

MANUALES CEAC DE ELECTRONICA

# MANUAL DE COMPONENTES Y CIRCUITOS PASIVOS

Francisco Ruiz Vassallo

Ediciones CEAC / Perú, 164 / Barcelona-20

## Prólogo

En esta obra se estudian las resistencias, condensadores e inductancias desde el doble punto de vista de su tecnología constructiva y características técnicas, así como de su funcionamiento y aplicaciones en los circuitos electrónicos.

Para ello se ha dividido la obra en siete capítulos, correspondiendo los capítulos 1, 3 y 5 al estudio de las resistencias, condensadores e inductancias respectivamente, y los capítulos 2, 4, 6 y 7 al estudio de los circuitos constituidos por estos componentes.

La intención que ha llevado al autor al desarrollo de esta obra ha sido la de proporcionar al estudiante y al profesional un conocimiento profundo de los componentes y circuitos pasivos, que tanta importancia tienen en Electrónica y que, sin embargo, en muchos casos, no se les da la importancia que merecen.

© EDICIONES CEAC, S.A. - 1981  
Perú, 164 - Barcelona (España)

1.<sup>a</sup> edición: Enero 1981  
Depósito Legal B. 40681-1980  
ISBN 84-329-6315-1

Impreso por  
GERSA - Industria Gráfica  
Tambor del Bruch, 6  
San Juan Despí (Barcelona)  
Printed in Spain  
Impreso en España

## 1. Resistencias

### INTRODUCCION

Las *resistencias*, también denominadas *resistores*, es el elemento más utilizado en los circuitos electrónicos. Como ejemplo diremos que en un televisor en blanco y negro se pueden encontrar unas 150 resistencias y en un televisor en color el número de ellas puede superar las 350.

Dentro de un circuito las resistencias cumplen diversas funciones, tales como de polarización, de carga, de filtrado, de atenuación, divisores de tensión, limitadores de corriente, etc.

Podemos definir la resistencia como aquel componente que opone una cierta dificultad al paso de la corriente eléctrica. Esta dificultad se traduce en una generación de calor, es decir en una pérdida de energía, puesto que normalmente dicho calor no es aprovechable, al menos en los circuitos electrónicos.

## CLASIFICACION DE LAS RESISTENCIAS

Las resistencias actualmente en uso se clasifican, según su construcción, en *fijas, variables y ajustables*. Su denominación básica es además consecuencia del elemento resistivo en sí, que puede ser una composición de carbón, una película depositada o un bobinado. Así pues, de acuerdo con esto último, las resistencias se clasifican en:

- resistencias aglomeradas
- resistencias de capa o película
- resistencias bobinadas

RESISTENCIAS AGLOMERADAS	LAMINA 1.1

Fig.1.1

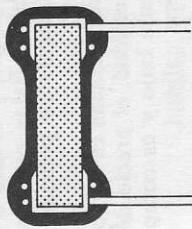


Fig.1.2



Fig.1.3



Fig.1.4

## LAMINA 1.1. RESISTENCIAS AGLOMERADAS

En las resistencias aglomeradas el elemento resistivo es una masa homogénea de grafito, mezclado con un elemento aglutinante, fuertemente prensada en forma cilíndrica y encapsulada en un manguito de material aislante como el plástico (Fig. 1.1.). Los extremos del elemento resistivo están íntimamente unidos a sendos terminales metálicos que facilitan la conexión de la resistencia al circuito.

El valor ohmico de una resistencia de carbón, es decir su mayor o menor facilidad a dejar pasar la corriente eléctrica, depende de las proporciones de grafito y aglutinante empleadas en su fabricación. Para pequeños valores de resistencia, la cantidad de grafito, que es conductor, es mayor.

Es de hacer destacar que, primitivamente, se metalizaban los extremos de la barrita para que fuera posible arrollar y soldar los terminales de conexión, tal y como muestra la figura 1.2. En la actualidad los terminales se insertan en la barrita de masa resistiva y posteriormente se moldea alrededor una resina aislante de alto poder de dissipación térmica (Fig. 1.3.). En el primer caso la fijación de los cables de conexión es radial y en el segundo axial. Para finalizar con la descripción de las resistencias aglomeradas, en la figura 1.4 puede ver la fotografía de una de ellas.

## LAMINA 1.2. RESISTENCIAS DE CAPA O PELICULA

En las resistencias en capa o película el elemento resistivo es una finísima capa de carbón sobre un cuerpo aislante de forma cilíndrica. La composición y el grosor de la capa varía según el valor de la resistencia. La capa es continua para resistencias de hasta unos  $10\text{ k}\Omega$  aproximadamente (Fig. 1.5.) y en forma de espiral para valores más altos (Fig. 1.6).

El cuerpo aislante central es, en algunos casos, un minúsculo tubo de cristal con los terminales de conexión insertados en cada extremo (Fig. 1.7). Una vez depositada la capa resistiva sobre el tubo de cristal, se moldea encima una resina aislante. En otros casos el soporte aislante es una barrita de material cerámico sobre el que se deposita la capa resistiva. Una vez depositada la capa, se aplican presión, en cada extremo de la barrita, unas cazoletas metálicas sobre las que se sueldan los terminales de conexión. El conjunto se protege finalmente con varias capas de pintura aislante.

Tal y como se ha dicho anteriormente, se aumenta el valor ohmico de estas resistencias sometiéndolas a un espiralado, es decir haciendo un surco en forma de espiral sobre la capa de material resistivo depositada.

Finalmente cabe decir que existe una variedad dentro de esta clase de resistencias en las que se ha sustituido la capa de carbón por una aleación metálica de alta constante resistiva (níquel y cromo o oro-platino) o de un óxido metálico (óxido de estanho). Estas resistencias se las conoce bajo la denominación de *resistencias de película metálica*.

Aunque el proceso de fabricación de estas resistencias es complejo y consta de una serie de severos controles de calidad, el precio de las resistencias de película metálica es notablemente bajo y es comparable a la de las resistencias de carbón de buena calidad.

En la figura 1.8 se muestra una fotografía del aspecto externo de dos modelos de resistencias de película metálica.

RESISTENCIAS DE CAPA O PELICULA	LAMINA 1.2
---------------------------------	------------

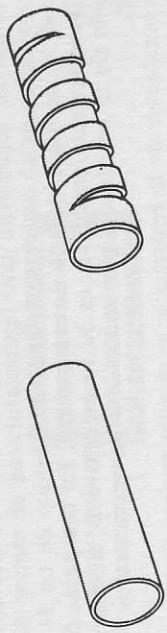


Fig. 1.5

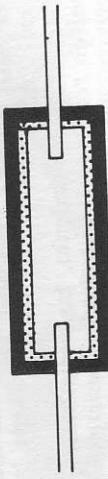


Fig. 1.6

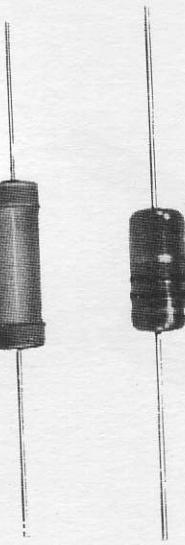


Fig. 1.7

### LAMINA 1.3. RESISTENCIAS BOBINADAS

Para las resistencias bobinadas se utiliza hilo conductor que posea una resistencia específica especialmente alta. Como material encontramos aleaciones, o sea mezclas de metales dosificados de tal manera que no sólo la resistencia específica es especialmente alta, sino que el cambio de resistencia por temperatura es el menor posible. Un ejemplo típico es el *constantan*, que se compone de un 54 % de cobre, un 45 % de níquel y 1 % de manganeso. En comparación con el cobre la resistencia específica es 30 veces más alta, mientras que la alteración de la resistencia por causa de la temperatura es 400 veces menor.

El hilo conductor de la resistencia se arrolla encima de un cuerpo generalmente un tubo de cerámica (Fig. 1.9). Los extremos del hilo generalmente se fijan con abrazaderas que, a la vez, pueden servir como conexiones para el montaje. Si las abrazaderas son desplazables se pueden obtener resistencias parciales (Fig. 1.10).

Las resistencias de hilo sólo se fabrican hasta aproximadamente 100 k $\Omega$ . Para valores mayores de resistencia, incluso usando alambres de un grosor de sólo 0,03 mm, las dimensiones de las resistencias bobinadas son excesivas.

Según el sistema de aislamiento, las resistencias bobinadas se dividen a su vez en *resistencias esmaltadas*, *resistencias vitrificadas* y *resistencias cementadas*. En las esmaltadas, como su nombre indica, el hilo se protege con un esmalte de secado al aire y en las vitrificadas el esmalte se seca a alta temperatura.

En la actualidad estas resistencias se colocan dentro de un prisma

cerámico de sección cuadrada y se sellan con una silicona especial (Fig. 1.11).

RESISTENCIAS BOBINADAS	LAMINA 1.3
------------------------	---------------

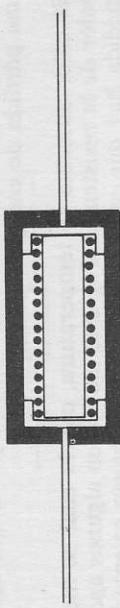


Fig. 1.9

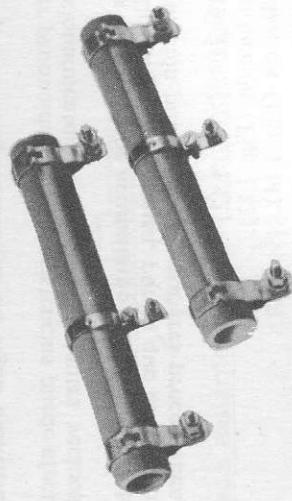


Fig. 1.10

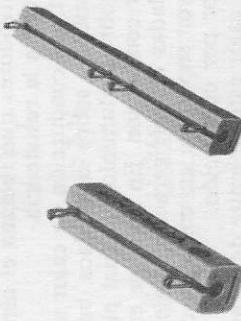


Fig. 1.11

#### LAMINAS 1.4, 1.5 y 1.6. POTENCIA DE DISIPACION

Siempre que pase una corriente a través de una resistencia, se produce calor. En la resistencia, como elemento constructivo, el calor es sumamente inopportuno por tres razones:

- 1.<sup>a</sup> El calor producido no es aprovechable por lo que esto supone una pérdida de energía.
- 2.<sup>a</sup> El calor aumenta la temperatura, con lo cual se modifica el valor de la resistencia. Por este motivo en algunos aparatos de medida hay que esperar hasta que se hayan calentado las resistencias y así su variación de resistencia cesa. Téngase en cuenta que, después de cierto tiempo, se establece un estado de equilibrio entre el calor producido y el calor irradiado, con lo que la temperatura ya no sigue aumentando.
- 3.<sup>a</sup> El calor producido por las resistencias puede afectar al correcto funcionamiento de otros componentes vecinos.

De ninguna manera debe acumularse tanto calor que la resistencia resulte perjudicada por esta causa, por lo que debe eliminarse el calor. Esta eliminación puede hacerse por tres procedimientos a saber:

- 1.<sup>o</sup> Por convección (Fig. 1.12).
- 2.<sup>o</sup> Por conducción (Fig. 1.13).
- 3.<sup>o</sup> Por radiación (Fig. 1.14).

En la eliminación de calor por convección, el aire que rodea la resistencia se calienta y asciende mientras su lugar es ocupado por aire frío. Este procedimiento se mejora, si es posible, con agujeros o ranuras de ventilación en la caja del aparato. Un mayor efecto se obtiene mediante ventiladores que fuerzan el aire frío a circular por el lugar donde está situada la resistencia.

En la refrigeración por conducción de calor se monta la resistencia, aislada eléctricamente, sobre una placa buena conductora del calor (generalmente cobre o aluminio), la cual pierde por convección el calor adquirido por conducción. En lugar de esta placa también se fabrican placas onduladas de refrigeración o aleetas de hojalata que, al presentar una mayor superficie en contacto con el aire, mejoran la eliminación de calor por convección.

En la radiación de calor éste se emite de forma similar a la radiación de calor de los rayos solares. De todas formas, por mucho que nos preocupemos de la eliminación del calor, una resistencia siempre se calentará. Lo importante es que este calor no dañe a la resistencia.

POTENCIA DE DISIPACION DE LAS RESISTENCIAS	LAMINA 1.4
--	------------



Fig. 1.12

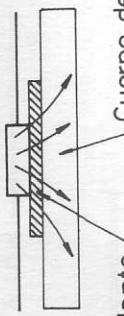


Fig. 1.13

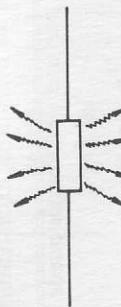


Fig. 1.14

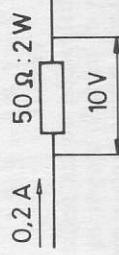


Fig. 1.15

Por este motivo las resistencias se fabrican para un determinado límite de carga, límite que evita que ese calor la perjudique. Este límite de carga viene indicado en vatios. Se habla, por ejemplo, de una resistencia de 2 vatios, es decir que la potencia eléctrica que se le suministre no debe sobrepasar los 2 vatios, ya que si los sobrepasa la resistencia se destruirá.

Es muy importante no confundir la potencia máxima de dissipación, o capacidad de carga, de una resistencia con la potencia realmente radiada, la cual debe ser menor.

Lo potencia disipada viene dada por la fórmula:

$$P = U I$$

en donde  $U$  es la tensión aplicada a los bornes de la resistencia e  $I$  la corriente que por ella circula.

Así, supongamos una resistencia de  $50 \Omega$  a la que se le aplica una tensión de 10 V (Fig. 1.15). En estas condiciones de funcionamiento, la intensidad de corriente que por ella circula es de:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{50 \Omega} = 0,2 \text{ A}$$

y la potencia disipada en ella será pues:

$$P = U I = 10 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ A} = 2 \text{ W}$$

Si la resistencia es capaz de disipar dicha potencia no ocurre nada, pero si la potencia máxima de dissipación de la citada resistencia fuese de tan sólo 1 W, ésta se calentaría excesivamente y acabaría por destruirse.

La potencia disipada por una resistencia puede también calcularse por la fórmula:

$$P = I^2 R$$

ya que  $U = I R$  y, por lo tanto,

$$P = U I = I R I = I^2 R$$

La potencia máxima de dissipación de las resistencias varía según su tamaño. Cuanto mayor es el tamaño mayor es la superficie de la resistencia en contacto con el aire circundante y mayor será por tanto su poder de dissipación.  
Las resistencias aglomeradas se fabrican para  $1/8 \text{ W}, 1/4 \text{ W}, 1/2 \text{ W}, 1 \text{ W}$  y  $2 \text{ W}$  de dissipación.

POTENCIA DE DISIPACION DE LAS RESISTENCIAS	LAMINA 1.5
2 W	
1 W	
1/2 W	
1/3 W	
1/8 W	

Fig. 1.16

POTENCIA DE DISIPACIÓN DE LAS RESISTENCIAS	LAMINA 1.6
tamaño natural	a 40°C
	a 70°C
	0,25 W
	0,5 W
	0,75 W
	1,0 W
	1,5 W

Fig.1.17

Las resistencias de capa de carbón se fabrican para 1/10 W o 1/8 W, 1/4 W, 1/3 W, 1/2 W, 2/3 W, 1 W, 1,5 W y 2 W. Las resistencias de capa metálica se fabrican normalmente para 1/4 W y 1/2 W.

Finalmente, las resistencias bobinadas se fabrican en una amplia gama de formatos y disipaciones que van desde 1 W a varios centenares de vatios.

En la figura 1.16, y a título orientativo, se muestra a tamaño real las dimensiones de varias resistencias de capa de carbón con indicación de sus potencias de disipación respectivas.

La potencia de disipación de una resistencia queda seriamente afectada con la temperatura ambiente, puesto que como comprendrá le resultará más fácil disipar calor dentro de una temperatura baja que alta. Por esta razón los fabricantes dan el valor de la potencia máxima de disipación para una temperatura ambiente dada, la cual suele ser de 70° C. Así, la capacidad de carga de una resistencia en capa es, por ejemplo, de 500 mW en el caso de que la temperatura ambiente sea de 40° C y sólo de 250 mW con temperatura de 70° C. En la figura 1.17 puede ver el tamaño de algunas resistencias en capa a tamaño natural y al lado la capacidad de carga admisible.

Para elegir una resistencia sin temor a que sea destruida por un exceso de temperatura se deberá proceder de la forma siguiente:

- 1.<sup>o</sup> Calcular la potencia que debe disipar, para lo cual deberá multiplicarse la tensión que se le aplica por la intensidad de corriente que por ella circula.
- 2.<sup>o</sup> Determinar bajo qué condiciones de temperatura deberá tratar de bajar y qué influencia ejercerá ésta sobre la potencia de dissipación.

Veamos un ejemplo de cálculo. Para ello supondremos una resistencia de 200 Ω a la que se le aplica una tensión de 10 V. La corriente que por ella circulará será pues de:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,05 \text{ A}$$

y su potencia de disipación:

$$P = U I = 10 \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,5 \text{ W}$$

Supondremos ahora que se trata de una resistencia de película de óxido metálico de alta estabilidad, cuya variación de la potencia máxima de disipación en función de la temperatura viene determinada

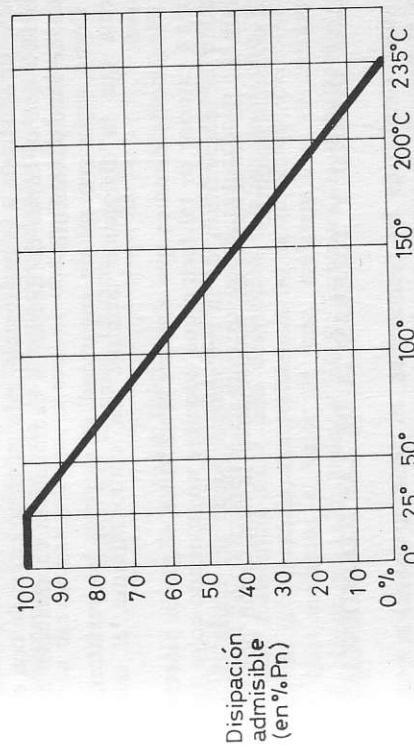


Fig.1.18

por la curva de la figura 1.18. Si la resistencia trabaja dentro de una temperatura ambiente inferior a 25° C no existe, teóricamente, inconveniente alguno en utilizar una resistencia con una potencia máxima de disipación de 0,5 W; ahora bien, si la citada resistencia ha de trabajar dentro de una temperatura ambiente de 100° C, la potencia de disipación admisible queda reducida en un 35 %, es decir a sólo el 65 % de su valor nominal:

$$P_n = P_{max.} \frac{65}{100} = 0,5 \frac{65}{100} = 0,33 \text{ W}$$

por lo que la resistencia quedaría destruida.

A esta temperatura ambiente de 100° C se deberá utilizar pues una resistencia con una potencia nominal de disipación de:

$$P_n = \frac{100 \text{ } P_{max.}}{65} = \frac{100 \text{ } 0,5}{65} = 0,77 \text{ W}$$

Como no se fabrican resistencias de dicho valor, se utilizará su inmediato superior, es decir 1 W.

Hemos visto pues que, aun conociendo el valor de la potencia máxima suministrada a la resistencia, este valor no coincide con el valor máximo que es capaz de disipar si cambian las condiciones ambientales de funcionamiento.

Como regla general de seguridad se elegirán las resistencias de forma que la disipación nominal sea, como mínimo, el doble de la real.

Finalmente diremos que algunos fabricantes eligen la pintura protectora exterior de tal forma que adquiere un marcado color tostado cuando la temperatura de la resistencia pueda ser causa de alteraciones en las características, aconsejando la sustitución por otra de más potencia nominal.

### VALOR OHMICO Y TOLERANCIA DE LAS RESISTENCIAS

El valor ohmico de las resistencias, es decir la oposición que ofrecen al paso de la corriente eléctrica, no tiene ninguna relación con su tamaño, sino con las materias constituyentes de la misma. Así, podemos encontrar una resistencia de 47 Ω de igual tamaño que otra de 47 kΩ por la simple razón de poseer la misma potencia nominal de disipación o bien incluso ser más grande de tamaño (siendo más pequeña de valor), debido a poseer una potencia nominal de disipación mayor.

Lógicamente resulta prácticamente imposible fabricar resistencias cuyos valores ohmicos abarquen todos los valores. Por esta razón los fabricantes han adoptado una serie de valores determinados, los cuales siguen una progresión definida matemáticamente. Esta serie de valores fue confeccionada durante los años 40 por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas de los E.E.UU.). Para su confección se tuvieron en cuenta las inevitables tolerancias de fabricación de los componentes, de tal forma que coincidiera la máxima tolerancia de un determinado valor con la mínima del siguiente. Ello es debido a que en todo proceso de fabricación debe preverse un determinado margen de tolerancia en las características.

Veamos esto último que acabamos de exponer con un ejemplo: Supongamos que se están fabricando resistencias de 150 Ω pero que, lógicamente y debido a las tolerancias del proceso de fabricación, se obtienen resistencias cuyos valores no son exactamente los 150 Ω deseados, sino otros valores muy próximos a él. Nos encontraremos pues con dos valores: uno teórico (150 Ω) y otros reales que oscilan alrededor de los 150 Ω. La diferencia entre ambos valores se la llama desviación absoluta. Así, si una de las resistencias mide 147 Ω y su valor teórico, es decir el que se quería obtener, es de 150 Ω, la desviación absoluta será:

$$150 \Omega - 147 \Omega = 3 \Omega$$

Normalmente, en lugar de la desviación absoluta, es preferible utilizar la desviación relativa, la cual se obtiene por la fórmula:

$$\frac{\text{valor real} - \text{valor teórico}}{\text{valor teórico}} \cdot 100 \%$$

Tolerancia es pues la máxima desviación, normalmente relativa, admisible en un componente, en nuestro caso la resistencia. Por ejemplo, si una resistencia tiene una desviación relativa que sobrepasa el valor de la tolerancia, esa resistencia no es admisible. Así, supongamos que medimos el valor de una resistencia y encontramos 154,5 Ω, siendo su valor teórico 150 Ω. Entonces, la desviación relativa será:

$$\frac{154,5 \Omega - 150 \Omega}{150 \Omega} \cdot 100 \% = \frac{4,5}{150} \cdot 100 \% = \frac{450}{150} \% = 3 \%$$

Si la tolerancia de fabricación admitida es de un 5 % la resistencia es válida, puesto que 3 % de desviación es inferior al 5 %, pero si la tolerancia de fabricación admitida es de tan solo un 1 %, entonces la resistencia debe desecharse por mala.

La tolerancia puede dar un valor real de la resistencia superior o inferior al valor teórico, por este motivo se indica siempre con los signos  $\pm$ . Así, si se tiene una resistencia de  $560 \Omega$  con una tolerancia de fabricación de  $\pm 5\%$ , el valor real de dicha resistencia está comprendido entre:

$$y \quad \frac{5 \cdot 560 \Omega}{560 \Omega + \frac{560 \Omega}{100}} = 560 \Omega + \frac{2800 \Omega}{100} = 560 \Omega + 28 \Omega = 588 \Omega$$

$$\quad \frac{5 \cdot 560 \Omega}{560 \Omega - \frac{560 \Omega}{100}} = 560 \Omega - \frac{2800 \Omega}{100} = 560 \Omega - 28 \Omega = 532 \Omega$$

es decir que si la resistencia posee un valor real cualquiera comprendido entre  $532 \Omega$  y  $588 \Omega$  podemos darla por buena, pero nunca si ese valor es superior o inferior a dichos valores límites.

Las resistencias no se construyen pues en todos los valores posibles, sino en ciertos valores normalizados. Esto simplifica la fabricación y el almacenaje. Además hay una razón obvia: Una resistencia con el valor teórico de  $150 \Omega$  y una tolerancia de  $\pm 5\%$  puede tener cualquier valor real comprendido entre  $142,5 \Omega$  y  $157,5 \Omega$ . Sería ilógico introducir otros valores teóricos en este campo, ya que entonces aparecerían dos resistencias con diferente valor teórico pero con el mismo valor real. Por esto se fija en valores teóricos de tal manera que sus límites de tolerancia se solapen un poco entre sí.

Los valores normalizados están en la tabla I.

En la parte superior de cada columna se ha puesto la letra E y un número. Esta letra y su número definen la tolerancia de todos los valores indicados debajo de ella. Las tolerancias correspondientes a cada columna son las siguientes:

#### COLUMNA

	TOLERANCIA									
	$\pm 0,5\%$									
E 192	$\pm 0,5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$-20\% + 80\%$	$-0 + 100\%$		
E 96	1,54	1,54	1,54	2,71	2,74	2,74	4,81	8,56	8,66	8,66
E 48	1,56	1,56	1,58	2,77	2,77	2,80	4,87	8,76	8,76	8,76
E 24	1,58	1,58	1,58	2,80	2,80	2,84	4,93	8,87	8,87	8,87
E 12	1,60	1,62	1,62	2,84	2,87	2,87	5,05	9,09	9,09	9,09
E 6	1,64	1,65	1,65	2,91	2,94	2,94	5,11	9,20	9,31	9,31
E 3	1,69	1,69	1,69	2,98	3,01	3,01	5,36	9,42	9,53	9,53
	1,74	1,74	1,74	3,05	3,09	3,09	5,42	9,65	9,76	9,76
	1,76						5,49	9,76	9,88	

Así, observe la columna E 24 de la tabla I: todos los valores de esta columna corresponden a una relación de tolerancia de  $\pm 5\%$ .

TABLA I. SERIE DE VALORES NORMALIZADOS SEGÚN E.I.A.

	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E24	E12	E6	E3
1,00	1,00	1,00	1,78	1,78	1,78	3,12	3,16	3,16	5,56	5,62	5,62	1,0	1,0
1,01		1,80				3,20			5,69			1,1	
1,02	1,02	1,82	1,82			3,24	3,24		5,76			1,2	
1,04		1,84										1,3	
1,05	1,05	1,05	1,87	1,87	1,87	3,28	3,32	3,32	5,83			1,5	1,5
1,06		1,89				3,36	3,36		5,90	5,90	5,90	1,6	
1,07	1,07	1,91	1,91			3,40	3,40		5,97			1,8	
1,09		1,93							6,04	6,04	6,04	2,0	
1,10	1,10	1,10	1,96	1,96	1,96	3,44			6,12			2,2	
1,11		1,98				3,48	3,48		6,19	6,19	6,19	2,4	
1,13	1,13	2,00	2,00			3,52			6,26			2,7	
1,14		2,03				3,57	3,57		6,34	6,34	6,34	3,0	
1,15	1,15	1,15	2,05	2,05	2,05	3,61			6,42			3,3	
1,17		2,08				3,65	3,65		6,49	6,49	6,49	3,3	
1,18	1,18	2,10	2,10			3,70			6,57			3,9	
1,20		2,13				3,74	3,74		6,65	6,65	6,65	4,3	
1,21	1,21	1,21	2,15	2,15	2,15	3,79			6,73			4,7	
1,23		2,18				3,83	3,83		6,81	6,81	6,81	5,1	
1,24	1,24	2,21	2,21			3,88			6,90			5,6	
1,26		2,23				3,92	3,92		6,98			6,2	
1,27	1,27	1,27	2,23	2,23	2,23	3,97			7,06			6,8	
1,29		2,26				4,02	4,02		7,15	7,15	7,15	7,5	
1,30	1,30	2,32	2,32			4,07			7,23			8,2	
1,32		2,32				4,12	4,12		7,32	7,32	7,32	9,1	
1,33	1,33	1,33	2,34	2,34	2,34	4,17			7,41				
1,35		2,37				4,22	4,22		7,50	7,50	7,50		
1,37	1,37	2,43	2,43			4,27			7,59				
1,38		2,43				4,32	4,32		7,68				
1,40	1,40	1,40	2,46	2,46	2,46	4,37							
1,42		2,49				4,42	4,42		7,77	7,77	7,77		
1,43	1,43	2,52	2,52			4,48			7,96				
1,45		2,55				4,53	4,53		8,06				
1,47	1,47	1,47	2,58	2,58	2,58	4,59			8,16				
1,49		2,61				4,64	4,64		8,25	8,25	8,25		
1,50	1,50	2,67	2,67			4,70			8,35				
1,52		2,71				4,75	4,75		8,45	8,45	8,45		
1,54	1,54	1,54	2,74	2,74	2,74	4,81							
1,56		2,77				4,87	4,87		8,66	8,66	8,66		
1,58	1,58	2,80	2,80			4,93			8,76				
1,60		2,84				4,99	4,99		8,87	8,87	8,87		
1,62	1,62	1,62	2,87	2,87	2,87	5,05							
1,64		2,91				5,11	5,11		9,09	9,09	9,09		
1,65	1,65	2,94	2,94			5,17			9,20				
1,67		2,98				5,23			9,31	9,31	9,31		
1,69	1,69	1,69	3,01	3,01	3,01	5,30			9,42				
1,74		1,74	3,05	3,05		5,36	5,36		9,53	9,53	9,53		
1,76	1,76	3,09	3,09	3,09		5,42			9,65				
						5,49	5,49		9,76	9,76	9,76		
									9,88				

Si las necesidades del circuito admiten una tolerancia de  $\pm 10\%$ , podemos pasar con menos valores: partiendo de la columna E 24, se deja uno de cada dos valores y así resulta la tabla E 12, así como la obtención de E 6 se efectúa dejando uno de cada dos valores de la columna E 12.

Como podrá observar, los valores de la tabla I están compuestos por una unidad y dos decimales. La obtención de los demás valores de resistencias se realizan multiplicando estos valores básicos por 10, 100, 1000, etc. Así, del valor básico  $6,8 \Omega$  resultan los valores derivados:  $68 \Omega$ ,  $680 \Omega$ ,  $6,8 \text{ k}\Omega$ ,  $68 \text{ k}\Omega$ ,  $680 \text{ k}\Omega$ , etc...

