

# Instrumentación Electrónica

---

## Componentes Pasivos



# Anexo: Componentes Pasivos

## Índice



- ❑ Lección 0. Introducción.
- ❑ Lección 1. Resistores.
  - Parámetros característicos.
  - Comparación de parámetros por tipo de tecnología.
- ❑ Lección 2. Condensadores.
  - Parámetros característicos.
  - Comparación de parámetros por tipo de dieléctrico.

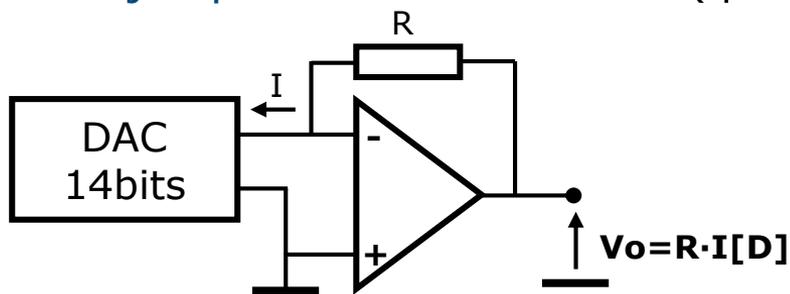


# Anexo: Componentes Pasivos

## Introducción

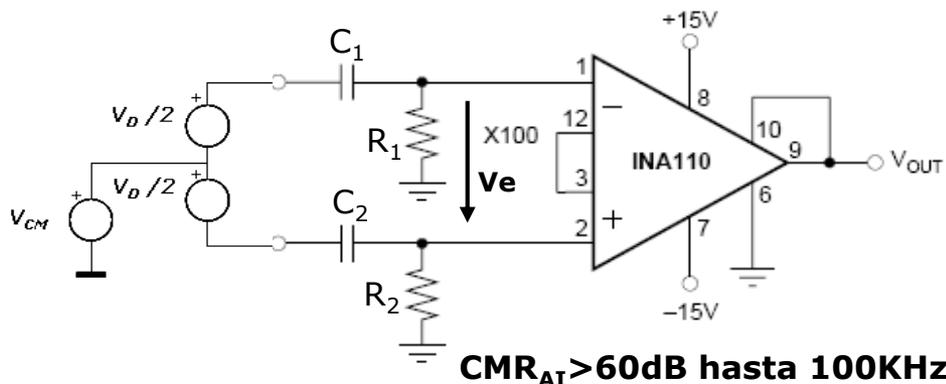


- Importancia de los elementos pasivos en los sistemas de medida.
  - Características de un sistema de medida.** Están determinadas por las características de los diferentes dispositivos que lo integran. Los dispositivos pasivos son parte fundamental del sistema.
  - Ejemplo.** DAC con n=14bits (q=61ppm).

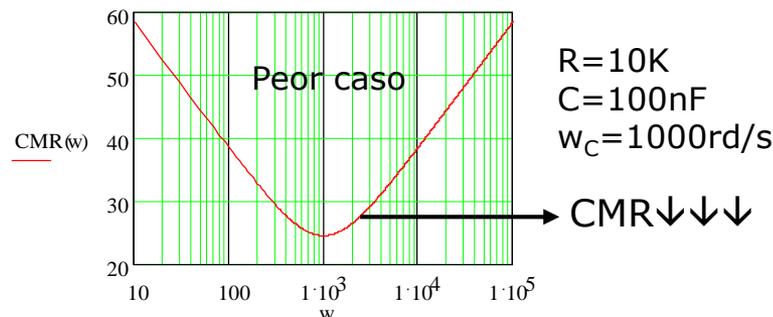


Una resistencia estándar de película metálica presenta un CT de  $\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ , si  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ , la incertidumbre de ganancia es:  $\pm 1000\text{ppm} \rightarrow \pm 16.4q$ . **iMuy elevada!**  
**Muchos DAC llevan la resistencia de conversión integrada.**

- Ejemplo.** Filtro paso-alto entrada AI. Características de componentes normales  $T(R) = \pm 1\%$ ,  $T(C) = \pm 5\%$ .



