

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL MENDOZA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

CÁTEDRA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

CAPACITORES

PARTE I

PROFESOR TITULAR:

ING. ADOLFO F. GONZÁLEZ

PROFESOR ADJUNTO:

ING. RICARDO M. CESARI

AYUDANTE TRABAJOS PRÁCTICOS:

ING. RUBÉN O. VICIOLI

2009

ÍNDICE

DEFINICIÓN _____	5
Energía _____	6
Circuito Equivalente _____	7
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS _____	7
Dieléctrico - Distintos tipos _____	7
Permitividad relativa (constante k) _____	8
Expresiones que se pueden usar en aplicación y definición de capacitores _____	8
CARACTERÍSTICAS DE LOS CAPACITORES _____	10
Perdidas en el capacitor _____	10
Resistencia equivalente en serie (ESR) _____	11
Resistencia de aislación (IR) _____	11
Rigidez dieléctrica _____	13
Absorción del Dieléctrico _____	13
Efecto corona _____	13
Influencias sobre el capacitor _____	14
Rango de capacidad para diferentes dieléctricos _____	16
Máxima tensión continua de diferentes capacitores _____	16
Capacitores en CC y en CA _____	17
Rendimiento volumétrico _____	17
Tensión de prueba _____	17
Tensión de formación (para electrolíticos de Al) _____	17
Tensión de fundido (para tipos metalizados) _____	18
Fallas por Auto curado (para los tipos metalizados) _____	18
Descargas internas _____	18
Geometría del capacitor _____	18
CLASIFICACIÓN DE LOS CAPACITORES _____	18
Capacidades distribuidas _____	18
Capacidades concentradas _____	18
CAPACITORES DE MICA _____	19
Capacitores de Mica Plateada _____	20
Formas de codificación de los capacitores de Mica _____	20
Factor de disipación (DF) _____	22

Resistencia de aislación	23
Corriente límite de utilización	23
Códigos de colores para capacitores de mica moldeada	24
Capacitores de Mica tipo botón	25
Característica de temperatura para capacitores de Mica	25
CAPACITORES DE VIDRIO Y PORCELANA	26
CAPACITORES DE DIELECTRICO DE PAPEL	26
Capacitores de papel y lámina conductora	27
Capacitor de papel metalizado	28
Aplicaciones	29
CAPACITORES DE DIELECTRICO DE PLÁSTICO	30
Poliestireno	30
Características:	30
Poliéster	31
Características:	31
Polipropileno	31
Características:	32
Polietileno	32
Características:	32
Poliamida	32
Características:	32
Policarbonato	32
Características:	32
Politetrafluoretileno (Teflón)	33
Características:	33
CAPACITORES CERÁMICOS	34
Cerámicos clase I	35
Cerámicos - Clase II	36
Cerámicos - Clase III	36
Construcción de Capacitores Cerámicos	36
Capacitores Tipo Chip:	36
Capacitores Cerámicos Moldeados:	37
Capacitores Cerámicos Encapsulado en Vidrio:	37
Capacitores Recubiertos:	37

Capacitores Cerámicos Encapsulados: _____	37
Diseños especiales de capacitores cerámicos: _____	37
Variación de la capacidad _____	37
Coeficiente de temperatura, (TC), (Tempco) _____	37
Efectos de la tensión _____	39
Cambio de la Capacidad por la Frecuencia _____	39
Factor de Disipación (DF) _____	40
El Q de los Capacitores Cerámicos _____	41
Resistencia de Aislación _____	41
Efecto de magnetización y desmagnetización de los capacitores cerámicos _____	42
Información técnica _____	43
Codificación de los capacitores cerámicos _____	44
Capacitores tubulares con terminales radiales: _____	44
Capacitor cerámico de disco: _____	45
Tubulares con terminales axiales: _____	45
BIBLIOGRAFÍA _____	46

DEFINICIÓN

Desde hace muchos años atrás, se utilizaba el concepto de almacenar cargas eléctricas, para luego ser entregadas en forma de pulsos breves e intensos de corriente. Fenómeno conocido como "capacidad", en 1747, experimentos en la universidad de Leyden, empleaban el almacenamiento de energía eléctrica, los que ellos llamaban "Jarra de Leyden", "condensador" o "capacitor", siendo este último término el más difundido actualmente.

Eléctricamente la "capacidad", está presente siempre, entre dos conductores adyacentes y en cualquier tipo de unión eléctrica, ya sea soldada o simplemente unida de conductores entre sí, semiconductores entre sí o combinaciones de estos.

Cuando la "capacidad" se realiza expresamente, estamos en presencia de un "capacitor".

Un capacitor consiste básicamente de dos placas metálicas paralelas y separadas por un material dieléctrico.

Cuando se aplica tensión entre sus caras, el capacitor después de un cierto tiempo se carga, dependiendo dicha carga del valor de tensión y del tiempo que tardó.

La capacidad de un capacitor, es un factor de proporcionalidad definido como la relación de la carga adquirida a la tensión aplicada:

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec. 1}$$

Cuando Q, se expresa en Coulombs (o Amperios x seg.) y V en voltios, la capacidad C, se expresa en Faradios.

Esta unidad (el Faradio) es muy grande, por eso se recurre a los submúltiplos (μF , nF y pF), tal es el caso que el capacitor más grande que se puede adquirir en la actualidad, es de 1 Faradio y con una tensión de trabajo de 5 Voltios, (usados en computación, por supuesto son electrolíticos y de placas de aluminio).

La unidad física de capacidad, se define sobre una esfera en el espacio libre con respecto a un punto de referencia. la Ley de Coulomb y las ecuaciones de campos de Maxwell, proveen las derivaciones de las fórmulas de capacidad para las distintas geometrías.

La fórmula fundamental, para la capacidad de dos placas paralelas es:

$$C = \frac{E \times A}{d} \quad \text{Ec. 2}$$

C: Capacidad en Faradios.
 E: Permeabilidad del dieléctrico.
 A: Área de las placas en metros².
 d: Distancia entre las placas en metros.

Donde el dieléctrico es isotrópico, lineal y de espacio homogéneo.

La permeabilidad en el vacío o espacio libre esta dado por:

$$E_0 = \frac{10^7}{4.\Pi.\Pi^2} [\text{Coulomb}^2/\text{Newton} \times \text{m}^2] \quad \text{Ec. 3}$$

Donde C es la velocidad de la luz, ($2,9979 \times 10^8 \text{ m / seg.}$). La fórmula de la capacidad ahora se vuelve:

$$C = \frac{A}{36.\Pi 6} \times 10^{-9} \quad \text{Ec. 4}$$

O más exactamente:

$$C = 8.85 \times \frac{A}{d} [\text{picoFaradios}(\text{pF})] \quad \text{Ec. 5}$$

Si el dieléctrico es otro que el vacío, y se lo relaciona con él, se llama constante dieléctrica "k", y se define como la relación de la permitividad particular del material E a la del espacio libre:

$$k = \frac{E}{E_0} \quad \text{Ec. 6}$$

Y la fórmula fundamental de la capacidad de dos placas paralelas separadas por un medio isotrópico, lineal y homogéneo como:

$$C = \frac{8,85.k.A}{d} [\text{pF}]; \text{ en el sistema MKS} \quad \text{Ec. 7}$$

Si A y d se expresa en pulgadas:

$$C = \frac{0,2249.k.A}{d} [\text{pF}] \quad \text{Ec. 8}$$

Esta fórmula es aceptable cuando A es muy grande con respecto a la distancia d. Si la relación d es mayor de A/1000, el efecto de la no-uniformidad del campo se vuelve predominante y con la expresión antes mencionada no es precisa.

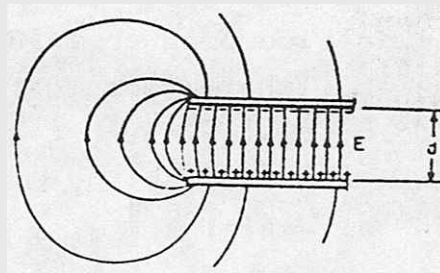


Figura 1

La figura muestra, la extensión del campo electrostático de un capacitor con dieléctrico de aire, por el efecto de borde, (fringe eff) para contemplarlo se debe sumar d, los siguientes factores de corrección:

1. Para bordes rectos, sumar 0,44d al lado.
2. para bordes circulares, sumar 0,011d al radio.

Energía

La energía de las cargas es almacenada, como energía electrostática en el dieléctrico y es igual a $\frac{1}{2} CV^2$. Si esta energía es absorbida proporcionalmente sobre un tiempo t, la potencia requerida es:

$$P_{av} = \frac{C.V^2}{2.t} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- P_{av} : es la potencia media en Vatios.
 C: capacidad en Faradios.
 V: tensión en Voltios.
 t: tiempo de carga en segundos.

Bajo condiciones de alterna, la proporción de energía es absorbida y luego devuelta por el capacitor al circuito y vale:

$$P_{av} = 2.\pi f.C.V^2.f \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- f: es la frecuencia en Hz.
 V: tensión en valor eficaz (rms).

Cuando se aplica una tensión continua a un capacitor, el campo eléctrico, dentro del dieléctrico produce un "desplazamiento" de las cargas de su posición de equilibrio (recordar que la palabra dieléctrico proviene de dipolo). Este trabajo es quien carga al capacitor y se expresa en Joules o Vatios x segundo, quedando como energía potencial almacenada y vale:

$$J = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{Q^2}{2 \cdot C} \quad \text{Ec. 11}$$

J: es el trabajo en Joule o Vatio-seg.
 C: Capacidad en Faradios.
 V: Tensión en Voltios.
 Q: Carga en Coulomb o Amperios-seg.

Circuito Equivalente

Una expresión útil para comprender a la capacidad, es la ecuación diferencial que define la respuesta de un circuito eléctrico que contiene una tensión constante V_0 , una resistencia R , inductancia L y una capacidad C en serie:

$$V_0 = R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{Q}{C} + L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} \quad \text{Ec. 12}$$

Si la corriente se define como dq / dt entonces:

$$V_0 = i \cdot R + \frac{1}{C} \cdot \int i dt + L \cdot \frac{di}{dt} \quad \text{Ec. 13}$$

De modo que la recíproca de c es análoga a un resorte, en un sistema mecánico dinámico.

Un capacitor práctico incluye, inductancia y resistencia en su circuito equivalente, por lo que esta expresión se hace útil.

La expresión familiar, para una reactancia capacitiva cuando se aplica una onda senoidal de corriente, realizando la integración sobre un cuarto de ciclo, se obtiene la reactancia X_c en ohmios:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde f es la frecuencia de la onda senoidal.

El circuito equivalente general de un capacitor es el de la siguiente figura:

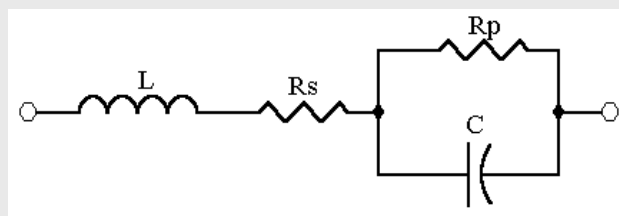


Figura 2

C: Capacidad.
 Rs: Resistencia en serie (terminales, placas e interfases eléctricas).
 L: Inductancia (terminales, placas, etc.).
 Rp: Resistencia en paralelo (corriente de fuga, absorción del dieléctrico, resistencia de aislación).

Los valores de L , R_s y R_p varían enormemente de un tipo de capacitor a otro y todos los factores deben tenerse en cuenta para una elección adecuada.

Podemos decir a modo de síntesis que, la L y la R_s es importante para altas frecuencias y R_p normalmente expresada como resistencia de aislación para aplicaciones en acoplamientos.

La R_s es la medida de la pérdida por disipación de calor y se expresa como factor de potencia o factor de disipación.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Dieléctrico - Distintos tipos

La característica común de un material dieléctrico, ya sea, sólido, líquido o gaseoso y sea o no de naturaleza cristalina, es la habilidad para almacenar energía eléctrica. Este almacenamiento, se debe al desplazamiento relativo de su posición de equilibrio, de las cargas positivas y negativas

tanto atómicas como moleculares.

El único dieléctrico perfecto, es aquel donde la conducción es nula y la recuperación de la energía es total, es el vacío perfecto, mejor dicho espacio libre porque el término vacío perfecto no incluye nada ni siquiera a las cargas eléctricas.

Permitividad relativa (constante k)

La habilidad de un material dieléctrico, para retener cargas almacenadas, es lo que llamamos permeabilidad del material y la relación de la misma con la del espacio libre (E_0), es la constante dieléctrica k. La tabla siguiente da algunas constantes dieléctricas de capacitores más comunes.

Para la fabricación de capacitores, se debe tener en cuenta el material dieléctrico, porque da las características de respuesta a la frecuencia, tensión térmicas y mecánicas.

La mayoría de las constantes dieléctricas, se dan en forma aproximada, ya que ellas varían con la pureza de su composición química y el proceso de fabricación.

Material	Dielectric constant "k"	Organic	Inorganic
Vacuum	1 (by definition)		x
Air	1.0006		x
Ruby mica	6.5-8.7		x
Glass (flint)	10		x
Barium titanate (class I)	5-450		x
Barium titanate (class II)	200-12,000		x
Kraft paper	2.6	x	
Mineral oil	2.23	x	
Caster oil	4.7	x	
Halowax	5.2	x	
Chlorinate diphenyl	5.3	x	
Polyisobutylene	2.2	x	
Polytetrafluoroethylene	2.1	x	
Polyethylene terephthalate	3	x	
Polystyrene	2.6	x	
Polycarbonate	3.1	x	
Aluminium oxide	8.4		x
Tantalum pentoxide	28		x
Niobium oxide	40		x
Titanium dioxide	80		x

Tabla 1

El otro análisis que surge de la tabla, es referente a los capacitores electrolíticos de Aluminio y Tantalio, dado que k no es alto y sin embargo se logra grandes capacidades, esto se debe a que la distancia d entre placas, es muy pequeña por cuanto su separación es de dimensiones iónicas, (la del electrolítico).

Expresiones que se pueden usar en aplicación y definición de capacitores

Capacidad:

$$C = \frac{0.224 \cdot k \cdot A \cdot 10^{-6}}{d} \quad \text{Ec. 15}$$

Capacidad total capacitores en paralelo:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad \text{Ec. 16}$$

Capacidad total, capacitores en serie:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad \text{Ec.17}$$

Reactancia capacitiva:

$$X_C = \frac{10^6}{2.\pi.f.C} \quad \text{Ec. 18}$$

Frecuencia de resonancia:

$$f_r = \frac{10^3}{2.\pi.\sqrt{L.C}} \quad \text{Ec. 19}$$

Factor de disipación:

$$DF = \frac{R}{X_C} = 2.\pi.f.C.R \times 10^{-4} \quad \text{Ec. 20}$$

Figura de mérito:

$$Q_M = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{DF} \quad \text{Ec. 21}$$

Resistencia equivalente serie:

$$R = \frac{PF}{2.\pi.f.C} \times 10^6 = \frac{PL}{I^2} \quad \text{Ec. 22}$$

Impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{Ec. 23}$$

Factor de potencia:

$$PF = \frac{R}{Z} \quad \text{Ec. 24}$$

Coefficiente de temperatura:

$$T_C = \frac{C_1 - C_2}{(T_1 - T_2).C_1} \times 10^6 \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

- A = área para (a) en pulgadas y (b) en metros.
- C = capacidad en μF .
- d = distancia entre placas (a) en pulgadas; (b) en metros.
- DF = factor de disipación, es adimensional y multiplicado por 100 del porcentaje.
- e = base de los logaritmos naturales.
- f = frecuencia en Hz.
- i = corriente continua de fuga en Amperios.
- lac = corriente eficaz de riple en Amperios.
- lpc = corriente continua pico en Amperios.
- k = constante dieléctrica.
- L = inductancia en Hy.
- PF = factor de potencia, adimensional, multiplicada por 100 del porcentaje.
- PL = pérdidas de potencia, (W).
- Q = carga del capacitor.
- Q_M = figura de mérito, es adimensional.
- R = resistencia equivalente en serie del capacitor en ohmios.
- RB = resistencia de By pass o en paralelo con el capacitor, en ohmios.
- t = tiempo en segundos.
- T = temperatura en $^{\circ}C$.
- T_C = coeficiente de temperatura, ppm/ $^{\circ}C$.
- V = tensión continua sobre el capacitor.
- Vc = tensión sobre el capacitor durante la carga y descarga, en voltios.
- Vo = tensión del capacitor cargado en voltios.
- W = vatios.
- X_C = reactancia capacitiva en ohmios.
- X_L = reactancia inductiva en ohmios.
- Z = impedancia en ohmios.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CAPACITORES

Las características especificadas en un capacitor además de la capacidad, incluyen el factor de Disipación (DF), resistencia equivalente en serie (ESR), resistencia de aislación (IR) o corriente de fuga y rigidez dieléctrica. Aparte de estos básicos hay otros parámetros de mucho interés que son la temperatura, la tensión y la frecuencia.

La temperatura de referencia de los capacitores es de 25°C con un rango típico de -55 a 125°C. La tensión depende de la fábrica y la frecuencia de aplicación depende primeramente del tipo de dieléctrico. Las condiciones de prueba, se especifican para cada tipo en particular.

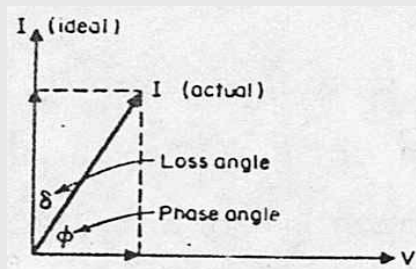


Figura 3

Perdidas en el capacitor

El factor de disipación (DF) y el factor de potencia (pF) son la evaluación de las pérdidas en el capacitor, y tanto una como otra, pueden usarse dependiendo del tipo de capacitor.

Las pérdidas en altas tensiones de alterna, de capacitores de papel impregnado en aceite, es de interés para el usuario, que se especifique el factor de disipación, en cambio las pérdidas para la mayoría de los capacitores, usados en bajos niveles de C.C. y C.A., se especifica el factor de potencia.