En los circuitos electrónicos se prefieren las columnas E 12 y E 24, debido a que corresponden a tolerancias bastante aceptables y no se encarece en exceso los equipos. La obtención de los demás valores más importantes no es el costo sino la calidad de los mismos, se utilizan resistencias de precisión con tolerancias del  $1\%$  e incluso menores.

#### ESTABILIDAD

La estabilidad y la presión son a veces términos que pueden crear confusión. La estabilidad es el cambio del valor de la resistencia en condiciones de almacenamiento o de trabajo, mientras que la precisión es la tolerancia de la resistencia al fabricarse o seleccionarse.

Así pues, podemos definir la estabilidad como el grado de independencia del valor ohmico de la resistencia frente la temperatura, humedad, envejecimiento, etc. Está demostrado que las variaciones de temperatura (bien sea del medio ambiente, bien sea por el calor generado en ellas), originan incrementos permanentes en el valor ohmico de las resistencias, mientras que altos índices de humedad aumentan transitoriamente el valor ohmico de las resistencias.

En general, las resistencias más estables son las bobinadas (del orden del 1 al 2 %) siguiéndoles, por este orden, las de capa metálica, las de capa de carbón y las aglomeradas.

#### TENSION MAXIMA DE TRABAJO

La tensión máxima que puede aplicarse a una resistencia es función del valor ohmico, con el fin de no sobrepasar la potencia máxima de disipación. Así, para una resistencia de  $200 \Omega$  y  $2 \text{ W}$ , la tensión máxima aplicable será de  $20 \text{ V}$ , puesto que:

$$\frac{20 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,1 \text{ A} \quad \text{y} \quad 0,1 \text{ A} \times 20 \text{ V} = 2 \text{ W}$$

También la longitud de la resistencia influye sobre la tensión máxima que debe aplicarse. Puede admitirse que, para una resistencia de 5 cm de longitud la tensión máxima aplicable es de unos 1000 V, mientras que para resistencias de longitud  $1/4$  de la anterior, es decir 1,25 cm, la tensión máxima de trabajo es inferior a 50 V. De todas formas este parámetro difiere de uno a otro tipo de resistencia, por lo que los fabricantes especifican este dato en sus catálogos.

#### RUIDO DE FONDO

Las resistencias de composición generan ruidos de dos tipos:

- ruidos de agitación térmica
- ruidos debidos a los cambios internos en la resistencia cuando la corriente circula a través de ella.

El primero es debido a la agitación molecular que genera cualquier conductor sometido a temperaturas superiores al cero absoluto. El segundo se debe a que cuando una corriente circula por una resistencia aparece en ella una caída de tensión que no es absolutamente constante, variando continuamente dentro de unos límites. A éste se le da el nombre de ruido de fondo, y es independiente del primero.

El ruido de fondo depende del tipo de resistencia y se expresa en  $\mu\text{V}$  por voltio de caída de tensión. A mayor resistencia, mayor ruido. Las resistencias de película de metal y las de película de óxido generan ruido de nivel muy bajo. La experiencia ha demostrado que en las resistencias de composición el ruido de fondo crece linealmente con la corriente mientras no se pasa de unos  $15 \mu\text{A}$ . Para corrientes más elevadas el ruido de fondo presenta un curso parabólico.

El ruido de fondo afecta en gran medida a las etapas preamplificadoras de baja frecuencia, puesto que es amplificado en sucesivas etapas y puede llegar a aparecer con gran amplitud a la salida de la etapa final; por esta razón en los equipos de cierta categoría es imprescindible utilizar resistencias de elevada calidad en las etapas preamplificadoras.

#### TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO

Las temperaturas superiores a los  $100^\circ \text{C}$  afectan seriamente a las resistencias de composición, ya que provocan cambios en la estructura de la envolvente usada para la amalgama de la resistencia.

## COEFICIENTE DE TEMPERATURA

La temperatura máxima recomendada en la superficie es de unos 110 a 115° C. Las resistencias pirolíticas pueden funcionar con temperaturas superficiales máximas de 150° C, las de película metálica a 200° C y las de película de óxido a 300° C.  
Para las resistencias bobinadas recubiertas de barniz o esmalte vitreo protector del arrollamiento, la temperatura máxima de trabajo depende de la cubierta protectora. Con cubierta de barniz la temperatura máxima recomendable es de 130° C, mientras que para los tipos de cubierta vitrea el límite es muy superior, por encima de 320° C (algunos pueden trabajar a 450° C).

## LÍMITES DE FRECUENCIA

En corriente alterna las resistencias aglomeradas o de composición, con valores óhmicos alrededor de los 10 kΩ, se comportan como resistencias puras hasta frecuencias de varios MHz. Para frecuencias más altas la capacidad derivación de la resistencia llega a ser predominante y la impedancia desciende. La inductancia de las resistencias aglomeradas de carbón no es causa, generalmente, de perturbaciones con frecuencias inferiores a los 100 MHz.

En los circuitos atenuadores, de carga o divisorios de tensión utilizados en VHF y UHF deberá tenerse en cuenta que las resistencias de capa espiralada y, sobre todo, las bobinadas, presentan una autoinducción nada despreciable. Por este motivo es aconsejable utilizar, en estos circuitos, las resistencias aglomeradas o las de capa sin espiralar. En las resistencias de capa sin espiralar el valor óhmico sufre menos alteración a elevadísimas frecuencias, debido al efecto peculiar de la corriente alterna pues el elemento resistivo es precisamente una película.

Podemos finalmente decir que, para circuitos de altas frecuencias, la resistencia deberá tener las siguientes características generales:

- Dimensiones lo más pequeñas posibles.
- Resistencia reducida.
- Del tipo de película.
- Son preferibles las resistencias largas y finas que las cortas y gruesas.
- Conexiones lo más cortas que sean posibles.
- No debe presentar discontinuidades geométricas bruscas a lo largo de su longitud.

El valor óhmico de cualquier resistencia difiere de una temperatura a otra. La variación de la resistencia con la temperatura puede calcularse por medio del denominado coeficiente de temperatura. En la tabla II se indican los coeficientes de temperatura aproximados para cada clase de resistencias.

TABLA II. COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Tipo de resistencia	Temperaturas límites de medida en °C	Coeficiente de temperatura (% por °C)
Aglomeradas	+20 a +70 0	±0,12
Bobinadas	de uso general	+0,02
	de precisión	+0,0005
Película metálica	oro-platino	+0,025 a +0,06 según composición
	níquel-cromo	+0,015 a +0,02 según composición
Película de óxido	-40 a +300	-0,05 a +0,05

## SOLDABILIDAD

El sobrecalentamiento a que es sometida toda resistencia al ser soldada a un circuito puede provocar alteraciones en la misma, sobre todo en las aglomeradas de carbón y, en menor extensión, en las pirolíticas. Este cambio, debido al sobrecalentamiento, puede llegar a ser bastante importante (del orden de un 25 % de forma mininante) al soldar conexiones excesivamente cortas en equipos miniatura. Para evitar estos cambios de valor es aconsejable no efectuar soldaduras a distancias inferiores a 1,25 cm de la resistencia. También puede mitigarse estos efectos efectuando soldaduras rápidas, uniendo el terminal de conexión de la resistencia a un elemento metálico que absorba el exceso de calor (por ejemplo, las puntas de unas tenazas) y el cual no deberá separarse antes de 15 segundos después de quitar el soldador, conservando limpias todas las superficies de

TABLA III. CÓDIGO DE COLORES INTERNACIONAL PARA IDENTIFICACIÓN DE RESISTENCIAS.

las soldaduras, estañando los terminales de la resistencia antes de efectuar la soldadura y manteniendo un buen contacto térmico entre soldador y el punto de unión.

#### ALMACENAMIENTO

Durante el almacenamiento las resistencias sufren cambios en su valor óhmico más o menos importantes según el tipo. Así, las resistencias aglomeradas pueden cambiar en un 5 %, las bobinadas en un 0,5 % y las de película metálica en sólo un 0,1 % e incluso menos.

#### INDICACION DEL VALOR DE UNA RESISTENCIA

El valor de las resistencias se indica por medio de cifras, por anillos de color o bien por puntos de color grabados en ellas.

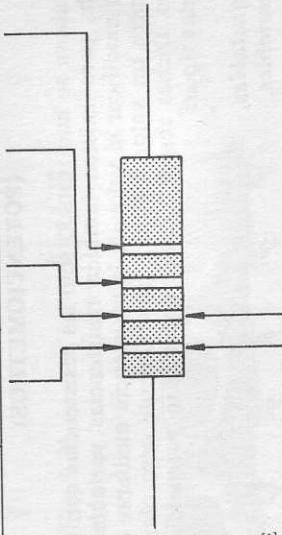
De los tres sistemas el segundo, es decir el de anillos de color, es el más utilizado, ya que presenta las siguientes ventajas:

- En resistencias muy pequeñas es más perceptible el color que unas cifras impresas.
- Los anillos de color son bien legibles desde cualquier punto de vista, lo que es especialmente ventajoso si las resistencias están en lugar poco accesible.
- A las ventas expuestas se contraponen las siguientes desventajas.
  - La impresión del valor de las resistencias en color es más cara que la impresión en cifras.
  - Es necesario aprender de memoria el código para no tener que mirarlo constantemente.

En la tabla III encontrará los valores de la clave de colores internacional, también llamado código de colores.

El valor de la resistencia se indica por medio de tres anillos. Los anillos se leen desde el extremo hacia la mitad de la resistencia (a veces los anillos, en vez de estar a un lado estarán pintados en el centro). Para leer el valor de las resistencias se hace de tal forma que el cuarto anillo, que normalmente es plateado o dorado, se lea en último lugar. El primer anillo indica la primera cifra del valor de resistencia, y el segundo anillo la segunda cifra. El tercer anillo es un factor por el cual se tiene que multiplicar las dos primeras cifras para obtener

Color	1. <sup>er</sup> anillo	2. <sup>o</sup> anillo	3. <sup>er</sup> anillo	4. <sup>o</sup> anillo	factor	tolerancia
	1. <sup>a</sup> cifra	2. <sup>a</sup> cifra				
Negro	—	0	1	10 <sup>1</sup>	—	± 1 %
Marrón	1	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	—	± 2 %
Rojo	2	2	10 <sup>3</sup>	—	—	—
Naranja	3	3	10 <sup>4</sup>	—	—	—
Amarillo	4	4	10 <sup>5</sup>	—	—	—
Verde	5	5	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	—	—
Azul	6	6	10 <sup>7</sup>	—	—	—
Violeta	7	7	10 <sup>8</sup>	—	—	—
Gris	8	8	10 <sup>9</sup>	—	—	—
Blanco	9	9	—	—	—	—
Plata	—	—	0,01	—	± 10 %	—
Oro	—	—	0,1	—	± 5 %	—
Ninguno	—	—	—	—	± 20 %	—



según tabla E

el valor definitivo de la resistencia en ohmios. El cuarto anillo indica la tolerancia.

El primer y segundo anillo coincide con las tablas de valores normalizados E.I.A. Ejemplos:

1. <sup>er</sup> anillo: marrón	=	1
2. <sup>o</sup> anillo: verde	=	5
3. <sup>er</sup> anillo: marrón	=	10 <sup>4</sup> = 10
4. <sup>o</sup> anillo: oro	=	± 5 %

La resistencia resulta:  $15 \times 10 = 150 \Omega \pm 5\%$  de tolerancia.

	1. <sup>er</sup> anillo: amarillo	=	4
2. <sup>o</sup>	2. <sup>o</sup> anillo: violeta	=	7
	3. <sup>er</sup> anillo: amarillo	=	$10^4 = 10.000$
	4. <sup>o</sup> anillo: plata	=	$\pm 10\%$

La resistencia resulta:  $47 \times 10.000 = 470 \text{ k}\Omega \pm 10\%$  de tolerancia.

	1. <sup>er</sup> anillo: amarillo	=	4
2. <sup>o</sup>	2. <sup>o</sup> anillo: violeta	=	7
	3. <sup>er</sup> anillo: negro	=	$10^0 = 1$
3. <sup>o</sup>	4. <sup>o</sup> anillo: marrón	=	$\pm 1\%$

La resistencia resulta:  $47 \times 1 = 47 \Omega \pm 1\%$  de tolerancia.

### LAMINAS 1.7 y 1.8. RESISTENCIAS VARIABLES (POTENCIÓMETROS)

Hasta ahora se han tratado sólo las resistencias con un valor fijo, no variable, pero existen también resistencias *variables* en las que es posible modificar el valor de la resistencia mediante dispositivos móviles entre un valor mínimo, generalmente cero ohmios, y un valor máximo. Dichas resistencias se denominan *potenciómetros* y pueden ser de dos tipos:

- *ajustables*,
- *variables*.

Los potenciómetros de ajuste son aquellas resistencias dotadas de un dispositivo móvil mediante el cual se hace variar su valor y se deja después permanentemente en él. Estos potenciómetros se utilizan en los circuitos electrónicos para ajustar el valor total de una cadena de resistencias a un valor fijo, bien determinado, que permite el correcto funcionamiento del equipo dentro de unas condiciones dadas. Normalmente el dispositivo móvil de ajuste no tiene acceso directo desde el exterior del aparato, con el fin de evitar su manejo por profanos. Como ejemplos de estos potenciómetros de ajuste podemos citar el utilizado en el ajuste del sincronismo vertical de un televisor, o el de ajuste de la linealidad de un televisor, como dos de los varios potenciómetros de ajuste de que disponen. Los potenciómetros variables son aquellas resistencias dotadas de un dispositivo móvil mediante el cual se hace variar su valor,

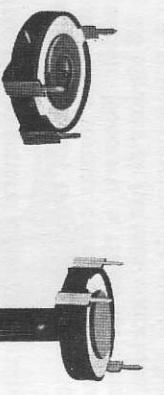
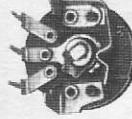
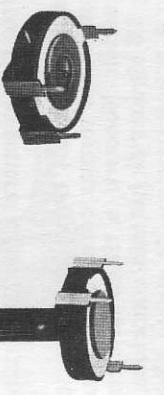
POTENCIÓMETROS	LAMINA 1.7
	
	
	

Fig. 1.19  
Fig. 1.20  
Fig. 1.21

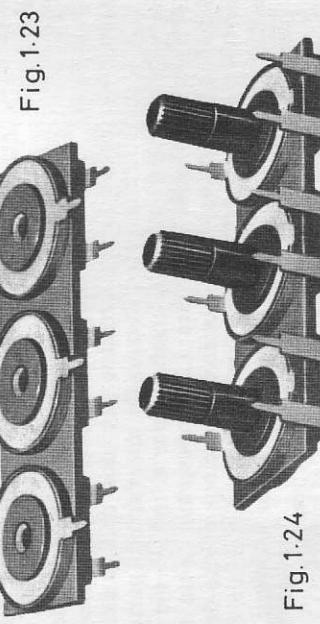


Fig. 1.23

Fig. 1.24

POTENCIÓMETROS	LAMINA 1.8
	

Fig.1.25

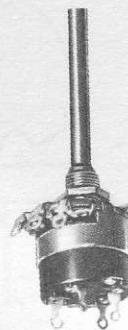


Fig.1.26

Fig.1.27

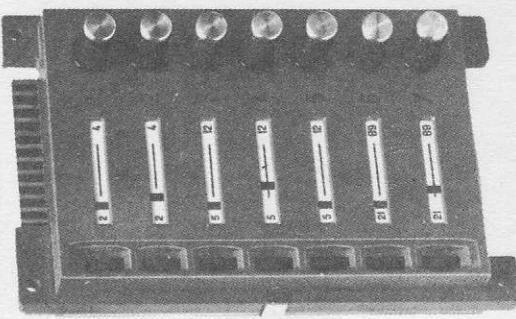


Fig.1.29

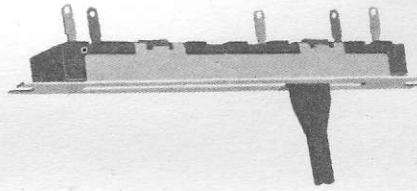


Fig.1.28

siempre que se deseé, a un valor determinado. Al igual que los anteriores también se utilizan para hacer funcionar un circuito bajo unas condiciones dadas, aunque esta vez variables. En este caso el dispositivo móvil de ajuste si tiene acceso desde el exterior, pudiendo ser manejado por cualquier persona. Como ejemplo de estos potenciómetros podemos citar el de regulación de volumen de un amplificador o el de regulación de brillo de un televisor, como dos de los ejemplos típicos de los muchos que pueden citarse.

Además de la clasificación dada, los potenciómetros pueden a su vez clasificarse en potenciómetros de uso general y en potenciómetros de precisión. Los de uso general pueden subdividirse en potenciómetros de hilo bobinado y en potenciómetros de carbón. Los potenciómetros de precisión son siempre de hilo bobinado y generalmente siguen leyes lineales, senoidales, cosenoïdales y otras funciones matemáticas. Los potenciómetros de uso general siguen generalmente leyes lineales y logarítmicas.

Los potenciómetros, tanto los de ajuste como los de regulación se fabrican bajo numerosas formas constructivas que resultarían de difícil y larga exposición. Nosotros, a título de ejemplo, exponemos en las láminas 1.7 y 1.8 algunas de las más conocidas. Las figuras 1.19 a 1.24 corresponden a potenciómetros de ajuste. Observe que la mayoría están dotados de una ranura en su órgano móvil. En dicha ranura se introduce la punta de un destornillador con el fin de hacer girar a derecha o izquierda el elemento deslizante de ajuste. Otros, como en el caso de las figuras 1.21 y 1.24 están dotados de pequeños botones de plástico que hacen innecesaria la utilización del destornillador.

La figura 1.25 corresponde a un potenciómetro variable de carbón simple y la figura 1.26 a un doble potenciómetro compuesto por dos potenciómetros de carbón gobernados por dos ejes coaxiales. La figura 1.27 es un potenciómetro dotado de interruptor (parte oscura posterior). Dicho interruptor es accionado por el mismo eje de regulación del potenciómetro. La figura 1.28 corresponde a un moderno potenciómetro de carbón con dispositivo de accionamiento deslizante. Finalmente en la figura 1.29 puede ver la fotografía de un conjunto de potenciómetros para sintonía electrónica de un televisor.

### LAMINA 1.9. RESISTENCIAS Y POTENCIOMETROS VARIABLES DE CARBON

La resistencia variable de carbono consta de una lámina de carbono aglomerado con una conexión fija al exterior por uno de los extremos y por la que se desliza un segundo contacto. Segun sea la posición de éste sobre la capa de carbono, así será el valor de la resistencia (Fig. 1.30). El tamaño de estas resistencias varia de acuerdo con la potencia a disparar.

Los potenciómetros son resistencias propiamente variables, en las cuales, además de la resistencia variable, existe una resistencia fija, formada por toda la capa de carbono (Fig. 1.31).

### RESISTENCIAS AJUSTABLES Y POTENCIOMETROS DE CARBON

LAMINA  
1.9

Lámina de carbono

Cursor

Fig.1.30

Terminales de las resistencia

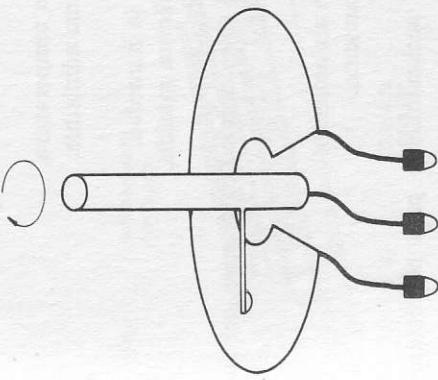


Fig.1.31

#### LAMINA 1.10. RESISTENCIA VARIABLE DE HILO BOBINADO

El principio de funcionamiento de una resistencia variable de hilo bobinado es similar al anteriormente descrito para los de carbono. Están constituidos por un hilo bobinado de características eléctricas adecuadas por el que se desliza un contacto del cual se toma el valor medio deseado. En las figuras 1.32 y 1.33 puede ver el aspecto de dos resistencias variables de hilo bobinado para uso general y de precisión respectivamente.

#### CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS POTENCIOMETROS

Al igual que las resistencias, los potenciómetros se fabrican de forma que cubren toda una serie de necesidades técnicas y económicas. Con este fin los fabricantes suministran toda clase de datos técnicos sobre sus características de funcionamiento, dimensiones, etc. Entre las características técnicas de mayor interés para el electrónico caben citar las siguientes:

- Valores de la resistencia.
- Disipación máxima.
- Linealidad.
- Resolución.
- Coeficiente de temperatura.
- Tensión máxima admisible.
- Tolerancia.
- Resistencia a la humedad.
- Resistencia efectiva mínima.
- Ángulo de rotación.
- Variación del valor ohmico en función del ángulo de rotación.
- Niveles de ruido.
- Estabilidad.
- Resistencia de aislamiento.
- Par de accionamiento.
- Par extremo.
- Velocidad de accionamiento para potenciómetros de servicio continuo.
- Comportamiento ante las vibraciones.

A continuación se estudiarán cada uno de los conceptos citados.

POTENCIOMETROS DE HILO BOBINADO	LAMINA 1.10
---------------------------------	----------------

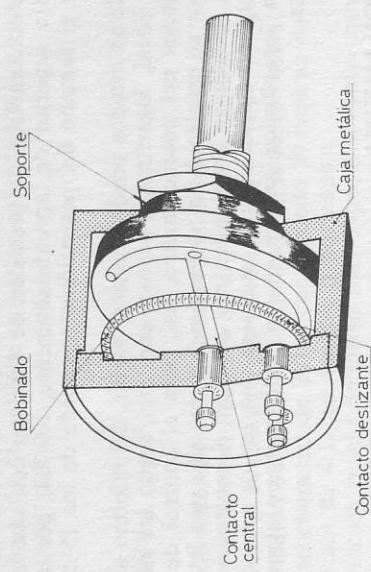


Fig.1.32

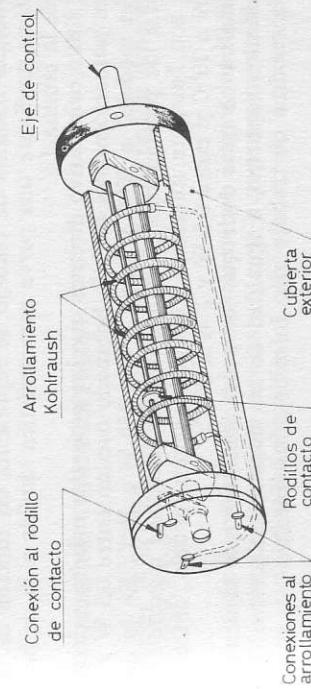


Fig.1.33

## VALORES DE LA RESISTENCIA

Los potenciómetros de hilo bobinado para uso general se fabrican con valores superiores a los 500 k $\Omega$  y los de carbón hasta 5 M $\Omega$ . El límite inferior es de, aproximadamente, 1  $\Omega$  para los potenciómetros de hilo bobinado y 10  $\Omega$  para los de carbón, aunque resulta difícil mantener la estabilidad de la resistencia por debajo de los 250  $\Omega$ .

Los potenciómetros de precisión se fabrican con una resistencia en el límite superior de, aproximadamente, 100 k $\Omega$ ; por encima de este valor el tamaño del potenciómetro excede de los 15 cm de diámetro.

Los valores citados pueden hacerse variar, del mínimo al máximo, de forma lineal, logarítmica, seno-coseno, etc., según las necesidades y aplicaciones del potenciómetro. Así, para el control de brillo de un televisor se empleará un potenciómetro que siga una ley de variación de la resistencia lineal, mientras que para el control de volumen se empleará un potenciómetro que siga una ley de variación de la resistencia logarítmica, puesto que el oído humano sigue una ley logarítmica.

## DISIPACION MAXIMA

La disipación máxima o potencia máxima de trabajo depende de la seguridad requerida por lo que respecta a la elevación de temperatura del potenciómetro. Los fabricantes especifican en sus catálogos la potencia máxima de trabajo para una o dos temperaturas ambiente dadas, las cuales suelen ser 20° C y 70° C. En otras ocasiones la potencia máxima de trabajo se representa en función de la temperatura mediante una curva característica similar a la de la figura 1.18 de la lámina 1.6.

A título orientativo diremos que las potencias máximas de trabajo de los potenciómetros de hilo bobinado oscilan entre 0,5 W y 120 W (según modelo) a 70° C y entre 1 W y 150 W a 20° C. En lo que respecta a los potenciómetros de carbón las potencias máximas de trabajo son bastante inferiores, oscilando, según modelo, entre 0,25 W y 1 W a 70° C y entre 0,5 W y 2 W a 20° C.

Finalmente cabe decir que los potenciómetros que siguen una ley logarítmica soportan, a igualdad de las demás condiciones, una potencia máxima de trabajo algo inferior a los lineales.

## LINEALIDAD

Se dice que un potenciómetro posee una linealidad ideal cuando a cada incremento igual del ángulo de rotación (o movimiento longitudinal

dinal) del contacto deslizante, corresponde un cambio de resistencia constante. En la práctica esto nunca se logra, por lo que la linealidad, o la precisión lineal, es la cantidad en la cual la resistencia real, en cualquier punto del contacto deslizante sobre la pastilla de carbón o del hilo, varía de la esperada línea recta que se obtendría en un gráfico de coordenadas resistencia-ángulo de giro o resistencia-recorrido. Por ejemplo, si un potenciómetro de 100 k $\Omega$  proporciona una linealidad de  $\pm 0,1\%$  no debe variar en más de 100  $\Omega$  a cada lado de la línea de error nulo.

## RESOLUCION

Recibe la denominación de *resolución* la variación de resistencia producida por un cierto cambio de la posición del contacto deslizante (generalmente la resistencia por vuelta del hilo resistivo). Así, la resolución es función del número de espiras del potenciómetro. Por ejemplo, un potenciómetro de 200  $\Omega$  conteniendo 50 espiras de hilo tiene una resolución de 4  $\Omega$ , es decir 4  $\Omega$  por espira.

La resolución puede definirse más específicamente como *resolución en resistencia* (ohmios por vuelta), *resolución en tensión* (caída de tensión por vuelta) o *resolución angular* (cambio mínimo en el ángulo del contacto, necesario para producir una variación de resistencia).

En general la resolución en resistencia es mitad de la linealidad. Así, si la linealidad es de  $\pm 0,1\%$ , la resolución en resistencia será del 0,05 % e incluso menos.

## COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Para obtener el coeficiente de temperatura de un potenciómetro se procede como sigue:

- 1º Se mide la resistencia del potenciómetro, despreciando la resistencia del contacto deslizante, a la temperatura ambiente y se anota el valor obtenido.
- 2º Se eleva la temperatura ambiente y se mantiene hasta que el valor de la resistencia se estabiliza de nuevo, anotándose tanto la temperatura como el valor ohmico del potenciómetro.
- 3º Las operaciones citadas se repiten 3 o 4 veces.

El coeficiente de temperatura  $a$  para cada una de las operaciones se calcula mediante la fórmula:

$$a = \frac{(R_2 - R_1) \cdot 10^6}{R_1 (T_2 - T_1)}$$

donde:

$a$  = coeficiente de temperatura

$R_1$  = resistencia a la temperatura inferior  $T_1$ , ( $\Omega$ )

$R_2$  = resistencia a la temperatura superior  $T_2$ , ( $\Omega$ )

$T_1$  = temperatura inferior ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = temperatura superior ( $^{\circ}\text{C}$ )

El coeficiente de temperatura medio de las tres o cuatro operaciones efectuadas no deberá exceder normalmente de  $\pm 250$  partes por millón por grado centígrado (es decir  $0,025\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para los potenciómetros de hilo bobinado de uso general o de  $\pm 1200$  partes por millón por grado centígrado en los potenciómetros de carbón ( $\pm 0,12\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

#### TENSION MAXIMA ADMISIBLE

En los potenciómetros cabe distinguir entre tensión máxima de trabajo a través del elemento resistivo y tensión máxima de trabajo entre el eje y el elemento resistivo. Tanto uno como otro dato es dado por los fabricantes. Por lo general la tensión máxima de trabajo oscila entre unos 250 V para los potenciómetros de tamaño pequeño y 1 000 V para los de mayor tamaño.

#### TOLERANCIA

Al igual que en el caso de las resistencias, en los potenciómetros la tolerancia determina la precisión dentro de la cual ha sido fabricado. Para los potenciómetros de carbón de uso general la tolerancia suele ser de  $\pm 20\%$ , mientras que para los de hilo bobinado de uso general la tolerancia es, aproximadamente, de  $\pm 10\%$ . En los potenciómetros de hilo bobinado de precisión la tolerancia es mucho más reducida.

#### RESISTENCIA A LA HUMEDAD

La causa más frecuente de avería en los potenciómetros es la humedad. Para evitar los daños provocados por ella (tales como corrosión de las partes metálicas, deformaciones de las partes plásticas, etc.), los potenciómetros se fabrican en su parte metálica con elementos no corrosivos o bien disponen anillos de estanqueidad entre la caja y el eje de giro.

Para determinar la resistencia a la humedad de un potenciómetro los fabricantes lo someten a una prueba, consistente en mantenerlo un gran número de horas (por ejemplo 500 h) en un recinto con un 95 % de humedad relativa y midiendo el valor nominal del mismo, el cual ha de variar lo menos posible. En un potenciómetro de carbón de uso general la prueba antes citada provoca una variación del valor resistivo nominal inferior al 10 %.