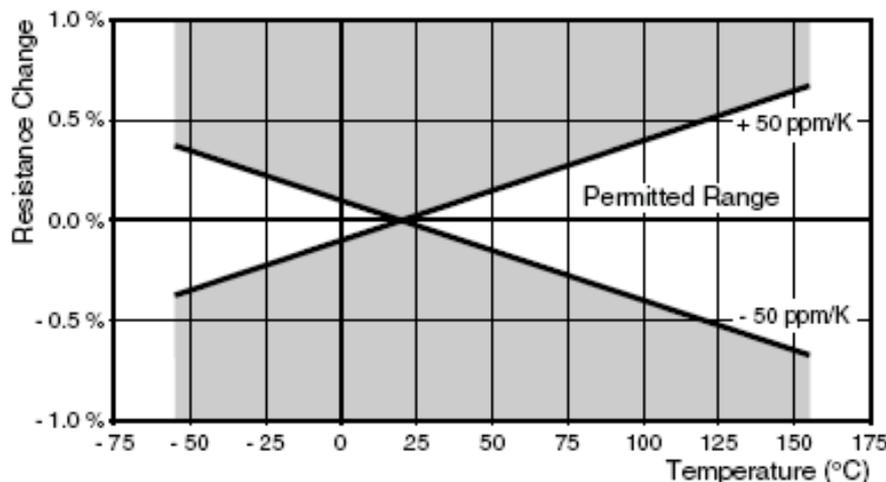
$$V_e|_{CM} = V_{CM} \left( \frac{j\omega R_2 C_2}{1 + j\omega R_2 C_2} - \frac{j\omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1} \right)$$





### ❑ Parámetros característicos.

- **Valor nominal.** Valor para el que ha sido diseñado el resistor, supuesto BF y una temperatura determinada (normalmente 20°C).
- **Tolerancia.** Desviación porcentual máxima esperada sobre el valor nominal cuando se adquiere el resistor y a una temperatura de 20°C. Posteriormente, durante el funcionamiento, la desviación puede ser superior debido a las derivas. Las tolerancias habituales están en el margen de  $\pm 0.01\%$  y  $\pm 10\%$ .
- **Coeficiente de temperatura de resistencia (TCR).** Variación relativa de la resistencia con la temperatura. El parámetro representa la media en el margen indicado. Se pueden encontrar resistores con TCR típico inferior a  $\pm 1\text{ppm}/^\circ\text{C}$ . Los resistores normales suelen superar  $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ , o ser del tipo  $-250\text{ppm}/^\circ\text{C}$ .



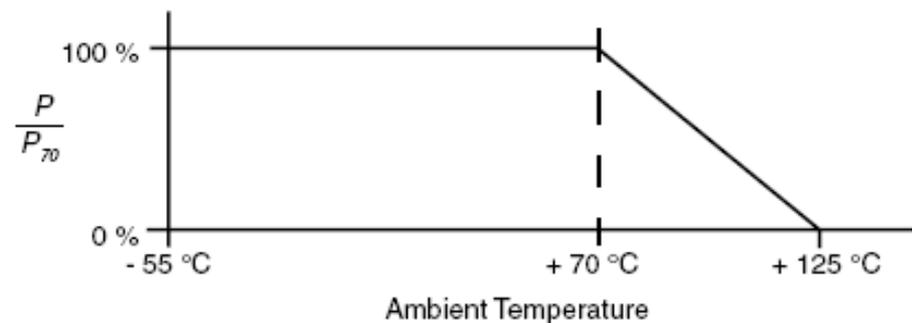
$$TCR = \frac{R_T - R_{20^\circ C}}{R_{20^\circ C} (T - 20^\circ C)} 10^6 (\text{ppm}/^\circ C)$$



### ❑ Parámetros característicos

- **Estabilidad.** El valor de la resistencia puede cambiar por la influencia térmica, mecánica o eléctrica. La estabilidad se determina mediante procedimientos estandarizados y se cuantifica con el término “*Stability classes*”. Dichos procedimientos analizan la estabilidad a corto y largo plazo mediante diferentes tipos de estrés.
- **Disipación nominal.** Máxima potencia que puede disipar hasta una temperatura de ambiente determinada, típicamente 70°C. En estas condiciones, el resistor alcanza la temperatura máxima, por lo que a temperaturas de ambiente superiores la potencia soportada es inferior.
- **Tensión máxima de operación.** Representa el valor eficaz máximo correspondiente al modelo del resistor. Para un dispositivo determinado, la tensión máxima puede ser mas limitada como consecuencia de su disipación nominal.