Muchas fábricas, consideran el factor de disipación, como una medida del control del proceso y especifican las pérdidas en esta forma.

En el capacitor ideal, la corriente alterna se desfasa con respecto a la tensión 90° como muestra la figura anterior.

En la práctica, la corriente desfasa con respecto a la tensión un ángulo ϕ , menor de 90°, debido a la resistencia en serie R, el complemento de este ángulo es llamado ángulo de pérdida δ :

$$\text{Factor de potencia} = \cos \phi = \sin \delta$$

$$\text{Factor de disipación} = \tan \delta, \text{ a veces se le llama tangente de pérdida.}$$

El factor de disipación, (DF) es afectado por la frecuencia, la capacidad y la resistencia, como lo indica la figura siguiente:

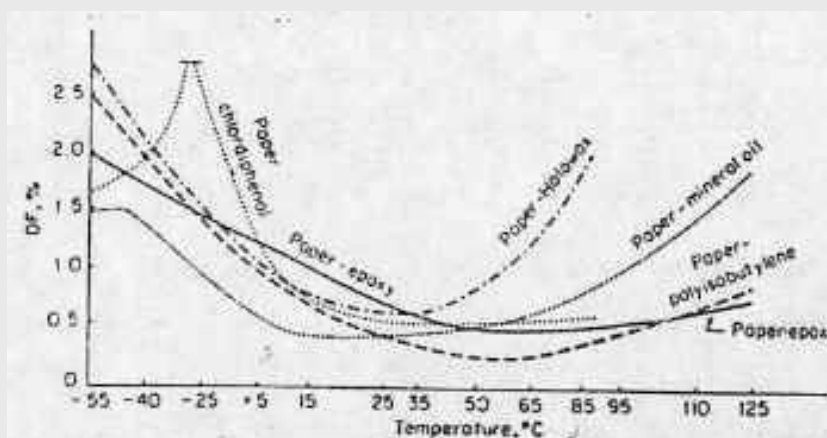


Figura 4

La resistencia y la capacidad, son afectados por la temperatura, influyendo directamente sobre el material del dieléctrico, modificando la constante R como lo indica la figura anterior y las siguientes:

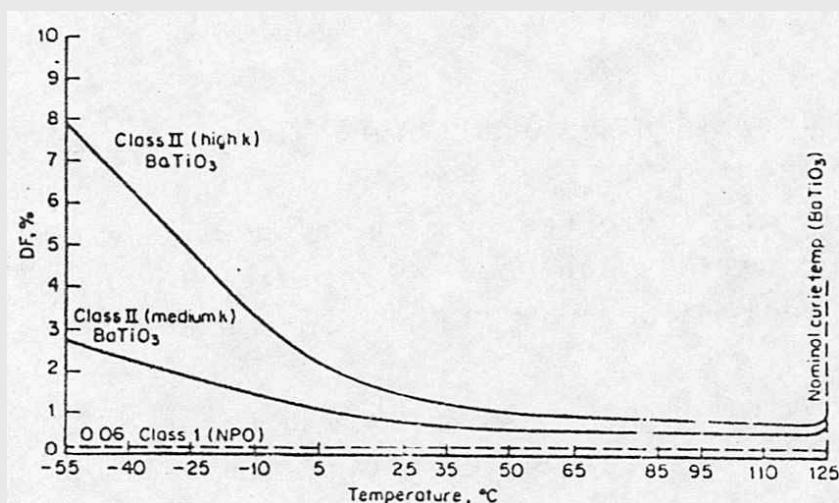


Figura 5

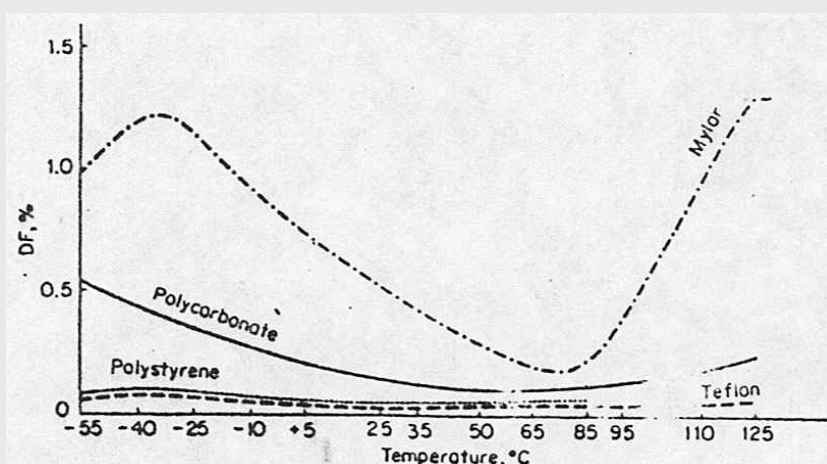


Figura 6

Las pérdidas por frecuencia, en los capacitores, se tratan en forma particular para cada tipo

La variación de la permitividad del dieléctrico con la frecuencia, en muchos capacitores se mantiene baja, pero en otros, el alineamiento de los dipolos no se completa debido a la colisión molecular entre sí y las pérdidas por frecuencia se hacen considerables.

Ejemplo de esto, sucede con los capacitores cerámicos de alto k con dieléctricos ferromagnéticos, donde se manifiesta como pérdidas por frecuencia y por histéresis.

Resistencia equivalente en serie (ESR)

La resistencia R en alterna representa en un capacitor a ambas R_s y R_p, las pérdidas para una frecuencia dada se definen como ESR.

La ESR de un capacitor electrolítico, se especifica normalmente más en detalle ya sea para evaluar correctamente las pérdidas como el calentamiento que dicha resistencia produce y puede ser importante en ciertas aplicaciones.

En la práctica se usa la expresión (8) de la Tabla 1. El valor de PF, puede calcularse por la hoja de datos del fabricante, para una capacidad, ESR a una temperatura, de operación, con una frecuencia de riple aplicada.

Resistencia de aislación (IR)

Todo material dieléctrico, usado en fabricación de capacitores deja pasar una cierta cantidad de corriente continua (corriente de pérdida). Esta corriente se especifica para una tensión aplicada sobre los extremos del capacitor dividida por la R_p del mismo.

Para capacitores de bajo valor de papel; fibra; mica y cerámica la IR se expresa en Megohmios y está en el orden de los 100.000 MΩ.

En los capacitores de alto valor, se disminuye el espesor del dieléctrico y en consecuencia también disminuye IR, por eso, en estos capacitores la IR se expresa en Ω x F o MΩ x μF que

equivale a segundos.

La IR, es inversamente proporcional a la temperatura y usualmente se especifica para rango de temperatura. La siguiente figura muestra la variación de IR con la temperatura, para capacitores de uso común:

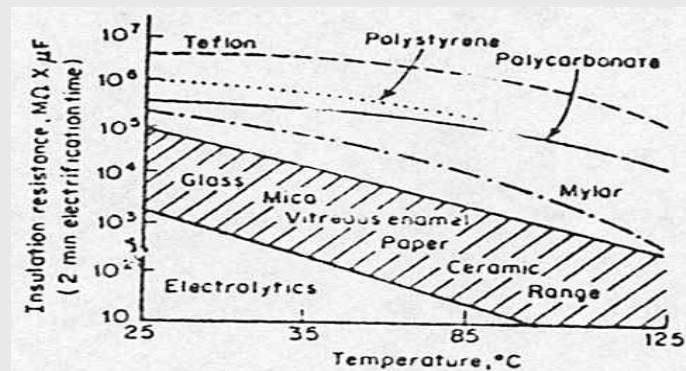


Figura 7

Notas:

- Mylar y Teflón, son marcas registradas de la fábrica E.I. Du Pont de Nemours Co.
- Mylar: es Tereftalato de Polietileno, resina obtenida por la condensación del glicoletileno y del ácido tereftal.
- Teflón: es politetrafluoretileno, es una resina sintética blanca. En el caso de los capacitores electrolíticos, donde la R_p es baja por ser delgado el espesor del dieléctrico y las capacidades son altas, se especifica la corriente de fuga en lugar de la resistencia de aislación (IR).

La figura siguiente lo muestra:

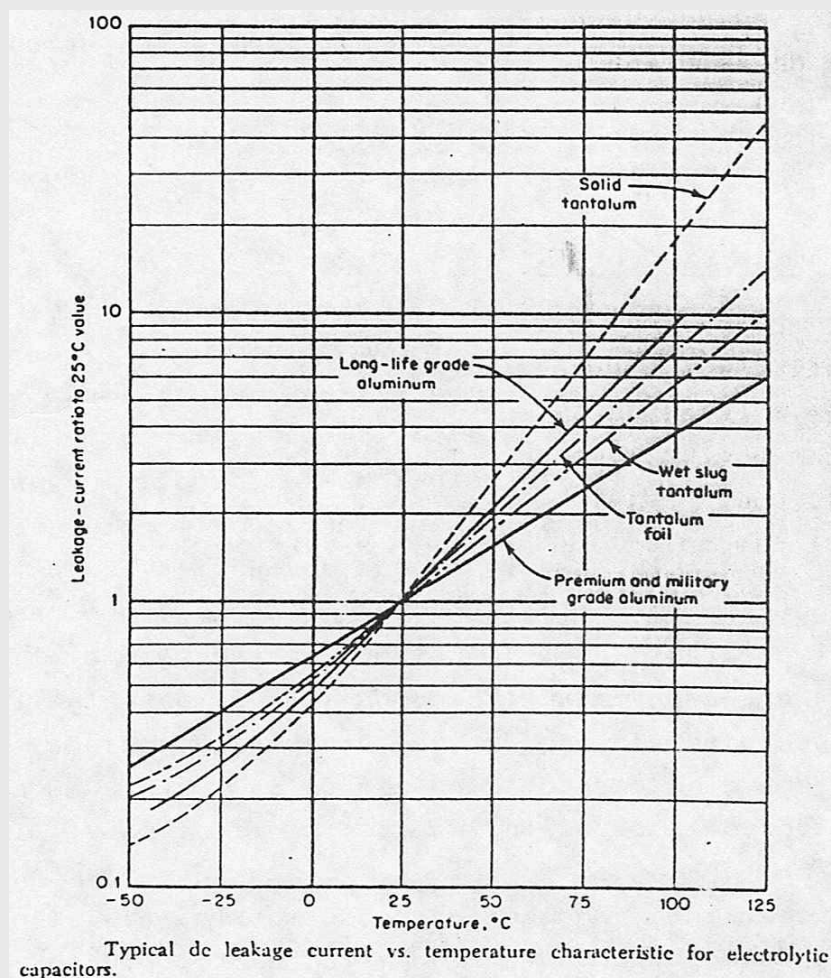


Figura 8

Rigidez dieléctrica

Es la habilidad del dieléctrico de un capacitor, para permanecer con la tensión continua aplicada sin que se produzca la ruptura (descarga por arco). Normalmente se especifica para un material dieléctrico a una temperatura dada, en Volt / mm.

En algunos casos, se especifica una tensión aplicada sobre el dieléctrico del capacitor, para una temperatura con cierto margen de seguridad (le llaman Withstanding Voltage, DWV).

Absorción del Dieléctrico

Es la permanencia de la polarización eléctrica en un dieléctrico, este efecto, puede durar muchos años.

En ciertas mezclas de ceras endurecidas en presencia de un intenso campo eléctrico. En esto, se basa el efecto llamado ELECTRETS, que consiste en polarizar en forma permanente, ciertos materiales calentados y luego enfriados en presencia de un intenso campo eléctrico. Algunas sustancias, como la cerámica Titanato de Bario, cera natural u otras orgánicas, pueden usarse para tal fin. El campo eléctrico de un electret, se compara al campo magnético de un imán permanente.

Desde el punto de vista práctico, podemos interpretar a la absorción del dieléctrico, como a aquellas cargas adicionales que absorbe el capacitor, a posteriori de haber alcanzado la máxima tensión entre los bornes, (si lo cargamos con una fuente de corriente constante y conocemos las resistencias R_s y R_p de dicho capacitor y la de la fuente, podemos saber cual es la máxima tensión esperada). El tiempo por la corriente circulante nos dirán la cantidad de cargas absorbidas por el dieléctrico.

Inversamente, un capacitor al ponerse en corto circuito se descarga, y a pesar de ello, continua drenando corriente por un cierto tiempo, donde también se pone de manifiesto la absorbida por el dieléctrico. Este análisis práctico, para determinar la absorción del dieléctrico se la llama "Reaparición de Tensión", debido a que la tensión residual, una vez que el capacitor se puso en corto circuito hasta lograr la descarga.

La reluctancia del dieléctrico, primero pierde portadores de cargas, debido al efecto de polarización, cuando el capacitor es cargado.

Estos portadores, se vuelven una trampa durante la descarga y cuando se libera el mecanismo del cortocircuito, estos portadores en trampa se dirigen libremente a los electrodos. Este resultado observado en el capacitor, como tensión de recuperación, o rebote hacia atrás.

De modo que: "La absorción del dieléctrico, es un fenómeno de movimientos de electrones"; tensión, tiempo y temperatura, todos factores que lo modifican.

La absorción del dieléctrico, es una consideración importante, para circuitos de alta velocidad y en conmutación, como así también en aquellos que involucran radiaciones nucleares.

La absorción del dieléctrico, se expresa en por ciento (%) y es la relación de tensión de recuperación con respecto a la tensión de carga por 100.

Efecto corona

La ionización del aire, vapor u otros gases cuando conducen corriente se les llama corona. Esto prevalece en capacitores en alta tensión, pero puede ocurrir, con tensiones de alternas bajas de 250V en aire y a presión reducida y donde ocurren gradientes de alta tensión. Sólidos en vacío, electrodos con forma de punta o filosa, aislaciones no homogéneas, etc., pueden provocar el efecto corona. En el aire, la corona produce ozono y varios óxidos de nitrógeno.

Químicamente, el ozono es un agente oxidante potente, ataca muchos materiales orgánicos. Los óxidos de nitrógeno, en presencia de humedad sobre los terminales, producen ácido nítrico con lo que tornan quebradiza ciertas materias orgánicas.

Físicamente, la descarga corona produce electrones e iones de alta velocidad, pudiendo atravesar materias orgánicas, vidrios y cerámicas. En el caso de los aceites la corona conduce a la formación de cera, que produce vacío y la destrucción.

En dieléctricos clorados aromáticos, la corona provoca erosión y eventualmente la formación de canales semi carbonizados, con la tensión de ruptura y la consiguiente falla.

El efecto corona, puede evitarse, con el diseño adecuado del capacitor, y con la eliminación de causas tanto en la fabricación como en la instalación.

A continuación se muestra una gráfica, de una fábrica, que realiza la experiencia de distintos dieléctricos, entre electrodos de 0,25" de diámetro:

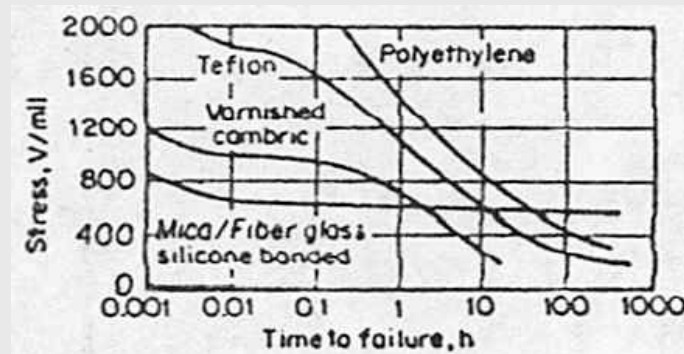


Figura 9

En aplicaciones de alta confiabilidad, el diseño de un capacitor es tal, que, la tensión pico aplicada, incluye transitorios que no exceden la tensión de inicio de la corona.

Influencias sobre el capacitor

Todas las características, previamente definidas afectan al capacitor, pero las tres más importantes son la tensión, temperatura y la frecuencia.

Tensión: a capacitores electrolíticos y ciertos cerámicos, son afectados por el cambio en el valor y la polaridad de la tensión aplicada. Esto se debe a la estructura del dieléctrico, que se verá en detalle más adelante.

Temperatura: cuando cambia la temperatura, cambia la constante dieléctrica, por lo tanto, cambia el valor de la capacidad.