#### RESISTENCIA EFECTIVA MINIMA

Todo potenciómetro posee algún sistema de terminación del elemento resistivo, lo cual produce unas zonas muertas en las cuales el contacto deslizante gira unos pocos grados sin originar cambio en el valor de la resistencia. Hay un pequeño intervalo, que se conoce con el nombre de *resistencia de despegue*, hasta que el contacto deslizante hace contacto eléctrico con el elemento resistivo. Para los potenciómetros de carbón de uso general la resistencia de despegue ha de ser inferior al 5 % del valor nominal y para los potenciómetros de hilo bobinado sólo del 3 %.

#### ANGULO EFECTIVO DE ROTACION

Las zonas muertas citadas en el apartado anterior se corresponden con dos ángulos de giro ineficaces. Estos ángulos, generalmente, no exceden del 10 % del ángulo total de rotación en los potenciómetros de hilo bobinado de uso general y del 30 % en los potenciómetros de carbón. El ángulo efectivo de rotación es igual a  $360^\circ - (2 \times$  ángulo muerto + espacio ocupado por los terminales).

**LAMINA 1.11. VARIACION DEL VALOR OHMICO EN FUNCION DEL ANGULO DE ROTACION**

Como ya sabe, para cada ángulo de giro del cursor se tiene un valor ohmico diferente. Para conocer el valor ohmico del potenciómetro para cada ángulo de rotación los fabricantes proporcionan las denominadas curvas de variación del valor ohmico en función del ángulo de rotación, de las cuales puede ver un ejemplo en la figura 1.34. En esta figura se han dibujado, sobre un mismo sistema de coordenadas cartesianas, tres curvas pertenecientes a otros tantos potenciómetros; la curva A corresponde a un potenciómetro lineal, la curva B a un potenciómetro antilogarítmico y la curva C a un potenciómetro logarítmico.

En el caso de potenciómetros con eje deslizante lineal, las curvas citadas no se representan, naturalmente, en función del ángulo de rotación, sino en función del % de deslizamiento lineal, tal y como se ha dibujado en la figura 1.35.

**NIVEL DE RUIDO**

El nivel de ruido se obtiene aplicando una tensión continua de valor conocido (10 V normalmente) a los bornes extremos del elemento resistivo y midiendo la tensión parásita de ruido en mV. La relación entre ambas magnitudes se expresa en dB.

A título orientativo diremos que un potenciómetro lineal de carbón de uso general suele tener un nivel de ruido inferior a 20 dB (nivel 0 dB = 0,1 mV a 1 kHz) y en los modelos logarítmicos el nivel de ruido es inferior 5 dB hasta el 5 % aproximadamente de la resistencia total y menor de 25 dB para valores mayores del citado 5 %.

**ESTABILIDAD**

Mediante el dato «estabilidad» es posible conocer los cambios que sufrirá la resistencia del potenciómetro con el transcurso del tiempo o bajo severas condiciones de funcionamiento. Como dato orientativo diremos que en los potenciómetros de carbón de uso general la tolerancia de la estabilidad es del 15 % y para los de hilo bobinado de uso general del 2 %.

**RESISTENCIA DE AISLAMIENTO**

La resistencia ohmica entre el eje de accionamiento y el elemento resistivo se denomina *resistencia de aislamiento*. Dicha resistencia

**VARIACION DEL VALOR OHMICO EN FUNCION DEL ANGULO DE ROTACION**

**LAMINA  
1.11**

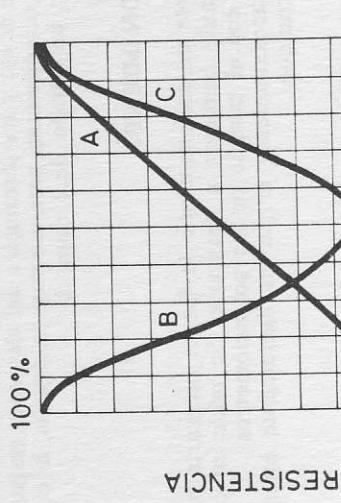


Fig. 1.34  
ROTACION DEL CURSOR

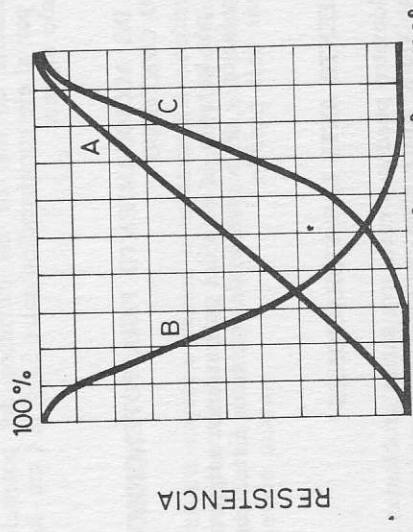


Fig. 1.35  
DEPLAZAMIENTO DEL CURSOR

## 2. Circuitos con resistencias

ha de ser de valor muy elevado (generalmente no inferior a 1 000 M $\Omega$ ), con el fin de evitar pérdidas de corriente y eliminar peligros al operador cuando acciona el eje.

Para medir la resistencia de aislamiento se aplican 500 V (corriente continua) entre el eje y los terminales del elemento resistivo. Dichos terminales se cortocircuitan para efectuar la prueba, la cual se lleva a cabo durante un tiempo de 1 minuto.

### PAR DE ACCIONAMIENTO

Se denomina *par de accionamiento* la fuerza necesaria para que el contacto deslizante comience a deslizarse. Se mide en cm · g y su valor aumenta con el tamaño de los potenciómetros.

Durante el accionamiento el par es ligeramente inferior al del momento de arranque.

### PAR EXTREMO

El cursor del potenciómetro puede deteriorarse si se fuerza al llegar a los extremos de su recorrido; para evitarlo el potenciómetro debe estar dotado de unos sólidos topes, los cuales no deben sufrir daño alguno al recibir el impacto del contacto deslizante en un uso normal. Las normas establecen una prueba en la cual, colocando el contacto deslizante en uno de los extremos del potenciómetro, y aplicando un par al eje comprendido entre 5,7 y 11,4 cm · kg no debe producirse daño alguno.

### VELOCIDAD DE ACCIONAMIENTO PARA POTENCIOMETROS DE SERVICIO CONTINUO

El desgaste y, por lo tanto, la vida del potenciómetro dependen de la velocidad de rotación y de la presión de contacto: Este debe ser, por lo tanto, lo más baja posible.

### COMPORTAMIENTO ANTE LAS VIBRACIONES

En un potenciómetro pueden presentarse serios problemas si el contacto deslizante vibra. Entre ellos podemos destacar contacto intermitentes y cambio de la resistencia por deslizamiento del contacto al ser sometido a una vibración. Es por lo tanto necesario evitar, o al menos disminuir, las vibraciones, incluso situando el potenciómetro en otro lugar si fuera necesario.

### INTRODUCCION

En el presente capítulo vamos a estudiar los circuitos compuestos únicamente por resistencias, es decir los circuitos puramente ohmicos a base de resistencias en conexión serie, en conexión derivación y en conexión mixta.

### LAMINA 2.1. CONEXION EN SERIE DE RESISTENCIAS

Cuando ha de aplicarse la ley de Ohm a un circuito, o parte de un circuito, en el cual se encuentran varias resistencias conectadas en serie o en derivación, es preciso sustituir dichas resistencias por una valor equivalente, es decir sustituir todas las resistencias por una única resistencia cuyo valor sea equivalente a las anteriores. Naturalmente que en la práctica esto nunca se lleva a cabo, sino que lo que se hace es calcular el valor total del conjunto de todas las resistencias e introducir el valor hallado en la fórmula de la ley de Ohm.

En el caso de que el circuito esté compuesto por varias resistencias conectadas en serie, es decir, conectadas de forma que por todas ellas circula la misma corriente, el valor total de las mismas es igual a la suma de los valores de cada una de ellas.

En la figura 2.1a puede ver un circuito como el que acabamos de citar y en la figura 2.1b el circuito equivalente del mismo.

Efectivamente, si medimos las diferencias de potencial en los extremos de cada una de las resistencias tendremos:

$$U_1 = U_1 + U_2 + U_3$$

en donde  $U_1$  es la tensión total en bornes de la fuente de alimentación y  $U_1$ ,  $U_2$  y  $U_3$  son las tensiones parciales en los extremos de cada resistencia. Como la corriente  $I$  que circula por el citado circuito es igual en todos los puntos del mismo, podemos escribir:

$$U_1 = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

de donde se deduce que:

$$U_1 = (R_1 + R_2 + R_3) I = R I$$

es decir

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

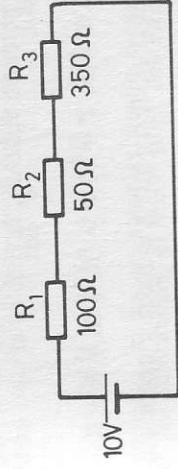
tal y como se quería demostrar.

Si el valor ohmico de todas las resistencias conectadas en serie es el mismo, entonces el valor total de todas ellas será igual al producto del valor ohmico de una de ellas por el número de resistencias conectadas en serie.

La potencia máxima de disipación de varias resistencias conectadas en serie es igual a la suma de las potencias parciales. Así, supongamos de nuevo el circuito de la figura 2.1a, en el cual supon-

### CONEXION EN SERIE DE RESISTENCIAS

LAMINA  
2.1



$$I = 0,02 \text{ A}$$

Fig. 2.1a

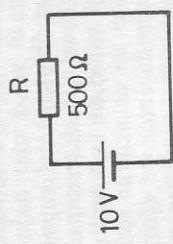


Fig. 2.1b

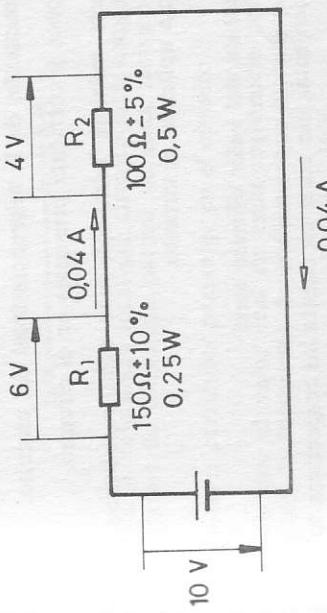


Fig. 2.2

dremos que cada resistencia posee una potencia máxima de dissipación de 2 W. La potencia total será, pues, de:

$$P_r = P_1 + P_2 + P_3 = 2 \text{ W} + 2 \text{ W} + 2 \text{ W} = 6 \text{ W}$$

No debe confundirse la potencia máxima que es capaz de soportar el circuito con la potencia aplicada, la cual en el caso de la figura 2.1a será de:

$$\begin{aligned} P_T &= R_1 P + R_2 P + R_3 P = (R_1 + R_2 + R_3) P = \\ &= (100 \Omega + 50 \Omega + 350 \Omega) 0,02^2 \text{ A} = 500 \Omega \times 0,0004 = 0,20 \text{ W} \end{aligned}$$

Al calcular un circuito de resistencias conectadas en serie es preciso comprobar la potencia de dissipación que ha de soportar cada una de ellas, con el fin de que este valor no supere al de la potencia máxima de dissipación que puede soportar cada una.

Otro dato a tener en cuenta al calcular el valor ohmico de dos o más resistencias conectadas en serie es la tolerancia de cada una de ellas. Con este fin se calcula el valor ohmico total suponiendo que todas las resistencias tienen el valor más bajo determinado por la tolerancia, así como el valor ohmico total suponiendo que todas las resistencias tienen el valor más alto determinado por la tolerancia. A continuación se calcula el valor de la tolerancia porcentual de la resistencia equivalente. Con el fin de aclarar todos los conceptos expuestos, a continuación desarrollaremos un ejemplo de cálculo basado en el circuito de la figura 2.2. Los pasos a seguir serán los siguientes:

- 1.º Determinación del valor ohmico total.
- 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito.
- 3.º Tensiones y corrientes presentes en el circuito.
- 4.º Potencia máxima admisible por cada resistencia y por el circuito.
- 5.º Potencia aplicada al circuito.

#### 1.º Determinación del valor ohmico total

El valor ohmico total, sin tener en cuenta las respectivas tolerancias, será de:

$$R_T = R_1 + R_2 = 150 \Omega + 100 \Omega = 250 \Omega$$

#### 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito

Si las resistencias tienen el valor mínimo determinado por las tolerancias, el valor total del circuito será:

$$\begin{aligned} R_{T \min.} &= \left( R_1 - \frac{10 \text{ R}_1}{100} \right) + \left( R_2 - \frac{5 \text{ R}_2}{100} \right) = \\ &= (150 \Omega - 15 \Omega) + (100 \Omega - 5 \Omega) = 230 \Omega \end{aligned}$$

Por el contrario, si las resistencias tienen el valor máximo determinado por las tolerancias, el valor total del circuito será:

$$\begin{aligned} R_{T \max.} &= \left( R_1 + \frac{10 \text{ R}_1}{100} \right) + \left( R_2 + \frac{5 \text{ R}_2}{100} \right) = \\ &= (150 \Omega + 15 \Omega) + (100 \Omega + 5 \Omega) = 270 \Omega \end{aligned}$$

La resistencia total estará por tanto comprendida entre 230 Ω y 270 Ω.

Como el valor de la resistencia total, en el caso de que ambas resistencias tuvieran exactamente su valor nominal, es de 250 Ω, la diferencia entre los valores máximos y mínimos con respecto al valor nominal será:

$$\begin{aligned} \text{Variación máxima} &= 270 \Omega - 250 \Omega = 20 \Omega \\ \text{Variación mínima} &= 230 \Omega - 250 \Omega = -20 \Omega \end{aligned}$$

y la tolerancia porcentual total del circuito será:

$$p = \frac{\pm 20 \Omega \cdot 100}{250 \Omega} = \pm 8\%$$

Observe que la tolerancia total del circuito está comprendida entre los dos valores de tolerancia parcial de cada resistencia.

#### 3.º Tensiones y corrientes presentes en el circuito

Suponiendo que el valor real de cada resistencia coincide con su valor teórico, la intensidad de corriente que circula por ellas será:

$$I = \frac{U_T}{R_1 + R_2} = \frac{U_T}{R_T} = \frac{10 \text{ V}}{250 \Omega} = 0,04 \text{ A}$$

y la tensión en bornes de cada una de ellas:

$$U_1 = R_1 I = 150 \Omega \times 0,04 \text{ A} = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 I = 100 \Omega \times 0,04 \text{ A} = 4 \text{ V}$$

Observe que la suma de las tensiones individuales es igual a la tensión total aplicada al circuito:

$$U_T = U_1 + U_2 = 6 \text{ V} + 4 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

En la práctica la tensión presente en cada resistencia depende del valor real de cada una de ellas, pero la suma de las dos tensiones siempre es igual a la tensión total aplicada al circuito. Así, supongamos que, debido a la tolerancia, los valores reales de cada una de las resistencias sean:

$$\begin{aligned} R_1 &= 145 \Omega \\ R_2 &= 103 \Omega \end{aligned}$$

La resistencia total real del circuito será, pues:

$$R_T = R_1 + R_2 = 145 \Omega + 103 \Omega = 248 \Omega$$

La intensidad que circula por él será, pues, de:

$$I = \frac{U_T}{R_T} = \frac{10 \text{ V}}{248 \Omega} = 0,04032258 \text{ A}$$

(Hemos abusado de decimales para ajustarnos al máximo en el cálculo.)

La tensión en bornes de la resistencia de  $145 \Omega$  será:

$$U_1 = R_1 I = 145 \Omega \times 0,04032258 \text{ A} = 5,8467741 \text{ V}$$

y la tensión en bornes de la resistencia de  $103 \Omega$ :

$$U_2 = R_2 I = 103 \Omega \times 0,04032258 \text{ A} = 4,1532257 \text{ V}$$

Compruebe que la suma de ambas tensiones dan los  $10 \text{ V}$  de la fuente de alimentación.

**4.º Potencia máxima admisible por cada resistencia y por el circuito.**

Para el cálculo de la potencia máxima admisible por cada resistencia y por el circuito debe tenerse en cuenta la temperatura am-

biente y las características propias de cada resistencia. Suponiendo que cada resistencia admite la potencia indicada en la figura 2.2, la potencia máxima admitida por el circuito será:

$$P_T = P_1 + P_2 = 0,25 \text{ W} + 0,5 \text{ W} = 0,75 \text{ W}$$

#### 5.º Potencia aplicada al circuito

La potencia total aplicada al circuito será igual al producto de la tensión total en bornes del circuito por la intensidad de corriente que por él circula. Así pues, en el caso de la figura 2.2 se tiene:

$$P_T = U_{R^1} I + U_{R^2} I = (U_{R^1} + U_{R^2}) I = U_T I$$

$$P_T = 10 \text{ V} \times 0,04 \text{ A} = 0,4 \text{ W}$$

Observe que la potencia total es igual a la suma de las potencias parciales. Efectivamente:

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 = (U_1 I) + (U_2 I) = \\ &= 6 \text{ V} \times 0,04 \text{ A} + 4 \text{ V} \times 0,04 \text{ A} = 0,24 \text{ W} + 0,16 \text{ W} = 0,4 \text{ W} \end{aligned}$$

Notese que la potencia aplicada a la resistencia  $R_1$  se acerca mucho a la potencia máxima admisible por ella, por lo que un incremento en la temperatura ambiente puede perjudicarla. En este caso se estudiará la conveniencia del cambio de dicha resistencia por otra de igual valor ohmico y una potencia de dissipación admisible mayor.

## LAMINA 2.2. CONEXION EN DERIVACION DE RESISTENCIAS

Se dice que dos o más resistencias están conectadas en paralelo o derivación cuando todas ellas están sometidas a una misma tensión, tal y como se muestra en el esquema de la figura 2.3a. En este caso el grupo de resistencias puede sustituirse por una única resistencia cuya conductancia (valor inverso de resistencia) sea igual a la suma de las conductancias de todas las resistencias presentes en dicho circuito (Fig. 2.3b). Es decir:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

La corriente total que circula por el circuito de la figura 2.3a, será:

$$I_r = I_1 + I_2 + I_3$$

de donde se deduce que:

$$U = R I_r = \frac{I_r}{\frac{1}{R}} = \frac{I_r}{S}$$

y también:

$$U = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3$$

$$U = \frac{I_1}{\frac{1}{R_1}} = \frac{I_2}{\frac{1}{R_2}} = \frac{I_3}{\frac{1}{R_3}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

o, lo que es lo mismo:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_r$$

y como

CONEXION EN DERIVACION DE RESISTENCIAS	LAMINA 2.2
--	---------------

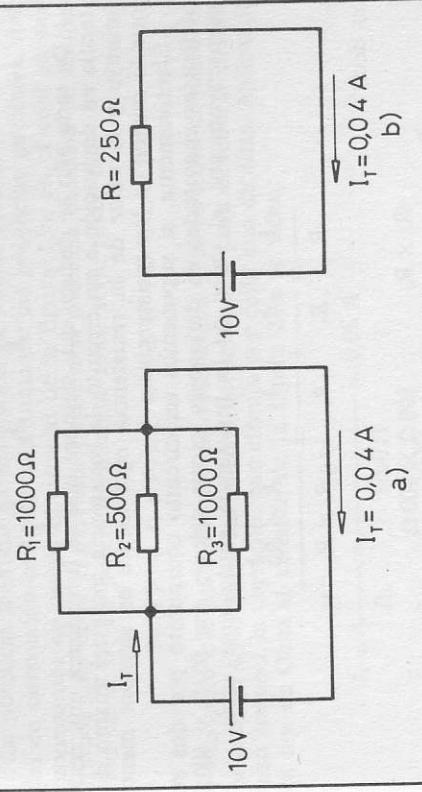
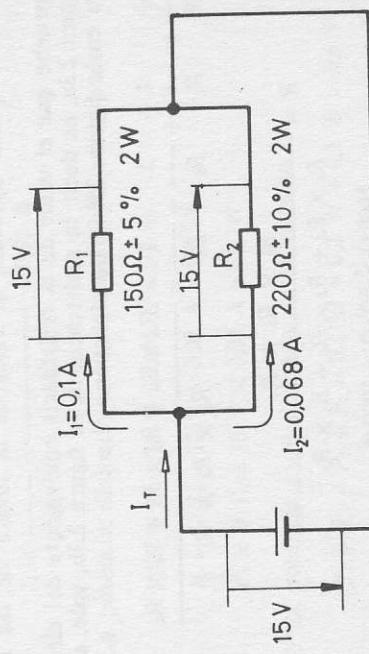


Fig. 2.3



a)

b)

Fig. 2.3

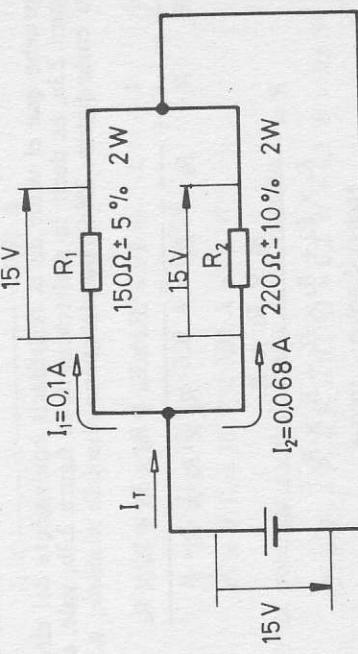


Fig. 2.4

podemos escribir:

$$U = \frac{I'_r}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

De todo ello se deduce que siempre que se introduzca una resistencia en derivación a un circuito, la resistencia total del mismo disminuye y el valor de la resistencia equivalente es siempre menor que la menor de las resistencias.

Efectivamente, si suponemos un circuito compuesto por dos resistencias conectadas en derivación, cuyos valores son  $800\Omega$  y  $400\Omega$  respectivamente, el valor de la resistencia equivalente será:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2}$$

es decir:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{800\Omega \times 400\Omega}{800\Omega + 400\Omega} \approx 266\Omega$$

inferior, como puede apreciar, al valor de la menor de las resistencias.

Compruebe que el valor de la resistencia equivalente del circuito de la figura 2.3a, es decir la resistencia de la figura 2.3b, vale, como se indica en la figura,  $250\Omega$ , puesto que:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 \times R_3 + R_1 \times R_3 + R_1 \times R_2}{R_1 \times R_2 \times R_3}$$

y

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{1000\Omega \times 500\Omega \times 1000\Omega} = \frac{1}{(500\Omega \times 1000\Omega) + (1000\Omega \times 1000\Omega) + (1000\Omega \times 500\Omega)} = \frac{1}{2000000\Omega^2} = 250\Omega$$

Si el valor óhmico de todas las resistencias conectadas en derivación es el mismo, entonces el valor total de todas ellas será igual al cociente de dividir el valor óhmico de una de ellas por el número de resistencias conectadas en derivación.

La potencia máxima de derivación de varias resistencias conectadas en derivación es igual a la suma de las potencias parciales. Así, supongamos de nuevo el circuito de la figura 2.3a, en el cual supondremos que cada resistencia posee una potencia máxima de dissipación de  $2\text{W}$ . La potencia máxima total será, pues, de:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 2\text{W} + 2\text{W} + 2\text{W} = 6\text{W}$$

La potencia aplicada a cada resistencia y al circuito depende de la tensión aplicada a los bornes del mismo, y para obtenerla es preciso conocer la corriente que circula por cada una de ellas. Aplicando la ley de Ohm al circuito de la figura 2.3a se tiene:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{10\text{V}}{1000\Omega} = 0,01\text{A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{10\text{V}}{500\Omega} = 0,02\text{A}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{10\text{V}}{1000\Omega} = 0,01\text{A}$$

La potencia disipada en cada resistencia será, pues:

$$P_1 = U I_1 = 10\text{V} \times 0,01\text{A} = 0,1\text{W}$$

$$P_2 = U I_2 = 10\text{V} \times 0,02\text{A} = 0,2\text{W}$$

$$P_3 = U I_3 = 10\text{V} \times 0,01\text{A} = 0,1\text{W}$$

Y la potencia total disipada en el circuito:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 0,1\text{W} + 0,2\text{W} + 0,1\text{W} = 0,4\text{W}$$

También podemos calcular la potencia total disipada multiplicando la tensión aplicada por la corriente total que circula por el circuito, es decir:

$$P_T = U I_T = U (I_1 + I_2 + I_3) = \\ = 10\text{V} (0,01\text{A} + 0,02\text{A} + 0,01\text{A}) = 10\text{V} \times 0,04 = 0,4\text{W}$$

Al proyectar un circuito debe tenerse en cuenta que la potencia disipada en cada resistencia no supere a la potencia máxima de dissipación que ella puede soportar.

Al igual que en el caso de las resistencias conectadas en serie, otro dato a tener en cuenta al calcular el valor ohmico de dos o más resistencias conectadas en derivación es la tolerancia de cada una de ellas. Con este fin se calcula el valor ohmico total suponiendo que todas las resistencias tienen el valor más bajo determinado por la tolerancia, así como el valor ohmico total suponiendo que todas las resistencias tienen el valor más alto determinado por la tolerancia. A continuación se calcula el valor de la tolerancia porcentual de la resistencia equivalente.

Con el fin de aclarar todos los conceptos expuestos, a continuación desarrollaremos un ejemplo de cálculo basado en el circuito de la figura 2.4. Los pasos a seguir serán los siguientes:

- 1.<sup>o</sup> Determinación del valor ohmico total.
- 2.<sup>o</sup> Determinación de la tolerancia total del circuito.
- 3.<sup>o</sup> Corrientes y tensión presentes en el circuito.
- 4.<sup>o</sup> Potencia máxima admisible por cada resistencia y por el circuito.
- 5.<sup>o</sup> Potencia aplicada al circuito.

#### 1.<sup>o</sup> Determinación del valor ohmico total

El valor ohmico total, sin tener en cuenta las respectivas tolerancias, será de:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{150 \Omega \times 220 \Omega}{150 \Omega + 220 \Omega} = \frac{33\,000 \Omega^2}{370 \Omega} = 89,19 \Omega$$

#### 2.<sup>o</sup> Determinación de la tolerancia total del circuito

Si las resistencias tienen el valor mínimo determinado por las tolerancias, el valor de cada una de ellas será:

$$R_{1 \text{ min.}} = R_1 - \frac{5 R_1}{100} = 150 \Omega - \frac{5 \times 150 \Omega}{100} =$$

$$= 150 \Omega - 7,5 \Omega = 142,5 \Omega$$

$$R_{2 \text{ min.}} = R_2 - \frac{10 R_2}{100} = 200 \Omega - \frac{10 \times 220 \Omega}{100} = 200 \Omega - 22 \Omega = 198 \Omega$$

y la resistencia total del circuito:

$$R_{T \text{ min.}} = \frac{R_{1 \text{ min.}} \cdot R_{2 \text{ min.}}}{R_{1 \text{ min.}} + R_{2 \text{ min.}}} = \frac{142,5 \Omega \cdot 198 \Omega}{142,5 \Omega + 198 \Omega} =$$

$$= \frac{28215 \Omega^2}{340,5 \Omega} = 82,86 \Omega$$

Si por el contrario, las resistencias tienen el valor máximo determinado por las tolerancias, el valor de cada una de ellas será:

$$R_{1 \text{ max.}} = R_1 + \frac{5 R_1}{100} = 150 \Omega + \frac{5 \cdot 150 \Omega}{100} = 150 \Omega + 7,5 \Omega = 157,5 \Omega$$

$$R_{2 \text{ max.}} = R_2 + \frac{10 R_2}{100} = 220 \Omega + \frac{10 \cdot 220 \Omega}{100} = 220 \Omega + 22 \Omega = 242 \Omega$$

y la resistencia total del circuito:

$$R_{T \text{ max.}} = \frac{R_{1 \text{ max.}} \cdot R_{2 \text{ max.}}}{R_{1 \text{ max.}} + R_{2 \text{ max.}}} = \frac{157,5 \Omega \cdot 242 \Omega}{157,5 \Omega + 242 \Omega} =$$

$$= \frac{38115 \Omega^2}{399,5 \Omega} = 95,41 \Omega$$

Como el valor de la resistencia total, en el caso de que ambas resistencias tuvieran exactamente su valor nominal, es de 89,19 Ω, la diferencia entre los valores máximos y mínimos con respecto al valor nominal será:

Variación mínima: 82,86 Ω — 89,19 Ω = — 6,33 Ω

bido a la tolerancia, los valores reales de cada una de las resistencias sean:

Variación máxima:  $95,51\Omega - 89,19\Omega = 6,22\Omega$   
Redondeando cálculos, la tolerancia porcentual total del circuito será:

$$p = \frac{\pm 6,2\Omega \cdot 100}{89,19} = \pm 6,95\% \approx \pm 7\%$$

Observe que la tolerancia total del circuito está comprendida entre los dos valores de tolerancia parcial de cada resistencia.

### 3º Corrientes y tensión presentes en el circuito

Suponiendo que el valor real de cada resistencia coincide con su valor teórico, la intensidad de corriente que circula por cada una de ellas será:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{15 \text{ V}}{150 \Omega} = 0,1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{15 \text{ V}}{220 \Omega} = 0,06818 \text{ A}$$

La tensión es la misma en ambas resistencias, puesto que al estar conectadas en derivación queda aplicada a los bornes de cada una la tensión total de la fuente de alimentación.