STABILITY CLASSES	LONG-TERM TESTING	SHORT-TERM TESTING
2	$\pm (2 \% \cdot R + 0.1 \Omega)$	$\pm (0.5 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$
1	$\pm (1 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.25 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$
0.50	$\pm (0.50 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.10 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.25	$\pm (0.25 \% \cdot R + 0.05 \Omega)$	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.10	$\pm (0.10 \% \cdot R + 0.02 \Omega)$	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$
0.05	$\pm (0.05 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$	$\pm (0.025 \% \cdot R + 0.01 \Omega)$





### ❑ Parámetros característicos

- **No linealidad.** Debido a diferentes defectos de construcción y a las características del material base, los resistores no son completamente lineales. Este parámetro se suele cuantificar midiendo la magnitud relativa del tercer armónico que se produce al aplicar un seno de 10kHz. También puede caracterizarse mediante el coeficiente de tensión, por ejemplo 1ppm/V.

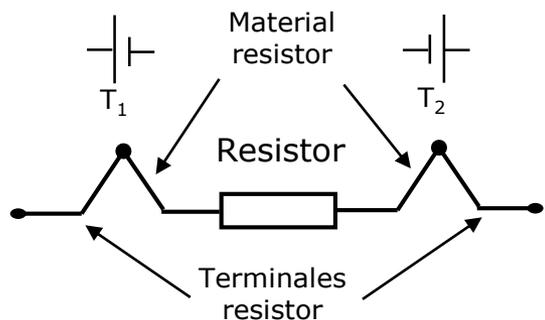
$$A_3 = 20 \log \frac{V_{10kHz}}{V_{30kHz}} \text{ (dB)}$$

- **Ruido.** Cualquier resistor presenta un ruido mínimo, denominado ruido térmico, que es solo función de su valor resistivo y de la temperatura. Los resistores reales presentan además un ruido adicional que sí depende de su calidad y de la corriente que por este circula. Es un ruido del tipo 1/f y domina en BF. El ruido se cuantifica con el término "índice de ruido" que se define como el  $20 \cdot \log V_N$ , donde  $V_N$  es el ruido en exceso en  $\mu V_{RMS}$  dentro de una década de frecuencia, por voltio de tensión continua en bornes. Por ejemplo, un ruido de  $3.16 \mu V$  con una tensión soportada de 1V, corresponde a un índice de ruido de 10dB ó  $3.16 \mu V/V$ .
- **Características en alta frecuencia.** Son determinadas por los efectos de la inductancia y capacidad parásita del componente. Por ejemplo:  $L=0.05 \mu H$  y  $C=0.2 pF$ .



### ❑ Parámetros característicos

- **Resistencia térmica.** Cuantifica la relación entre la potencia disipada por el resistor y el incremento de temperatura que en este se produce ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ). Está indicada para unas condiciones estándar de montaje. En aquellas aplicaciones sensibles a las derivas térmicas en el valor de la resistencia, además de elegir un dispositivo con buen TCR, debe analizarse la deriva producida por el calentamiento del resistor y, si es necesario, sobredimensionar su tamaño para que la resistencia térmica sea inferior y por lo tanto dicha deriva.
- **Fuerza electromotriz térmica.** Debida al efecto Seebeck que se produce en la unión de los terminales del resistor con el material del que está construido. Este efecto puede ser muy importante en aplicaciones DC de precisión. Su magnitud depende del tipo de resistor y de la existencia de gradientes térmicos entre las dos conexiones. Dichos gradientes se pueden producir como consecuencia de una alta potencia disipada y por fuentes térmicas próximas.