En general son menos sensibles a la temperatura, los capacitores de bajo k. Los gráficos siguientes muestran variaciones por temperatura de los capacitores más comunes:

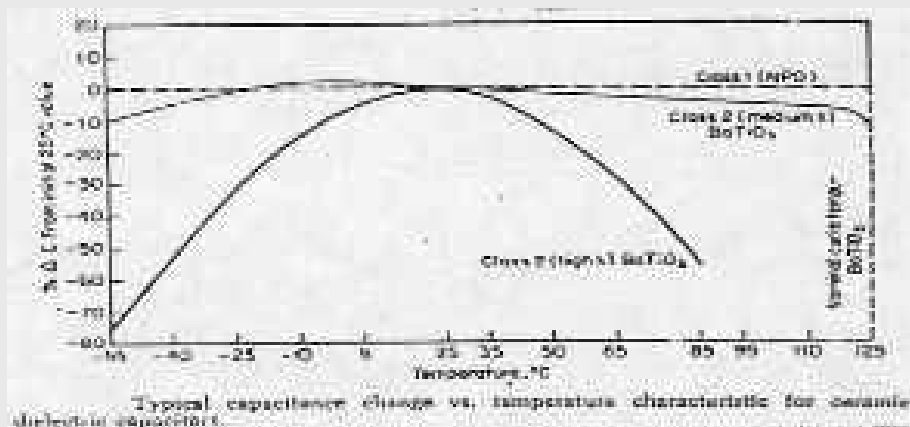


Figura 10

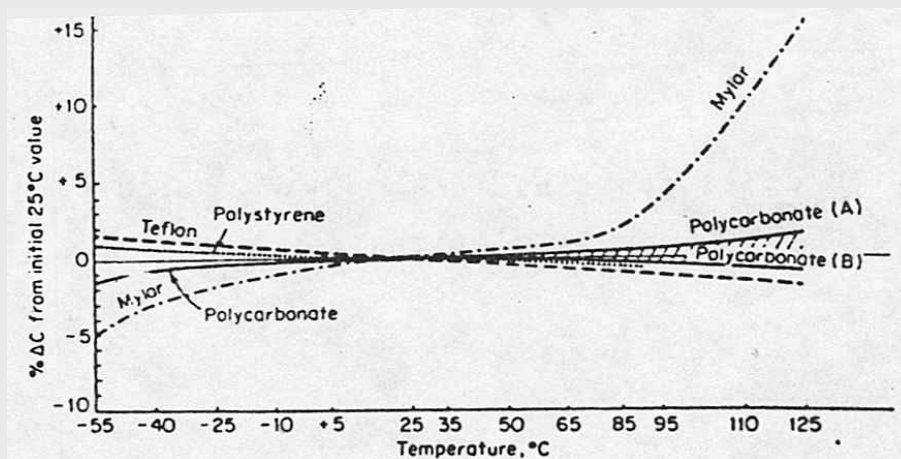


Figura 11

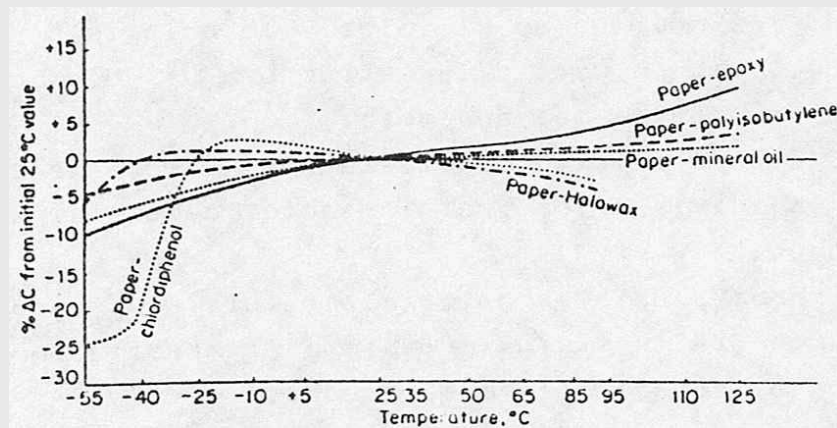


Figura 12

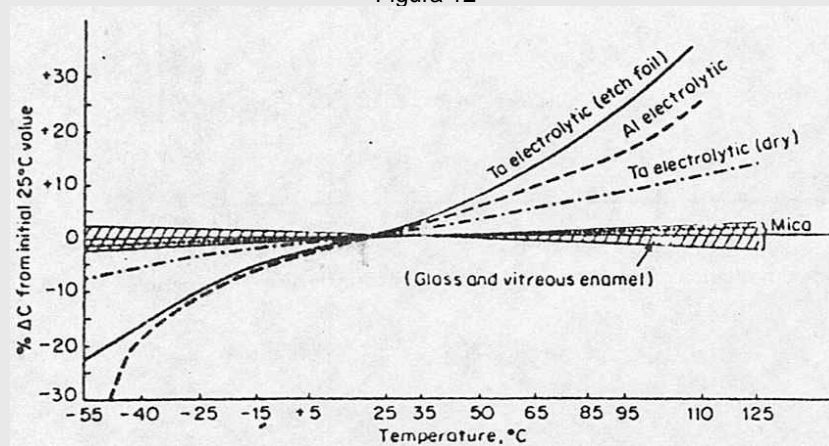


Figura 13

La frecuencia: Este factor, muchas veces no lo tiene en cuenta el diseñador. Como se observó en el circuito equivalente, en un capacitor hay asociada una inductancia, obviamente hay implícita una frecuencia de resonancia, que depende del tipo de capacitor, de la geometría de los electrodos y de la longitud de sus terminales, durante su uso. Esto puede producir sobre pulsos si se trabaja cerca de la frecuencia de resonancia. Y lo más importante que un capacitor, es capacitivo antes de la frecuencia de resonancia, resistivo en la frecuencia de resonancia y por encima de ella es inductivo. En la figura siguiente, se muestra una aplicación en alta frecuencia de cerámico de disco, sólido de Tantalio y de película enrollada de poliéster:

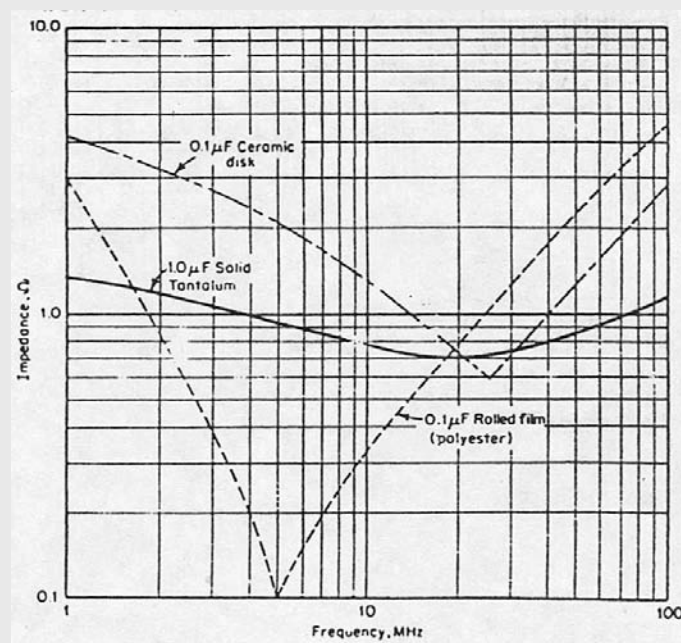


Figura 14

Los óptimos para alta frecuencia, son los cerámicos de disco, NPO, de película metálica

con dieléctrico de mica o vidrio.

Rango de capacidad para diferentes dieléctricos

La figura siguiente, muestra los rangos estándar de capacidad, tanto para aplicación industrial o militar:

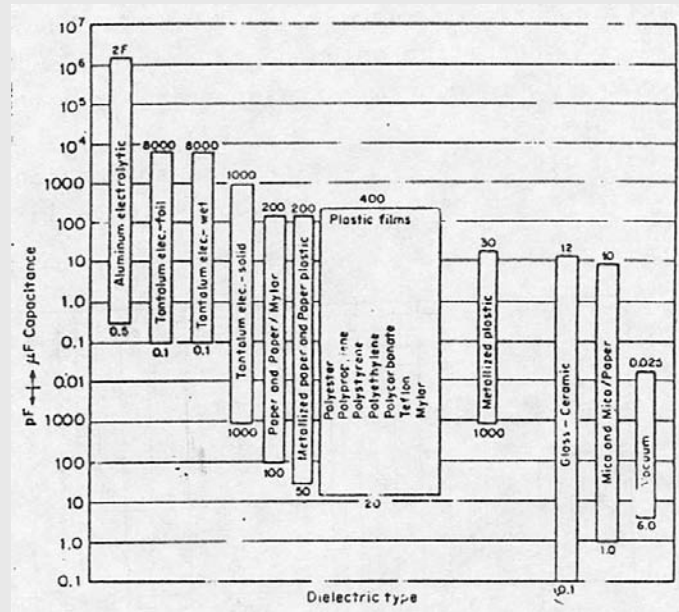


Figura 15

Esto no incluye, las fabricaciones especiales.

Máxima tensión continua de diferentes capacitores

La figura siguiente, muestra las máximas tensiones, a que pueden someterse distintos dieléctricos.

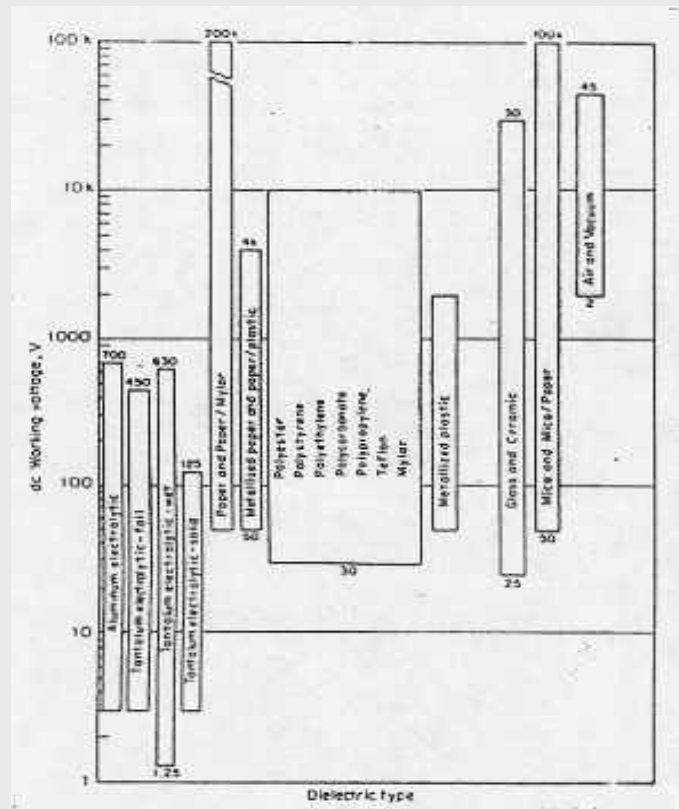


Figura 16

Capacitores en CC y en CA

Un capacitor diseñado para cc, no es adecuado para hacerlo trabajar en c.a. arriba de los 200V, porque ocurren descargas internas, haciendo burbujear gas.

Un capacitor diseñado para c.a., se fabrica para que esté libre de descargas internas y con pequeño ángulo de pérdidas, para minimizar el calentamiento interno. Estos no son adecuados para trabajar en cc.

Rendimiento volumétrico

Se refiere a la relación que vincula el tamaño del capacitor, con el valor de la capacidad y la tensión de trabajo, si bien es cierto que no se menciona, juega un rol importante, ya que influye en el espesor del dieléctrico y las capas de recubrimiento para la aislación.

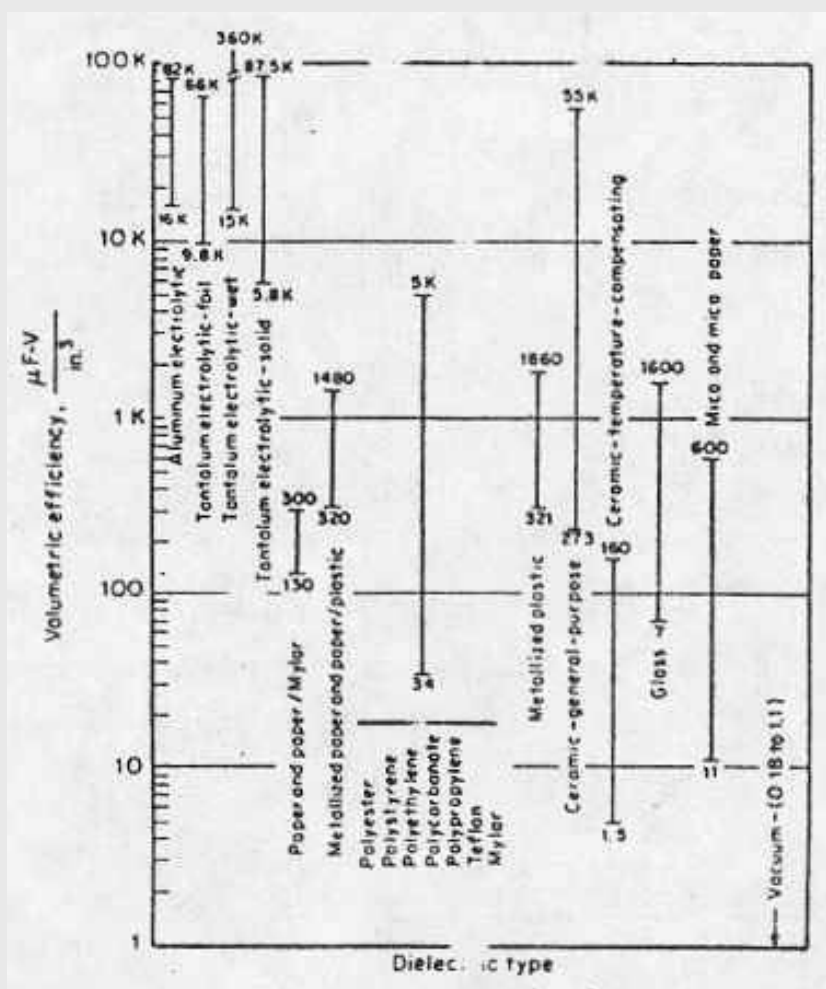


Figura 17

Tensión de prueba

Es la mayor tensión que se puede aplicar al capacitor, sin destruirlo durante las pruebas de calificación que hace el fabricante. La aplicación reiterada de esta tensión degrada al capacitor y puede destruirlo.

Tensión de formación (para electrolíticos de Al)

Es la tensión, a la que el óxido anódico ha sido formado en fábrica. El espesor de la película de óxido es proporcional a esta tensión.

Un capacitor electrolítico de aluminio, que ha sido almacenado sin uso, por un periodo mayor a 6 meses, requiere una nueva formación del dieléctrico. La tensión de formación, es la tensión que figura en carcasa, (tensión nominal), vale decir que:

- Para tensiones menores de 100V, colocar en serie con el capacitor, una

- resistencia de 470 ohmios limitadora de corriente.
- b. Para tensiones mayores de 100V, colocar en serie, 1 Kohm.

En ambos casos el tiempo de la formación está alrededor de 1 hora.

Nota: Si un capacitor, es formado a una tensión menor a la nominal queda en esas nuevas condiciones y si alguien aplica la nominal puede destruirse o en su defecto, envejecer prematuramente.

Tensión de fundido (para tipos metalizados)

Es la tensión aplicada, durante la fabricación de los capacitores metalizados a la cual funden.

Fallas por Auto curado (para los tipos metalizados)

Una rápida descarga del capacitor, quema la aislación de los electrodos metalizados provocando un cambio en sus características, restando sus propiedades. Es una falla desafortunada, porque el capacitor queda en servicio, con el valor de la capacidad modificado.

Lo óptimo, es que el capacitor al fallar quede en circuito abierto de esta manera se hace fácil su identificación en análisis de fallas de circuitos.

Descargas internas

Son descargas parciales, que se producen en un capacitor debido a la ionización del gas en el dieléctrico, inapropiado por arriba de los 200V. Con cc tales descargas son muy poco frecuentes y no son causa de fallas.

Geometría del capacitor

Se ha analizado, la influencia del dieléctrico y las placas sobre el valor de la capacidad, pero también es importante su forma, a continuación se dan algunas geometrías sencillas:

- Capacitores planos	$C = E \cdot s / d$	Ec. 26
- Capacitores esféricos concéntricos	$C = 4 \cdot \Pi \cdot E \cdot (r1 \cdot r2) / (r1 + r2)$	Ec. 27
- Capacitores cilíndricos	$C = 4 \cdot \Pi \cdot E / (\ln r2 / r1)$	Ec. 28

CLASIFICACIÓN DE LOS CAPACITORES

Las capacidades en un circuito las encontramos como:

Capacidades distribuidas

Son las capacidades que se presentan en todo circuito donde se encuentran conductores a distinto potencial, separados por un medio dieléctrico. Estas capacidades, cuyo valor es difícil calcular dependen de la prolijidad del cableado tamaño del circuito.

Estas son en general indeseadas y se estiman entre 5 y 20 pF. Capacidades mayores pueden ser sumamente indeseables.

Capacidades concentradas

Estas son fabricadas como tales y cuyo valor se conocen dentro de la tolerancia especificada por el fabricante se clasifican en:

FIJOS:	Mica; plásticos; cerámicos; papel; electrolíticos.
AJUSTABLES:	(semi fijos): aire; mica; cerámica; vidrio.
VARIABLES:	aire; mica cerámico; vidrio.

Capacitores Fijos

Se caracterizan por el dieléctrico usado. La selección de un capacitor implica no sólo el valor de la capacidad nominal, sino también la consideración de otros parámetros importantes como son la tolerancia, el coeficiente de temperatura, margen de intervalo de frecuencias, el tamaño y el costo.

En base a estos parámetros, a los capacitores fijos los podemos clasificar en:

- Capacitores de baja pérdidas y buena estabilidad:

De la capacidad entre los cuales se encuentran la mica, el vidrio, los cerámicos NPO y los plásticos de bajas pérdidas como el poliestireno.

- Capacitores de pérdidas medias y estabilidad media:

Requeridas para trabajar en un amplio rango de tensiones de alterna y continua. Dentro de este grupo encontramos al papel, a los cerámicos de alto k y a los de película plástica.

- Capacitores de alto rendimiento volumétrico:

Estos son los electrolíticos, los cuales pueden ser de aluminio o de tantalio. Ambos presentan una película de óxido anódico extremadamente delgada.

CAPACITORES DE MICA

Los capacitores de mica son los mejores capacitores considerando todas sus propiedades exceptuando a los de vidrio y porcelana. Presenta una combinación excelente de estabilidad, rigidez dieléctrica, buen factor de mérito Q , constante dieléctrica, longevidad, inactividad química, resistencia a la humedad, no presentadas por los demás dieléctricos.

Los condensadores de dieléctrico de mica se fabrican apilando placas de hoja de aluminio y láminas delgadas de mica en capas alternadas conectadas entre sí.

Todo el condensador formado por las placas, el dieléctrico y las conexiones a los terminales se encierra en un molde de baquelita para evitar la penetración de la humedad y dar rigidez mecánica al conjunto.



Figura 18

Las ventajas de la mica son:

- Bajas pérdidas dieléctricas
- Tensiones de trabajo elevadas
- Bajo factor de potencia
- Muy baja autoinducción
- Pueden ser usadas en temperaturas mayores a 500°C

Se adaptan en particular en circuitos de alta frecuencia. Presentan una constante k de 6,5 a 8,5 pudiendo obtenerse valores comprendidos entre 1pF y 1uF con tensiones de trabajo de 50V a 50.000V.

Químicamente la mica es un complejo silicato de aluminio, con potasio, Mg, Na, Li.

El tamaño cubre una amplia gama ya que este depende de la capacidad y del voltaje.

El coeficiente térmico es de alrededor de ± 500 ppm en el rango de 0 a 70 °C.

Las tolerancias obtenidas van de $\pm 20\%$ a $\pm 2\%$.