Observe que la suma de las intensidades parciales es igual a la intensidad total que circula por el circuito:

$$I_r = I_1 + I_2 = 0,1 \text{ A} + 0,06818 \text{ A} = 0,16818 \text{ A}$$

Efectivamente, dicha intensidad de corriente total coincide con el valor obtenido por la ley de Ohm si se considera la resistencia equivalente:

$$I_r = \frac{U}{R_r} = \frac{15 \text{ V}}{89,19 \Omega} = 0,16818 \text{ A}$$

En la práctica la corriente que circula por cada resistencia depende del valor real de cada una de ellas. Así, supongamos que, de-

bido a la tolerancia, los valores reales de cada una de las resistencias sean:

$$\begin{aligned} R_1 &= 152 \Omega \\ R_2 &= 230 \Omega \end{aligned}$$

La resistencia total real del circuito será pues:

$$R_r = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{152 \Omega \cdot 230 \Omega}{152 \Omega + 230 \Omega} = \frac{34960 \Omega^2}{382 \Omega} = 91,52 \Omega$$

La intensidad que circula por él será pues de:

$$I_r = \frac{U}{R_r} = \frac{15 \text{ V}}{91,52 \Omega} = 0,1639016 \text{ A}$$

(Hemos abusado de decimales para ajustarnos al máximo en el cálculo)

La intensidad a través de la resistencia de  $152\Omega$  será:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{15 \text{ V}}{152 \Omega} = 0,09868421 \text{ A}$$

y la intensidad a través de la resistencia de  $230\Omega$ :

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{15 \text{ V}}{230 \Omega} = 0,06521739 \text{ A}$$

Compruebe que la suma de ambas intensidades dan los  $0,1639016 \text{ A}$  de intensidad total a través de la parte común del circuito.

4º Potencia máxima admisible por cada resistencia y por el circuito

Para el cálculo de la potencia admisible por cada resistencia y por el circuito debe tenerse en cuenta la temperatura ambiente y las características propias de cada resistencia. Suponiendo que cada resistencia admite la potencia indicada a la figura 2.4, la potencia máxima admitida por el circuito será:

$$P_1 = P_2 = 2 \text{ W} + 2 \text{ W} = 4 \text{ W}$$

### 5.<sup>o</sup> Potencia aplicada al circuito

La potencia total aplicada al circuito será igual al producto de la tensión en bornes del mismo por la intensidad de corriente total que por él circula: Así pues, en el caso de la figura 2.4 se tiene:

$$P_T = U \cdot I_1 + U \cdot I_2 = (I_1 + I_2) \cdot U = I_T \cdot U$$

$$P_T = 15 \text{ V} \cdot 0,16818 \text{ A} = 2,52 \text{ W}$$

Observe que la potencia total es igual a la suma aritmética de las potencias parciales. Efectivamente:

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 = (U I_1) + (U I_2) = \\ &= 15 \text{ V} \cdot 0,01 \text{ A} + 15 \text{ V} \cdot 0,06818 \text{ A} = 1,5 \text{ W} + 1,02 \text{ W} = 2,52 \text{ W} \end{aligned}$$

Como las potencias máximas admisibles por cada resistencia superan a las potencias a ellas aplicadas, no existe problema alguno en hacer funcionar el circuito; en caso contrario se sustituirá la resistencia o resistencias por otras de mayor potencia de disipación.

### LAMINAS 2.3 Y 2.4. CONEXIÓN MIXTA DE RESISTENCIAS

Cuando en un circuito eléctrico se conectan resistencias en serie y en derivación, se dice que es una *conexión mixta*. Para el cálculo de la resistencia equivalente se procede de igual forma que en el caso de las resistencias en serie y las resistencias en derivación, es decir, sumando las resistencias en serie y sumando las conductancias de las resistencias en derivación. Como ejemplo de cálculo vemos a desarrollar el cálculo del valor óhmico de la resistencia equivalente de la figura 2.5, así como de las tensiones y corrientes presentes en el circuito.

Para ello partiremos de los siguientes valores conocidos:

Tensión total aplicada al circuito  $U_T = 100 \text{ V}$

Resistencia  $R_1 = 100 \Omega$

Resistencia  $R_2 = 250 \Omega$

Resistencia  $R_3 = 100 \Omega$

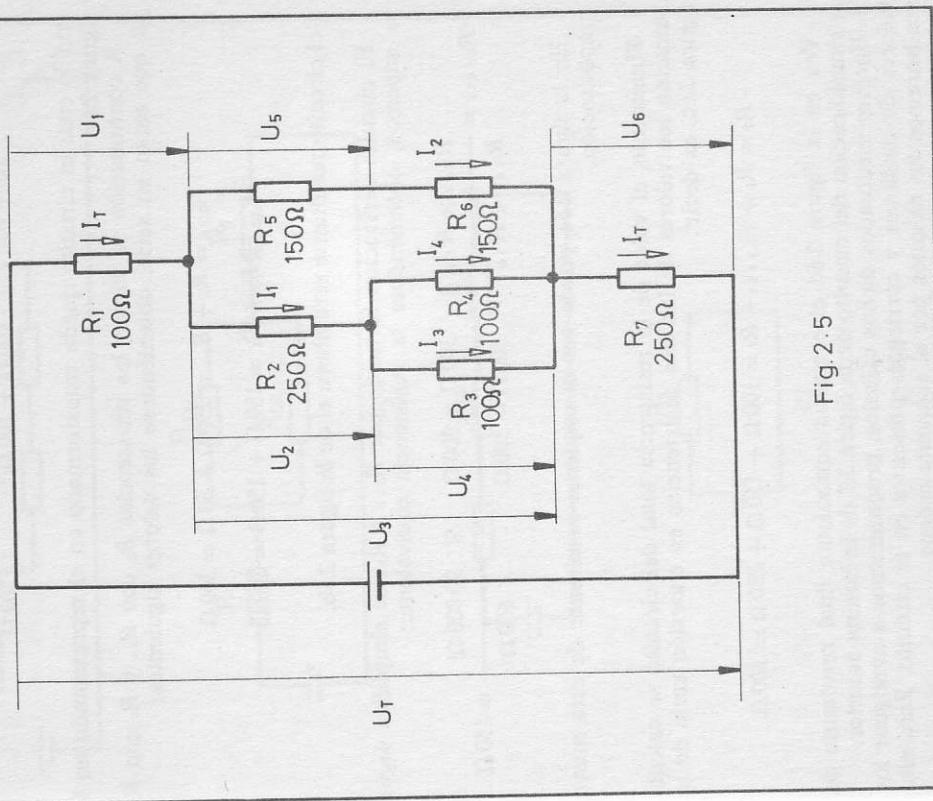
Resistencia  $R_4 = 100 \Omega$

Resistencia  $R_5 = 150 \Omega$

Resistencia  $R_6 = 150 \Omega$

Resistencia  $R_7 = 250 \Omega$

Fig. 2.5



La primera operación a realizar consisten en simplificar el circuito, es decir, buscar una resistencia equivalente al conjunto de todas las resistencias presentes en el circuito. Para ello se comienza simplificando todas las resistencias en derivación; en nuestro caso podemos empezar por las resistencias  $R_3$  y  $R_4$ . El valor de la resistencia equivalente, que denominaremos  $R_{34}$ , será:

$$R_{34} = \frac{100\ \Omega \times 100\ \Omega}{100\ \Omega + 100\ \Omega} = \frac{10\ 000\ \Omega^2}{200\ \Omega} = 50\ \Omega$$

con lo cual el circuito queda transformado en el representado en la figura 2.6a.

A continuación se suman las resistencias  $R_2$  con  $R_{34}$  y  $R_5$  con  $R_6$ , ya que están en serie, obteniéndose los valores siguientes:

$$R_{234} = R_2 + R_{34} = 250\ \Omega + 50\ \Omega = 300\ \Omega$$

$$R_{56} = R_5 + R_6 = 150\ \Omega + 150\ \Omega = 300\ \Omega$$

y el circuito resultante será ahora el de la figura 2.6b.

El circuito derivación formado por  $R_{234}$  y  $R_{56}$  se simplifica según ya sabemos, obteniéndose la resistencia equivalente:

$$R_{23456} = \frac{R_{234} \times R_{56}}{R_{234} + R_{56}} = \frac{300\ \Omega \times 300\ \Omega}{300\ \Omega + 300\ \Omega} = \frac{90\ 000\ \Omega^2}{600\ \Omega} = 150\ \Omega$$

En la figura 2.6c puede ver el esquema resultante de esta nueva simplificación.

Finalmente, el valor de la resistencia total del circuito se calcula sumando los valores de las tres resistencias en conexión serie de la figura 2.6c, es decir:

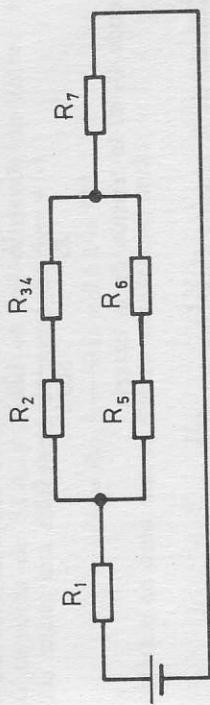
$$R_t = R_1 + R_{23456} + R_7 = 100\ \Omega + 150\ \Omega + 250\ \Omega = 500\ \Omega$$

Vea en la figura 2.6d el esquema equivalente final resultante de la simplificación del circuito de la figura 2.5 de la lámina anterior.

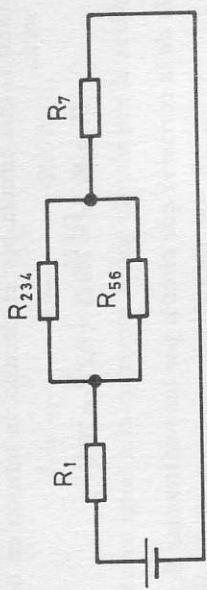
Una vez efectuados dichos cálculos, procederemos a averiguar los valores de tensiones y corrientes presentes en el circuito. Para ello realizaremos los cálculos por el siguiente orden:

### SIMPLIFICACIÓN DE CIRCUITOS CON RESISTENCIAS

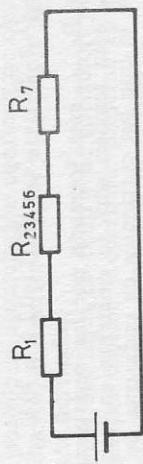
LAMINA  
2.4



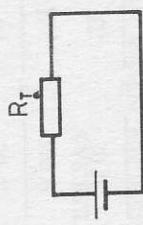
a)



b)



c)



d)

Fig. 2.6

1.<sup>o</sup> Cálculo de la corriente total  $I_T$  que circula por el circuito.

Esta corriente es la que circula por la resistencia equivalente  $R_T$ , por lo que su valor será:

$$I_T = \frac{U_T}{R_T} = \frac{100 \text{ V}}{500 \text{ V}} = 0,2 \text{ A}$$

en donde  $U_T$  es la tensión de la batería.

2.<sup>o</sup> Cálculo de la tensión  $U_1$  en bornes de la resistencia  $R_1$ .

Como la corriente que circula por dicha resistencia es igual a la corriente total  $I_T$  que circula por el circuito, la tensión en bornes de la misma será:

$$U_1 = R_1 I_T = 100 \Omega \times 0,2 \text{ A} = 20 \text{ V}$$

3.<sup>o</sup> Cálculo de la corriente que circula por las resistencias  $R_{2,3,4}$  y  $R_{5,6}$ .

Como en bornes de la resistencia  $R_{2,3,4,5,6}$  de la figura 2.6c hay una diferencia de potencial de:

$$U_3 = R_{2,3,4,5,6} I_T = 150 \Omega \times 0,2 \text{ A} = 30 \text{ V}$$

y la resistencia  $R_{2,3,4,5,6}$  está formada por las resistencias en derivación  $R_{2,3,4}$  y  $R_{5,6}$ , esta tensión será la existente en bornes de dichas resistencias, por lo que las corrientes en cada una de estas últimas serán:

$$I_1 = \frac{U_3}{R_{2,3,4}} = \frac{30 \text{ V}}{300 \Omega} = 0,1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_3}{R_{5,6}} = \frac{30 \text{ V}}{300 \Omega} = 0,1 \text{ A}$$

Como puede apreciar, la suma de ambas corrientes es igual a la corriente total  $I_T$ . Efectivamente:

$$I_T = I_1 + I_2 = 0,1 \text{ A} + 0,1 \text{ A} = 0,2 \text{ A}$$

4.<sup>o</sup> Cálculo de la corriente que circula por las resistencias  $R_3$ ,  $R_4$  y  $R_5$ .

La corriente que circula por  $R_2$  será de 0,1 A, ya que por esta resistencia pasa la misma corriente que por la resistencia equivalente  $R_{2,3,4}$ . La corriente que circula por el conjunto de  $R_3$  y  $R_4$  será por tanto también de 0,1 A, y como en los extremos de ambas resistencias existe una diferencia de potencial de:

$$U_4 = R_3 I_1, \quad I_1 = 50 \Omega \times 0,1 \text{ A} = 5 \text{ V}$$

la corriente en cada una de dichas resistencias será:

$$I_3 = \frac{U_4}{R_3} = \frac{5 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,05 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{5 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,05 \text{ A}$$

Cuya suma es igual a la corriente  $I_1$ , que circula por la resistencia  $R_2$ .

5.<sup>o</sup> Cálculo de la corriente que circula por  $R_7$ .

La corriente que circula por  $R_7$  es igual a la corriente total  $I_T$ , ya que no siendo posible la acumulación continua de electricidad en un punto del conductor, la corriente total es siempre igual a la suma de las corrientes derivadas.

Aplicando, pues, las leyes de Ohm y de Kirchhoff puede deducirse el valor de cualquier tensión y corriente presente en una resistencia de un circuito como el que acabamos de exponer.

## CIRCUITOS DE RESISTENCIAS

Describir todos los circuitos que pueden realizarse con resistencias superaría en mucho la extensión de esta obra. Por esta razón, y considerando que después de todo lo expuesto en el presente capítulo el lector se encuentra en condiciones de diseñar y calcular cualquier circuito práctico con resistencias, a continuación desarrollaremos, como ejemplo de circuitos con resistencias, el estudio de los circuitos divisorios de tensión y atenuadores.

## LAMINAS 2.5 Y 2.6. DIVISORES DE TENSIÓN

Cuando, a partir de una fuente de alimentación de tensión dada, se desea obtener una tensión de valor inferior, puede reunirse a los denominados *divisores de tensión*.

Un divisor de tensión está compuesto por dos o más resistencias, conectadas de forma que en bornes de una de ellas aparezca la tensión deseada.

En la figura 2.7 se ha dibujado el esquema de un divisor de tensión formado por dos resistencias iguales conectadas en serie. La tensión en bornes de cada resistencia es directamente proporcional a su valor ohmico. Como, en el caso que nos ocupa, ambas resistencias tienen el mismo valor ohmico, la tensión en bornes de cada una es exactamente la mitad de la tensión total. Esto que acabamos de exponer es válido sea cual sea el valor ohmico de las citadas resistencias, siempre que, repetimos, sean iguales. Efectivamente, supongamos que las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  sean de  $50\Omega$  cada una. En este caso se tiene:

— Resistencia total del circuito:

$$R_T = R_1 + R_2 = 50\Omega + 50\Omega = 100\Omega$$

— Intensidad de corriente total que circula por el circuito:

$$I_T = \frac{U_T}{R_T} = \frac{20V}{100\Omega} = 0,2A$$

— Tensión en bornes de  $R_1$ :

$$U_1 = R_1 I_T = 50\Omega \times 0,2A = 10V$$

— Tensión en bornes de  $R_2$ :

$$U_2 = R_2 I_T = 50\Omega \times 0,2A = 10V$$

Supongamos ahora que el valor de cada una de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  sea de  $400k\Omega$ . En este caso se tiene:

— Resistencia total del circuito:

$$R_T = R_1 + R_2 = 400k\Omega + 400k\Omega = 800k\Omega$$

DIVISORES DE TENSIÓN	LAMINA 2.5
----------------------	---------------

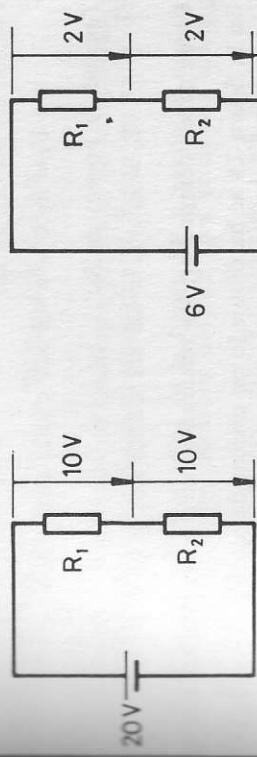
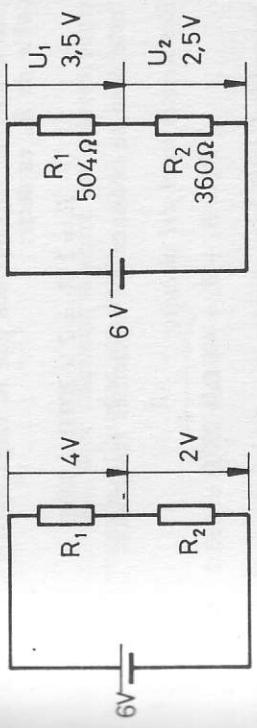


Fig. 2.7

$$R_1 = R_2$$

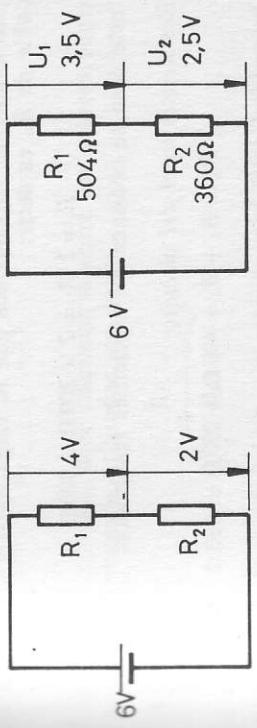
$$R_1 = R_2 = R_3$$

Fig. 2.8



$$R_1 = R_2 = R_3$$

Fig. 2.10



$$R_1 = 2R_2$$

Fig. 2.9

— Intensidad de corriente total que circula por el circuito:

$$I_r = \frac{U_r}{R_r} = \frac{20 \text{ V}}{800 \text{ k}\Omega} = 0,025 \text{ mA} = 25 \mu\text{A}$$

— Tensión en bornes de  $R_1$ :

$$U_1 = R_1 \times I_r = 400 \text{ k}\Omega \times 0,025 \text{ mA} = 10 \text{ V}$$

— Tensión de bornes de  $R_2$ :

$$U_2 = R_2 \times I_r = 400 \text{ k}\Omega \times 0,025 \text{ mA} = 10 \text{ V}$$

Como puede comprobar, los resultados son los mismos en ambos casos.

En la figura 2.8 se ha dibujado un divisor de tensión formado por tres resistencias iguales en serie. En este caso, en bornes de cada una de las resistencias aparece una tensión cuyo valor es igual a  $1/3$  de la tensión total aplicada al circuito, sea cual sea el valor ohmico de dichas resistencias siempre y cuando se cumpla la igualdad de valores entre ellas.

Si en lugar de tres se disponen cuatro resistencias iguales en serie, la tensión en bornes de cada una de ellas será igual a la cuarta parte de la tensión total, si son cinco la quinta parte y así sucesivamente. En los ejemplos expuestos se han considerado que todas las resistencias son iguales. Ello es válido siempre que se quiera dividir por dos el valor de la tensión total aplicada al circuito. En el caso que se quiera dividir por tres, el circuito de la figura 2.8 no esaconsejable, puesto que en él se emplean tres resistencias. Para sustituirlo por uno en el que sólo se empleen dos resistencias, bastará con que una de ellas tenga un valor doble que la anterior (Fig. 2.9).

Efectivamente, supongamos que  $R_2$  valga  $200 \Omega$  y que  $R_1$  sea igual al doble de  $R_2$ , es decir:

$$R_1 = 2 \times 200 \Omega = 400 \Omega$$

En este caso se obtienen los siguientes resultados:

— Resistencia total del circuito:

$$R_r = R_1 + R_2 = 400 \Omega + 200 \Omega = 600 \Omega$$

— Intensidad total que circula por el circuito:

$$I_r = \frac{U_r}{R_r} = \frac{6 \text{ V}}{600 \Omega} = 0,01 \text{ A}$$

es decir  $R_1$  ha de ser 1,4 veces mayor que  $R_2$ .

— Tensión en bornes de  $R_1$ :

$$U_1 = R_1 \times I_r = 400 \Omega \times 0,01 \text{ A} = 4 \text{ V}$$

— Tensión en bornes de  $R_2$ :

$$U_2 = R_2 \times I_r = 200 \Omega \times 0,01 \text{ A} = 2 \text{ V}$$

Los mismos resultados de tensiones parciales se obtendrían con otros valores de resistencias siempre que  $R_1$  tenga un valor doble que  $R_2$ . Observe que en el circuito de la figura 2.9, a partir de una única fuente de alimentación, podemos obtener tres tensiones diferentes ( $6 \text{ V}, 4 \text{ V} \text{ y } 2 \text{ V}$ ).

Siguiendo el procedimiento descrito podemos, pues, obtener cualquier tensión que sea inferior a la de la fuente de alimentación con solo dos resistencias. Veamos un ejemplo. Supongamos que, a partir de una fuente de alimentación de  $6 \text{ V}$  necesitamos obtener, para la alimentación de una parte de un circuito, una tensión  $U_1$  de  $3,5 \text{ V}$ .

El primer paso consistirá en deducir la relación de tensiones  $U_1 / U_2$ . Como  $U_2$  es igual a:

$$U_2 = U_r - U_1 = 6 \text{ V} - 3,5 \text{ V} = 2,5 \text{ V}$$

la relación de tensiones será:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{3,5 \text{ V}}{2,5 \text{ V}} = 1,4$$

Esta misma relación debe mantenerse entre los valores ohmicos de las dos resistencias utilizadas, es decir:

$$\frac{R_1}{R_2} = 1,4$$

de donde se deduce que:

$$R_1 = 1,4 R_2$$

Si tenemos una resistencia de  $100\Omega$ , y la utilizamos como  $R_2$ , el valor de  $R_1$  será, pues, de:

$$R_1 = 1,4 \cdot R_2 = 1,40 \times 100 = 140\Omega$$

Comprobemos la exactitud de los cálculos efectuados:

— *Resistencia total del circuito:*

$$R_T = R_1 + R_2 = 140\Omega + 100\Omega = 240\Omega$$

— *Intensidad total que circula por el circuito:*

$$I_T = \frac{U_r}{R_T} = \frac{6\text{ V}}{240\Omega} = 0,025\text{ A}$$

— *Tensión en bornes de  $R_1$ :*

$$U_1 = R_1 \times I_T = 140\Omega \times 0,025\text{ A} = 3,5\text{ V}$$

(Esta es la tensión que se deseaba obtener.)

— *Tensión en bornes de  $R_2$ :*

$$U_2 = R_2 \times I_T = 100\Omega \times 0,025\text{ A} = 2,5\text{ V}$$

En la figura 2.10 se ha dibujado el esquema del circuito pero utilizando otros valores de resistencias. Compruebe que la relación  $R_1/R_2$  es igualmente de 1,4 y por lo tanto también se obtiene, a partir de una tensión de 6V, las tensiones deseadas. Naturalmente, si varía el valor de la tensión de alimentación, la relación  $U_1/U_2$  será diferente y por lo tanto también serán diferentes los valores de las resistencias utilizadas para poder obtener la tensión  $U_1$  de 3,5V.

Si los valores de resistencias que se necesitan para obtener una tensión dada no se encuentran normalizados, se tendrá que buscar la resistencia equivalente a base de un circuito mixto (serie-paralelo).

Se pueden formar circuitos compuestos de tres o más resistencias con el fin de obtener numerosos valores de tensión. Estos circuitos son muy utilizados en electrónica para la alimentación de circuitos, a partir de una fuente de alimentación única de corriente continua.

Como ejemplo hemos dibujado en la figura 2.11 un circuito mediante el cual con sólo cuatro resistencias y a partir de una tensión de alimentación de 9V se obtienen 10 tensiones diferentes:

- (U<sub>1</sub>) Entre los puntos A y B (resistencia  $R_1$ ) = 0,5 V
- (U<sub>2</sub>) Entre los puntos B y C (resistencia  $R_2$ ) = 1 V
- (U<sub>3</sub>) Entre los puntos A y C (resistencias  $R_1 + R_2$ ) = 1,5 V
- (U<sub>4</sub>) Entre los puntos C y D (resistencia  $R_3$ ) = 2 V
- (U<sub>5</sub>) Entre los puntos B y D (resistencias  $R_2 + R_3$ ) = 3 V
- (U<sub>6</sub>) Entre los puntos A y D (resistencias  $R_1 + R_2 + R_3$ ) = 3,5 V
- (U<sub>7</sub>) Entre los puntos D y E (resistencia  $R_4$ ) = 5,5 V
- (U<sub>8</sub>) Entre los puntos C y E (resistencias  $R_3 + R_4$ ) = 7,5 V
- (U<sub>9</sub>) Entre los puntos B y E (resistencias  $R_2 + R_3 + R_4$ ) = 8,5 V
- (U<sub>10</sub>) Entre los puntos A y E (resistencias  $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ ) = 9 V

También se puede obtener un divisor de tensión (y de hecho por sí mismo lo es), mediante un potenciómetro (Fig. 2.12). La tensión total o tensión de entrada  $U_o$  se aplica a los bornes externos del potenciómetro, mientras que entre el contacto deslizante y cada uno de los contactos fijos aparecen dos tensiones de salida  $U_{s1}$  y  $U_{s2}$  cuya suma será siempre igual a la tensión total aplicada. Las tensiones  $U_{s1}$  y  $U_{s2}$  de la figura 2.12 dependerán de la posición del contacto deslizante, y variarán entre 0 V y la tensión máxima aplicada al potenciómetro. Es de hacer destacar que cuando la tensión  $U_{s2}$  es igual a la tensión máxima de la fuente de alimentación,  $U_{s1}$  es igual a 0 V e inversamente.

Cuando se desea que una de las tensiones  $U_{s1}$  o  $U_{s2}$  no alcance nunca el valor 0 V basta con conectar en serie con el potenciómetro una resistencia, tal y como se muestra en el esquema de la figura 2.13. Como ejemplo de cálculo desarrollaremos el de este último circuito.

— *Resistencia total del circuito*

$$R_T = R_1 + R_2 = 500\Omega + 500\Omega = 1\,000\Omega$$

— *Intensidad de corriente total que circula por el circuito*

$$I_T = \frac{U_r}{R_T} = \frac{10\text{ V}}{1\,000\Omega} = 0,01\text{ A}$$

- Tensión  $U_{s2}$  máxima (cuando el contacto deslizante del potenciómetro está en contacto con el contacto fijo B).

$$U_{s2} = (R_1 + R_2) I_r = (500 \Omega + 500 \Omega) 0,01 A = 10 V$$

En esta circunstancia  $U_{s1}$  es igual a 0 V.

- Tensión  $U_{s1}$  máxima (cuando el contacto deslizante del potenciómetro está en contacto con el contacto A).

$$U_{s1} = R_2 I = 500 \Omega \times 0,01 A = 5 V$$

En esta circunstancia  $U_{s2} = 5 V$ .

Así pues, mediante el circuito de la figura se obtiene un divisor de tensión a cuya salida se obtienen dos tensiones:

$U_{s1}$  variable entre 5 V y 0 V (según posición del cursor del potenciómetro)

$U_{s2}$  variable entre 10 V y 5 V (según posición del cursor del potenciómetro).

Variando los componentes utilizados por otros de distinto valor (iguales entre sí o no), se pueden obtener infinito número de posibilidades de tensiones de salida, variables entre 0 y un valor máximo, o entre un valor determinado y el máximo, o entre dos valores determinados. En este último caso es preciso conectar otra resistencia fija en serie con el potenciómetro, en conexión eléctrica con el punto B del mismo.

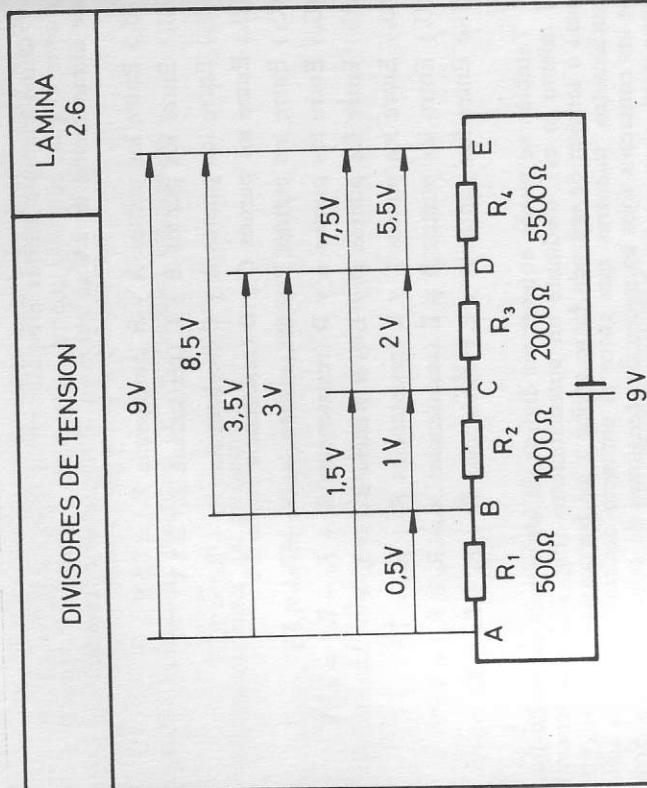


Fig. 2.11

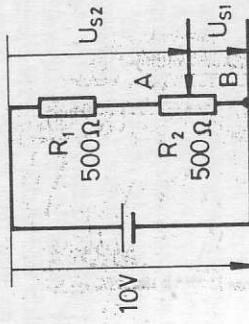


Fig. 2.12

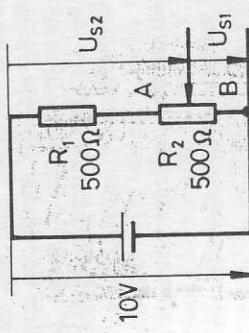


Fig. 2.13

### LAMINAS 2.7, 2.8 y 2.9. ATENUADORES

Se denomina atenuador a todo circuito formado por elementos resistivo fijos y variables, mediante los cuales es posible reducir una señal eléctrica a un valor deseado sin introducir ninguna distorsión apreciable.