Tipo de resistor	Coefficiente Seebeck
Carbón	$400\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Película metálica	$20\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Bobinados	$2\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Baja F.E.T.	$0.1\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$



### ❑ Comparación de parámetros por tipo de tecnología

RESISTORS	CARBON FILM	METAL FILM	THICK FILM	METAL FOIL	CARBON COMPOSITION	WIREWOUND	POWER METAL STRIP
Resistance Value	10 $\Omega$ to 22 M $\Omega$	0.22 $\Omega$ to 22 M $\Omega$	1 $\Omega$ to 100 M $\Omega$	2 m $\Omega$ to 1 M $\Omega$	1 $\Omega$ to 20 M $\Omega$	0.1 $\Omega$ to 300 k $\Omega$	0.1 m $\Omega$ to 1.0 $\Omega$
Tolerance [%]	$\pm 2$ to $\pm 10$	$\pm 0.1$ to $\pm 2$	$\pm 1$ to $\pm 5$	$\pm 0.005$ to $\pm 5$	$\pm 5$ to $\pm 20$	$\pm 0.1$ to $\pm 10$	$\pm 0.5$ to $\pm 1$
Temperature Coefficient [ppm/K]	- 200 to - 1500	$\pm 5$ to $\pm 50$	$\pm 50$ to $\pm 200$	$\pm 2$ to $\pm 50$	- 200 to - 1500	$\pm 1$ to $\pm 200$	$\pm 30$ to $\pm 250$
Maximum Operating Temperature [°C]	+ 155	+ 155	+ 155	+ 150	+ 150	+ 400	+ 275
Rated Dissipation $P_{70}$ [W]	0.25 to 2	0.063 to 1	0.063 to 0.25	0.25 to 10	0.25 to 1	0.25 to 100	0.1 to 5
Stability at $P_{70}$ (1000 h) $\Delta R/R$ [%]	$\pm 0.8$ to $\pm 3$	$\pm 0.15$ to $\pm 0.5$	$\pm 1$ to $\pm 3$	$\pm 0.05$	+ 4/- 6 (typical - 3)	$\pm 1$ to $\pm 10$	$\pm 1$ to $\pm 2$
Operating Voltage $U_{max.}$ [V]	200 to 1000	50 to 500	50 to 200	200 to 500	150 to 350	25 to 1000	$\sqrt{P_{70} \times R}$
Current Noise [ $\mu V/V$ ]	< 1	< 0.1	< 10	< 0.025	2 to 6	negligible	negligible
Non-linearity $A_3$ [dB]	> 100	> 110	> 50	negligible	~ 60	negligible	negligible



# Anexo: Componentes Pasivos

## Lección 2. Condensadores

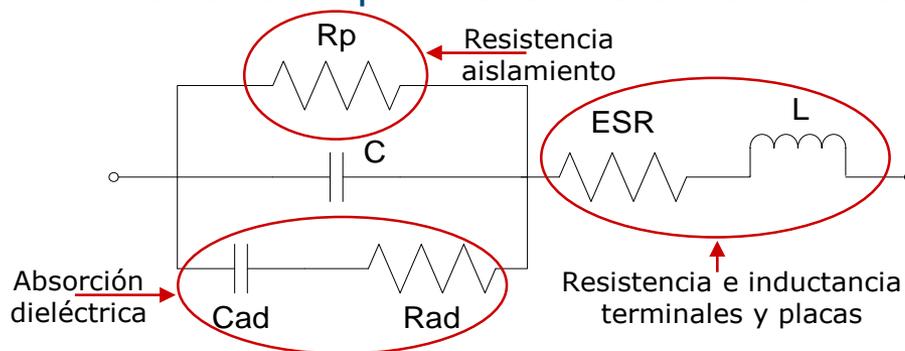


### □ Parámetros característicos

#### ■ Parámetros de definición similar a los de un resistor:

- *Valor nominal de la capacidad.*
- *Tolerancia de la capacidad.* Puede ser simétrica o asimétrica.
- *Tensión máxima de operación.* Se suele diferenciar para DC, AC e impulsos.
- *Coeficiente de temperatura de capacidad.*
- *Estabilidad frente a ciclos térmicos.*
- *Margen de temperatura de funcionamiento.*
- *Coeficiente de tensión de capacidad.* Para la mayoría de dieléctricos cerámicos puede ser extremadamente alto, hasta el punto de perder más de la mitad de su capacidad al pasar de 0V a 10V.