La rigidez dieléctrica es de 2.000V para espesores de 0,02 mm por lo cual se pueden alcanzar elevadas tensiones en alta frecuencia. Para aplicaciones que requieren una mayor resistencia de aislación, mayor Q o características más estables, el capacitor se encierra en una caja especial de baja pérdidas de baquelita o con resina epoxi o fenólica moldeada.

Los capacitores de mica se usan como compensadores del coeficiente térmico de otros componentes de un circuito. Por ejemplo, en el caso de un oscilador de precisión, el corrimiento de frecuencia por efecto térmico debe ser mínimo por lo cual se usan capacitores de mica para compensar los coeficientes térmicos de las bobinas.

Capacitores de Mica Plateada

En éstos, las hojas de metal se remplazan por una película metálica depositada por vaporización de plata sobre las láminas de mica y soldadas estas láminas metálicas a los terminales a alta temperatura.

Las ventajas son:

- La tolerancia nominal es menor a los de mica laminada. Se obtienen del orden de $\pm 5\%$ a $\pm 0,5\%$.
- El coeficiente térmico es muy bajo.
- Mayor estabilidad con el tiempo.
- Mayores temperaturas tolerables.
- Tamaño físico más reducido.
- Más estables en ambientes de gran humedad.

Los condensadores de dieléctrico de mica se emplean en altas frecuencias donde se necesita un valor de capacidad pequeña y un factor de disipación reducido.

Como en aplicaciones pueden citarse la sintonía de osciladores y los filtros.

Formas de codificación de los capacitores de Mica

Las características de los capacitores de mica pueden especificarse por medio de un código alfanumérico impreso en el capacitor o por medio del código de colores. En cuanto el código alfanumérico existe la codificación dada por las normas militares MIL compuestas por las normas MIL-C5, MIL-C-39001, MIL-C-10950, MIL-C-23269 y por las normas EIA compuestas por las normas TR -109 y RS -153.

La forma de codificar los datos según las dos normas es:

CM 05 B D 100 K N 3

CM: componente.
05: tamaño de cubierta.
B: característica MIL.
D: tensión nominal MIL.
100: capacidad.
K: tolerancia.
N: rango de temperatura.
3: grado de vibración.

R CM 20 A 053 M 5 N

R: prefijo EIA.
CM: componente.
20: tamaño de cubierta.
A: característica EIA.
053: capacidad.
M: tolerancia.

- 5: tensión continua de trabajo.
N: rango de temperatura.

Las letras CM especifican en ambas normas que se trata de un capacitor de mica fijo.

La cubierta se especifica por dos números que identifican el tamaño y la forma del capacitor.

La característica se indica por una letra de acuerdo a un código, el cual permite conocer el corrimiento de la capacidad con la temperatura y el coeficiente térmico.

El valor de la capacidad se especifica por una cifra de 3 dígitos. Los dos primeros son las cifras significativas y el tercero es el multiplicador. La unidad en este caso es el pico faradio o sea:

$$100 = 10\text{pF}$$

$$053 = 5000\text{pF}$$

$$332 = 3300\text{pF}$$

Solo si es necesario se utilizan tres cifras significativas.

Este valor de capacidad especificado es medido a 1Mhz. para capacitores menores a 1nF y para capacitores mayores a 1nF se mide a 1khz.

El valor de la tolerancia se especifica por una letra:

$$M = \pm 20\%$$

$$K = \pm 10\%$$

$$D = \pm 5\%$$

$$H = \pm 3\%$$

$$G = \pm 2\%$$

$$F = \pm 1\%$$

Tensión nominal: Las normas MIL designa la tensión nominal por medio de una letra:

$$A = 100V$$

$$B = 250V$$

$$C = 300V$$

$$D = 500V$$

$$F = 1000V$$

$$G = 1200V$$

$$H = 1500V$$

$$J = 2000V$$

$$E = 600V$$

Las normas EIA expresan la tensión nominal con un número que representa centenas de voltios:

$$3 = 300V$$

$$20 = 2.000V$$

Rango de temperatura: las normas MIL designa el límite superior de temperatura con una letra, siendo en todos los casos el límite inferior de -55°C :

$$M = +70^{\circ}\text{C}$$

$$N = +85^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 125^{\circ}\text{C}$$

$$P = +150^{\circ}\text{C}$$

Las normas EIA usa dos rangos designados con N y Q que son iguales a los correspondientes a las normas MIL.

Características adicionales de los capacitores de mica moldeada: para estos capacitores el Q mínimo medido a 1kHz. está dado por una gráfica:

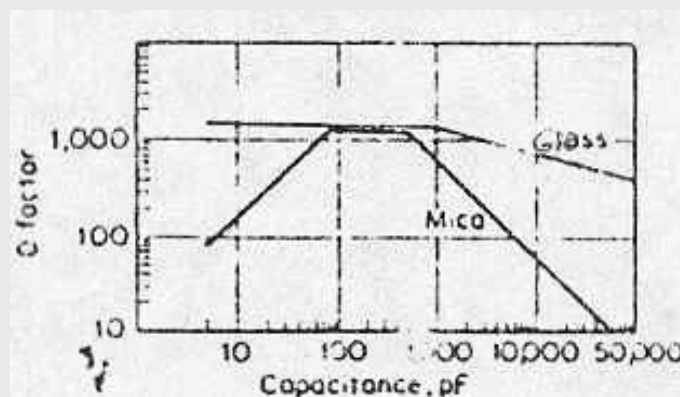


Figura 19

La gráfica muestra la variación de Q y compara la mica con los capacitores de vidrio.

El coeficiente térmico se obtiene realizando los siguientes ciclos térmicos:

MIL: +25, -40, -10, +25, +45, +65, +85, +25°C

EIA: +25, -20, +25, +85, +25°C

Para determinar la rigidez dieléctrica son sometidos los capacitores de mica a una tensión dos veces mayor a la V_{cc} nominal.

Resistencia a la humedad según normas EIA: se los somete durante 120 horas en ciclos de 16 horas a 40°C y 90% de humedad relativa, debiendo pasar al cabo de estos ciclos la prueba de rigidez dieléctrica y debiendo presentar una resistencia de aislación mínima de 1000 Mohm para los de clase A y de 2000 Mohm para el resto.

Fatiga: se los somete a una prueba de fatiga a +85°C a una tensión del 150% de la tensión nominal, no debiendo presentar fallas antes de las 1000 horas según normas MIL y de las 500 horas para las normas EIA.

Vibración: (para normas MIL) esta se especifica en el código por medio de un número:

- 1- Corresponde a una vibración de 10 a 55 Hz a 10 g (aceleración de la gravedad) durante 4,5 horas.
- 2- Corresponde a una vibración de 10 a 2000 Hz a 20g durante 12 horas.

Factor de disipación (DF)

Las especificaciones standard requieren para los capacitores de mica moldeada que los factores de disipación no superen los valores dados por las gráficas siguientes; que hace la comparación con el vidrio y la porcelana.

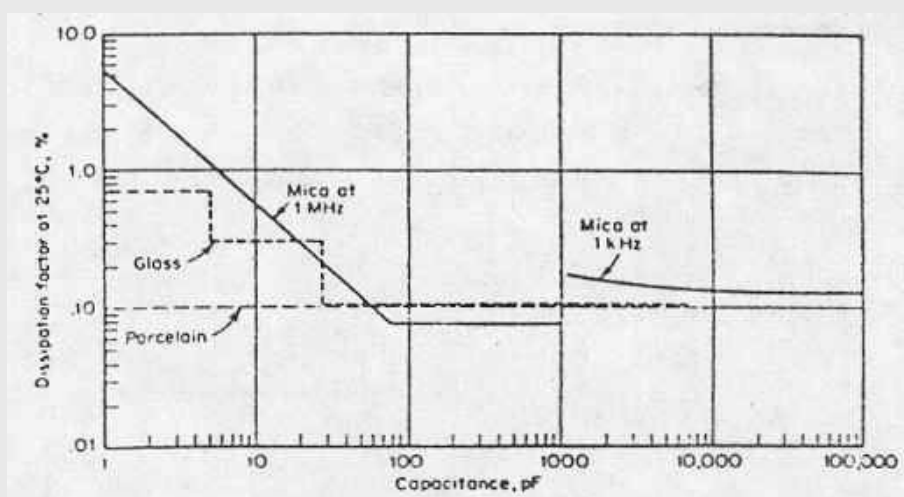


Figura 20

Los cambios típicos de DF con la temperatura y la frecuencia, se muestran en las siguientes figuras:

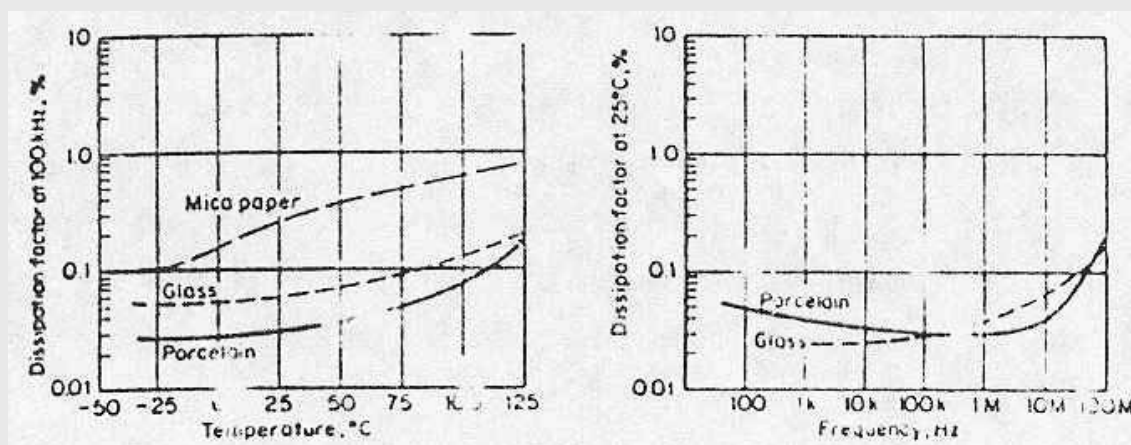


Figura 21

Aquí se muestra, que la mica es levemente inferior en calidad al vidrio y la porcelana, sin

embargo estos últimos son de mayor costo y de menor rango comercial de capacidad.

El cumplimiento de las normas MIL requiere que los capacitores de mica recubiertos de epoxi tengan factores de disipación menor al 0,35% para capacitores de 1000pF y de 0,15% para capacitores mayores a 1000pF.

Este factor de disipación debe medirse a 1mhz para capacitores menores de 1nF y a 1kHz para capacitores de 1nF para arriba.

Las normas EIA, en iguales frecuencias que las normas MIL, requieren que los factores de disipación no superen los siguientes valores:

Capacidad (pF)	Factor de Disipación
1.000 - 2.000	0.0017
2.001 - 3.000	0.0016
3.001 - 8.000	0.0015
8.001 - 30.000	0.0014
30.001 - 67.300	0.0013
67.3001 - 100.000	0.00125

Tabla 2

Resistencia de aislación

La resistencia de aislación es medida en la mayoría de los capacitores de mica a 100 V de la corriente continua después de 60 segundos aplicada. En los capacitores de alta tensión se la mide a 500 Vcc después de 120 segundos de aplicada esta tensión. Como esta resistencia depende del valor capacitivo y de la temperatura, se grafica esta en función de la capacidad, usando como parámetro la temperatura:

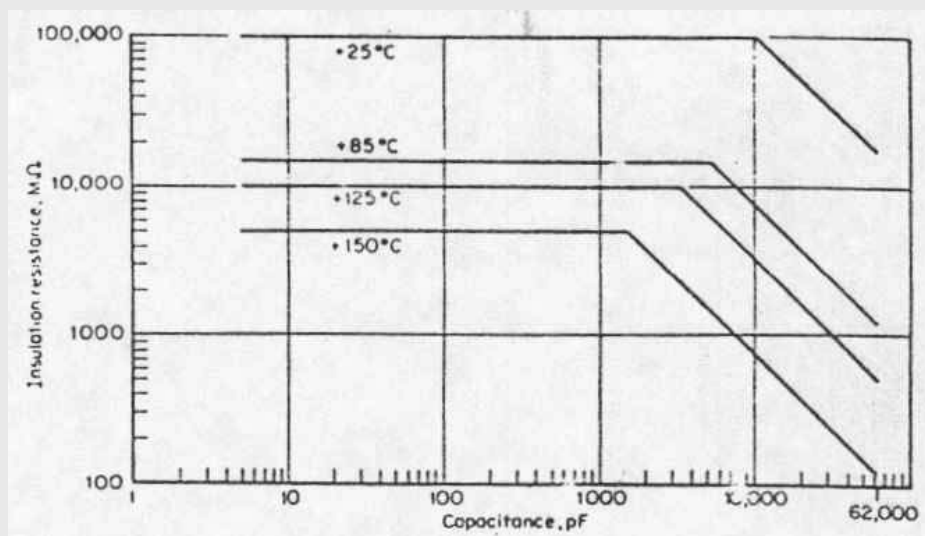


Figura 22

Corriente límite de utilización

En transmisión los capacitores fijos de Mica son diseñados para operar a 20 °C y hasta 30 °C de temperatura ambiente. Las corrientes de RF en función de la frecuencia se muestran las gráficas siguientes, a la que son capaces de transferir los capacitores fijos de Mica, al aire libre.

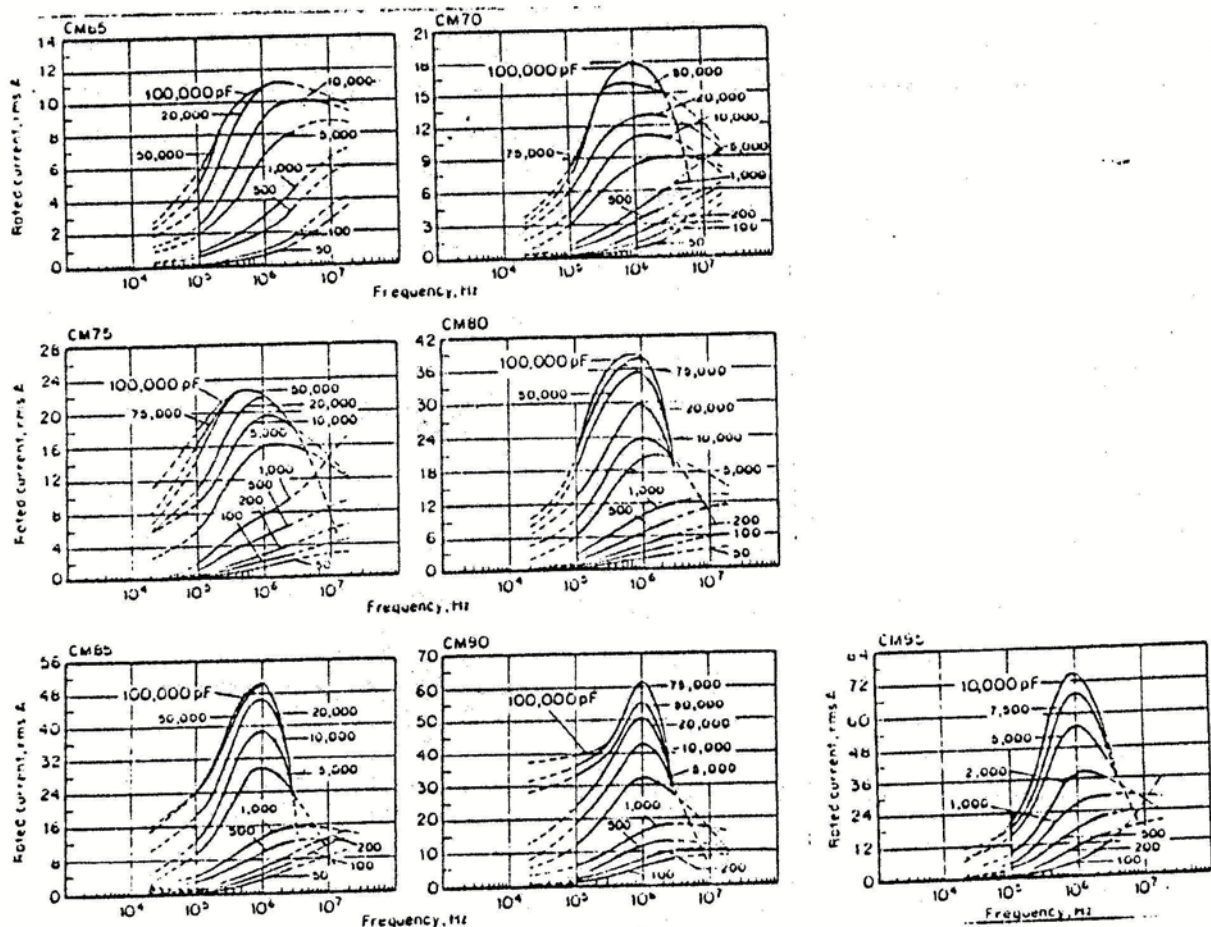


Figura 23

Códigos de colores para capacitores de mica moldeada

Las características de los capacitores de mica pueden darse por medio de un código de colores representado por puntos coloreados ubicados a ambos lados del cuerpo del capacitor.

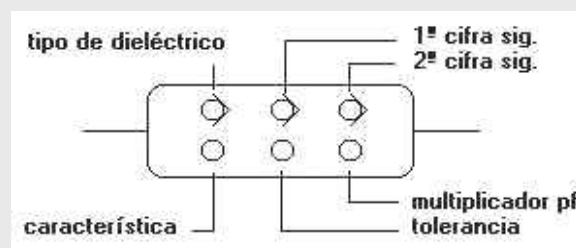


Figura 24

ANVERSO

En algunos casos se codifica el reverso del cuerpo

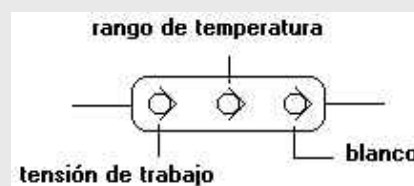


Figura 25

El punto correspondiente a tipo de dieléctrico será blanco para capacitores de mica que cumplen con la norma EIA y será negro para los que cumplen con la norma MIL.