En un principio los atenuadores pueden clasificarse como *atenuadores fijos*, *variables por escalones* y de *variación continua*. Un divisor de tensión, como los descritos en las páginas anteriores, es un ejemplo para un elemento atenuador fijo y un potenciómetro para uno de variación continua.

Es conveniente no interpretar la palabra atenuación como disminución, sino simplemente como relación entre dos magnitudes, en nuestro caso será *atenuación de tensión*. Así pues, la relación entre la tensión de entrada  $U_e$  y la salida  $U_s$  se denomina atenuación de tensión.

La atenuación, al ser una relación entre dos magnitudes iguales se expresa en decibelios, y se expresa matemáticamente por la fórmula:

$$A = 20 \log \frac{U_e}{U_s}$$

Así, por ejemplo, si la tensión de entrada es  $U_e = 10 \text{ V}$  y la tensión de salida  $U_s = 0.1 \text{ V}$ , la atenuación será de:

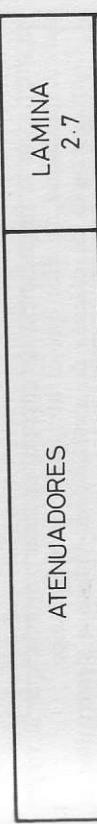
$$A = 20 \log \frac{U_e}{U_s} = 20 \log \frac{10}{0.1} = 20 \log 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

Según la disposición de los elementos resitivos, los atenuadores podemos clasificarlos en:

- atenuadores en L (Fig. 2.14)
- atenuadores en T (Fig. 2.15)
- atenuadores en II (Fig. 2.16)
- atenuadores cruzados (Fig. 2.17)
- atenuadores en H (Fig. 2.18)

Como podrá observar, en todos ellos se tienen dos bornes de entrada y otros dos de salida; se tratan, pues, de cuádrupolos.

Por otra parte se tiene que, en algunos casos, es necesario que la impedancia de entrada sea igual a la impedancia de salida, en cuyo caso se dice que el atenuador es simétrico. En caso contrario, es



ATENUADORES  
LAMINA 2.7

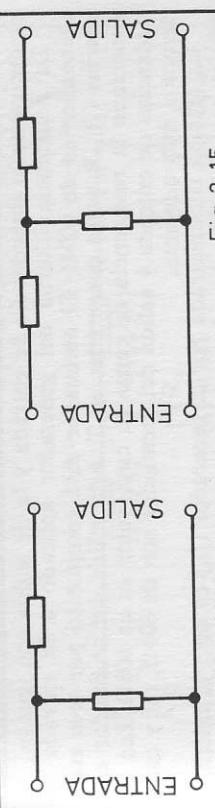


Fig. 2.14

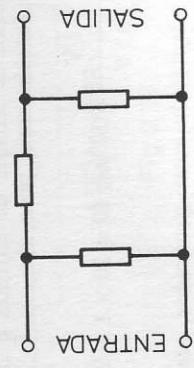


Fig. 2.15

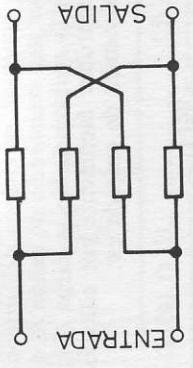


Fig. 2.16

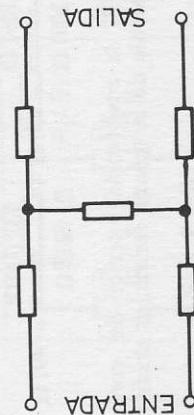


Fig. 2.17



Fig. 2.18

dicir cuando la impedancia de entrada es más pequeña que la impedancia de salida, se dice que el atenuador es asimétrico.

Como ejemplo de cálculo de atenuadores vamos a desarrollar el que se muestra en la figura 2.19, el cual es un atenuador T simétrico, es decir que la impedancia de entrada y la de salida son iguales.

La resistencia interna del generador aplicado a la entrada del atenuador es de  $600\Omega$ . El atenuador está compuesto por tres resistencias ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ) conectadas en T. A la salida del atenuador está conectada la resistencia de carga  $R_c$  cuyo valor es de  $600\Omega$ . Las impedancias de entrada y salida del atenuador son de  $600\Omega$ , tal y como veremos más adelante.

La tensión suministrada por el generador ( $U_s$ ) es de  $1V$ , mientras que la tensión aplicada a la resistencia de carga ( $U_c$ ) es de  $0,1V$ , es decir el atenuador reduce la tensión de entrada a la décima parte.

La atenuación de tensión será, pues, de:

$$A = 20 \log \frac{1V}{0,1V} = 20 \log 10 = 20 \times 1 = 20 \text{ dB}$$

El principio de la adaptación entre generador, atenuador y carga consiste, pues, en que la conexión en cadena del atenuador, junto con la carga, debe tener una resistencia de entrada  $R_s$  de  $600\Omega$ , es decir, debe estar adaptado a la resistencia interior del generador (Fig. 2.20). Además, la conexión en cadena del atenuador, junto con el generador, debe tener una resistencia de salida  $R_e$  de  $600\Omega$ , es decir debe estar adaptado a la resistencia de la carga (Fig. 2.21). Todo lo expuesto se puede comprobar fácilmente por cálculo. En el circuito de la figura 2.20 la resistencia de entrada es:

$$R_s = R_i + \frac{R_2 (R_3 + R_e)}{R_2 + (R_3 + R_e)} = \frac{491\Omega + \frac{121\Omega (491\Omega + 600\Omega)}{121\Omega + 491\Omega + 600\Omega}}{121\Omega + (R_3 + R_e)} =$$

$$= 491\Omega + \frac{121\Omega \times 1091\Omega}{121\Omega + 1091\Omega} = 491\Omega + \frac{132\,000\Omega^2}{1212\Omega} = 491\Omega + 109\Omega = 600\Omega$$

En la figura 2.21 la resistencia interior del conjunto generador + atenuador se calcula de la misma forma, es decir por la fórmula:

$$R_s = R_i + \frac{R_2 (R_3 + R_e)}{R_2 + (R_3 + R_i)}$$

y como  $R_i$  es igual a  $R_e$ , podemos deducir que  $R_s = R_s$ ,

ATENUADORES	LAMINA 2.8
GENERADOR	CARGA

ATENUADOR	CARGA	Fig. 2.19

ATENUADOR + CARGA	Fig. 2.20

GENERADOR+ATENUADOR	Fig. 2.21

Para terminar, vamos a demostrar que en el circuito expuesto la atenuación de tensión es efectivamente de 20 dB, es decir que la tensión de salida es la décima parte de la de entrada. Para ello debemos simplificar el circuito de la figura 2.20, tal y como se ha expuesto en la lámina 2.9, hasta obtener el circuito equivalente de la figura 2.22 cuyo valor ohmico es igual a 600 Ω, tal y como se ha calculado anteriormente.

La intensidad de corriente que circula por el circuito de la figura 2.22 será:

$$I_r = \frac{U_e}{R_e} = \frac{10 \text{ V}}{600 \Omega} = 0,016 \text{ A}$$

Esta misma corriente es la que circula por el circuito equivalente de la figura 2.23, puesto que se trata de un circuito serie formado por  $R_1$  y la resistencia equivalente  $R_{23e}$ .

La tensión en bornes del conjunto de resistencias  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_e$  valdrá pues:

$$U_{23e} = I_r \cdot R_{23e}$$

es decir

$$\begin{aligned} U_{23e} &= I_r \frac{R_2 (R_3 + R_e)}{R_2 + R_3 + R_e} = 0,016 \text{ A} \frac{121 \Omega (491 \Omega + 600 \Omega)}{121 \Omega + 491 \Omega + 600 \Omega} = \\ &= 0,016 \text{ A} \frac{132011 \Omega^2}{1212 \Omega} = 0,016 \text{ A} \cdot 108,92 \Omega = 1,8153327 \text{ V} \end{aligned}$$

La tensión en bornes de  $R_e$  valdrá:

$$U_e = I_r R_e = 0,016 \text{ A} \cdot 491 \Omega = 8,183 \text{ V}$$

Observe que la suma de ambas tensiones es igual a la tensión de entrada  $U_e$ , es decir

$$U_e = U_1 + U_{23e}$$

Pasemos ahora al esquema equivalente de la figura 2.24. En él se tiene que la tensión en bornes de la resistencia  $R_2$  es igual a la ten-

ATENUADORES	LAMINA 2.9.
-------------	----------------

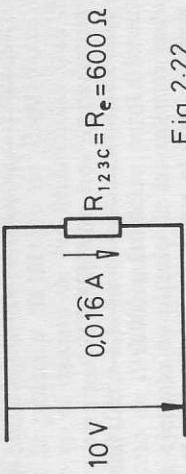


Fig. 2.22

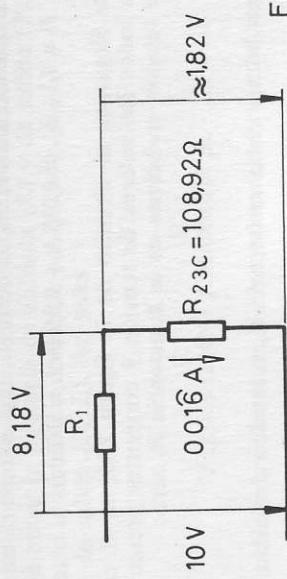


Fig. 2.23

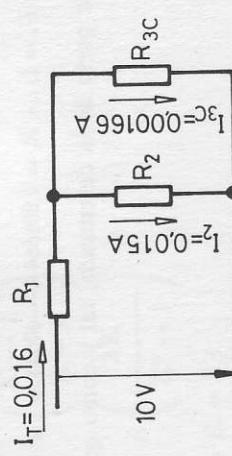


Fig. 2.24

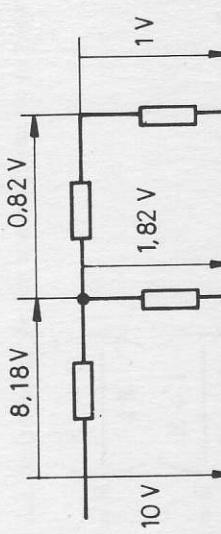


Fig. 2.25

sión en bornes de las resistencias equivalentes  $R_{3e}$ , por lo tanto la corriente que circulará por cada una de dichas resistencias será:

$$I_2 = \frac{U_{23e}}{R_2} = \frac{1,8153327 \text{ V}}{121 \Omega} \approx 0,015 \text{ A.}$$

$$I_3 = \frac{U_{23e}}{R_{3e}} = \frac{1,8153327 \text{ V}}{491 \Omega + 600 \Omega} \approx 0,001664 \text{ A}$$

Observe también que la suma de las dos corrientes es igual a la corriente total que circula por  $R_s$ , es decir:

$$I_r = I_2 + I_{3e} \approx 0,015 \text{ A} + 0,001664 \text{ A} \approx 0,01664 \text{ A}$$

Finalmente llegamos al circuito de la figura 2.15, en el cual se han indicado todos los valores de tensión y corrientes presentes en el mismo. La tensión en bornes de la resistencia  $R_3$  será:

$$U_3 = I_{3e} \cdot R_3 = 0,001664 \text{ A} \cdot 491 \Omega = 0,82 \text{ V}$$

y la tensión en bornes de la resistencia  $R_e$ , o tensión de salida  $U_e$ , del circuito será:

$$U_e = U_s = I_{3e} \cdot R_e = 0,001664 \text{ A} \cdot 600 \Omega = 1 \text{ V}$$

es decir la décima parte de la de entrada, tal y como queríamos demostrar.

#### LAMINA 2.10. ATENUADORES SIMETRICOS

Hemos visto las peculiaridades de los atenuadores así como el cálculo de la tensión de salida en un atenuador en T a partir de la tensión de salida y de los valores de las resistencias utilizadas en el mismo. Sin embargo, en la práctica al técnico en Electrónica lo que más puede interesarle es el cálculo de las resistencias que debe utilizar para obtener una atenuación dada con una impedancia de entrada y salida determinada. Por este motivo, a continuación se exponen las fórmulas de cálculo de dichas resistencias para diferentes tipos de atenuadores y un ejemplo de cálculo de las mismas para un atenuador simétrico en II.

En las fórmulas que siguen a continuación consideraremos N la relación entre la potencia de entrada ( $P_e$ ) y de salida ( $P_s$ ) y K la relación entre la tensión o corriente en entrada ( $U_e, I_e$ ) y la tensión o corriente de salida ( $U_s, I_s$ ). Así pues

$$N = \frac{P_e}{P_s} \quad K = \frac{U_e}{U_s} \quad K = \frac{I_e}{I_s}$$

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 2.26.

$$R_1 = R \left( \frac{K - 1}{K + 2} \right)$$

$$R_2 = R \left( \frac{2K}{K^2 - 1} \right)$$

(siendo  $R = R_e = R_s$ )

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 2.27.

$$R_1 = R \left( \frac{K^2 - 1}{2K} \right)$$

$$R_2 = R \left( \frac{K + 1}{K - 1} \right)$$

(siendo  $R = R_e = R_s$ )

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 2.28.

$$R_1 = R \quad (K - 1)$$

$$R_2 = R = R_e = R_s$$

$$R_3 = \frac{R}{K - 1}$$

(siendo  $R = R_e = R_s$ )

Ejemplo de cálculo. Determinación de las resistencias que deben emplearse en un atenuador simétrico en II como el de la figura 2.27 de la lámina 2.10.

Datos iniciales:

Impedancias de entrada y salida .....  $R = R_e = R_s = 75 \Omega$ .

Atenuación ..... 14 dB.

Tensión de entrada  $U_e$  ..... 10 V.

Cálculo de la tensión de salida  $U_s$ :

$$A = 20 \log \frac{U_s}{U_e};$$

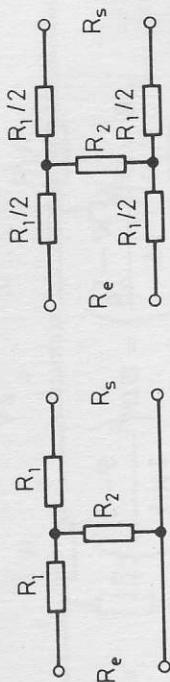
$$14 \text{ dB} = 20 \log \frac{10 \text{ V}}{U_s};$$

$$\frac{14 \text{ dB}}{20} = \log \frac{10 \text{ V}}{U_s};$$

$$0,7 = \log \frac{10 \text{ V}}{U_s}$$

$$5 = \frac{10 \text{ V}}{U_s}; U_s = \frac{10 \text{ V}}{5} = 2 \text{ V}$$

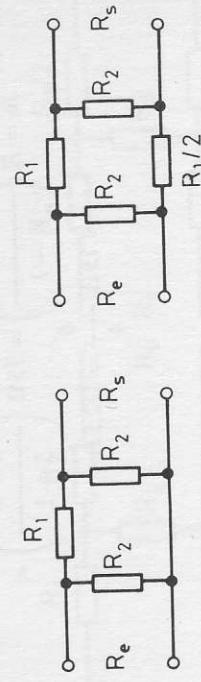
ATENUADORES SIMÉTRICOS		LAMINA 2.10
$R_1$	$R_2$	



a)

b)

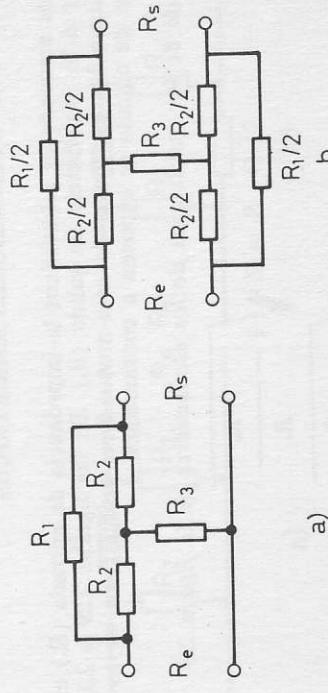
Fig. 2.26



a)

b)

Fig. 2.27



a)

b)

Fig. 2.28

Relación de tensión  $K$ :

$$K = \frac{U_e}{U_s} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 5$$

Cálculo de las resistencias del atenuador:

$$R_1 = R \left( \frac{\frac{K^2 - 1}{K + 1}}{2K} \right) = 75 \Omega \left( \frac{\frac{5^2 - 1}{5 + 1}}{2 \times 5} \right) =$$

$$= 75 \Omega \left( \frac{25 - 1}{10} \right) = 75 \Omega. \quad 2,4 = 180 \Omega$$

$$R_2 = R \left( \frac{\frac{K + 1}{K - 1}}{K + 1} \right) = 75 \Omega \left( \frac{5 + 1}{5 - 1} \right) = \\ = 75 \Omega \frac{6}{4} = 112,5 \Omega$$

### ATENUADORES ASIMÉTRICOS

#### LAMINA 2.11

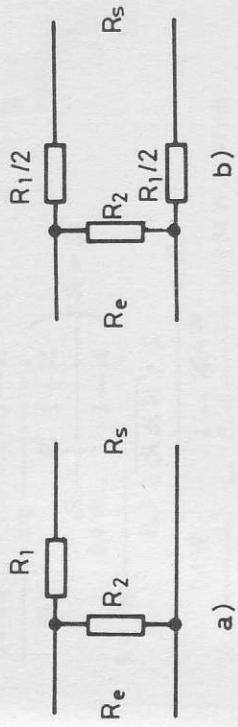


Fig. 2.29

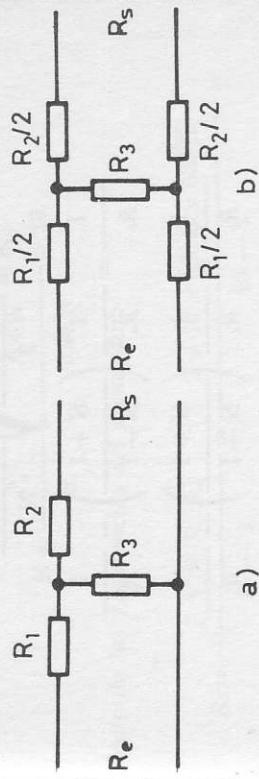


Fig. 2.29

### LAMINA 2.11. ATENUADORES ASIMÉTRICOS

En los atenuadores asimétricos la impedancia de entrada ( $R_e$ ) es inferior a la impedancia de salida ( $R_s$ ). En las figuras 2.29 a 2.31 se muestran los esquemas de seis atenuadores asimétricos cuyas fórmulas de cálculo se exponen a continuación.

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 229

$$R_1 = R_e \sqrt{1 - \frac{R_s}{R_e}}$$

$$R_2 = R_e \sqrt{1 - \frac{R_s}{R_e}}$$

Fig. 2.30

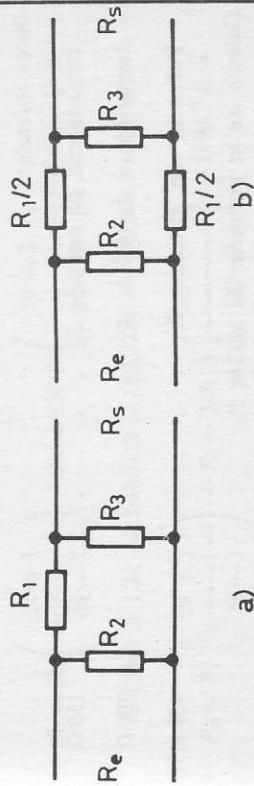


Fig. 2.31

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 2.30

$$R_1 = R_s \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - R_s$$

$$R_2 = R_s \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - R_s$$

$$R_3 = \frac{2 \sqrt{N R_e R_s}}{N-1}$$

$$10 \text{ dB} = 10 \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$\frac{10 \text{ dB}}{10} = \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$1 = \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$10 = \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ; \quad P_s = \frac{0,4 \text{ W}}{10} = 0,04 \text{ W} = 40 \text{ mW}$$

Cálculo de las resistencias de los atenuadores de la figura 2.31

$$R = \frac{(N-1)}{2} \sqrt{\frac{R_e R_s}{N}}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_e} \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - \frac{1}{R_1}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_s} \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - \frac{1}{R_1}$$

$$R_3 = \frac{2 \sqrt{N R_e R_s}}{N-1} = \frac{2 \sqrt{10 \times 150 \Omega \times 300 \Omega}}{10-1} = \\ = \frac{2 \sqrt{450\,000 \Omega^2}}{9} = \frac{2 \times 670,82 \Omega}{9} = \frac{1341,64 \Omega}{9} = 149,07 \Omega$$

Ejemplo de cálculo. Determinación de las resistencias que deben emplearse en un atenuador asimétrico en H como el de la figura 2.30b de la lámina 2.11.

Datos iniciales:

Impedancia de entrada  $R_e$  . . . . . 150 Ω

Impedancia de salida  $R_s$  . . . . . 300 Ω

Potencia de entrada  $P_e$  . . . . . 400 mW

Cálculo de la potencia de salida  $P_s$ :

$$A = 10 \log \frac{P_s}{P_e} ;$$

$$10 \text{ dB} = 10 \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$\frac{10 \text{ dB}}{10} = \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$1 = \log \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ;$$

$$10 = \frac{0,4 \text{ W}}{P_s} ; \quad P_s = \frac{0,4 \text{ W}}{10} = 0,04 \text{ W} = 40 \text{ mW}$$

Relación de potencias N:

$$N = \frac{P_e}{P_s} = \frac{0,4 \text{ W}}{0,04 \text{ W}} = 10$$

Cálculo de las resistencias del atenuador:

$$R_1 = R_s \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - R_s = 150 \Omega \left( \frac{10+1}{10-1} \right) - 149,07 \Omega = \\ = 150 \Omega \times 1,22 - 149,07 \Omega = 183,33 \Omega - 149,07 \Omega = 34,26 \Omega$$

$$R_2 = R_s \left( \frac{N+1}{N-1} \right) - R_s = 300 \Omega \left( \frac{10+1}{10-1} \right) - 149,07 \Omega = \\ = 300 \Omega \times 1,22 - 149,07 \Omega = 366,67 \Omega - 149,07 \Omega = 217,6 \Omega$$

### LAMINA 2.12. ATENUADORES VARIABLES

Los atenuadores variables por escalones consisten generalmente en cadenas, cada uno de cuyos eslabones se puede, según la necesidad, conectar o desconectar. Así, por ejemplo, en la figura 2.32 se pueden regular todos los valores de atenuación entre 0 y 7 dB en escalones de 1 dB.

Los atenuadores de variación continua (sin escalones) son más complicados. En la figura 2.33 se puede ver la llamada conexión *T puenteada*, de uso muy frecuente. Las dos resistencias variables están mecánicamente acopladas entre sí estando, por ejemplo, sobre el mismo eje giratorio.

ATENUADORES VARIABLES	LAMINA 2.12
-----------------------	----------------

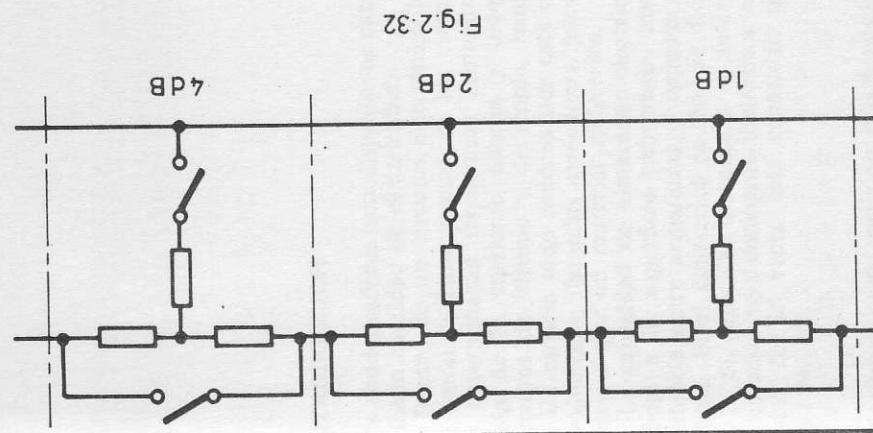
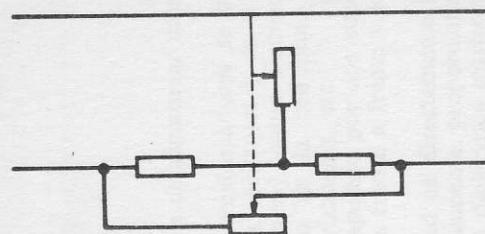


Fig. 2.32

Fig. 2.33



### 3. Condensadores

#### INTRODUCCION

Los condensadores son dispositivos capaces de almacenar una determinada cantidad de electricidad.

Dentro de un circuito electrónico los condensadores se utilizan, en unión de inductancias, en los circuitos oscilantes y de selección de determinadas frecuencias (sintonizadores), como elementos de paso de la corriente alterna y bloqueo de la continua, en los circuitos de filtrado o desacoplo, temporizadores, etc.

En esencia todo condensador está compuesto por dos superficies conductoras, llamadas *armaduras*, puestas frente y aisladas entre sí por un material *dieléctrico*. La capacidad de almacenar electricidad es directamente proporcional a la superficie enfrentada, inversamente proporcional a la distancia entre armaduras, y depende del dieléctrico existente entre ambas. Si el dieléctrico es aire, se dice que la constante dieléctrica es 1. Si entre las armaduras se interpone una placa de papel impregnado, cuya constante dieléctrica es 3,5, se obtendrá un condensador de 3,5 veces más capacidad que el mismo con dieléctrico de aire.

#### CLASIFICACION DE LOS CONDENSADORES

El dato más importante de un condensador es su *capacidad*. Esta puede ser *fija* o *variable*; ello nos lleva a distinguir entre dos grandes condensadores: los *condensadores fijos* y los *condensadores variables*.

Por el tipo de dieléctrico los condensadores fijos podemos clasificarlos en:

- condensadores de mica;
- condensadores de papel;
- condensadores de poliestireno (styroflex);
- condensadores de poliéster;
- condensadores de poliéster metalizado;
- condensadores cerámicos;
- condensadores electrolíticos.

Existen sin embargo otros condensadores dotados de otro tipo de dieléctrico, pero que por su poca aplicación no hemos creído necesario citarlos en esta obra.

CONDENSADORES DE MICA	LAMINA 3.1
-----------------------	---------------

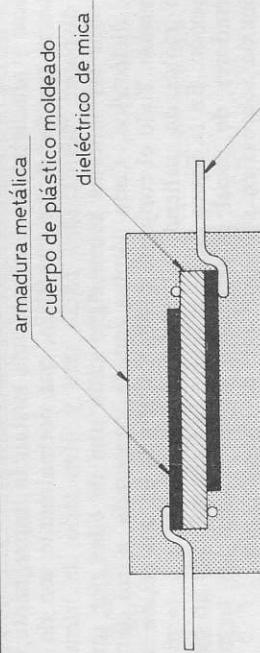


Fig. 3.1  
terminal de conexión

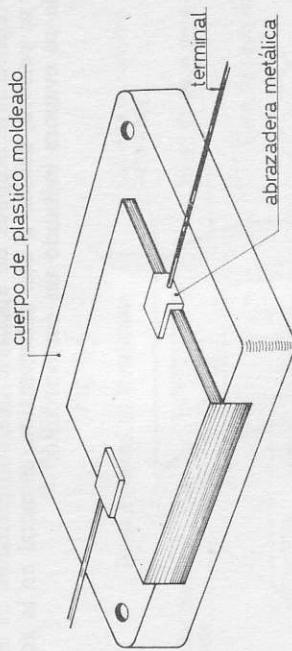


Fig. 3.2

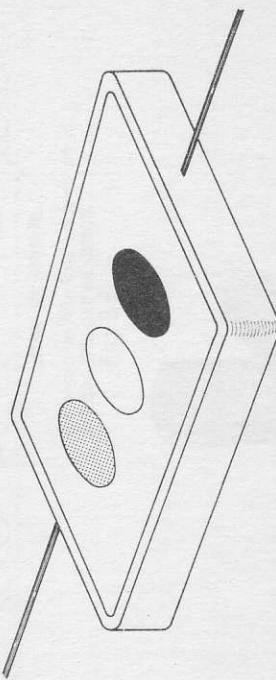


Fig. 3.3

#### LAMINA 3.1. CONDENSADORES DE MICA

Los condensadores de mica consisten en un conjunto de hojas de mica y de aluminio colocadas alternativamente (Fig. 3.1). Las hojas de aluminio de número par se desplazan ligeramente en un sentido y las impares en sentido contrario, de forma que unas bridas metálicas que mantienen apretado al paquete, unen eléctricamente las hojas pares con uno de los terminales y las impares con el otro (Fig. 3.2). El conjunto se protege con un plástico moldeado, tomando un aspecto semejante al dibujado en la figura 3.3.

Las hojas de aluminio fueron posteriormente sustituidas por un metalizado superficial de la hoja de mica.  
Los condensadores de mica resultan en la actualidad de elevado precio, razón por la cual se limita su empleo a aparatos profesionales.

### LAMINA 3.2. CONDENSADORES DE PAPEL

Los condensadores con dieléctrico de papel son de uso general. Se construyen enrollando una hoja de papel entre otras dos hojas metálicas y añadiendo al conjunto una sustancia impregnante (Fig. 3.4). Observe que las hojas metálicas, que normalmente son de aluminio, se disponen desplazadas hacia uno y otro lado de forma que al enrollar las láminas sobresalgan cada una de ellas por un extremo del dieléctrico. Cada lámina queda conectada a un terminal de conexión. Todo el conjunto queda encerrado en una resina termoplástica moldeada, saliendo al exterior únicamente los terminales de conexión. En la figura 3.5 se muestra la fotografía de un par de condensadores de papel impregnado, en los cuales los terminales de conexión sobresalen sólo por uno de sus extremos.