#### ■ Circuito equivalente de un condensador.

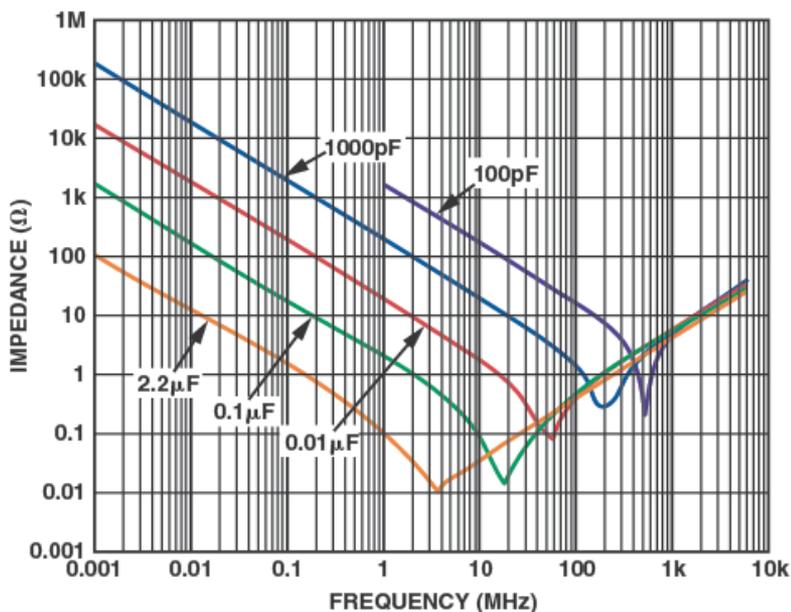


Este modelo se suele simplificar según el efecto a estudiar. La capacidad  $C$  representa el componente ideal, mientras que el resto son elementos parásitos.



### ❑ Parámetros característicos

- **Fugas del dieléctrico (capacitor's leakage,  $R_p$ ).** Corriente que circula por el dieléctrico en función de la tensión en extremos de la capacidad. Suelen proporcionar el valor de  $R_p$  o la constante de tiempo de descarga ( $R_p \cdot C$ ). Esta constante de tiempo puede ser muy baja para condensadores electrolíticos (algunos segundos) o muy alta para condensadores de película (poliestireno o polipropileno,  $10^6$  segundos). Empeora con el incremento de la temperatura.
- **Resistencia serie efectiva o equivalente (ESR).** Resistencia de los terminales y las placas del condensador.



- **Inductancia serie equivalente (L o ESL).** Inductancia como consecuencia de los terminales y las placas del condensador. Habitualmente es alta en condensadores electrolíticos y de tántalo estándar, los valores mas bajos se encuentran en condensadores cerámicos multicapa y condensadores de película. Normalmente,  $L \uparrow$  si  $C \uparrow$ .

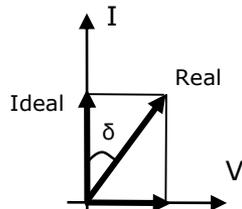
$$|Z_C| \cong \left| ESR + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L \right| = \sqrt{ESR^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

$$f_R \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad f_R: \text{frecuencia resonancia serie}$$



### Parámetros característicos

- Factor de disipación (DF).** Cociente entre potencia de pérdidas y potencia reactiva, es una medida de su calidad. Su inversa representa el factor de calidad (Q). La potencia disipada en el condensador se calcula a partir de la tensión en extremos de ESR, donde  $V_C$  es la tensión total en el condensador:

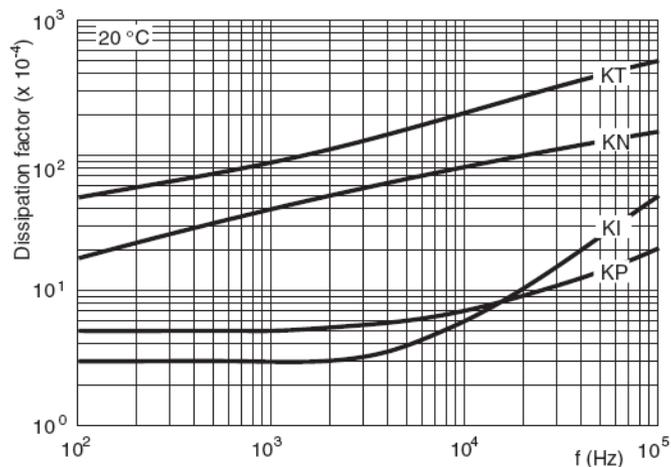


$$DF = \frac{ESR}{\frac{1}{w \cdot C} - w \cdot L} = ESR \cdot w \cdot C_{eq}(w) = \text{tg } \delta \xrightarrow{\delta \ll 1} \cong \delta$$