El código de color usado para el valor capacitivo es el universalmente conocido.
En cuanto a la tolerancia y las características, los colores son:

	Negro	Marrón	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Oro	Plata
Tolerancia %	± 20 (M)	± 1 (F)	± 3 (H)	± 3 (H)		± 5 (J)	± 5 MIL	± 10
Características	A	B	C	D	E	F		
Tensión V	-	100	200	300	400	500	1000	2000

Tabla 3

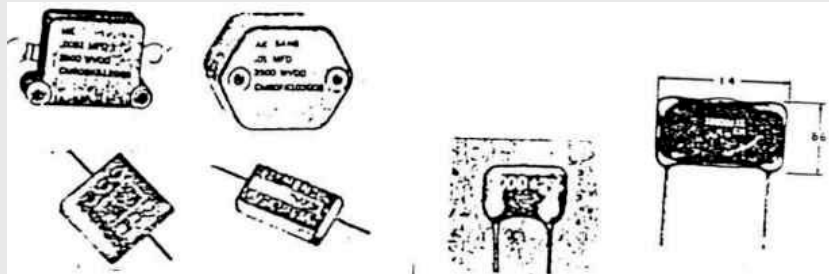


Figura 26

Capacitores de mica moldeada Capacitores de mica recubiertos en epoxi

Capacitores de Mica tipo botón

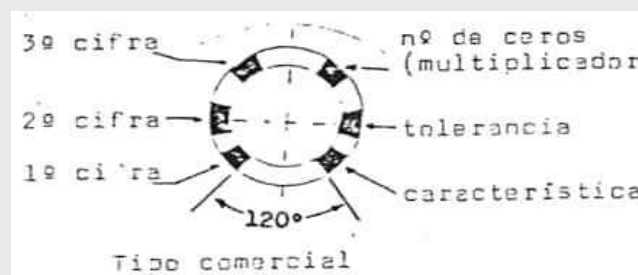


Figura 27

Característica de temperatura para capacitores de Mica

Especificación					Código de característica	Coef. de temperatura Máximo ppm/ °C	Corrimiento máximo (drift)
MILC-S	MIL-C 10950	MIL-C 39001	TR 109	RS 153			
x	x		x	x	B	± 500	$\pm (3,0\% + 1,0 \text{ pf})$
x		x	x	x	C	± 200	$\pm (0,5\% - 0,5 \text{ pf})$
x	x		x	x	D	± 100	$\pm (0,3\% + 0,1 \text{ pf})$
x	x	x	x	x	E	$\pm 100, -20$	$\pm (0,1\% + 0,1 \text{ pf})$
x		x		x	F	$+ 70,0$	$\pm (0,05\% + 0,1 \text{ pf})$
			x		G	$0, -50$	$\pm (0,1\% + 0,1 \text{ pf})$

Tabla 4

El último está especificado para TR 109 que se utiliza en transmisión.

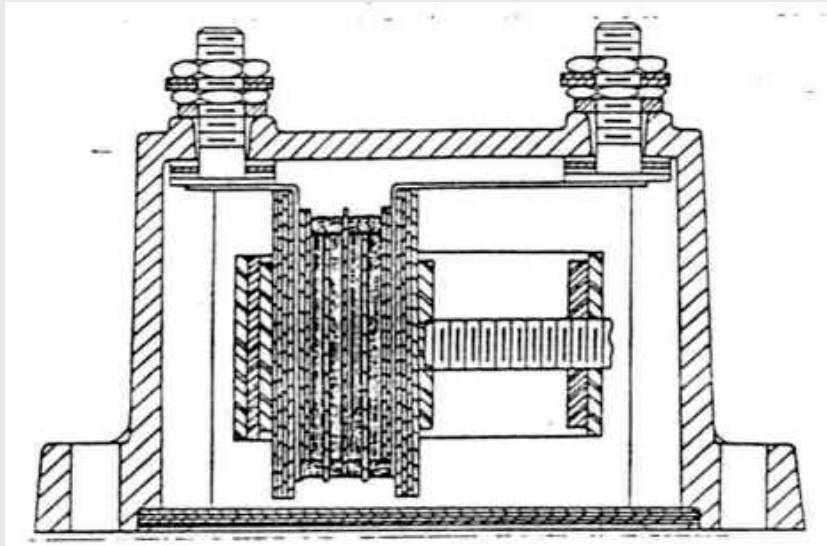


Figura 28

Formato de un capacitor de mica de alta tensión para transmisión.

CAPACITORES DE VIDRIO Y PORCELANA

Referente a estos capacitores, cuyas características en general son superiores a la mica, en el rango de -55 a $+155$ °C, no lo ofrecen en el tipo comercial (Normas EIA), solamente en Normas MIL.

CAPACITORES DE DIELECTRICO DE PAPEL

Los capacitores de papel se fabrican arrollando dos hojas de papel y dos láminas muy delgadas de aluminio, o bien metalizando el papel con aluminio o cinc para realizar los de película. El arrollamiento se efectúa en máquinas especiales con un número determinado de vueltas para obtener la capacidad deseada.

El papel y las láminas de aluminio pueden disponerse de dos formas obteniéndose capacitores de tipo inductivos y antinductivos.

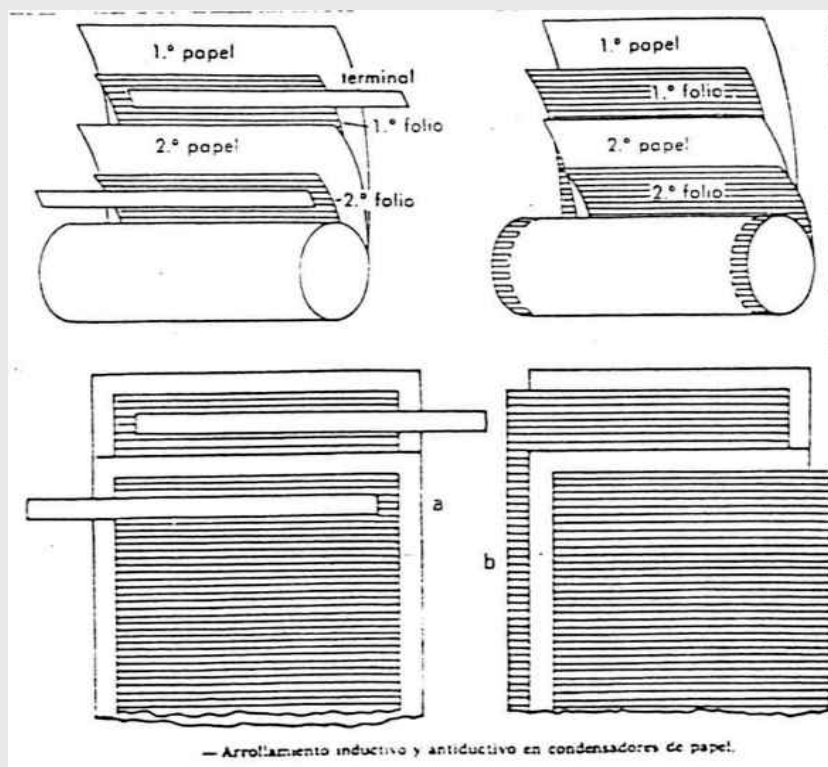


Figura 29

La figura indica las diferencias, caso **a)** se apoya los electrodos sobre las láminas mientras se efectúa el arrollamiento, las cargas eléctricas deben acompañar al arrollamiento de las armaduras para

distribuirse sobre las superficies de éstas, lo que da lugar a una apreciable inductancia que hace ineficaz al capacitor para frecuencias elevadas.

En el caso **b)**, se desplazan las dos láminas de aluminio respecto a las tiras de papel de modo que cada una sobresalga algunos milímetros de un lado, se consigue un capacitor inductivo, puesto que las cargas se desplazan del borde externo al interno de cada armadura para distribuirse sobre toda la superficie. Para este tipo de capacitores se requiere de 20% a 25% más de material.

Un capacitor de papel posee un dieléctrico de material celulósico, usándose papel Kraft (término de origen alemán) impregnado con aceite o cera. El papel Kraft está compuesto por fibras celulósicas obtenido de pulpas de coníferas por procesos alcalinos, los cuales dan origen a fibras muy puras y sin el menor defecto.

El papel normalmente tiene un contenido de humedad de casi un 10% en peso, por lo cual es necesario extraerla antes de ser impregnado con el aceite o con la cera. Esta extracción de agua hace que el papel quede más poroso y que aparezcan intersticios los cuales se deben rellenar. Esto se hace con los impregnantes, que pueden ser:

Ceras: Solo son adecuadas para aplicaciones de corriente continua teniendo una constante dieléctrica k elevada (5.2).

Presenta una resistencia de aislación dado por 15.000 Mohm . m F y un rango de temperatura de -55°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Aceites minerales: Son adecuados para aplicaciones tanto en C.C. como en A.C. Por ser líquidos no se producen fisuras disminuyendo la posibilidad de descargas internas. Presenta un $k \gg 2.23$.

Presenta una resistencia de aislación mínima de 600 Mohm y un rango de trabajo de -55°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Aceite de Ricino: Son adecuado para aplicaciones en C.C. y en A.C. si la temperatura es limitada. Presenta una resistencia de aislación mínima de 150 Mohm y un rango de temperatura de -55°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Askarel: El más importante es el defenil clorado que posee nombre de fábrica tales como: Aroclor, Diconal, Inertene y Pyranol. Estos son impregnantes polares que tienen una constante k de alrededor de 6, pero presentan características variables con la temperatura y la frecuencia. Tienen amplio uso en corriente alterna debido a su bajo costo y a su buen factor de espacio. La operación en corriente continua es satisfactoria si el impregnante es estabilizado.

La combinación de papel Kraft, el impregnante y las láminas conductoras determinan las características eléctricas del capacitor.

Este se construye tomando una lámina de papel y dos de metal y enrollándolas en espiral formando el conjunto de cilindro, siendo soldados los terminales a las placas por las bases de este cilindro.

La constante dieléctrica del papel Kraft es de 2.23 y la resistividad en seco de 283.000 ohm . cm a 25°C .

Existen dos tipos de capacitores de papel:

Capacitores de papel y lámina conductora

Está formado por dos delgadas cintas de aluminio aisladas entre sí por una delgada hoja de papel Kraft, impregnado para mejorar sus características y enrollados en espiral para obtener el valor de capacidad deseada. Las cintas de papel y aluminio alcanzan varios metros.

El conjunto se encierra en una cápsula de metal, plástico o vidrio cerradas con parafina para evitar la entrada de humedad.

Una forma de conectar los terminales a las placas es hacer las placas un poco más anchas que la cinta de papel y colocarlas de forma que una de ellas sobresalga hacia un lado y la otra hacia el lado opuesto. De forma que luego, sobre las zonas que sobresalen se sueldan o funden los terminales.

Esto reduce el efecto inductivo de la espiral por lo que suele a veces denominarse capacitor no inductivo.

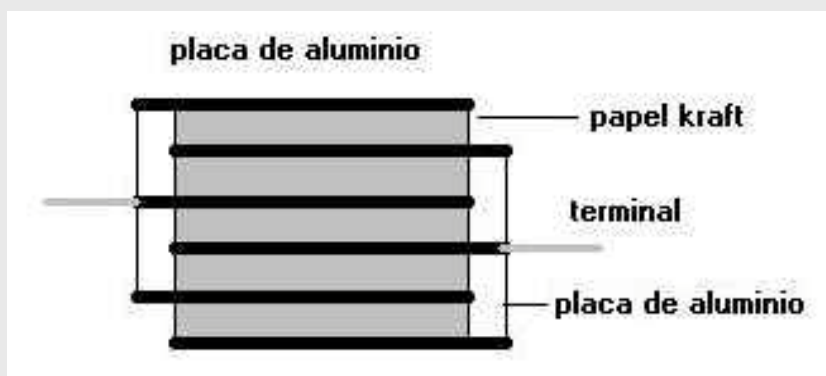


Figura 30

Capacitor de papel metalizado

Consiste en el depósito por vaporización de metales como Zinc o Al sobre la cinta de papel, proceso que se realiza en presencia de alto vacío. Luego la cinta de papel es enrollada para obtener el valor capacitivo deseado. Tiene la ventaja de tener mayor rendimiento volumétrico que el anterior para bajas tensiones. Por ejemplo, para 200 V el capacitor de papel metalizado es 0,75 veces más chico que el de papel laminado. Para 600V es de 0,8, pero para valores de tensión mayores a 600V no hay diferencias en tamaño.

Tiene la desventaja de autocurarse. El autocurado tiene lugar cuando se produce un corto circuito momentáneo en el interior del capacitor, generándose calor suficiente como para evaporar el metal depositado en la zona del corto. Una sobre tensión instantánea, es quien inicia la perforación del papel en un punto el cual por la presencia de algunas partículas de carbón o metal resulta eléctricamente más débil. Esta sobre tensión es a partir de 1,5 veces la tensión de trabajo, (1,5 veces la tensión de trabajo es la tensión de prueba para estos capacitores.) Estos en ciertos casos es perjudicial pues el capacitor queda en servicio pero con un valor capacitivo menor, por lo cual el no quedar ni en corto ni en circuito abierto, es difícil de detectar la falla.

Para que este autocurado ocurra, se requiere un circuito de baja impedancia y la aplicación de una relación volt - ampere adecuada durante un corto tiempo. La mayoría de los cortos tienen una resistencia de 1 a 100 ohm y con un valor de 4V y 10 mA es suficiente para evaporar la película metálica.

En consecuencia estos capacitores no son útiles en aplicaciones de corriente alterna donde existen altas corrientes, debido a la baja capacidad de manejo de potencia que poseen.

Los capacitores de papel presentan capacidades comprendidas entre .0001 uF a 100 uF con tensiones de trabajo de 50 a 1000 V pudiendo obtenerse en casos especiales hasta 50 uF y tensiones de 20000 V, con tolerancias de $\pm 20\%$ a $\pm 10\%$.

El rango de temperatura de trabajo está comprendida entre -55 y $+85$ °C, dependiendo de la impregnación.

Empleando el aceite de ricino, se obtiene mayor capacidad, pero se mantiene estable en un rango de temperatura menos amplio (-25 °C a $+65$ °C) son muy empleados los aceites sintéticos, como el polisobutileno y la metiletilsilicona.

El coeficiente de temperatura es positivo y no lineal. La tensión nominal se da para una temperatura máxima de 40 °C, ya que para temperaturas mayores debe reducirse la tensión aplicada.

La experiencia ha demostrado que la vida de los capacitores de papel impregnados con aceites o ceras es inversamente proporcional a la quinta potencia de la tensión aplicada.

Vida a 45 °C en años	1	2	5	10	20
Tensión aplicada en % de la nominal	100	85	70	60	53

Tabla 5

Los capacitores para uso en filtros están especificados para usarse en C.C.

Cuando hay presente una C.A., se puede calcular la tensión como la suma de la C.C. mas la tensión pico de la C.A.

La C.A. no debe exceder del 20% de la especificada para 60 Hz, del 15% para 120 Hz y del 10 KHz. Cuando prevalece la C.A. se deben conseguir capacitores diseñados para tal efecto.

En régimen transitorio los capacitores normales de papel no dan un resultado satisfactorio.

El factor de potencia es función de la sustancia de impregnación. En la mayoría de las

aplicaciones en filtros lo que interesa es la reactancia capacitiva y no el factor de potencia. En corriente alterna el Factor de Potencia determina el calentamiento interno del capacitor, en consecuencia debe considerarse la tensión CA y la temperatura. El factor de potencia es función de la tensión aplicada y deben especificarse las condiciones reales y no las arbitrarias.

Con fines de fabricación a mide a 25 °C aplicando 1 KHz a capacitores menores o igual a 1 μF y con tensiones de trabajo menores o igual a 3 KV, o 60 Hz para capacitores mayores a 1 μF y con tensiones de trabajo mayores a 3 KV. En estas condiciones no se debe sobre pasar del 1 %

En las figuras 4 y 12 se dan las curvas de variación del Factor de Disipación y la variación de la capacidad con la temperatura en porcentaje, para distintos tipos de capacitores de papel.

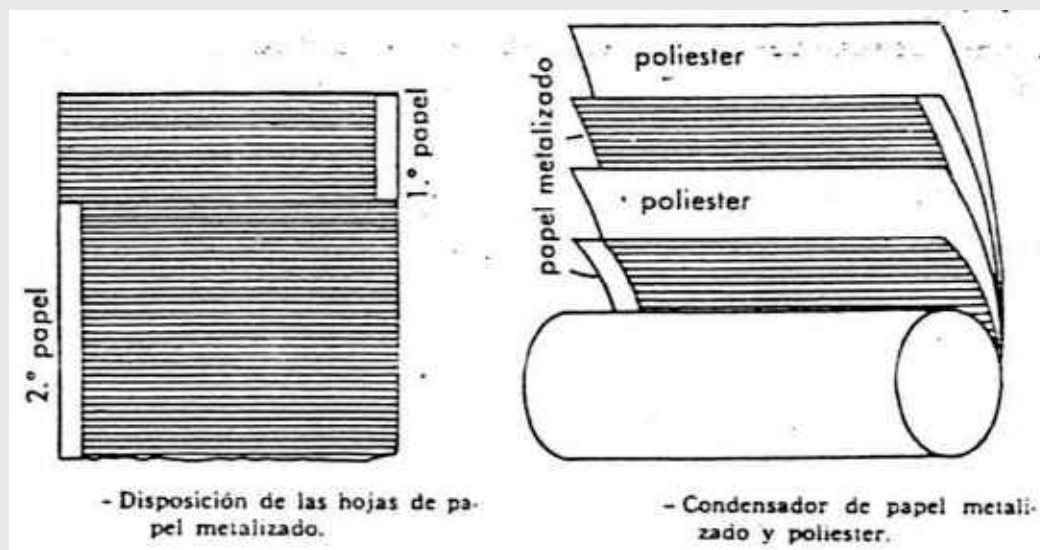


Figura 31

En algunos tipos de capacitores se introduce entre las dos hojas de papel metalizado, otra hoja muy delgada de poliester (tereftalato de polietileno), aumentando notablemente la tensión de trabajo dada su elevada rigidez dieléctrica incluso a alta temperatura.