Una variante de los condensadores de papel son los de *papel metalizado*. En éstos un lado del papel está metalizado (Fig. 3.6). Este procedimiento de fabricación evita los posibles huecos entre el dieléctrico y las armaduras. Como principales características de estos condensadores cabe destacar su pequeño tamaño y su poder autorregenerante después de aplicarle una sobretensión. Si el dieléctrico se perfora, debido a una sobretensión, el metal en la zona perforada se evapora evitando un cortocircuito.

CONDENSADORES DE PAPEL	LAMINA 3.2
------------------------	---------------

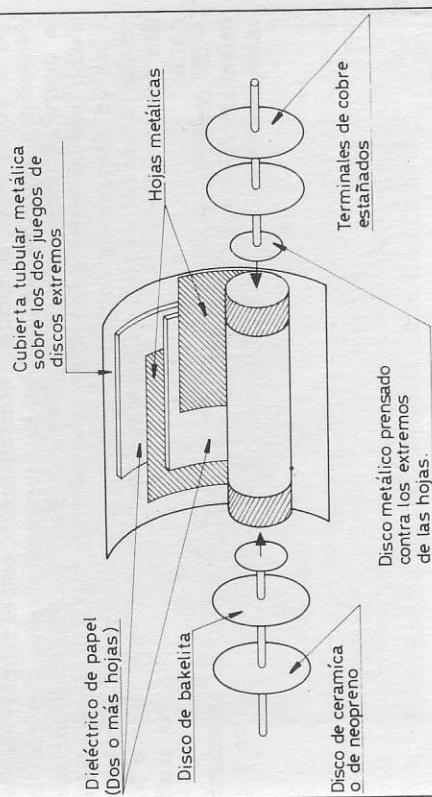


Fig. 3.4

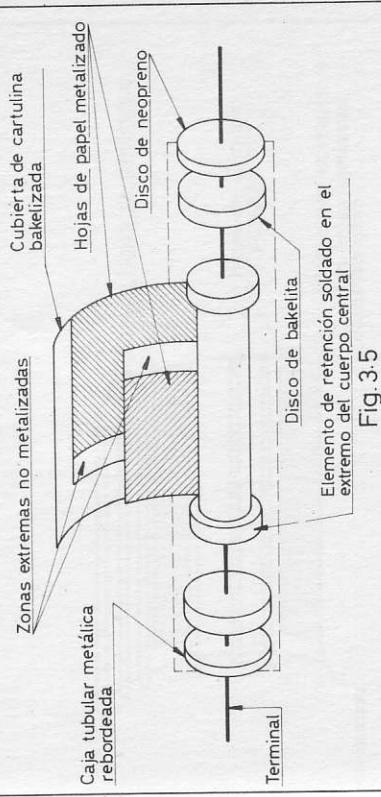


Fig. 3.5

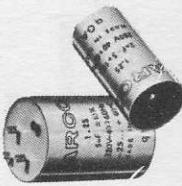


Fig. 3.6

### LAMINA 3.3. CONDENSADORES DE POLIESTIRENO (STYROFLEX)

Uno de los primeros condensadores con dieléctrico de plástico fueron los de poliestireno, conocidos comercialmente con el nombre de condensadores *styroflex*, de los que se muestran algunos ejemplos en la figura 3.7. En estos condensadores el dieléctrico es bastante más ancho que las hojas de aluminio o estaño. Las hojas de poliestireno y las de aluminio se enrollan (Fig. 3.8) y a continuación se colocan sendos alambres con el extremo aplanoado (uno a cada lado o los dos por el mismo lado) que sirven para la conexión con las armaduras.

El conjunto de láminas de aluminio y el dieléctrico es finalmente calentado con el fin de que se contraiga el exceso de plástico y el condensador quede cerrado.

CONDENSADORES DE POLIESTIRENO	LAMINA 3.3
-------------------------------	------------

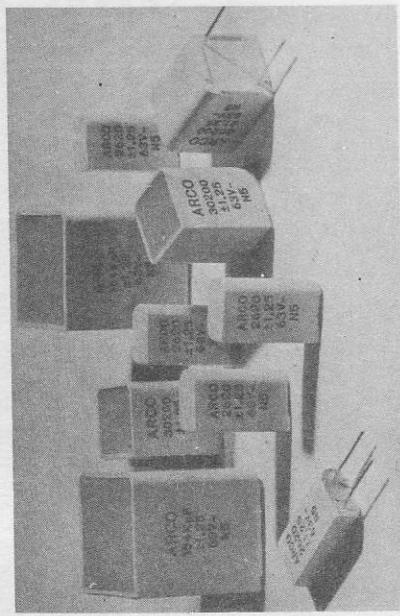
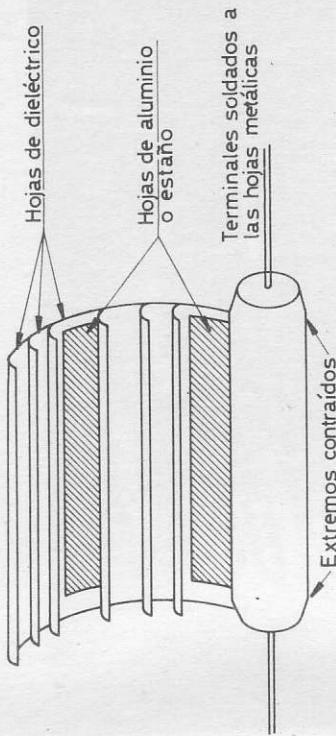


Fig. 3.7



Forma tubular(aislada)

Fig. 3.8

#### LAMINA 3.4. CONDENSADORES DE POLIESTER

Los condensadores de poliéster han sustituido a los de papel. Su construcción es idéntica a la de aquéllos con la única diferencia de sustituir el dieléctrico de papel por uno de poliéster, y metalizar los extremos salientes de las cintas de aluminio de forma que las espiras de dichas cintas queden cortocircuitadas, reduciéndose así la inductancia parásita creada por las espiras (Fig. 3.9). A dichos condensadores se le denominan por tal motivo como condensadores inductivamente pobres.

En la figura 3.10 se muestra la fotografía de varios condensadores de poliéster como los que acabamos de describir.

#### CONDENSADORES DE POLIESTER

LAMINA  
3.4

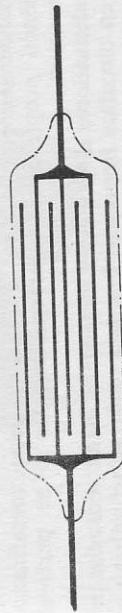


Fig. 3.9

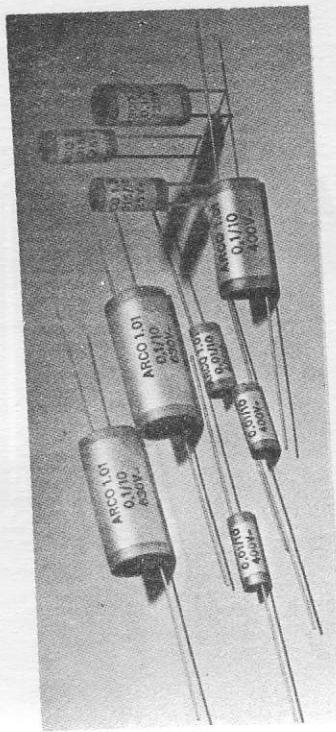


Fig. 3.10

### LAMINA 3.5. CONDENSADORES DE POLIESTER METALIZADO

Con el fin de reducir las dimensiones de los condensadores de poliéster, en los últimos años se han desarrollado una nueva técnica de fabricación en la cual las cintas de aluminio se han sustituidos por un metalizado superficial de las hojas de poliéster. Estos condensadores reciben por tal motivo la denominación de *condensadores de poliéster metalizado*, y de los cuales mostramos una foto en la figura 3.11.

Estos condensadores, al igual que los de papel metalizado antes citados, tienen propiedades autorregenerativas si se perforan por una sobre tensión.

Los condensadores de poliéster metalizado están pensados para ser utilizados en circuitos impresos. Por esta razón acostumbran a devanarse las cintas metalizadas en forma plana en lugar de cilíndrica (Fig. 3.12) y los terminales no salen axialmente sino paralelamente. El condensador propiamente dicho se presenta recubierto de laca en forma de cajita de plástico en forma de cubo y, muy raramente, en forma cilíndrica.

Existen dentro del grupo de los condensadores de poliéster metalizado la versión de *polícarbonato metalizado* (Fig. 3.13) con inferiores pérdidas y superior factor de potencia.

CONDENSADORES DE POLIESTER METALIZADO	LAMINA 3.5
---------------------------------------	---------------

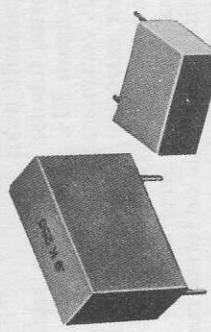


Fig. 3.11

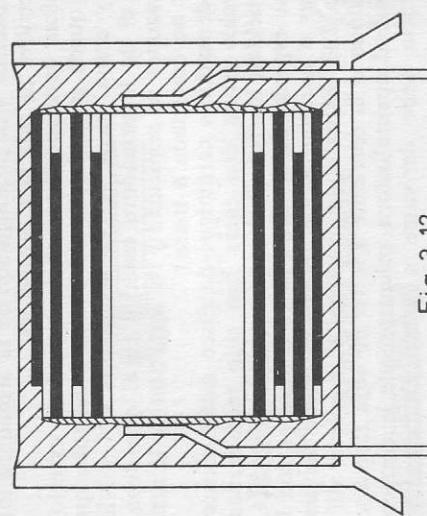


Fig. 3.12

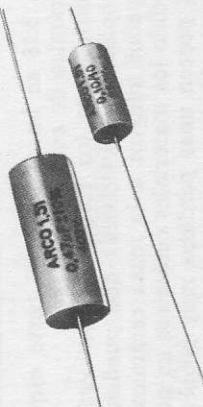


Fig. 3.13

### LAMINAS 3.6 y 3.7. CONDENSADORES CERÁMICOS

Los condensadores cerámicos son los que más se acercan al condensador ideal, pues su inductancia, factor de potencia y tangente de pérdidas son prácticamente nulos.

Se fabrican en forma tubular y en disco, según puede apreciar en las fotografías de la figura 3.14.

Los condensadores cerámicos tubulares consisten en un tubito de cerámica obtenida por extrusión. El tubito se metaliza interiormente, de forma que en uno de los extremos dicho metalizado sobresalga y cubra una estrecha faja en la parte exterior (Fig. 3.15). El resto de la superficie exterior se metaliza de forma que deje una faja libre para que no haga contacto eléctrico con la anterior. Las armaduras del condensador quedan, pues, formadas por las dos capas metálicas que cubren interior y exteriormente al tubo cerámico. Los terminales están formados por dos espiras de alambre soldadas sobre la armadura exterior y la prolongación de la armadura interior. El conjunto se recubre de una laca protectora.

El terminal correspondiente a la armadura exterior se sitúa de forma que quede más alejado del extremo del tubo que el otro terminal, tal y como puede ver en las figuras 3.14 y 3.15. De los dos terminales el de la armadura exterior es el que debe conectarse a masa por razones de seguridad y de radiación de la armadura «viva» (la interior no conectada a masa).

Los condensadores cerámicos de disco están construidos por un disco cerámico cuyas dos caras han sido metalizadas y sobre las cuales se sueldan los terminales de conexión (Fig. 3.16). Una clase especial de condensadores cerámicos son los denominados *pasantes* o *pasamuros*, de los cuales puede ver varios modelos en la figura 3.17. Estos condensadores se emplean allí donde la corriente continua o la corriente alterna de baja frecuencia debe atravesar una pared apantalladora, mientras que la corriente alterna de alta frecuencia debe derivarse a masa. El condensador pasante consta de un manguito rosado o no, que se atornilla o se suelda contra el apantallamiento, y que está unido a la armadura exterior del condensador.

En la figura 3.18 se ha dibujado el corte esquematisado de un condensador cerámico de este tipo.

Una particularidad de los condensadores cerámicos es la gran variedad de propiedades dielectrísticas que pueden conseguirse añadiendo determinados aditivos a la masa cerámica. Por este motivo la E.I.A. ha dividido los materiales cerámicos en dos grandes grupos. Los del grupo I poseen unas pérdidas muy pequeñas; del orden del  $0.3 \times 10^{-3}$  y su capacidad está afectada por un coeficiente de temperatura perfectamente determinado. Se fabrican según tablas E-12, e incluso E-24, desde unas fracciones de picofaradios hasta 1 nano-

### CONDENSADORES CERÁMICOS

LAMINA  
3.6

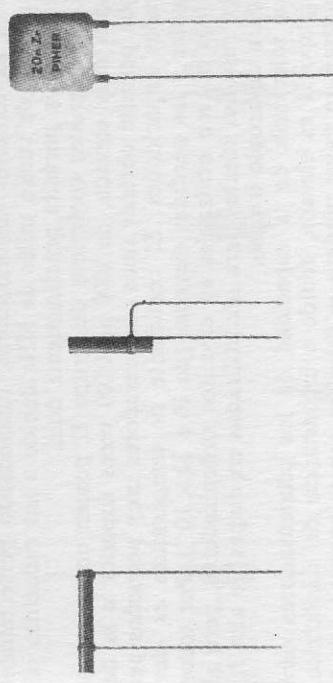


Fig. 3.14

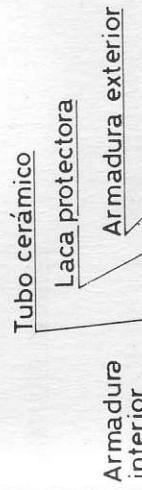


Fig. 3.15

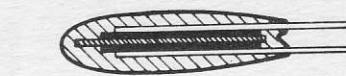


Fig. 3.16

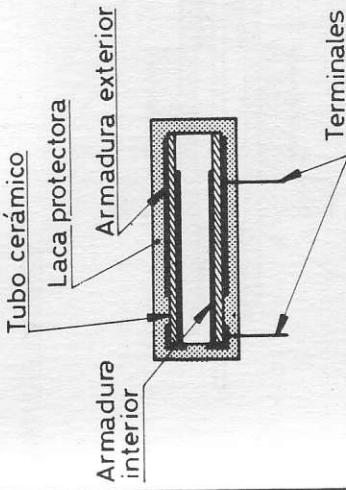


Fig. 3.17

radio. Los coeficientes de temperatura normalizados más corrientes en este grupo son +100, 0, -33, -150, -330, -750 y -1500 partes por millón del valor. De todas estas características se deduce que los condensadores cerámicos del grupo I son idóneos para ser utilizados en circuitos sintonizadores, funcionando perfectamente con frecuencias de varios miles de MHz debido a sus reducidas pérdidas e inductancia parásita prácticamente nula.

Los materiales cerámicos del grupo II poseen una constante dielectrica muy elevada, de 1000 a 10 000 veces superior a la del aire, lo que permite obtener unos condensadores muy pequeños pero con elevadas capacidades. El coeficiente de temperatura es elevado e irregular y las pérdidas elevadas (de  $10 \text{ a } 30 \times 10^{-3}$ ). Por todos estos motivos no son utilizables en circuitos sintonizadores, pero sin embargo resultan ideales para ser utilizados en etapas de alta frecuencia para desacoplo o paso.

La tolerancia de la capacidad de los condensadores cerámicos del grupo II es elevada, debido a inconstancia del dieléctrico. Para garantizar un valor mínimo se fabrican con tolerancias asimétricas, es decir que el valor capacativo del condensador tiende a un valor más alto en lugar del bajo.

Los condensadores cerámicos del grupo II se fabrican según las tablas E-12, E-6 y E-3, siendo la más normal la E-6.

CONDENSADORES CERÁMICOS	LAMINA 3.7
	
	
	
	

Fig. 3.17

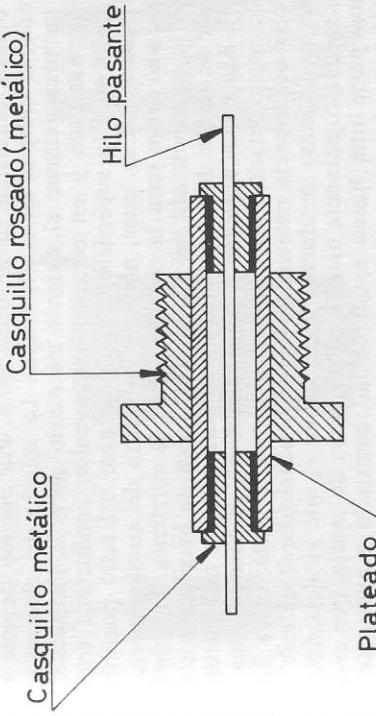


Fig. 3.18

### LAMINAS 3.8 y 3.9. CONDENSADORES ELECTROLITICOS

Para grandes capacidades, desde  $1 \mu\text{F}$  hasta  $20,000 \mu\text{F}$ , se ha desarrollado una clase especial de condensadores: los *electrolíticos*. El condensador electrolítico generalmente es un condensador formado por dos folios de aluminio arrollado, que están separados por un papel absorbente. El papel está impregnado de un electrolito, es decir, de un líquido conductor de la corriente eléctrica. Este papel no es el dielectrónico en sí, por la sencilla razón de que un dielectrónico no puede ser nunca un conductor. El dielectrónico lo constituye una película finísima de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que se forma sobre el folio positivo cuando al condensador se le aplica una tensión continua. Bajo la acción de esta tensión circula primariamente una fuerte corriente, que luego va decreciendo a medida que aumenta de espesor la película no conductora de óxido. La corriente residual que finalmente aparece es tan sólo de aproximadamente  $50 \mu\text{A}$ , en un condensador de  $1 \mu\text{F}$  cuando la tensión continua es de  $100 \text{ V}$ . Esto corresponde a una resistencia de carga superior a  $2 \text{ M}\Omega$ .

La elevada capacidad del condensador electrolítico no se logra a través de una extensa superficie de las armaduras, sino a través de la clase de dielectrónico. La constante dielectrónica del óxido de aluminio es, en efecto, sólo de  $6,87$ , pero el espesor de la película de óxido de aluminio es sumamente pequeño, aproximadamente  $0,1 \mu\text{m}$ . A mayores tensiones de servicio el espesor de la película de óxido crece algo, pero este crecimiento tiene también sus límites, ya que la máxima tensión admisible es de unos  $550 \text{ V}$ . Por encima de este valor se producen chispas en el electrolito. La misión del electrolito es proporcionar el oxígeno necesario para la formación del óxido de aluminio y en establecer una unión conductora entre el folio negativo y la superficie oxidada aislante del folio positivo. El folio negativo no es, pues, ninguna armadura del condensador, sino que tan sólo sirve para la conducción de la corriente. Al objeto de ampliar la superficie útil del folio positivo, ésta se hace basta o arrugada por la acción de un ácido o por procedimientos mecánicos. En la figura 3.19 puede apreciar la construcción de un condensador electrolítico representado muy esquemáticamente, y en la figura 3.20 la fotografía del aspecto externo de varios condensadores de este tipo. Constan de un tubo de aluminio cerrado en el que va depositado el condensador propiamente dicho, con un tapón de caucho que asegura por una parte una buena estanqueidad contra la evaporación del electrolito y, por otra, actúa como válvula de seguridad que se abre en caso de ebullición del electrolito, evitando así el riesgo de explosión. Los terminales pueden ser paralelos, saliendo ambos a través del tapón de caucho o axiales cuando uno de ellos está soldado al tubo de aluminio. Otros modelos poseen una rosca en el tubo de aluminio que permite la unión mecánica del condensador a un chasis.

### CONDENSADORES ELECTROLITICOS

#### LAMINA 3.8

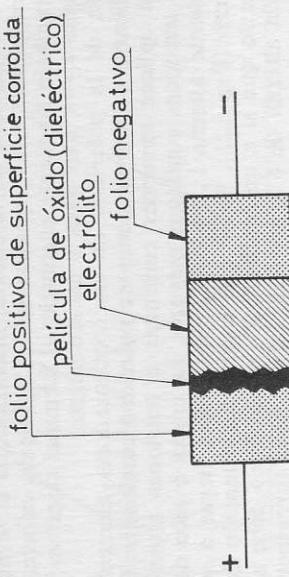


Fig. 3.19

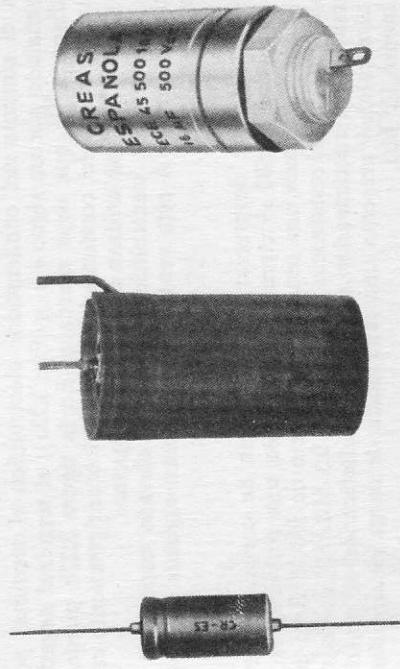


Fig. 3.20

metálico y, al mismo tiempo, sirve como terminal de conexión eléctrica (polo negativo).

El condensador electrolítico es un componente polarizado, por lo que sus terminales no deben ser cambiados. Por tal motivo en estos condensadores encontramos designados por lo menos el polo positivo a través de un signo «+». El terminal positivo también es reconoscible por salir aislado de la cubeta, mientras que el terminal negativo generalmente está dispuesto sobre la misma cubeta. Por otra parte es también frecuente encontrar el terminal negativo designado por un signo «-», una línea o un aro negro.

A causa de la polaridad de los condensadores electrolíticos, no deben aplicarse a ellos tensiones de polaridad cambiante. Solamente se pueden aplicar tensiones continuas o tensiones alternas superpuestas a tensiones continuas mayores. La cresta o pico negativo de la componente alterna  $U_a$  no debe, pues, nunca llegar a sobrepasar la línea cero (Fig. 3.21). Fijese que hemos dicho tensión de pico negativa, por lo que si a un condensador electrolítico debe aplicársele una tensión alterna de 6 V eficaces, esta tensión corresponde a una tensión máxima de:

$$U_m = U_{rms} \sqrt{2} = 6 \times 1,41 = 8,46 \text{ V}$$

es decir, la tensión alterna citada debe ser superpuesta a una tensión continua de 8,46 V para que el pico negativo de la componente alterna no sobrepase el valor 0 V y el condensador quede polarizado en sentido opuesto.

En el símbolo del condensador electrolítico el terminal positivo está señalado por un signo «+» (Fig. 3.22a); el terminal negativo no es indispensable que vaya marcado. En la figura 3.22b puede apreciar los símbolos del condensador electrolítico antiguamente empleados y que todavía se utilizan en muchos esquemas.

El condensador electrolítico tiene una elevada capacidad y un reducido volumen. A esta ventaja se le oponen algunos inconvenientes, tales como:

- No se puede despreciar su resistencia de carga. En un condensador de  $500 \mu\text{F}$  circula, por ejemplo, una corriente de 1 mA al serie aplicada una tensión de servicio de 500 V. Esto corresponde a una resistencia de carga de  $0,5 \text{ M}\Omega$ . En comparación con él, un condensador arrollado con dieléctrico de plástico de alta calidad presenta una resistencia de carga de aproximadamente  $10^8 \text{ M}\Omega$ .

- La tolerancia de capacidad de los condensadores electrolíticos es mucho mayor que en las otras clases de condensadores. La capacidad puede llegar a ser el 100 % mayor del valor nominal

CONDENSADORES ELECTROLÍTICOS	LAMINA 3.9
------------------------------	---------------

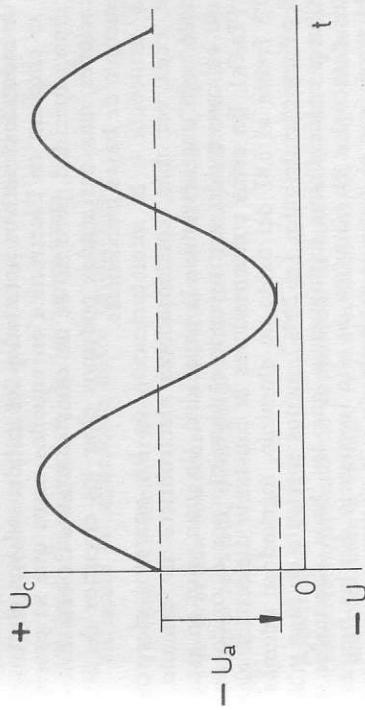
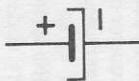


Fig. 3.21



b)

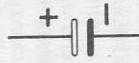


Fig. 3.22

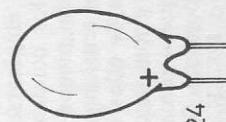


Fig. 3.24

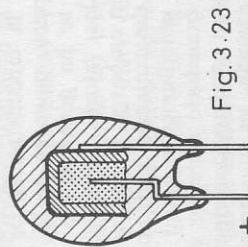


Fig. 3.23

impreso. La tolerancia en sentido negativo es más pequeña, aproximadamente — 10 %.

- La temperatura ejerce una gran influencia, tanto sobre la capacidad como sobre la resistencia de carga.

Por todos los motivos apuntados los condensadores electrolíticos solo se emplean en Electrónica en aquellos casos que se precise de una gran capacidad, pero no de un valor constante de ella. Entre las aplicaciones más destacadas podemos citar los circuitos de filtrado y desacoplo de bajas frecuencias.

La tendencia a la miniaturización de los aparatos electrónicos exige, cada vez más, condensadores electrolíticos de tamaño más pequeño para una determinada capacidad. Un gran paso en este sentido se ha conseguido sustituyendo el aluminio por el óxido de tántalo ( $Ta_2O_5$ ). En estos condensadores la constante dieléctrica alcanza el 27,3 frente al 6,87 del óxido de aluminio, lográndose además mejores tolerancias de valor ( $\pm 20\%$ ), menos corriente de fuga y, sobre todo, una reducidísima inductancia que los hace adecuados para ciertos desacoplos en circuitos de alta frecuencia. En las figuras 3.23 y 3.24 puede ver el corte esquematisado y la forma externa de uno de estos condensadores electrolíticos de tántalo.

El tántalo ofrece además otras posibilidades para la reducción del tamaño de los condensadores: es posible la sinterización con su polvo.

Las sinterizaciones es un tratamiento que consiste en una elevada compresión a altas temperaturas del polvo del material a tratar. Los cuerpos sinterizados ofrecen una superficie útil mucho mayor que los folios corroídos. Otra ventaja a favor de los condensadores de tántalo es la posibilidad de sustituir el electrolito líquido por un óxido de manganeso sólido, una vez realizado el proceso de formación. Los condensadores de electrolito sólido se caracterizan por la escasa dependencia a la temperatura de su capacidad y resistencia de carga. Por otro lado, presenta la ventaja de no poder perder electrolito líquido ya que destruye muchas veces a los otros componentes del circuito. Algo desventajoso resulta la circunstancia de que no pueden emplearse para tensiones de servicio mayores de 35 V.

En los condensadores electrolíticos, se ha generalizado o extendido aun menos la normalización de los valores de la capacidad y de las tensiones de servicio. Debido, sin embargo, a que casi nunca se exige de ellos un valor de capacidad determinado, esto no resulta ser un grave inconveniente. Se emplea sencillamente aquél condensador que ofrezca el mercado, de valor inmediato superior al calculado o nominal. Sobre si debe emplearse un condensador electrolítico de 100 o 125  $\mu F$  no tiene ninguna importancia, ya que como se ha dicho, la tolerancia es superior a la diferencia entre ambos valores citados.

### LAMINAS 3.10 a 3.13. CONDENSADORES VARIABLES

Los pequeños condensadores hasta, aproximadamente, 500 pF, se precisan a menudo con valores exactos de capacidad. En tales casos se exige un condensador variable, cuya capacidad sea ajustable. Aquí se presentan tres posibilidades para el ajuste de la capacidad:

- Variando la superficie de las armaduras.
- Variando la separación entre armaduras.
- Variando el dieléctrico.

En la práctica se recurre a las tres posibilidades (Fig. 3.25). Bajo otro punto de vista, distinguimos en los condensadores dos tipos de ajuste:

- Ajuste que se realiza una sola vez con el fin de conseguir un valor determinado de capacidad. Si este valor de capacidad se alterara con el tiempo (envejecimiento), el valor de la capacidad puede readjustarse. Los condensadores con este tipo de ajuste se denominan *trimmer*, siendo accionados generalmente mediante un destornillador.
- Ajustes que se varían a menudo y que sirven para el manejo de un aparato. Su accionamiento se llama *sintonización* y casi siempre se realiza a través de un botón giratorio.

En la figura 3.26 puede ver diferentes formas de trimmers denominados respectivamente como:

- trimmer de presión (Fig. 3.20a);
- trimmer de disco (Fig. 3.26a);
- trimmer tubular o cilíndrico (Fig. 3.26c);
- trimmer de placas (Fig. 3.26d).

La capacidad de un trimmer puede variar de 3 pF hasta 30 pF; en los trimmers de disco con dielectrónico cerámico puede conseguirse mayores capacidades, aproximadamente entre 20 y 200 pF. Generalmente la relación entre la mayor y la menor capacidad ajustables es de 1 : 10.

En la actualidad se fabrican trimmer de dimensiones reducidas, como puede apreciar en la figura 3.27, en la que se ha dispuesto un moderno trimmer de forma que sus tres dimensiones pueden medirse sobre una regla graduada en milímetros.