$\delta$ : ángulo de pérdidas

$$V_{ESR} = \frac{V_C \cdot ESR}{ESR + \frac{1}{jwC} + jwL} = \frac{V_C}{1 - j \frac{1}{DF}}$$

$$P_D = \frac{|V_{ESR}|^2}{ESR} = \frac{(V_C|_{RMS})^2}{ESR(1 + \frac{1}{DF^2})} \cong \frac{(V_C|_{RMS})^2}{ESR} DF^2 \cong (V_C|_{RMS})^2 w \cdot C \cdot DF$$



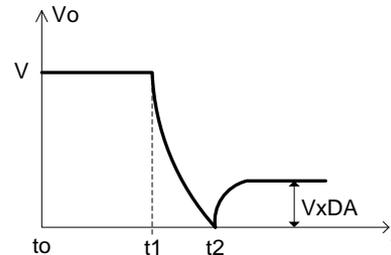
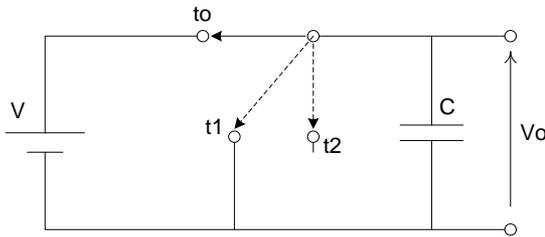
El DF y por lo tanto, la potencia disipada, se incrementa con la frecuencia. Los fabricantes pueden indicar una corriente máxima de rizado.

Cuando la tensión en el condensador no es un tono, la potencia disipada se calcula como la suma de las aportaciones de los diferentes armónicos atendiendo al DF correspondiente a su frecuencia.

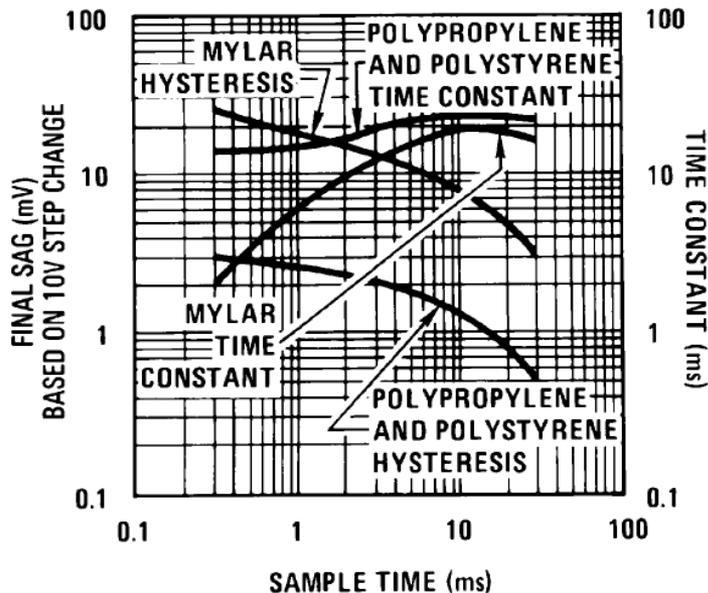


### Parámetros característicos

- Absorción dieléctrica (DA).** Cuantifica la tensión recuperada en un condensador después de ser cortocircuitado. Este parámetro puede ser una fuente muy importante de error, puesto que representa una histéresis o **memoria**.



La DA se caracteriza además por la cte. de tiempo de recuperación. La DA es importante en aplicaciones como: Circuitos de muestreo, convertidores V/F y detectores de pico.