Aplicaciones

Las aplicaciones típicas de los capacitores de papel laminado son de acople y desacople de circuitos electrónicos de baja tensión, de filtros de alta tensión continua, de almacenadores de energía, como arrancadores de motores y como correctores del factor de potencia. Los de papel metalizado son usados para acople y desacople en donde el tamaño es un elemento importante. En corriente alterna se han desarrollado capacitores especiales para este uso, particularmente para arranque de motores y en aplicaciones para tubos fluorescentes.

La tabla siguiente, muestra las características de los capacitores en función de los impregnantes.

Material	Impregnante			Capacitor		
	K	Power factor, %	r , W -cm	mF / mil.	Power factor, %	JR, W /m F
Mineral oil	2.23	0.03	10^{14}	600	0.20	20,000
Mineral wax	2.20	0.05	10^{15}	600	0.35	10,000
Petroleum jelly	2.20	0.05	10^{12}	600	0.35	10,000
Polyisobutylene	2.20	0.03	10^{15}	600	0.20	25,000
Silicone liquida	2.60	0.05	10^{16}	560	0.35	22,000
Castor oil	4.70	0.08	10^{12}	455	0.50	2,000
Chlorinated diphenyl	4.90	0.05	10^{13}	430	0.20	15,000
Chlorinated	5.20	0.20	10^{11}	390	0.40	5,000

Tabla 6

Medidas a 100 °C, excepto difenil clorado a 65 °C y naftaleno clorado a 125 °C.

Comparación de dos tipos de impregnantes.

	Mineral oil	Chlorinated diphenyl
Volume	1	0.667
Weight	1	1
Insulation resistance at 25° C, MW /m F	4,000 - 22,000	8,000 - 12,000
Insulation resistance at 85° C	125 - 400	75 - 250
Power factor, 60 Hz, 25° C, %	0.20	0.20
Power factor, 1,000 Hz, 25° C, %	0.3	0.35
Capacitance at -55° C compared with 25° C, %	94	73 at 60 Hz, 55 at 1 MHz

Tabla 7

Las consideraciones que hay que tener en cuenta para la selección de impregnantes son:

- Estabilidad de la capacidad.
- Constante dieléctrica.
- Factor de potencia.
- Resistencia de aislación.
- Viscosidad.
- Punto de fluidez.
- Coeficiente de expansión de volumen.
- Compatibilidad del material.
- Gravedad específica.
- Estabilidad química.
- Productos de descomposición en un arco eléctrico.
- Toxicidad (seguridad para personas).
- Economía del proceso.
- Radiaciones nucleares.

CAPACITORES DE DIELECTRICO DE PLÁSTICO

En este tipo de capacitor la cinta de papel se reemplaza por una delgada capa de material sintético que se caracteriza por su baja porosidad, bajo contenido de humedad, alta rigidez dieléctrica y características de temperatura predecibles. Poseen mayor resistencia de aislación que los de papel y no absorben humedad que los caracteriza mayor a los de mica.

Las características eléctricas dependen de la estructura de la molécula de los plásticos. Si la molécula no es simétrica tendrá un momento dipolar que produce un aumento de la constante dieléctrica, siendo esta la tangente de δ dependiendo de la frecuencia. Los materiales no polares tienen características independientes de la frecuencia, mientras que los polares exhiben una disminución de la capacidad con el aumento de la frecuencia pasando el factor de disipación por un máximo en un rango de frecuencia.

Los materiales plásticos usados como dieléctricos son:

Poliestireno

Es un plástico de excelentes características eléctricas, que lo hacen independiente de la frecuencia.

Es un termoplástico con un punto mínimo de fusión de 90 °C, con moléculas orientadas biaxialmente, que le confiere al dieléctrico estabilidad y bajas pérdidas. Disponible en espesores de 6 a 30 x 10⁻³ mm. Sus aplicaciones son para los de película en capacitores de precisión para instrumentación y propósitos generales.

Características:

- Muy resistente a ácidos, álcalis, alcohol y aceites, algunos solventes y grasas lo atacan. De los plásticos es el más resistente a la acción química a otros materiales.
- Absorción de humedad 0.1%.
- Rango de temperatura de trabajo -55 °C a 85 °C.
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.03 a 0.04 mm y a 25 °C es de 5000 V.
- Constante k a 25 °C y 1 Mhz es de 2.5 .
- Rango de frecuencia de trabajo por encima de 1 Mhz.

- Factor de disipación (DF) a 25 °C y a 1 KHz es de 0.03%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es de 1.6×10^{15} ohm – cm.
- Coeficiente de temperatura -120 ± 30 ppm / °C.

El rango de capacidades ostensibles va de 1 nf a 0.47 uf.

Las aplicaciones típicas, debido a que es uno de los mejores plásticos, son computación, timers e instrumentos de precisión.

Poliéster

Es una película de poliéster realizado por la condensación de glicol etileno y ácido tereftalático, también se lo menciona como tereftalato de poliéster, con distintos nombres comerciales, "MYLAR", "SCOTCHPAR", "CELANAR". Es transparente y flexible, disponible en espesores que van de 0.004 a 0.35 mm. Tiene una variedad de aplicaciones en aislaciones eléctricas aparte de la fabricación de capacitores.

Características:

- Resistente a la acción química y otros materiales.
- Absorción de humedad 0.5%
- Rango de temperatura de trabajo -60 a +150 °C.
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.03 a 0.04 mm. y a 25 °C es de 7.500 V.
- Constante k a 25 °C y 1 KHz es de 3,25.
- Rango de frecuencia de trabajo de 60 Hz a 1 KHz.
- Factor de disipación (DF) y a 1 KHz a 25 °C es de 0.5%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es 10^{18} ohm . cm.
- Coeficiente de temperatura +1.150 ppm/ °C.

El rango de valores capacitivos obtenibles es de 1 nf a 10 uf con tolerancias de $\pm 10\%$ a $\pm 2\%$.

La máxima tensión que puede llegar a soportar es de 1000 a 2000 V.

El coeficiente térmico es de 500 a 1000 ppm/ °C.

La resistencia de aislación es de 100.000 Mohms uf.

Este tipo de capacitor al igual que los demás plásticos pueden ser con láminas metálicas como electrodos o como plástico metalizado.

En el caso de poliester metalizado es común encontrarlos codificado de la siguiente forma:

El código de color para las cifras significativas y el multiplicador es el tradicional.

Para la tolerancia el negro corresponde al $\pm 20\%$ y el blanco al $\pm 10\%$.

Para las tensiones:



Figura 32

Color	Marrón	Rojo	Amarillo	Azul
Tensión V	100	250	400	630

Tabla 8

Polipropileno

De características similares al, polietileno pero tiene mayor punto de fusión.

Características:

- Buena resistencia química y a otros materiales, especialmente a la humedad.
- Absorción de humedad 0,03%.
- Rango de temperatura de trabajo arriba de +125 °C.
- Rigidez dieléctrica, para espesor de 0,03 0,04 mm y a 25 °C es de 5.000 V.
- Constante k a 25 °C y 1 MHz es de 2,1.
- Rango de frecuencia de trabajo hasta 1 MHz.
- Factor de disipación (DF) a 25 °C y a 1 MHz es de 0,03%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es de 5×10^{14} ohm . cm.

Polietileno

Es una resina termoplástica, hecha por la polimerización del gas etileno. De una configuración molecular de largas cadenas de etileno, es de color pálido translúcido.

Características:

- Buena resistencia química y a otros materiales.
- Absorción de humedad menor 0,02%.
- Rango de temperatura de trabajo -45 a +95 °C.
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.03 a 0.04 mm y a 25 °C es de 4.700 V.
- Constante k a 25 °C y 1 Mhz es de 2.1.-
- Rango de frecuencia de trabajo 60 Hz a 1 Mhz.
- Factor de disipación (DF) a 25 °C y a 1 Mhz es de 0.03%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es de 10^{17} ohm.cm.

Poliamida

Es el producto de la condensación del dienhídrido piromelítico (proveniente del ácido 1,2-4,5-benceno tetracarboxílico) y una diamina eromática. Es de las materias orgánicas el más resistente a las llamas y a las radiaciones.

Características:

- Resistente a acciones químicas y de otros materiales excepto a las bases que lo degradan.
- Absorción de humedad 0%.
- Rango de temperatura de trabajo mayor de 400 °C.-
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.03 a 0.04 mm y a 25 °C es de 7000 V.
- Constante k a 25 °C y 1 Khz es de 3.5.-
- Rango de frecuencia de trabajo hasta 1 Khz.
- Factor de disipación (DF) a 25 °C y a 1 Mhz es de 0.3%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es de 10^{18} ohm.cm.

Policarbonato

La de película de policarbonato es una resina que ofrece estabilidad dimensional, propiedades eléctricas estables en amplio rango de temperatura, es una estructura fuerte, flexible y clara. Para la fabricación de capacitores se usa película de estructura cristalina orientada. Su constante dieléctrica casi no es afectada con la temperatura y la frecuencia. Se fabrican capacitores de policarbonato tanto de lámina como de película.

Características:

- Resistencia baja a la acción químicas y de otros materiales.
- Absorción de humedad 0.35%.
- Rango de temperatura de trabajo -65 °C a +270 °C.
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.03 a 0.04 mm y a 25 °C es de 2.500 V. (fabricados por fusión) y 1.500 V (fabricados por extrusión).
- Constante k a 25 °C y 1 Khz es de 2.93 y 2.99.-

- Rango de frecuencia optimo de 1 KHz a 1 Mhz.
- Factor de disipación (DF) a 25 °C a 1 KHz y a 1 Mhz es de 0.13% y 1.1%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es de 4.7×10^{16} ohm.cm. (por fusión) y 15×10^{16} (por extrusión).
- Coeficiente de temperatura mayor ± 350 ppm / °C.

El rango de capacidad va de 1 nF a 1 uF con tolerancias de $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$. La máxima tensión admisible llega a los 600 V.

En los de policarbonato metalizado se puede obtener tolerancias de $\pm 1\%$ y $\pm 2\%$. Se lo fabrica en forma de espiral al igual a los de papel y moldeado radial y axialmente herméticamente cerrados.

Politetrafluoretileno (Teflón)

Conocido como TEFLON (marca registrada de DU PONT Co), es una resina blanca químicamente inerte, desarrollada durante la última parte de la segunda guerra mundial para el programa de energía nuclear y para aislación de equipos eléctricos.

Su rango de temperatura está por encima de 250 °C lo que lo hace atrayente en aplicaciones de temperaturas elevadas, (su punto de fusión está en 327 °C). En muy altas tensiones, cuando ocurre el efecto corona, se deteriora como cualquier resina orgánica.

Características:

- Resistente a acciones químicas y de otros materiales.
- Absorción de humedad , no hay datos.
- Rango de temperatura de trabajo mayor de 250 °C.-
- Rigidez dieléctrica para espesor de 0.008 mm y a 25 °C es de 1.500 V.
- Constante k a 25 °C y de 60 Hz a 10 Mhz es de 2.1.-
- Rango de frecuencia de trabajo optimo de 60 Hz a 10 Mhz.
- Factor de disipación (DF) a 25 °C a 60 Hz y 10 Mhz es de 0.05% y 0.02%.
- Resistividad volumétrica a 25 °C es mayor de 10^{12} ohm.cm.

Todos estos capacitores, se los puede encontrar formados por dos laminas conductoras entre las cuales se encuentra ubicado el plástico, al igual que en los de papel y enrollados sobre sí mismo. La forma de extraer los terminales es similar a los de papel. Se los puede construir de diversas formas: cilíndricos, cuadrados, tubulares, etc. y encapsulados en plástico, resina epoxi, cerámica, etc.

En ciertos circuitos como osciladores, timers, integradores, etc. donde la función del circuito depende de la estabilidad de los capacitores que intervienen en el mismo, es necesario que estos tengan un tempco lo menor posible en el mayor rango posible.

Aprovechando que los capacitores de poliestireno tienen un tempco negativo y lineal y los de policarbonato positivo, se puede formar con ellos un conjunto a fin de disminuir el tempco del conjunto. Así, por ejemplo, si se necesita un capacitor de 1 uF con tempco muy bajo, se pueden colocar un capacitor de poliestireno de 0.47 uF en paralelo con uno de 0.47 uF de policarbonato con tempco de igual valor y distinto signo al de poliestireno, con lo cual se obtiene un capacitor de 1 uF y un tempco bajo en un amplio rango de temperatura.

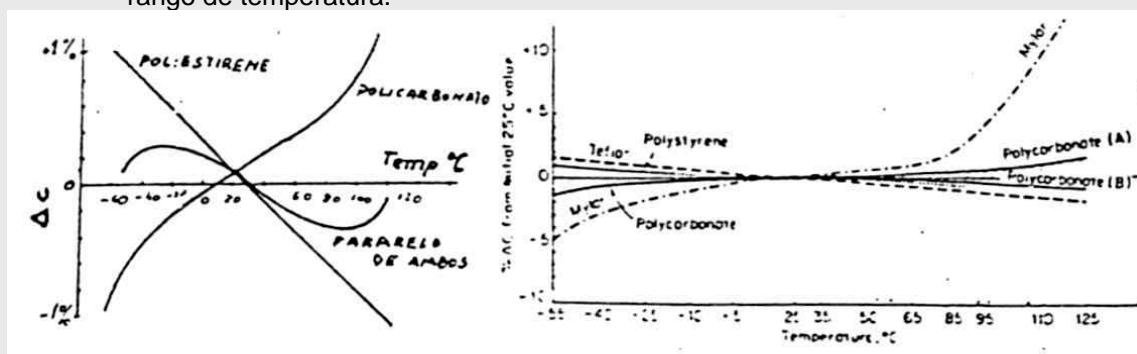


Figura 33

Las variaciones de la capacitancia con respecto al valor a 20 °C, de la resistencia

de aislación y de la tangente de d en función de la temperatura están dadas por las siguientes gráficas.

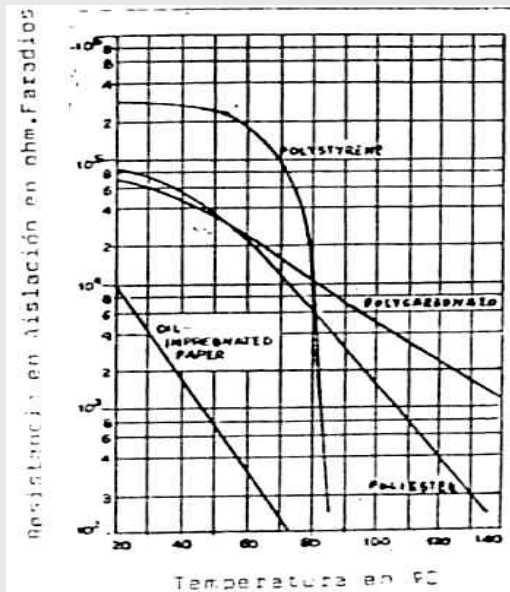


Figura 34

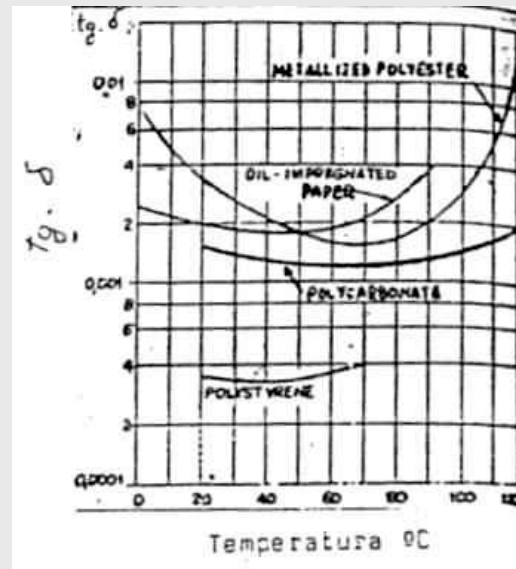


Figura 35

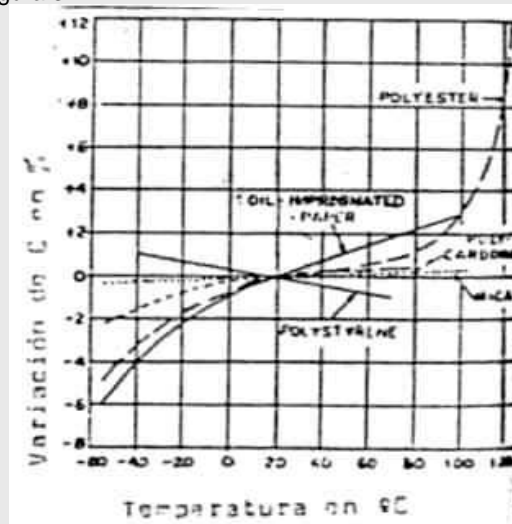


Figura 36

Breve descripción de la fabricación de los capacitores de Mylar y Policarbonato de la serie MK de Siemens.

1. Enrollado

Las cintas de dieléctrico metalizado son enrolladas entre láminas protectoras no metalizadas.

2. Contactos

Las placas conductoras se interconectan por medio de espolvoreado de metal sobre las caras del capacitor.-

3. Cortado y colocación de terminales

Se cortan los capacitores del bloque original, según el valor capacitivo, proceso controlado por computadora.

Se consiguen tolerancias de $\pm 5\%$ y finalmente se colocan los terminales.

4. Sellado y medición

Con esta medición se saca la capacidad definitiva y las conclusiones sobre la aislación y el factor de disipación.

CAPACITORES CERÁMICOS

Estos capacitores, se obtienen, metalizando las superficies cerámicas con una suspensión de óxido de plata o sumergiendo en éstas las piezas cerámicas, protegidas donde sea necesario por mascarillas o por pulvericen de los metales fundidos.

Las cerámicas tienen un amplio rango de características eléctricas, por lo cual, son los materiales dieléctricos para capacitores más versátil y con constantes dieléctricas k que oscilan entre 6 y 10.000 .-

A los capacitores cerámicos se los clasifica en 3 grandes grupos: Clase I, Clase II y Clase III, la tabla 1 sintetiza, las características. El mineral básico para todos los capacitores cerámicos es el dióxido de Titanio (TiO_2).

