara la separación entre placas con lo que también disminuye la capacidad del condensador equivalente.