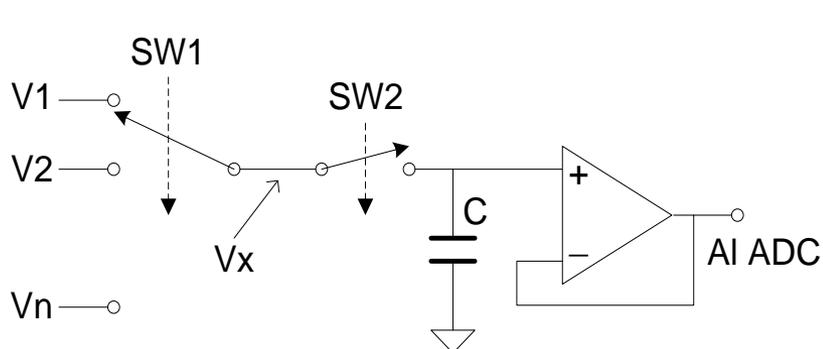


En la figura se muestra el error en mV (SAG) y la cte. de tiempo en ms, de diferentes dieléctricos, cuando se utilizan como capacidad de retención en un S/H. La menor absorción dieléctrica se consigue en dieléctricos del tipo: Teflón, poliestireno, polipropileno y algunos cerámicos del tipo COG y NPO.

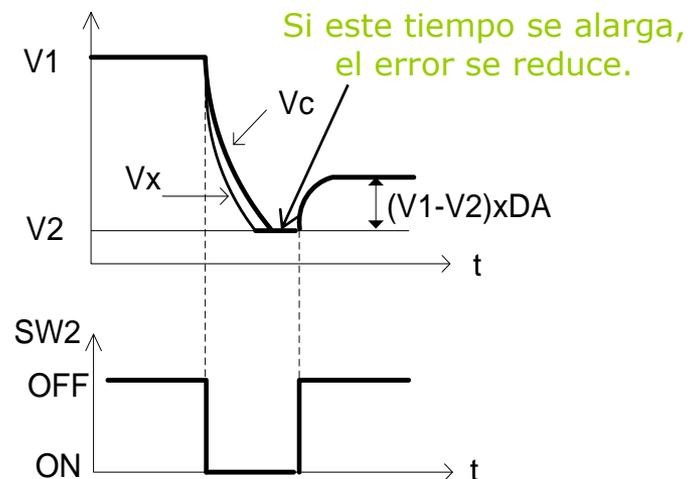
*La DA nos indica que cuando un condensador se deja en circuito abierto después de haber sido cortocircuitado, recupera parte de la tensión que tenía en extremos antes de ser cortocircuitado.*



- Parámetros característicos
  - Ejemplo: Absorción dieléctrica.



### ***Circuito de muestreo en sistemas multiplexados.***



La absorción dieléctrica produce un error en la toma de la tensión  $V_2$ , que es función de la diferencia de tensión entre  $V_2$  y la tensión del canal anterior,  $V_1$ . Como se puede observar, si el ADC realiza la conversión de  $V_2$  rápidamente y justo después del paso a OFF de SW2, el error soportado por la DA se reduce ya que necesita un tiempo para manifestarse en toda su intensidad.

La DA no es un parámetro que normalmente ofrezcan los fabricantes en las hojas de características de sus dispositivos. Por lo tanto, debemos atender al tipo de dieléctrico para realizar una elección adecuada según la aplicación.



# Anexo: Componentes Pasivos

## Lección 2. Condensadores



- ❑ Comparación de parámetros por tipo de dieléctrico.

<b>Dieléctrico</b>	<b>DA (%)</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Polystyrene	0.001-0.02	Precio, DA, Fugas, Buen CT(C)~120ppm/°C	Tamaño, Inductancia, t<85°C
Polypropylene	0.001-0.02	Precio, DA, Fugas, CT(C)~200ppm/°C	Tamaño, Inductancia, t<105°C
Teflon	0.003-0.02	DA, Buen CT(C), Hasta 125°C o mas	Tamaño, Inductancia, Precio
Polycarbonate	0.1	Precio, margen de temperatura, CT(C)	Tamaño, Inductancia, DA
Polyester	0.3-0.5	Precio, margen de temperatura	Tamaño, DA, Inductancia
NPO Ceramic	<0.1	Tamaño, precio, L↓, CT(C)~30ppm/°C, T(C)↓	C nominal < 10nF
High K Ceramic	>0.2	L↓, Amplio rango de C	DA, Coeficiente de tensión, Coeficiente de temperatura
Mica	>0.003	L↓, DF↓, CT(C), T(C)↓	Tamaño, precio, C<10nF
Aluminum Electrolytic	Muy alto	Tamaño, corriente y tensión máximas, C↑	Fugas, CT(C), L↑, exactitud
Tantalum Electrolytic	Muy alto	Tamaño, C↑, L<Aluminum	Fugas, precio, CT(C), exactitud