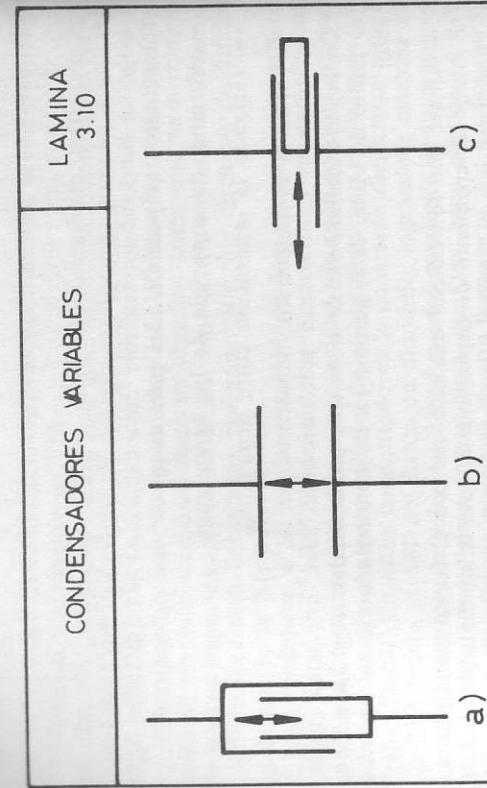


Fig. 3.25

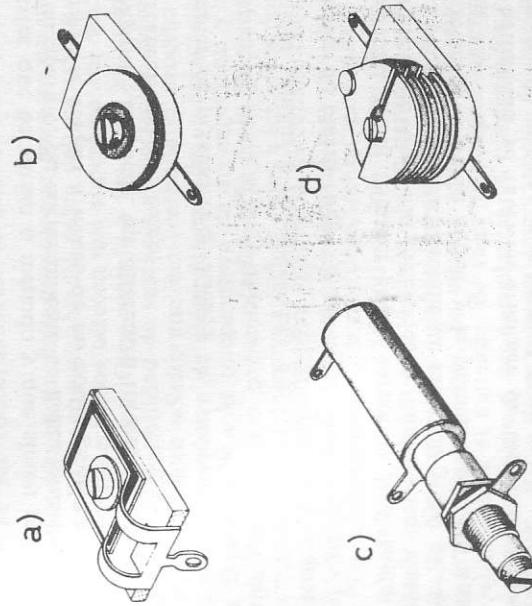


Fig. 3.26

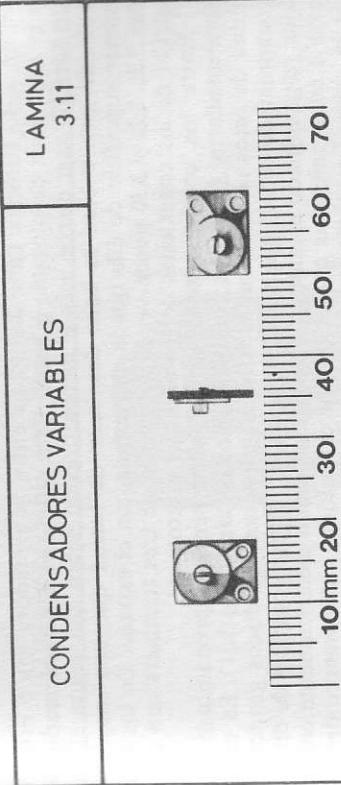


Fig. 3.27

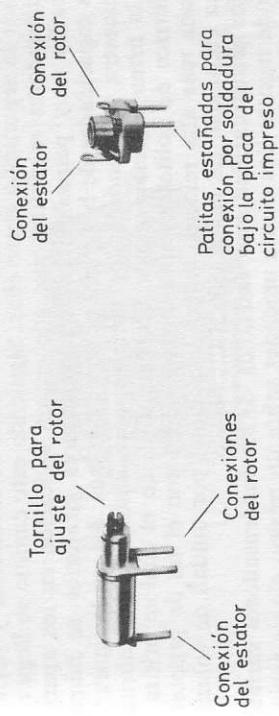


Fig. 3.28

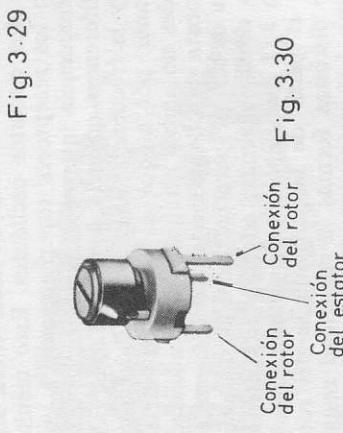


Fig. 3.29

Fig. 3.30

CONDENSADORES VARIABLES	LAMINA 3.12
-------------------------	----------------

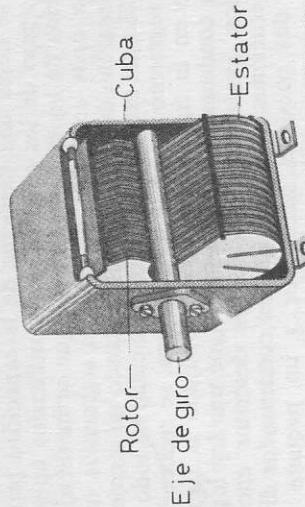


Fig. 3.31

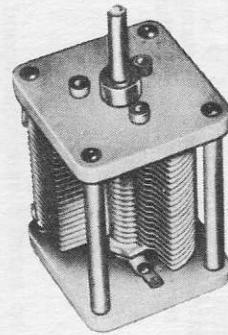


Fig. 3.32

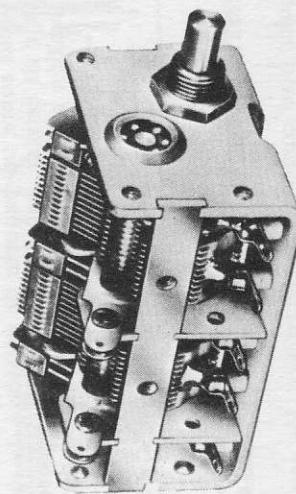


Fig. 3.33

En todo trimmer cabe distinguir entre la armadura fija o estator y la armadura desplazable o rotor. Esta última es ajustada mediante un tornillo que ejerce más o menos presión sobre ella según el ángulo de giro o bien la hace desplazar de forma que una mayor o menor superficie de ella queda enfrentada con el estator. En las figuras 3.28, 3.29 y 3.30 puede ver la fotografía de tres trimmers con indicación de las conexiones del rotor y del estator.

Entre los condensadores variables en servicio predominan los condensadores giratorios con dieléctrico de aire (Fig. 3.31). La capacidad de éstos se hace variar a base de paquete de discos giratorios (denominado rotor) que se sumerge dentro de otro paquete de discos fijos (denominado estator). El rotor está unido eléctricamente con la caja o cuba, mientras que el estator está sujeto aisladamente dentro de la cuba. Las armaduras deben estar correctamente orientadas a fin de que al girarlas no lleguen a tocarse entre sí. El aire, como dielectrónico, tiene unas pérdidas muy pequeñas, pero requiere un gran volumen de condensador. Con el fin de poder obtener condensadores giratorios cuyo tamaño sea reducido, se intercalan hojas de plástico entre las placas, que aumentan la constante dieléctrica y permiten reducir la separación entre ellas. Siguiendo este camino se llega a los condensadores miniatura que encuentran aplicación en los aparatos de radio muy pequeños. Los condensadores giratorios se fabrican para capacidades de hasta 500 pF e incluso más. Así, en la figura 3.32 se muestra un condensador variable para sintonización, fabricado por la firma inglesa Jackson Brothers, Ltd., en el cual se utiliza un dielectrónico de polietrafluoroetileno (PTFE) con el fin de proporcionar una más alta relación voltaje/capacidad por unidad de volumen, y una capacidad de hasta 1500 pF.

Una particularidad muy extendida de los condensadores variables es la de montar dos o más unidades sobre un mismo eje de accionamiento (Fig. 3.33) con el fin de hacer variar simultáneamente la capacidad de dos circuitos oscilantes. Esto resulta particularmente ventajoso en los receptores superheterodinos, en los cuales, para obtener una frecuencia intermedia, siempre del mismo valor, es necesario que la diferencia entre la frecuencia de resonancia del circuito de sintonía y la frecuencia de resonancia del oscilador local se mantenga constante, por lo que debe hacerse variar simultáneamente las capacidades de ambos circuitos. El condensador variable de la figura 3.33 consta de dos secciones de AM y tres de FM, con variación capacitiva de 320 pF para cada una de las primeras y de 17 pF para cada una de las últimas; además está dotado de un engranaje de reducción 3 : 1 que depara una sintonización precisa.

Según el perfil de las armaduras del rotor, se consigue hacer variar de distintas formas la capacidad respecto al ángulo de giro. En la figura 3.34 puede apreciar distintos perfiles de armaduras. La elección del tipo de armadura depende de la aplicación a que se

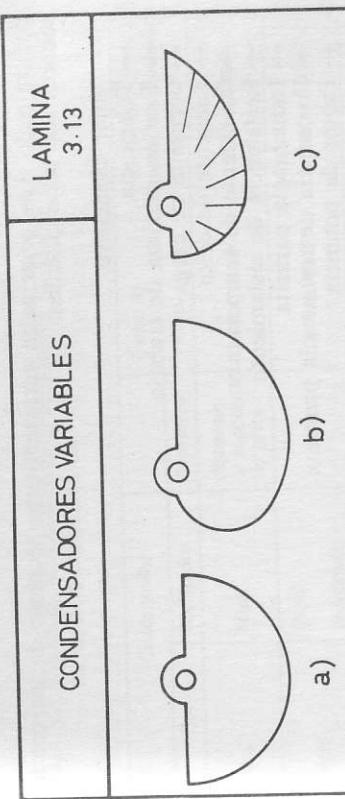
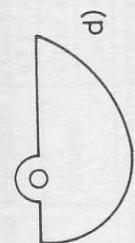


Fig. 3.34



destine el condensador variable. Si la capacidad debe variar proporcionalmente al ángulo de giro, las armaduras deberán ser semicirculares (Fig. 3.34a); si la capacidad debe variar siguiendo una ley sinusoidal, la forma de las armaduras será la que se muestra en la figura 3.34b; si se desea una variación de la capacidad proporcional a la frecuencia (caso de los condensadores utilizados en receptores de radio), la forma de las armaduras es la que se ha dibujado en la figura 3.34c, con unos cortes de división en segmentos que sirven para graduar la marcha de la capacidad; doblando un segmento hacia la armadura vecina del estator se eleva la capacidad en todo el campo de ajuste; si el segmento se dobla hacia afuera, se reduce la capacidad. Finalmente en la figura 3.34d se ha dibujado la forma de la armadura de un condensador variable que sigue una ley logarítmica. Además de los condensadores variables descritos encontramos además otras ejecuciones, tales como la del condensador diferencial, que consta de dos paquetes de estator y un paquete de rotor (Fig. 3.35a). El condensador diferencial es la contraposición del potenciómetro. Lo podemos designar también como divisor variable *capacitivo de tensiones* para corriente alterna. En la figura 3.35b puede ver su símbolo dibujado dentro de una conexión divisoria de tensiones. La tensión  $U_2$  puede calcularse a partir de la siguiente fórmula:

$$U_2 = U_1 \frac{\alpha}{180^\circ}$$

En donde  $\alpha$  es el ángulo de giro. Mediante dos topes se asegura que el condensador diferencial pueda girar exactamente  $180^\circ$ . Con un ángulo de giro de  $0^\circ$  el paquete del rotor está totalmente situado sobre un paquete del estator; con un ángulo de giro de  $180^\circ$  queda situado completamente sobre el otro paquete del estator. Con un ángulo de giro de  $90^\circ$  el paquete del rotor queda repartido exactamente, la mitad sobre un paquete de estator y la otra mitad sobre el otro paquete de estator. Así ajustado, si el condensador diferencial recibe una tensión alterna  $U_1$  de  $10\text{ V}$ , la tensión de salida  $U_2$  será:

$$U_2 = U_1 \frac{\alpha}{180^\circ} = 10\text{ V} \frac{90^\circ}{180^\circ} = 10\text{ V} \times 0.5 = 5\text{ V}$$

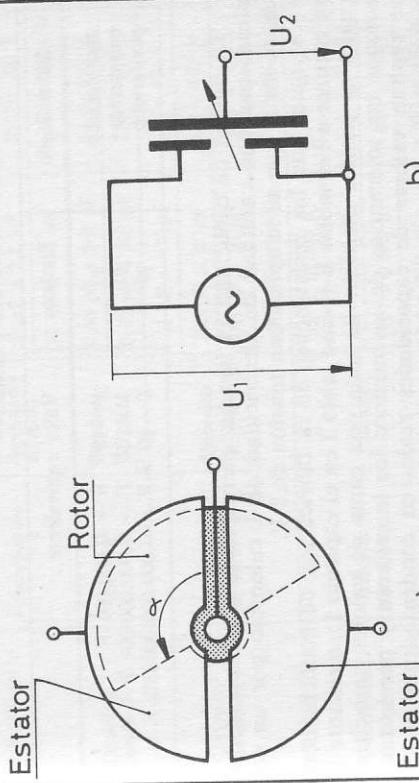
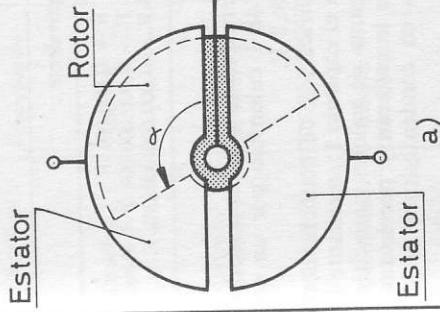


Fig. 3.35



### CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS CONDENSADORES

Como cualquier otro componente electrónico, los condensadores poseen una serie de características técnicas mediante las cuales es posible seleccionar aquél que resulte más adecuado para un circuito

determinado. Las principales características técnicas de los condensadores son las siguientes:

- Valor capacativo
- Tolerancia
- Tensión máxima de trabajo
- Corriente de carga
- Tangente de delta
- Coeficiente de temperatura
- Resistencia de aislamiento
- Inductancia parásita
- Frecuencia de resonancia propia
- Factor de potencia

A continuación se estudiarán cada una de los citados parámetros.

#### VALOR CAPACITIVO

La capacidad de almacenamiento de electricidad de un condensador se expresa en *Faradios*. Dado sin embargo que esta unidad resulta excesivamente grande, en la práctica se utilizan los submúltiplos expresados en la tabla que sigue a continuación:

TABLA IV. SUBMÚLTIPLOS DEL FARADIO.

Submúltiplo	Símbolo	Valor equivalente
microfaradio	$\mu\text{F}$	$1 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 0,000,001 \text{ F}$
nanofaradio	nF	$1 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 0,000,000,001 \text{ F}$
picofaradio	pF	$1 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 0,000,000,000,001 \text{ F}$

TABLA V. VALORES DE CAPACIDAD Y TENSIONES MÁXIMAS DE TRABAJO SEGÚN EL TIPO DE CONDENSADOR.

Condensador		Gama de Valores		Gama de tensiones máximas de trabajo $V_{cc}$
Tipo	Dieléctrico	Armadura	Valores	
Mica	Mica	Aluminio o deposito de plata	2 pF a 2 nF	250 – 4.000 V
Papel	Papel parafinado	Aluminio	1 nF a 10 $\mu\text{F}$	250 – 1.000 V
Syroflex	Poliestireno	Aluminio	10 pF a 4,7 nF	25 – 63 V
Poliester	Poliester	Aluminio	4,7 nF a 1,5 $\mu\text{F}$	100 – 160 V
Poliester metalizado	Poliester	Aluminio depositado al vacío	1 nF a 470 nF	400 – 1.000 V
Policarbonato metalizado	Policarbonato	Aluminio depositado al vacío	47 nF a 10 $\mu\text{F}$	63 – 100 V
Cerámico Grupo I	Cerámica	Depósito de plata	10 nF a 2,2 $\mu\text{F}$	250 – 400 V
Cerámico Grupo II	Titanato de bario	Depósito de plata	10 nF a 470 nF	630 – 1.000 V
Electrolítico de aluminio	Oxido de aluminio	Aluminio	0,56 pF a 560 pF	63 – 100 V
Electrolítico de tantalio	Oxido de tantalio	Tantalo. Tantalo. negativo. Metalizado	0,47 pF a 330 pF 4,7 nF a 470 nF 220 pF a 22 nF 100 pF a 10 nF 470 pF a 10 nF	250 – 500 V 15 – 50 V 63 – 100 V 250 – 500 V 1.000 V

La unidad de capacidad, el faradio, corresponde a la capacidad de almacenar una cantidad de electricidad de 1 coulombio por un condensador al que se le aplica una tensión de 1 V.

Al igual que las resistencias, en la fabricación de condensadores se recurre a las tablas E (véase tabla I en el capítulo 1), mediante las cuales es posible disponer de toda una gama de valores capacitivos sin que las tolerancias de los mismos los interfieran y por lo tanto se repitan valores de capacidades reales en condensadores de distinta capacidad teórica.

Según el tipo de dieléctrico varían los valores de capacidad. En la tabla V se reseñan la gama de valores disponibles en el comercio para cada tipo de condensador y según la tensión máxima de trabajo admisible por cada uno de ellos.

## TOLERANCIA

lítico, de 125  $\mu\text{F}$  con una tolerancia de  $-10 + 50\%$ , el valor real del condensador estará comprendido entre

$$C_{\min.} = 125 - \frac{125 \cdot 10}{100} = 125 - 12,5 = 112,5 \mu\text{F}$$

El valor real de la capacidad discrepa dentro de unos ciertos límites del valor nominal o valor teórico indicado en el condensador. Estas discrepancias son debidas al proceso de fabricación y se designan, como en el caso de las resistencias, por *tolerancias*. Los valores de tolerancia para cada tipo de condensador se resumen en la tabla VI que se expone a continuación.

TABLA VI. GAMA DE TOLERANCIAS PARA LOS CONDENSAORES.

Tipo de condensador	Gama de tolerancias
Mica .....	0,5 % a 20 %
Papel .....	5 %, 10 %, 20 %
Styroflex (Poliestireno) .....	$\pm 1 \mu\text{F}$ ( $< 50 \mu\text{F}$ ) 2,5 %, 5 %, 10 %
Película de poliéster .....	5 %, 10 %, 20 %
Poliéster metalizado .....	5 %, 10 %, 20 %
Policarbonato metalizado .....	5 %, 10 %, 20 %
Cerámicos (grupo I) .....	2 %, 5 %, 10 %
Cerámicos (grupo II) .....	$(-20 + 50\%)$ $(-20 + 80\%)$ $\pm 20\%$
Electrolítico de aluminio .....	$(-10 + 50\%)$ $(-10 + 100\%)$ $(-20 + 30\%)$
Electrolíticos de tantalio .....	$\pm 20\%$ $(-20 + 50\%)$

## TENSION MAXIMA DE TRABAJO

Otra magnitud importante de los condensadores es su tensión máxima de trabajo, también llamada tensión nominal o tensión de servicio, y que es aquél valor máximo de tensión admisible en los terminales del condensador. Cuando a los terminales del condensador queda aplicada una tensión alterna hay que cuidar de que su valor crezca no sobrereste el valor nominal indicado.

Un dato más que se indica en los condensadores es la tensión de prueba situada siempre por encima del valor de la tensión de servicio. Si la tensión aplicada sobre pasa a la tensión de prueba, puede ocurrir que se perfore el dielectrónico. En la mayoría de los condensadores ocurre entonces que esta perforación conduce a un cortocircuito permanente en el interior del condensador, que los inutiliza completamente.

En la tabla V se indican las tensiones máximas de trabajo para cada tipo de condensador.

Obsérvese que en algunos tipos la tolerancia negativa no es igual a la positiva, es decir que en un condensador, por ejemplo, electro-

### LAMINA 3.14. CORRIENTE DE CARGA

Al conectar un condensador descargado a una fuente de alimentación de corriente continua o entre dos puntos de un circuito bajo tensión, circula una corriente que tiende a disminuir, a medida que el condensador se carga, hasta desaparecer al quedar totalmente cargado. A esta corriente se le conoce con el nombre de *corriente de carga*.

Si la fuente de alimentación es alterna, el condensador sufre sucesivas cargas y descargas al ritmo de los cambios de sentido de la corriente alterna, por lo que circula una corriente de carga en ambos sentidos. Esta corriente de carga tiene la particularidad de estar  $90^\circ$  desfasada en adelanto con respecto a la tensión aplicada al condensador. Efectivamente, si observa la figura 3.36 podrá apreciar cómo en el instante  $t_0$ , es decir cuando el condensador queda conectado a la fuente de alimentación, la corriente es máxima, siendo la tensión nula. A medida que avanza el tiempo, es decir en los instantes  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , la corriente de carga va disminuyendo progresivamente de valor, puesto que las armaduras del condensador van asimilando la carga eléctrica y por lo tanto se van saturando. Como consecuencia de este aumento de cantidad de electricidad almacenada en el condensador, la tensión va aumentando hasta que la corriente alcanza el valor 0 A (corriente nula e inicio del cambio de sentido) en cuyo instante el condensador se carga en sentido opuesto y la tensión en bornes de él disminuye.

Vemos, pues, que la corriente de carga se presenta con un cuarto de onda ( $90^\circ$ ) de adelanto con respecto a la tensión. Esta circunstancia sólo se da en un condensador ideal. En la práctica este ángulo es ligeramente inferior a esos  $90^\circ$ .

LAMINA  
3.14

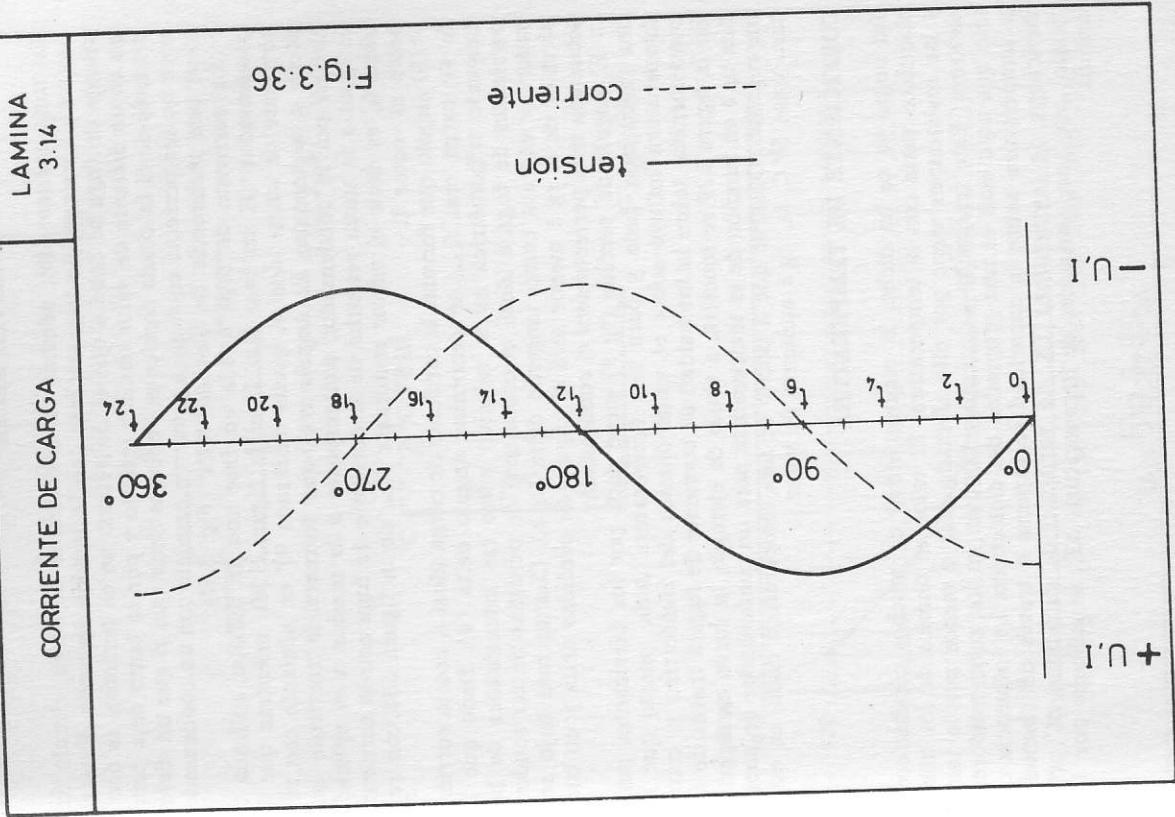
Fig. 3.36

— CORRIENTE

— TENSIÓN

$-U_I$

$+U_I$



### LAMINA 3.15. TANGENTE DELTA

En todo condensador, además de la corriente de carga, circula una pequeña corriente de fuga en fase con la tensión aplicada. Esta corriente de fuga se debe a que el dielectro no es perfecto, es decir, no es un aislante de valor ohmico infinito y por lo tanto deja pasar a través de él la citada corriente. Podemos decir que el que un dielectro no sea perfecto equivale a poner en paralelo con un condensador ideal una resistencia de elevado valor (Fig. 3.37).

La corriente de fuga queda en fase con la tensión aplicada al condensador ( $I_k$  en fase con  $U$  en la figura 3.38), mientras que la corriente de carga ideal  $I_c$  queda desfasada  $90^\circ$  en adelanto con respecto a la tensión. El ángulo real que formará la corriente que circula por el condensador con respecto a la tensión a él aplicada es igual a la suma vectorial de la corriente de fuga con la corriente ideal  $I_c$ , es decir el vector resultante  $I_{c\text{ real}}$  de la figura 3.38 con respecto al vector  $U$ .

El ángulo que forman la corriente de carga ideal  $I_c$  con la corriente de carga real  $I_{c\text{ real}}$  se denomina ángulo delta ( $\delta$ ). Dado que la tangente trigonométrica es la relación entre las intensidades de los corrientes de fuga e ideal, el coeficiente de pérdidas de un condensador se expresa como tangente delta ( $\operatorname{tg} \delta$ ). Cuanto más bajo sea el valor de la  $\operatorname{tg} \delta$  menor será el ángulo de pérdidas delta y en consecuencia más perfecto será el condensador.

El ángulo de pérdida ( $\operatorname{tg} \delta$ ) viene dado por los fabricantes para una frecuencia dada y para una temperatura dada, puesto que la temperatura influye sobre el valor ohmico del dielectro y, como consecuencia, sobre la intensidad de corriente de fuga a través de él. En la figura 3.39 se muestra, a título de ejemplo, la curva característica  $\operatorname{tg} \delta$  en función de la temperatura para un condensador de papel impregnado. Observe que a partir de una temperatura dada, en este caso unos  $50^\circ\text{C}$ , la  $\operatorname{tg} \delta$  aumenta de valor.

### COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Tal como ya se ha dicho, la conductividad de muchos conductores eléctricos varía con la temperatura. El valor en ohmios de los hilos y las resistencias viene por ello afectado más o menos por la temperatura. Este fenómeno se presenta también en los condensadores, sólo que aquí ésta es una propiedad del dielectro. La influencia de la temperatura sobre la capacidad se expresa a través del llamado *coeficiente de temperatura*  $TK$ . La variación de capacidad  $\Delta C$  provocada por una variación de temperatura  $\Delta T$ , se calcula por la fórmula:

$$\Delta C = TK \times C \times \Delta T$$

### TANGENTE DELTA

### LAMINA 3.15

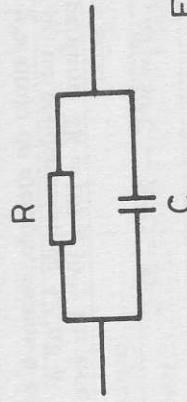


Fig. 3.37

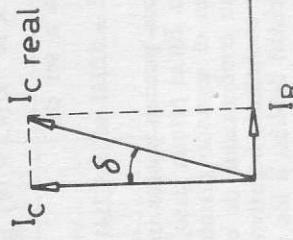


Fig. 3.38

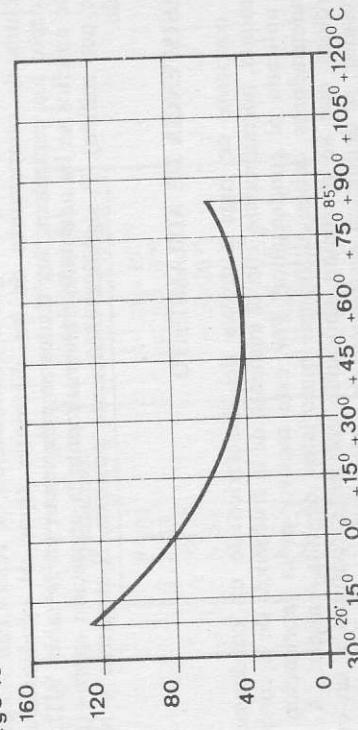


Fig. 3.39

TABLA VII. — COEFICIENTES DE TEMPERATURA DE LOS CONDENSADORES

Tipo	Coeficiente de temperatura entre 20° y 35 °C (% • °C)
Mica .....	± 0,1 %
Papel .....	+ 0,5 %
Styroflex (Poliestireno) .....	- 0,15 %
Película de poliéster .....	+ 0,3 %
Poliéster metilizado .....	+ 0,3 %
Policarbonato metalizado .....	+ 0,3 %
Electrolíticos de aluminio .....	+ 1 % + 5 %
Electrolíticos de tantalio .....	+ 1 %

En ella  $C$  es la capacidad del condensador en pF a 20° C. El coeficiente de temperatura tiene un valor muy pequeño, por ejemplo, del orden de  $100 \times 10^{-6}$ . Escribiéndolo de esta forma, el coeficiente de temperatura es igual a la variación de capacidad en pF que se presenta al variar la temperatura en 1°C por cada pF de capacidad del condensador.