Cerámicos clase I

Los capacitores con este dieléctrico, emplean normalmente como base el Dióxido de Titanio o Titanato de Calcio (tempco negativo) con adición de Magnesio (tempco positivo), Titanato de Bario y de Estroncio para obtener determinadas características. Como lo muestra la tabla 1 la constante k oscila entre 6 y 500 y el factor de potencia 0,4% a menor. Los capacitores de la clase I son adecuados para circuitos resonantes, para acople y desacople entre etapas de alta frecuencia, compensaciones de temperatura y otras aplicaciones donde el alto Q y la estabilidad son esenciales.

En esta clasificación, el hecho de que la cerámica es de material no ferroeléctrico es el primer factor de estabilidad del capacitor así fabricado. Además de un control cuidadoso de las propiedades del dieléctrico, durante el proceso, minúsculas impurezas en el Dióxido de Titanio, reducen enormemente el Q y la resistencia de aislación.

Atributo	Tipo de Cerámica			
	Clase I	Clase II		Clase III
		Estable	Inestable	
Constante dieléctrica k a 25 °C	6 - 500	250 - 2400	3000 - 10000	900 - 5100 (antes de la reducción)
Rango Operativo de Temperatura (°C)	-55 a +125	-55 a +125	+10 a +85	-55 a +80
Coeficiente de variación de la capacitancia con la Temp. (ppm/°C)	P150 a N5600			
Factor de disipación a 25 °C (%)	0,001 - 0,4	0,4 - 1,0	1,0 - 4,0	4 - 8
Máximo cambio de la capacidad, 25 - 55 °C (%)	-	+2, -8	+0, -90	-15 a 3V -85 a 10 V -71 a 12V -75 a 25V -29 a 30V
Máximo cambio de la capacidad, 25 °C hasta máx. rango de temperatura (%)	-	+2, -10(125°C)	+0, -60(90°C)	+13 a 3 V (80°C) +17, -60 a 10V (80°C) +50 a 12V (80°C) +4, -30 a 25V (80°C) 0.5 a 30V (80°C)
Aging por década de tiempo (%)	-	0.8 – 2.8	2.5 – 8.0	1 - 6
Uso	Circuitos sintonizados, alta frecuencia (microondas), alto Q	Acoplamiento, temporizado.	Paso, filtrado.	Acoplamiento de bajo voltaje y paso en circuitos con transistores (3 a 50V)
Características	Capacitor ultra estable con respecto a la temperatura, dc y ac, frecuencia y tiempo. Alto Q . Amplio rango de temperatura.	Tamaño pequeño. Amplio rango de características, bajo costo. Amplio rango de temperatura.	Alta eficiencia volumétrica	Grandes capacidades, Alta eficiencia volumétrica, bajo costo.
Desventajas	Gran tamaño y costo.	Efectos piezoeléctricos.	Rango de temperatura limitado (usualmente de 0 a 65°C). Efectos piezoeléctricos	Baja resistencia de fuga. Alta sensibilidad a la tensión.

Tabla 9

Cerámicos - Clase II

Aquí se usa como material base el Titanato de Bario. Una variedad de compuestos tales como el Titanato de Estroncio, Titanato de Calcio, de Zirconio y Niobio.

Todos estos reaccionan con el Titanato de Bario modificando las propiedades del dieléctrico. Procesando estos compuestos se llevan a cabo las propiedades eléctricas de los que están encuadrados en cerámicos de Clase I.

El Titanio de Bario tiene propiedades ferroeléctricas y que no es lineal en función del potencial aplicado, (por ejemplo) y esto es debido a las propiedades mencionadas de la celda unidad, que tiene forma tetragonal con momentos dipolares, suficiente para modificar las características del dieléctrico con la temperatura, tensión, efectos mecánicos, frecuencia. El punto Curie del Titanato de Bario es de 120°C, temperatura que cambia la forma de la celda unidad a cúbica y pierde las propiedades ferroeléctricas. Como lo muestra la tabla 1 la constante k oscila entre 250 y 10.000 y decrementa con el envejecimiento. El factor de potencia va de 0,4% a 4%.

Los capacitores cerámicos, Clase II, son usados donde la miniaturización es importante, de desacople en radiofrecuencia, filtros, y de acople ínter etapa donde Q y la estabilidad de la frecuencia están comprometidas.

La clase II está dividida en 2 subgrupos estables e inestables (los de alto k), los grupos están definidos por la temperatura.

La constante k de los estables está aproximadamente entre 250 y 2.400 y tienen una alinealidad de las características definida sobre un rango de -60 a +125°C y exhibe un cambio máximo en la capacidad de un 15% desde el valor a 25°C.

Los inestables o de alto k con un rango de la constante dieléctrica desde 3.000 a 10.000. Este alto k se obtiene por fórmulas del Titanato y aditivos que mueven al punto Curie de 125°C aproximadamente, (recordar que en la temperatura Curie la permeabilidad cae a 1) para los cerámicos de k estables a cerca de la temperatura ambiente para los cerámicos de alto k.

Los cerámicos compuestos con ferroeléctricos exhiben severos cambios de la capacidad sobre el rango -55 a +85°C o menos dependiendo de la composición usada, causando decremento de k del 30 al 80% . La adición de Bismuto le confiere estabilidad por temperatura, pero inestabilidad química, esto obliga a usar placas de platino en el diseño monolítico. Debido al costo se trata de utilizar otros metales nobles como electrodos.

Cerámicos - Clase III

Los capacitores de doble capa eléctrica de contacto entre metal y semiconductor (el proceso llamado barrier layer), se hace con esta Clase III. En este tipo de diseño los discos cerámicos son tratados con calor en una atmósfera reducida, de modo que la resistividad decrementa a cerca de 10 ohmios x cm. Una capa delgada de la superficie de este cuerpo entonces es reconvertida al estado de aislación bajo la acción de una atmósfera de oxidación. Los electrodos de plata son aplicados a las caras normalmente colocados al mismo tiempo que realiza el proceso antes mencionado. De esta forma se constituye un capacitor entre el cuerpo conductor (electrodo) y el semiconductor, que se sintetiza el proceso con el término barrier layer. Cuando se colocan al disco los electrodos externos, o sea las placas, queda en definitiva como dos capacitores en serie.

Construcción de Capacitores Cerámicos

Los capacitores cerámicos se fabrican de las más diversas formas y estilos. El proceso comienza con un cilindro o una hoja de cerámica verde, con lo cual se da la forma deseada que consiste en una fina mezcla de cerámica y una resina como aglutinante. La cerámica de color verde es encamisada o pintada con una pasta de metal precioso, tal como el platino, paladio o plata para formar los electrodos. Para los capacitores monolíticos los electrodos son apilados intercalando cerámica. Para procesos de una sola capa (para los estilos discos) y posteriormente cortados, cuadrados, discos, rectangulares o de otras formas deseadas.

Luego se remueven las materias orgánicas y posteriormente se sintetizan entre 1.200°C y 1.450°C dependiendo de la composición de la cerámica se procede a la sección electrodos, que es sumergirlo en la pasta de metal precioso a la temperatura de 750°C para dar una terminación soldada.

Capacitores Tipo Chip:

Para el uso de chip de capacitor se usan los de clase I y II, sin terminales para luego hacer encapsulado de cualquier tipo. Este sustrato se usa generalmente en

microelectrónica, donde luego se realiza el encapsulado en conjunto con componentes activos (caso de los circuitos híbridos).

La cerámica no es higroscópica y prácticamente está exenta de humedad.

Con la ausencia de inductancia en los terminales estos chips trabajan bien en alta frecuencia.

Capacitores Cerámicos Moldeados:

Se usan chips rectangulares de una gruesa capa o en bloque monolítico, se colocan los terminales en forma radial o axial para los cilindros. La cubierta final es de epoxi.

Capacitores Cerámicos Encapsulado en Vidrio:

Este tipo emplea un chip cerámico multicapa o de simple capa con los terminales sellados en un tubo de vidrio. En apariencia son similares a los de terminales axiales.

Este tipo de montaje se realiza en ambientes que se reemplaza el aire por nitrógeno y rodea a los terminales con un bloque de carbón. Se hace pasar una corriente adecuada y se funde el vidrio sobre los terminales dando garantía de un buen sellado.

Capacitores Recubiertos:

Son aquellos que el recubrimiento externo no adopta una geometría definida. Se logran sumergiendo a los chips en una resina líquida o bien haciendo la deposición sobre un baño electrostático. Sucesivos baños van dando el espesor adecuado.

Capacitores Cerámicos Encapsulados:

Son los encapsulados en doble línea, se realizan de una y multicapa y toman el formato de un integrado DIL. La terminación es por soldado de cada uno de los capacitores a los terminales y luego el moldeado final.

Está el otro camino, para que los capacitores sean de igual valor se incorpora un único bloque cerámico.

Diseños especiales de capacitores cerámicos:

Aparte de los estilos standard, hay una variedad de forma discoidal o sea discos con orificio en el centro y un electrodo allí y el otro externo. El uso más frecuente es como filtro en paralelo para filtros de radio frecuencia.

Hay otro formato que un electrodo pasa a través de un bloque cerámico. Alrededor del bloque cerámico está el terminal de masa. Estos formatos especiales se realizan con toda clase de capacitores cerámicos.

Variación de la capacidad

La capacidad de los cerámicos varía con la temperatura, la tensión continua y alterna y la frecuencia.

La cantidad de variación depende de la composición de la cerámica, el grosor del dieléctrico y el proceso de fabricación. Siempre se deben consultar las hojas de especificaciones técnicas del fabricante para estar cerca del comportamiento real de un capacitor.

Coefficiente de temperatura, (TC), (Tempco)

En los cerámicos en general, la relación capacidad y temperatura no es lineal. Esto es importante para comprender que el coeficiente de temperatura es un valor medio de cualquier capacitor a ciertas condiciones de medición hechas por el fabricante.

El coeficiente de temperatura se define como cambio en % de la capacidad o bien en ppm/°C (partes por millón y por grados celsius).

Este coeficiente se calcula por la medición del cambio de la capacidad entre 25 °C y 85 °C, luego dividido por 60.

En conclusión el Tempco no es lineal con la temperatura.

El Tempco no representa cambio esperado de la capacidad por cada grado centesimal que

se cambie.

Sin embargo el cálculo del Tempco no es una expresión simple como un número. Los dieléctricos de clase I son identificados por su TC, pero es importante saber que se hizo por la medición de dos puntos. Este cerámico tiene un TC más negativo en las cercanías de -55°C . Por lo tanto, lo que en realidad se tiene como dato del TC, para cuando el capacitor trabaja entre 25°C y 85°C .

Hay una tolerancia nominal en el TC en $\pm 30 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ para los NPO (coeficiente negativo) positivo Nulo $0 \pm 1.000 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ para el tipo cerámico N 5.600. Lo dicho para el NPO es que $0 \pm 30 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$. Esto incluye un lote de fabricación o entre lotes de distribución de fábrica.

El TC para los cerámicos de Clase I se muestra en la figura siguiente.

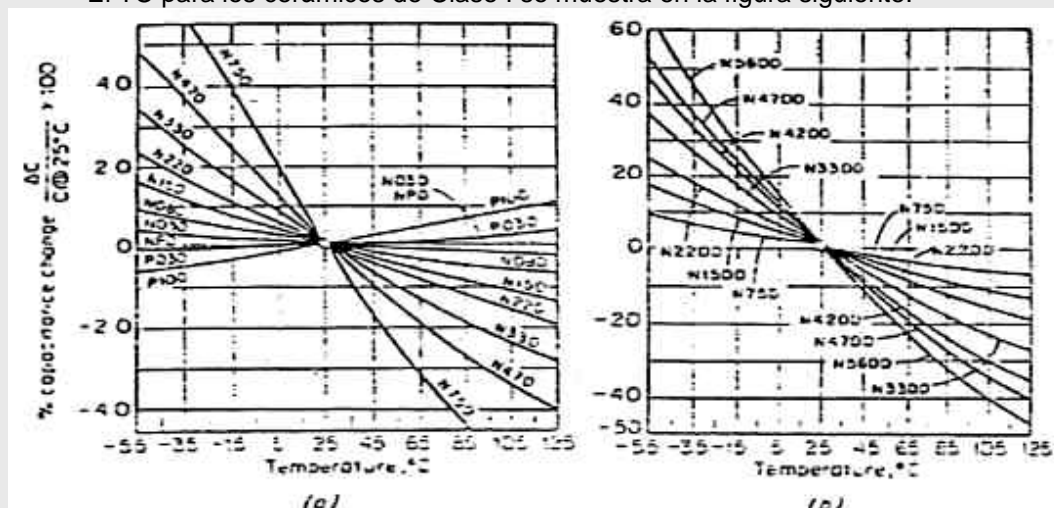


Fig. 37

Aquí se ve el incremento del coeficiente negativo cuando mayor es el valor de la constante dieléctrica.

Por ejemplo un dieléctrico de dióxido de Titanio con una constante k de 85 tiene un Tempco de $-750 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ mientras que un cerámico de bajas pérdidas y con un k de 6 tiene un Tempco de $+100 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$.

Sin embargo, para cualquier capacitor de un tamaño dado, a mayor capacidad tendrá un coeficiente mayor de temperatura.

Un alto de repetibilidad se obtiene para todos los capacitores cerámicos de Clase I, comúnmente usados.

El prefijo N es para los TC negativos.

El prefijo P para los TC positivos y en ambos casos para temperaturas de 25°C en adelante ya que para valores menores cambia de signo.

Las curvas características por temperatura, para los de Clase II y III, ambos estables e inestables se muestran en la figura siguiente.

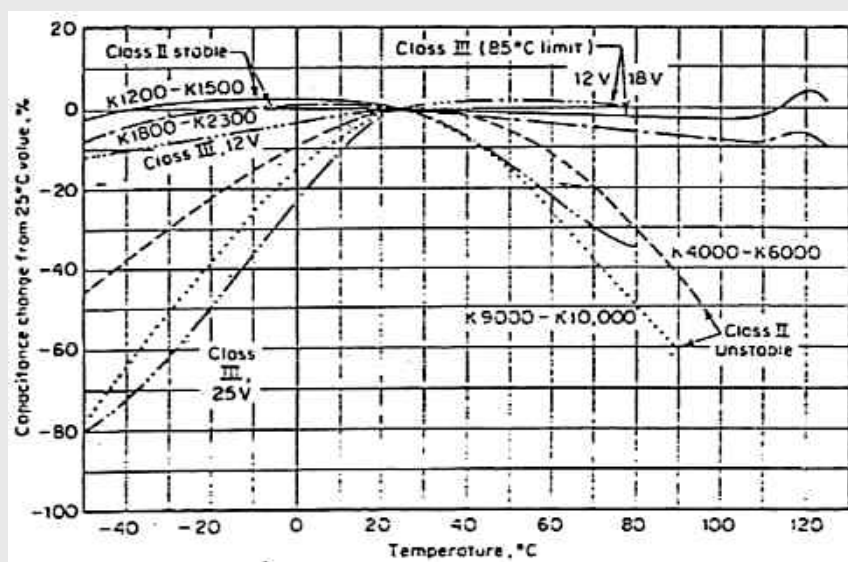


Fig. 38

Se pueden ver las diferencias de variación sobre el rango de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Los inestables nunca usarlos como compensador de temperatura en circuitos.

Efectos de la tensión

Los estudios de la física de estado sólido dan, las propiedades de los dieléctricos cerámicos (tal como los estudios de Kittel) y que definen la celda cerámica y su polarización. Cada celda unidad con lo que se forma el cristal dan datos significativos de los efectos de la tensión. La figura siguiente muestra los efectos típicos de la tensión continua para los de clase I y III.

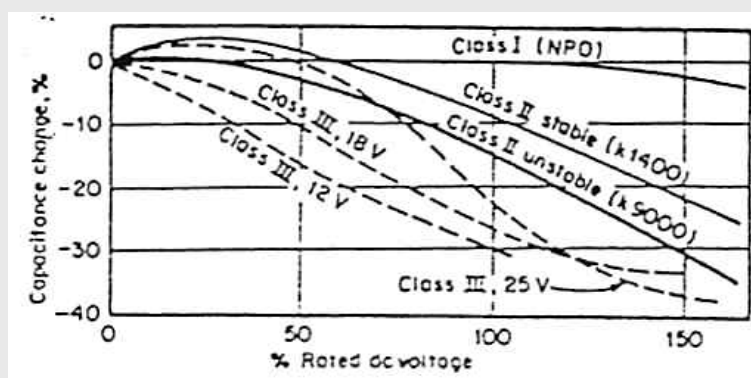


Fig. 39

Los cerámicos de clase I, operan entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ son considerados de efecto nulo por la tensión aplicada.

Para los de discos de una capa de 0,025 mm de espesor o clase II y III el efecto de la tensión aplicada no es predominante.

En muchos casos para capacitores de alto k se especifica, el uso para cierta temperatura y frecuencia.

En contraste con la polarización de tensión continua que decrementa el valor de la capacidad, la tensión alterna produce un reordenamiento de las celdas unitarias dentro de los dominios del material cerámico, con lo que resulta un incremento con la tensión alterna.

Los cerámicos de clase II, basados en el Titanato de Bario con agregado de Estano de Bismuto o Pentóxido de Tantalio o Niobio. Estos compuestos al ser ferroeléctricos producen variaciones en el dieléctrico que se notan en mayor grado con el incremento de la constante k.

La figura siguiente muestra el efecto de la tensión alterna aplicada.

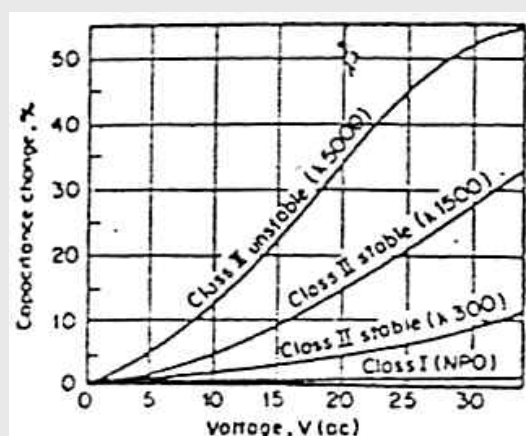


Fig. 40

Cambio de capacidad medida a 1 V. eficaz y 1 Khz, para un diseño estándar de capacitor.

Cambio de la Capacidad por la Frecuencia

Los efectos de la frecuencia son considerables con el valor de la capacidad, el formato geométrico y la longitud de los terminales. La figura siguiente da una ilustración del rango de respuesta de frecuencia para dieléctricos cerámicos típicos.

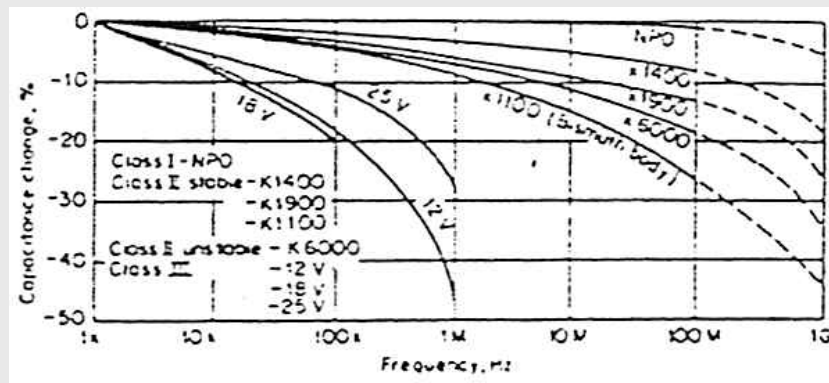


Fig. 41

Muestra las diferencias típicas entre el aditivo de Bismuto y el no agregado de él.

Para chip de capacitores cerámicos de bajo valor y de clase I, la estabilidad con el incremento de la frecuencia es buena.

Con el incremento de la capacidad, el incremento de la constante k, la estabilidad decrementa.

Factor de Disipación (DF)

El factor de disipación (DF), raramente afecta al circuito, excepto en aplicaciones que requieren alto Q, donde los de clase I se usan.

Los de clase II el DF a temperatura ambiente varía típicamente entre el 1% y el 4%. En normas militares el límite del DF es de 2,5%.

El DF, es usado como una guía de fábrica, para los distintos lotes ya que indica que la cerámica es consistente y que la construcción de los electrodos no es defectuosa. El DF puede revelar contaminación, soldaduras frías, electrodos partidos, terminales mal unidos, etc.

La figura siguiente muestra la variación del DF, y puede notarse que a -55 °C el DF se incrementa a mas del 10% dependiendo de la cerámica.

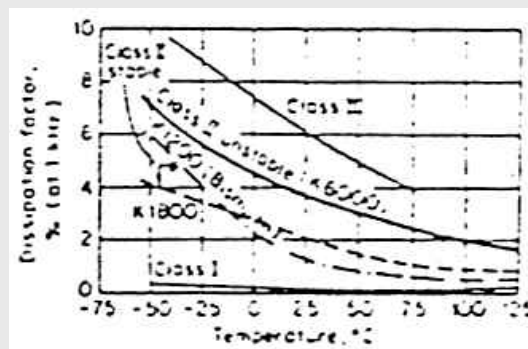


Fig. 42

El DF de cerámicas libre de Bismuto es significativamente menor a -55 °C .

Las condiciones para medir este parámetro son similares, a las de la capacidad en el que el valor es afectado por las mediciones de tensión y frecuencia.

Las figuras siguientes muestran las variaciones del DF por la tensión continua y alterna.

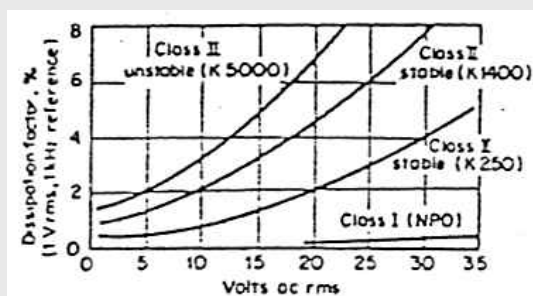


Fig. 43

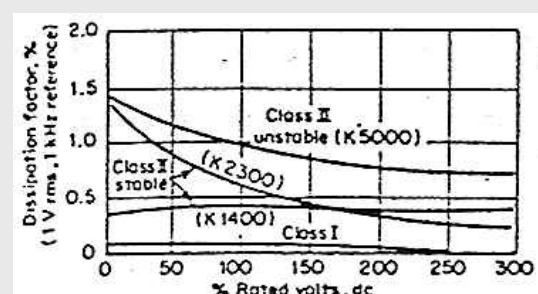


Fig. 44

Las variaciones del DF por la frecuencia lo muestra la siguiente figura.

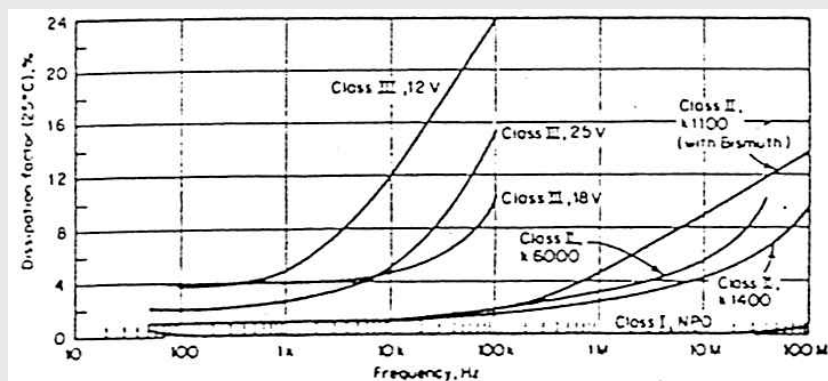


Fig. 45

El Q de los Capacitores Cerámicos

El factor Q varía considerablemente de acuerdo con la clase de cerámica. La figura muestra la variación entre lotes de fabricación.

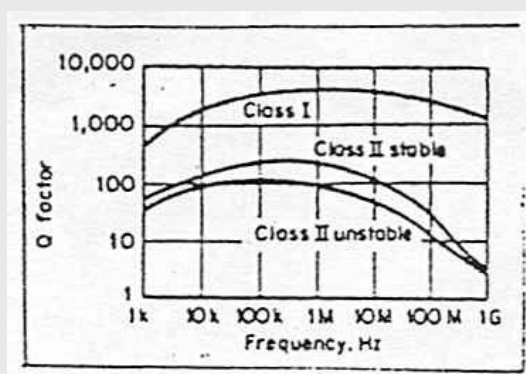


Fig. 46

Estas curvas sin embargo dan una referencia al diseñador, para determinar cual es el más optimo para una aplicación determinada.

La técnica usada para medir a Q, determina la validez para aplicaciones en alta frecuencia. Los terminales deben ser lo mas corto posible y los contactos no inductivos para que la reactancia responda efectivamente al capacitor propiamente dicho.

Resistencia de Aislación

La resistencia de aislación de los capacitores cerámicos, consiste de la combinación de resistencia de superficie (que es sensible a la contaminación superficial), humedad y absorción de gas, resistencia de fuga del dieléctrico y los electrodos. En general todo esto se sintetiza como resistencia de aislación.

En la práctica es común expresar a la resistencia de aislación al producto de microfaradios y Megaohmios o sea en segundos.

La relación entre capacidad y resistencia de fuga están en proporción inversa, de modo que la resistencia de fuga es primeramente una función de la corriente de fuga en el dieléctrico, en la práctica se asume que la resistencia de fuga es también una función del espesor del dieléctrico.

A mayor superficie del capacitor la resistencia de fuga es menor.

Estas relaciones se refieren al uso común del término megaohmios x microfaradios.

Para baja capacidades, será menor la resistencia de fuga y entonces se hace con muchas láminas delgadas de dieléctrico.

La resistencia de fuga, varía enormemente para las distintas composiciones cerámicas, y los distintos controles de las fábricas. Generalmente los cerámicos de bajo k tienen una gran resistencia.

La resistencia de fuga se degrada con el incremento de la temperatura, debido al aumento de la actividad iónica.

Efecto de magnetización y desmagnetización de los capacitores cerámicos

A nivel internacional se las conoce como "aging y deaging effect".

Teniendo conocimiento de este efecto se les dará un uso adecuado a los capacitores cerámicos.

El efecto de magnetización del dieléctrico, describe el cambio del dieléctrico con el tiempo y es igual al logaritmo (decimal) de la constante k con el tiempo.

Los cerámicos de Clase I, son de dieléctrico no ferroeléctrico por lo tanto no exhiben este efecto.

Los cerámicos de Clase II, presentan un significativo efecto aging, característica debida a varias causas. La primera causa es la transformación de los cristales de Titanato de Bario, que tienen una estructura tetragonal ferroeléctrica. Cuando la temperatura se mantiene por debajo de los 120 °C, (punto Curie). El momento dipolar de la celda unidad es tal que los efectos de la tensión, el tiempo, los esfuerzos mecánicos orientan los dominios de polarización del cristal.

Esta orientación o movimiento de la celda unidad, hace disminuir a la constante dieléctrica con lo que disminuya la capacidad y el factor de disipación, esto es lo llamado efecto aging.

Cada vez que el capacitor es calentado por encima del punto Curie todo lo negativo de la constante dieléctrica se recupera. En esta condición la celda unidad pasa a forma cúbica, esto es el efecto deaging. Muchos capacitores cerámicos de Titanato de Bario quedan completamente desmagnetizados a 150 °C.

Otro parámetro importante que afecta a la magnetización del capacitor es la tensión continua. La aplicación de tensión continua cerca de la tensión de trabajo produce una disminución de la capacidad y cuando se retira la tensión el capacitor normalmente no recupera su valor original. La causa aging bajo esta condición es similar a la transformación de la fase cristalina, en este caso el campo eléctrico produce una fuerza coercitiva que tiende a alinear a la celda unidad dentro de los dominios de la polarización y esto produce una disminución de la capacidad y del factor de disipación.

El aging effect de los capacitores cerámicos con Titanato de Bario siguen la ecuación general de:

$$k_1 = k_0 - m \cdot \log t$$

Ec. 29

donde k_1 es la constante dieléctrica al tiempo t , k_0 es la constante dieléctrica al tiempo inicial, puesto a 1, m es la proporción de cambio desde k_0 a k_1 como muestra la tabla siguiente.

Dielectric constant* k	Temp characteristic (TC),* %	EIA TC code	Aging rate,† % per decade of time
250	±4.7	E	0.8
700	±6.0		1.5
1,200	±7.0		1.8
1,400	±7.5	F	2.0
2,000	±10.0	P	2.5
2,200	±15.0	R	2.8
2,500	±22.0	S	3.25
5,000	+22 -56	U	4.0
10,000	+22 -82	V	5-8

Tabla 10

Muestra el efecto de magnetización (aging) después de 1.000 horas de funcionamiento, y puede notarse que no es notorio en algunos casos.

Para prolongar la vida del capacitor se lo somete a una premagnetización.

Como se mencionó anteriormente el factor de disipación es afectado por el aging, con un decrecimiento gradual durante el almacenamiento. Este cambio es favorable, sino es de gran magnitud.

La premagnetización de los capacitores en ciertos circuitos que no toleran cambios de la capacidad en las primeras 1.000 horas. Otra forma de controlar el aging, es por la inclusión de ciertos aditivos en la composición de la cerámica. Las investigaciones sobre este efecto, el de magnetización, se continúan.

La gráfica siguiente, muestra el efecto del aging, para capacitores cerámicos Clase II, estables, por la aplicación de 0V: Tensión de trabajo y 2 veces la tensión de trabajo.

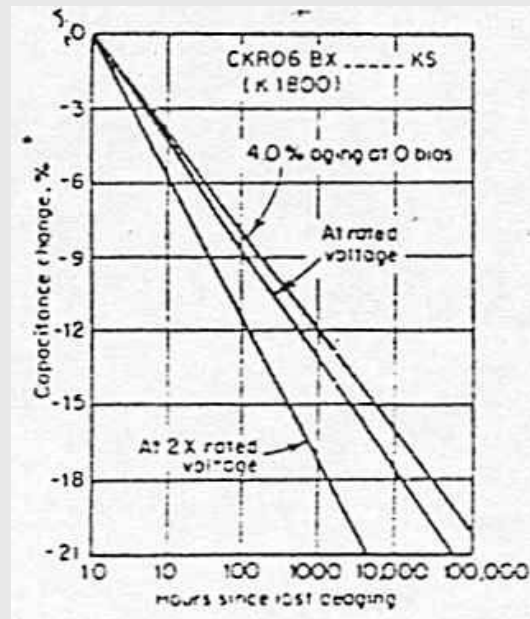


Fig. 47

Información técnica

FAPESA en sus capacitores cerámicos indica el TC de capacitor por una franja de color en el extremo superior del capacitor.

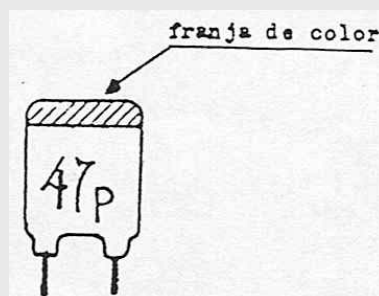


Fig. 48

TC	Color
P100	Rojo / violeta
NPO	Negro
N075	Rojo
N150	Naranja
N220	Amarillo
N330	Verde
N470	Azul
N750	Violeta
N1500	Rojo / amarillo

Tab. 10

Los capacitores cerámicos presentan formas diversas: tipo disco, tubular, cápsula roscable y encapsulado en chip como circuito integrado. En este último caso varios capacitores se montan encapsulado DIL (Dual in Line). Cada capacitor puede ser independiente o interconectado entre sí.

La inductancia de los terminales y del elemento genera una resonancia en paralelo en la gama de los Mhz. Se aconseja tener cuidado por encima de los 50 Mhz en los capacitores tubulares y por encima de los 500 Mhz en los de tipo disco.

A continuación se ilustra una tabla de pruebas realizadas en fábrica a capacitores cerámicos, da una idea de los ensayos pese a ser una tabla que no está actualizada ya que las normas RETMA, ya no está en vigencia por estar unificada la industria electrónica por EIA.

	Norma MILC - 20	Norma RETMA			
		1	2	3	4
Resistencia de aislación mínima inicial (Mohm)	7500	7500	7500	7500	7500
Mínimo (C 30pF)	1000	1000	500	350	250
Desviación de C_{MAX} con ciclo de temperatura en % o en pF (el que sea mayor)	0,2 % ó 0,25 pF	0,3 % ó 0,25 pF			
Máxima tensión pico de trabajo (V)	500	500	500	500	500
Prueba de humedad		100 horas a 40 °C y 95% de humedad relativa			
Prueba de fatiga a 85 °C	150 Hs 750 Vcc 250 Vca 100 Hz	100 Hs a 1000 V			1000 Hs 750 V
Después de prueba de fatiga y humedad (Q mín. 30 pF)	Mayor a ½ Q inicial	350	250	150	50
Resistencia de aislación (Mohm)	1000	1000			100
Variación máxima de la capacidad después de prueba de fatiga	1%	1 %	1 % ó 0,5 pF		

Tabla 11

Codificación de los capacitores cerámicos

Capacitores tubulares con terminales radiales:

Código de colores:

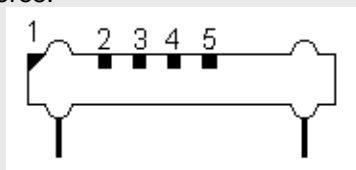


Figura 49

Color	1	2	3	4	5	
	Tempco	1º Cifra	2º Cifra	Multiplicador	$C \leq 10\text{pF}$	$C > 10\text{pF}$
Rojo / Violeta	P100					
Negro		0	0	1		$\pm 20\%$
Marrón	N033	1	1	10	$\pm 0,1\text{ pF}$	$\pm 1\%$
Rojo	N075	2	2	10^2	$\pm 0,25\text{ pF}$	$\pm 2\%$
Naranja	N150	3	3	10^3		
Amarillo	N220	4	4	10^4		
Verde	N330	5	5		$\pm 0,5\text{ pF}$	$\pm 5\%$
Azul	N470	6	6			
Violeta	N750	7	7			
Gris		8	8	10^{-2}		
Blanco		9	9	10^{-1}	$\pm\text{ pF}$	$\pm 10\%$
Naranja /Naranja	N1500					

Tabla 12

Código alfanumérico:

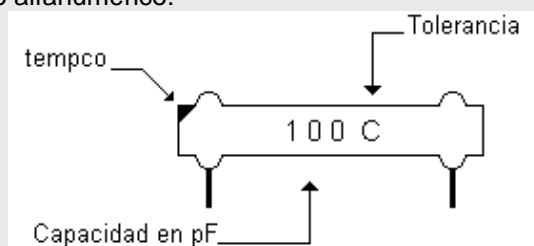


Figura 50

Capacitor cerámico de disco:

En el capacitor cerámico de disco, a veces, se expresa la capacidad de la siguiente forma:

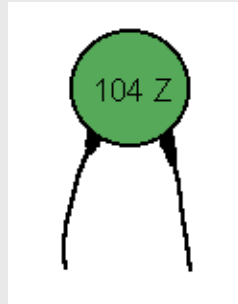


Figura 51

104 significa: $10 \times 10^4 \text{ pF} = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$
Z es la tolerancia = +80 y -20 %
El color del cuerpo, según tabla 12.

Tubulares con terminales axiales:

Código alfanumérico: por ejemplo

R1CC20CH100K

R1	Clase RETMA.
CC	Capacitor cerámico.
20	Tipo de encapsulado.
C	Coeficiente Térmico.
H	Tolerancia del tempco.
100	1º, 2º cifra y multiplicador.
K	Tolerancia de la capacidad.

Código de color: disposición similar al de los resistores.

BIBLIOGRAFÍA

- HANDBOOK OF COMPONENTS FOR ELECTRONICS-Charles A. Harper-Ed. Mc. Graw Hill.
- Manuales de componentes y sistemas de diferentes industrias: Motorola - National-RCA-Toshiba-etc.