A continuación, y a título de ejemplo, vamos a calcular la variación de capacidad de un condensador de 4,7 nF a 50° C, siendo su coeficiente de temperatura  $TK = 100 \times 10^{-6}$ . En este caso la variación de temperatura será:

$$\Delta T = 50^\circ C - 20^\circ C = 30^\circ C$$

y la variación de capacidad resulta con ello ser de:

$$\Delta C = TK \times C \times \Delta T = 100 \times 10^{-6} \times (4,7 \times 10^9) \text{ pF} \times 30^\circ C = 14,1 \text{ pF}$$

es decir, la capacidad pasa a ser de

$$C = 4,7 \text{ nF} + 0,0141 \text{ nF} = 4,7141 \text{ nF}$$

Los materiales dieléctricos pueden poseer un coeficiente de temperatura positivo o negativo. En el primer caso, la capacidad aumenta con la temperatura y en el segundo disminuye al aumentar la temperatura. Conectando un condensador de coeficiente de temperatura positivo con otro de coeficiente negativo, es posible compensar las variaciones de capacidad debidas a los cambios de temperatura, eligiendo convenientemente, desde luego, los valores de capacidad de cada uno de ellos.

En la tabla VII que sigue a continuación, se relacionan los coeficientes de temperatura de los diferentes tipos de condensadores, excepto los cerámicos, los cuales se relacionan en la tabla VIII, ya que en ellos se ha adoptado universalmente la anotación «ppm» (partes por millón). P significa coeficiente positivo, N negativo y NPO nulo.

### RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La corriente de fuga a través del dieléctrico de un condensador aumenta, normalmente, con el aumento de la frecuencia de la corriente aplicada al condensador. Por este motivo en la fabricación de condensadores deben utilizarse materiales de alta calidad. A las pérdidas que se presentan aplicando corriente continua a un condensador, se denomina *resistencia de aislamiento*.

En la tabla IX se indica la resistencia de aislamiento para los diferentes tipos de condensadores.

TABLA VIII. — COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE LOS CONDENSADORES CERÁMICOS

Designación	Coeficiente de temperatura
P 100	+ 100 • 10 <sup>-6</sup>
P 33	+ 33 • 10 <sup>-6</sup>
PN 0	0
N 33	- 33 • 10 <sup>-6</sup>
N 47	- 47 • 10 <sup>-6</sup>
N 75	- 75 • 10 <sup>-6</sup>
N 150	- 150 • 10 <sup>-6</sup>
N 220	- 220 • 10 <sup>-6</sup>
N 330	- 330 • 10 <sup>-6</sup>
N 470	- 470 • 10 <sup>-6</sup>
N 750	- 750 • 10 <sup>-6</sup>
N 1500	- 1500 • 10 <sup>-6</sup>

TABLA IX. — RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LOS CONDENSADORES

Tipo	Resistencia de aislamiento en $M\Omega$
Mica	> 50.000
Papel	> 10.000
Styroflex (poliestireno)	> 100 y > 100.000 según tipo
Película de poliéster	> 100.000
Poliéster metalizado	> 20.000
Cerámicos (Grupo I)	> 5.000 y > 10.000 según tipo
Cerámicos (Grupo II)	> 1, > 5.000 y > 10.000 según tipo
Electrolítico de aluminio	Corriente de fuga $\geq 0.05 \mu A \times V \times \mu F$ y siempre superior a $4 \mu A$
Electrolítico de tantalio	Corriente de fuga $\geq 0.02 \mu A \times V \times \mu F$ y siempre superior a $1 \mu A$

#### INDUCTANCIA PARASITA

Todo condensador presenta una cierta inductancia parásita, muy variable, según la forma constructiva del mismo. Por ejemplo, un condensador de láminas enrolladas presentará una inductancia parásita muy superior a uno plano. Dicha inductancia parásita puede suponerse conectada en serie con el condensador y, como toda inductancia, resulta despreciable a bajas frecuencias. Sin embargo, si la frecuencia aplicada al condensador es muy elevada, la inductancia parásita se pone de manifiesto, aumentando con ello la reactancia del condensador, es decir la oposición al paso de la corriente alterna.

#### FRECUENCIA DE RESONANCIA PROPIA

Se denomina *frecuencia de resonancia propia* de un condensador aquella frecuencia bajo la cual se igualan las reactivancias capacitativas e inductivas parásitas. Por debajo de la frecuencia de resonancia propia el condensador se comporta como tal, mientras que por encima de dicha frecuencia de resonancia el condensador se comporta como

una bobina. Este fenómeno es la causa de que muchos condensadores, de tipo no adecuado al circuito en los que se conectan, no dan los resultados que de ellos cabría esperar.

#### FACTOR DE POTENCIA

A lo largo de este capítulo hemos visto que todo condensador real puede assimilarse a un condensador ideal que posea

- a) una resistencia en derivación, debida a la resistencia de aislamiento en c.c. y a las pérdidas por tg  $\delta$  en c.a.;
- b) una inductancia en serie, debida a la inductancia parásita del condensador.

Además de lo expuesto, un condensador real posee unas resistencias óhmicas de sus terminales y armaduras, que en ciertos casos deben despreciarse, y que podemos considerar como una resistencia en serie con nuestro hipotético condensador ideal.

Si por el condensador ha de circular una corriente alterna, éste presentará una impedancia  $Z$  u oposición al paso de dicha corriente, que estará constituida por la suma geométrica de la reactancia capacitiva  $X_c$  y la resistencia óhmica  $R$  que consideramos en serie con él, es decir:

$$Z = \sqrt{X_c^2 + R^2}$$

Se denomina *factor de potencia* o *coseno  $\varphi$*  de un condensador al cociente de dividir la resistencia parásita  $R$  por la impedancia total  $Z$ , es decir:

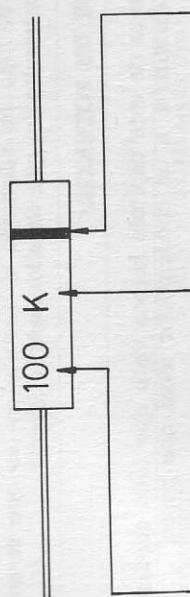
$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Si  $R$  es igual a cero (caso imposible en los condensadores reales), el factor de potencia será nulo y, por lo tanto, el condensador no consumirá energía.

#### INDICACION DEL VALOR DE LOS CONDENSADORES

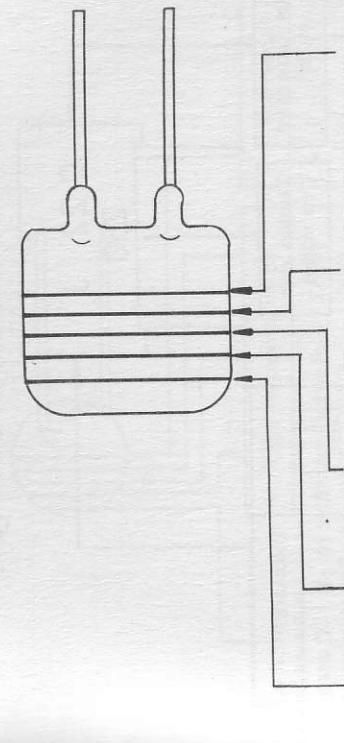
Los valores de la capacidad de los condensadores vienen impresos sobre el mismo componente o están indicados a través de puntos o arcos coloreados, de forma análoga a como se hace con las resistencias. Desgraciadamente hoy en día aún persisten varios sistemas o códigos de colores para los condensadores, lo que dificulta en cierto modo su identificación. Por esta razón en las tablas que siguen a continuación indicamos los códigos más utilizados en la actualidad.

TABLA X. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES STYROFLEX



Valor Capacitivo en pF (K = 1.000 pF)	Tolerancia	Tensión máxima Vcc
	C < 10 pF	C ≥ 10 pF
	± pF	± %
B	0,1	
C	0,25	
D	0,5	0,5
F	1	1
G	2	2
H		2,5
J		5
K		10
M		20
P	- 0 + 100	
R	- 20 + 30	
S	- 20 + 50	
Z	- 20 + 80	

TABLA XI. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES POLIESTER METALIZADO. (Código de COLORES)



1.ª Cifra	2.ª Cifra	Tensión máxima Vcc	Valor capacítivo en pF			Tolerancia	Tensión máxima Vcc
			Primer color	Segundo color	Tercer color		
Negro	Negro	630	(0)	(0)	Negro	Negro (20)	Rojo 250
Rojo	Rojo	160	(1)	(1)	Marrón (0,1)	Marrón (1)	Amarillo 400
Amarillo	Amarillo	63	(2)	(2)	—	—	—
Azul	Azul	25	(3)	(3)	—	—	Azul 630

TABLA XII. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES POLIESTER METALIZADO. (Código de CIFRAS Y LETRA).

Valor Capacitivo en pF	Tensión máx. en voltios	Tolerancia
Letra	C < 10 pF ± pF	C ≥ 10 pF ± %
B	0.1	
C	0.25	
D	0.5	0.5
F	1	1
G	2	2
H		2.5
J		5
K		10
M		20
P		— 0 + 100
R		+ 20 — 30
S		— 20 + 50
Z		— 20 + 80

TABLA XIII. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS DE DISCO GRANDE, GRUPO I.

Coeficiente de temperatura ppm. °C	Tolerancia			Tolerancia
	Primer color	Segundo color	Tercer color	
Rojo + Violeta + 100.10 <sup>-6</sup> (Oro)	Negro (0)	Negro (0)	Negro (1)	Negro (2)
Gris oscuro + 33.10 <sup>-6</sup>	Marrón (1)	Marrón (1)	Marrón (10)	Marrón (0,1)
Negro 0	Rojo (2)	Rojo (2)	Rojo (100)	—
Marrón — 33.10 <sup>-6</sup>	Naranja (3)	Naranja (3)	Naranja (1000)	—
Rojo oscuro — 47.10 <sup>-6</sup>	Amarillo (4)	Amarillo (4)	Amarillo (10000)	Verde (0,5)
Rojo claro — 75.10 <sup>-6</sup>	Verde (5)	Verde (5)	Verde (100000)	Verde (5)
Naranja — 15.0.10 <sup>-6</sup>	Azul (6)	Azul (6)	—	—
Amarillo — 220.10 <sup>-6</sup>	Violeta (7)	Violeta (7)	Violeta (0,001)	Gris (0,25)
Verde oscuro — 33.0.10 <sup>-6</sup>	Gris (8)	Gris (8)	Gris (0,01)	Blanco 1
Azul claro — 47.0.10 <sup>-6</sup>	Blanco (9)	Blanco (9)	Blanco (0,1)	Blanco 10
Violeta — 75.0.10 <sup>-6</sup>	—	—	—	—
Azul oscuro — 1.500.10 <sup>-6</sup>	—	—	—	—

TABLA XIV. — Código de identificación de condensadores cerámicos de disco pequeño, grupo I.

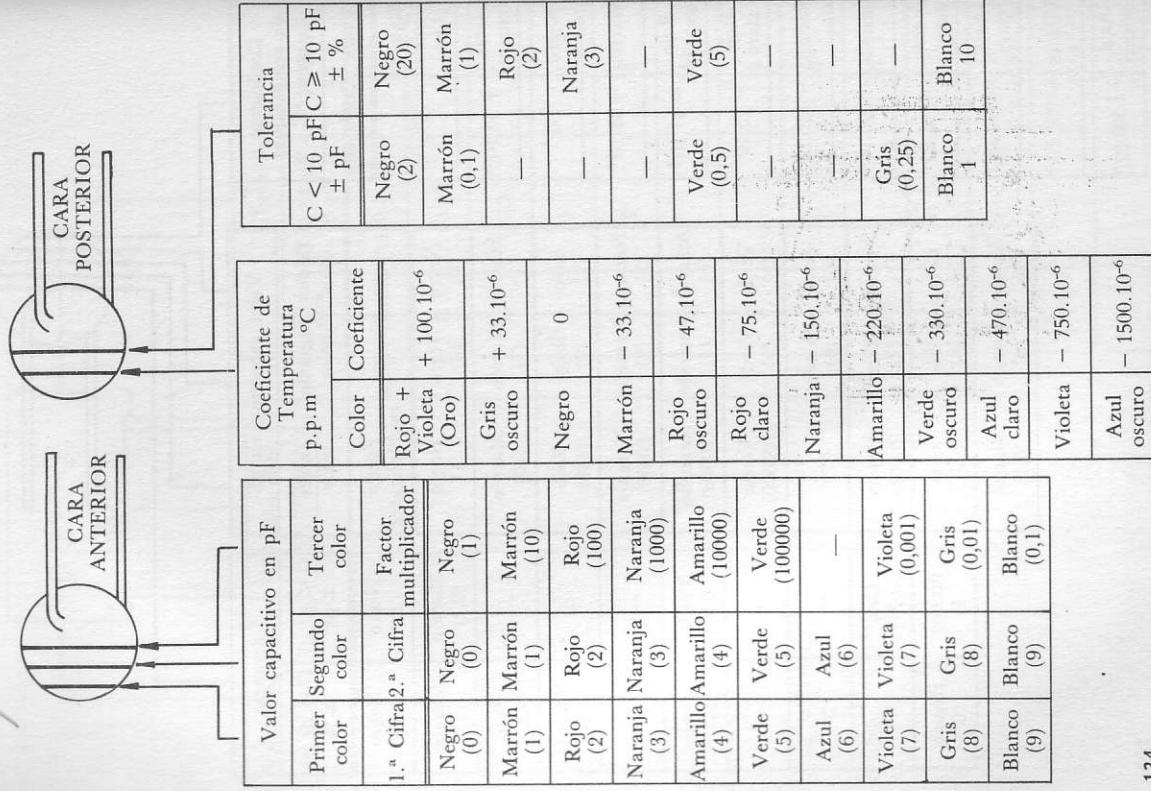
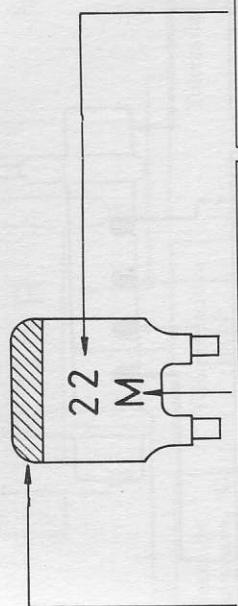


TABLA XV. — CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSAORES CERÁMICOS MI-  
NIATURA, GRUPO I.



Coeficiente de temperatura p.p.m. °C		Tolerancia		Valor capacitivo en pF
Color	Coeficiente	Letra	C < 10 pF ± pF	C ≥ 10 pF ± %
Rojo + Violeta (Oro)	+ 100.10 <sup>-6</sup>	B	0,1	
Gris oscuro	+ 33.10 <sup>-6</sup>	C	0,25	
Negro	0	D	0,5	0,5
Marrón	- 33.10 <sup>-6</sup>	E	1	1
Rojo oscuro	- 47.10 <sup>-6</sup>	F	2	2
Rojo claro	- 75.10 <sup>-6</sup>	G	2	2
Naranja	- 220.10 <sup>-6</sup>	H		2,5
Verde oscuro	- 330.10 <sup>-6</sup>	I		5
Azul claro	- 470.10 <sup>-6</sup>	J		
Violeta	- 750.10 <sup>-6</sup>	K		10
Azul oscuro	- 1500.10 <sup>-6</sup>	L		
		M		20
		P		- 0 + 100
		R		- 20 + 30
		S		- 20 + 50
		Z		- 20 + 80

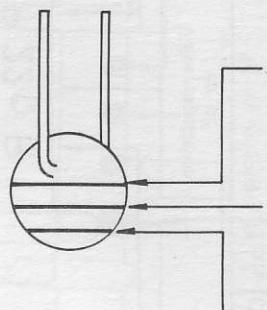
TABLA XVI. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS TUBULARES, GRUPO I. (Código de COLORES)

Color	Coeficiente de temperatura p.p.m. °C	Coeficiente de temperatura p.p.m. °C		
		Primer color	Segundo color	Tercer color
Rojo + Violeta (Oro)	+ 100.10 <sup>-6</sup>	Negro (0)	Negro (0)	Negro (20)
Gris oscuro	+ 33.10 <sup>-6</sup>	Marrón (1)	Marrón (10)	Marrón (0,1)
Negro 0	0	Rojo (2)	Rojo (100)	Rojo (2)
Marrón - 33.10 <sup>-6</sup>	- 33.10 <sup>-6</sup>	Naranja (3)	Naranja (1000)	Naranja (3)
Rojo oscuro - 47.10 <sup>-6</sup>	- 47.10 <sup>-6</sup>	Amarillo (4)	Amarillo (10000)	Verde (0,5)
Rojo claro - 75.10 <sup>-6</sup>	- 75.10 <sup>-6</sup>	Verde (5)	Verde (100000)	Verde (5)*
Naranja - 220.10 <sup>-6</sup>	- 220.10 <sup>-6</sup>	Azul (6)	Azul (6)	Azul (4)
Verde oscuro - 330.10 <sup>-6</sup>	- 330.10 <sup>-6</sup>	Violeta (7)	Violeta (0,001)	Violeta (7)
Azul claro - 470.10 <sup>-6</sup>	- 470.10 <sup>-6</sup>	Gris (8)	Gris (0,01)	Gris (8)
Violeta - 750.10 <sup>-6</sup>	- 750.10 <sup>-6</sup>	Blanco (9)	Blanco (0,1)	Blanco (1)
Azul oscuro - 1500.10 <sup>-6</sup>	- 1500.10 <sup>-6</sup>			Blanco (10)

TABLA XVII. — Código de IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS TUBULARES, GRUPO I. (Código de CIFRAS Y LETRAS)

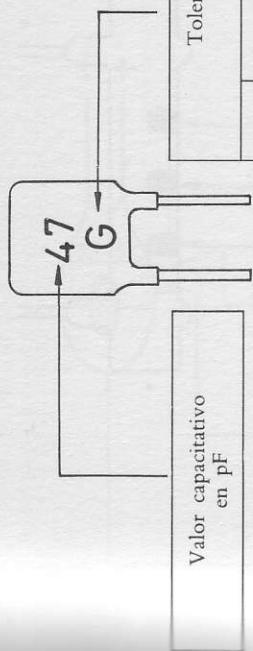
Letra	Valor capacitivo en pF	Tolerancia		
		A < 10 pF	C ≥ 10 pF	C ≥ 10 pF ± %
B	0,1	C	0	
C	0,25	H	- 33.10 <sup>-6</sup>	
D	0,5	L	- 75.10 <sup>-6</sup>	
F	1	P	- 150.10 <sup>-6</sup>	
G	2	R	- 220.10 <sup>-6</sup>	
H	2,5	S	- 330.10 <sup>-6</sup>	
J	5	T	- 470.10 <sup>-6</sup>	
K	10	U	- 750.10 <sup>-6</sup>	
M	20	W	- 1 500.10 <sup>-6</sup>	
P	+ 100			- 0
R	+ 30			- 20
S	+ 50			- 20
Z	+ 80			- 20

TABLA XVIII.—CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS DE DISCO, GRUPO II.



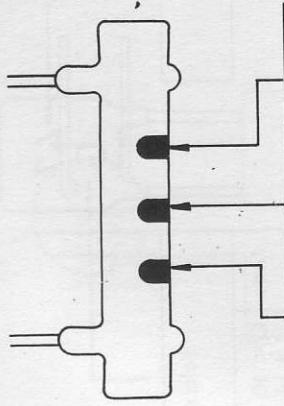
Primer color	Segundo color	Tercer color
Negro (0)	Negro (0)	Negro (1)
Marrón (1)	Marrón (1)	Marrón (10)
Rojo (2)	Rojo (2)	Rojo (100)
Naranja (3)	Naranja (3)	Naranja (1000)
Amarillo (4)	Amarillo (4)	Amarillo (10000)
Verde (5)	Verde (5)	Verde (100000)
Azul (6)	Azul (6)	—
Violeta (7)	Violeta (7)	Violeta (0,001)
Gris (8)	Gris (8)	Gris (0,01)
Blanco (9)	Blanco (9)	Blanco (0,1)

TABLA XIX.—GRUPO DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS MINIATURA, GRUPO II.



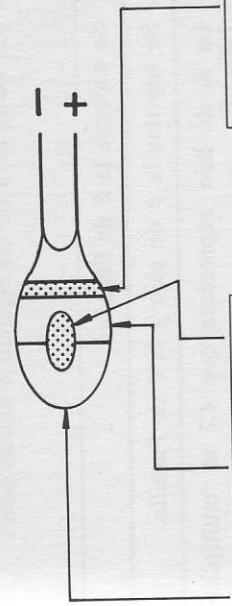
Letra	C < 10 pF	C ≥ 10 pF
	C ± pF	C ± %
B	0,1	
C	0,25	
D	0,5	0,5
F	1	1
G	2	2
H		2,5
J		5
K		10
M		20
P		— 0 + 100
R		— 20 + 30
S		— 20 + 50
Z		— 20 + 80

TABLA XX.—CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES CERÁMICOS TUBULARES, GRUPO II.



Valor capacítivo en pF		
Primer color	Segundo color	Tercer color
1.ª Cifra	2.ª Cifra	Factor
Negro (0)	Negro (0)	Negro (1)
Marrón (1)	Marrón (10)	Marrón (10)
Rojo (2)	Rojo (100)	Rojo (100)
Naranja (3)	Naranja (1000)	Naranja (1000)
Amarillo (4)	Amarillo (10000)	Amarillo (10000)
Verde (5)	Verde (100000)	Verde (100000)
Azul (6)	Azul (—)	Azul (—)
Violeta (7)	Violeta (0,001)	Violeta (0,001)
Gris (8)	Gris (0,01)	Gris (0,01)
Blanco (9)	Blanco (0,1)	Blanco (0,1)

TABLA XXI.—CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES ELECTROLÍTICOS DE TANTALIO.



Valor Capacitivo en $\mu\text{F}$		
Primer color	Segundo color	Punto central
1.ª Cifra	2.ª Cifra	Factor
Negro (0)	Negro (0)	Negro (1)
Marrón (1)	Marrón (1)	Marrón (10)
Rojo (2)	Rojo (2)	Rojo (100)
Naranja (3)	Naranja (3)	Naranja (1000)
Amarillo (4)	Amarillo (4)	Amarillo (10000)
Verde (5)	Verde (5)	Verde (100000)
Azul (6)	Azul (6)	Azul (—)
Violeta (7)	Violeta (7)	Violeta (0,001)
Gris (8)	Gris (8)	Gris (0,01)
Blanco (9)	Blanco (9)	Blanco (0,1)

Tensión Máxima	
Color	V
Negro	10
Marrón	—
Rojo	4
Naranja	40
Amarillo	6,3
Verde	16
Azul	—
Violeta	—
Gris	25
Blanco	2,5

En las tablas anteriores en las que la identificación del valor capacitivo se efectúa por cifras, ésta se imprime sobre la superficie del condensador de muy diversas maneras, pero siempre haciendo referencia a la unidad picofaradio. Así, un condensador de 4700 pF puede identificarse por cualquiera de las siguientes anotaciones:

4700 p	Se suprime la F de Faradio.
4700	Se suprime la p de pico y la F de Faradio.
4,7 K	La K de kilo representa que 4,7 se multiplica por 1000 pF.
4,7 n	Se sustituye pF por la n de nanofaradio, puesto que 4,7 nF = 4700 pF.
4n7	La n de nanofaradio se utiliza como coma decimal.
0,0047 $\mu$ F	Indicación en $\mu$ F, puesto que 4700 pF = 4,7 nF = 0,0047 $\mu$ F.
.0047 $\mu$ F	La misma indicación anterior pero suprimiendo el cero de la unidad faradio.
472	La cifra 2 indica que detrás de 47 deben añadirse dos ceros.

#### 4. Circuitos con condensadores

##### INTRODUCCION

Siguiendo la misma línea que en el caso de las resistencias, a continuación abordaremos el estudio de los circuitos compuestos únicamente de condensadores, es decir de circuitos en los que figuran sólo condensadores conectados en serie, en derivación o en conexión mixta.

Sin embargo, antes de introducirnos en materia, conviene abordar un concepto que creemos más propio de este capítulo que el anterior; se trata del concepto «reactancia capacativa», cuyo significado estudiaremos a continuación.

##### LAMINA 4.1. REACTANCIA CAPACITIVA

Supongamos que un generador de corriente alterna, cuya tensión eficaz es  $U$ , está conectado a un condensador ideal de capacidad  $C$  (Fig. 4.1). La variación temporal de la tensión del generador se aprecia en la figura 4.2, en la que puede ver cómo la corriente va adelantada  $90^\circ$  con respecto a la tensión, tal y como ya se explicó en el capítulo anterior. En la figura 4.3 se ha dibujado el diagrama vectorial de un condensador ideal.

Debido a la tensión alterna  $U$ , el condensador resulta cargado, descargado, vuelto a cargar con polaridad opuesta, una vez más descargado y así sucesivamente. Con ello circula una corriente  $i$  cuya variación temporal es también senoidal. Pero... ¡ojito!, la corriente no circula a través del condensador, es decir a través de su dieléctrico, puesto que éste es un aislante, la corriente sólo circula de los bornes

del generador a las armaduras del condensador y viceversa, es decir aunque el circuito realmente no esté cerrado, el efecto es como si lo estuviera, y por lo tanto podemos decir que por el circuito circula una corriente eléctrica.

La intensidad de la corriente  $I$ , mejor dicho, el valor eficaz de la corriente alterna depende, aparte de la tensión del generador, de la capacidad del condensador y de la frecuencia de la propia corriente alterna. Cuanto mayor es la capacidad y más elevada la frecuencia, con tanta más violencia se desarrolla el proceso continuo de carga y descarga y en consecuencia, tanto más intensa será la corriente. A pequeñas capacidades y frecuencias circulará sólo una débil corriente. El condensador en corriente alterna se comporta como una resistencia que dependiera de la capacidad y de la frecuencia. A esta resistencia de corriente alterna se la denomina *reactancia capacitiva* ( $X_c$ ), y se la define como la oposición que presenta un condensador al paso de la corriente alterna.

La fórmula que relaciona la frecuencia  $f$ , la capacidad  $C$  y la reactancia capacitiva  $X_c$  es la que sigue:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

En ella  $\omega$  es la pulsación de la corriente alterna, cuyo valor es directamente proporcional a la frecuencia de la misma ( $\omega = 2\pi f$ ).

En la fórmula citada  $X_c$  viene dada en ohmios,  $f$  en hertzios y  $C$  en faradios.

Como ejemplo, vamos a calcular la intensidad de corriente que circulará por un condensador de  $1 \mu F$  al que se le aplica una tensión de  $220 V$   $50 Hz$ :

Para empezar se calcula la reactancia capacitiva del condensador:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz} \times 0,000 001 \text{ F}} \approx 3180 \Omega$$

El valor de la corriente se halla por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{X_c} = \frac{220 \text{ V}}{3180 \Omega} \approx 0,07 \text{ A} = 70 \text{ mA}$$

REACTANCIA CAPACITIVA	LAMINA 4.1
-----------------------	------------

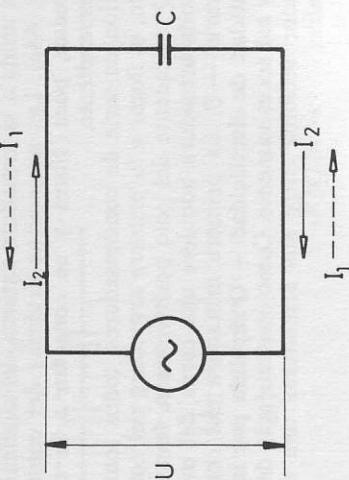


Fig. 4.1

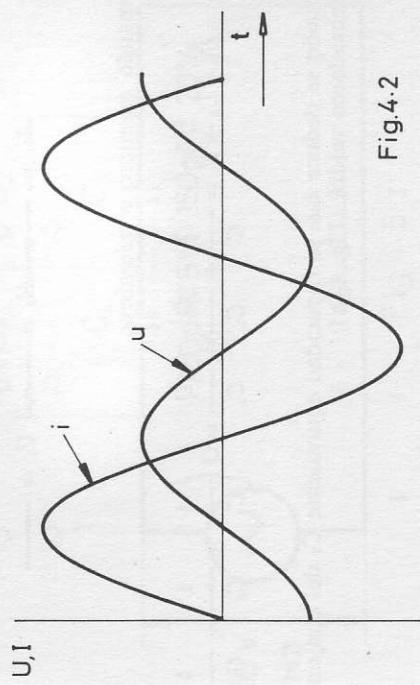


Fig. 4.2

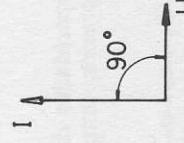


Fig. 4.3

## LAMINA 4.2. CONEXION DE CONDENSADORES EN SERIE

En la *conexión en serie de condensadores*, la armadura interna de uno de ellos va unida a la armadura externa del siguiente y así sucesivamente (Fig. 4.4a). Las armaduras externas del conjunto de condensadores quedan, pues, libres y se conectan a la diferencia de potencial correspondiente.

En la conexión en serie de condensadores, todos toman la misma carga. En efecto, al llegar a la primera armadura del condensador  $C_1$  una carga  $+Q$  procedente del polo positivo de la fuente de alimentación, la segunda armadura adquiere una carga del mismo valor y de signo contrario  $-Q$ . La primera armadura del condensador  $C_1$  recibe una cantidad de electricidad  $+Q$  repelida por la segunda armadura de  $C_1$  y así sucesivamente. Como consecuencia de lo expuesto, cada condensador recibirá entre sus armaduras una diferencia de potencial de valor:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} \quad U_2 = \frac{Q}{C_2} \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

y sumando miembro a miembro:

$$U_r = U_1 + U_2 + U_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

De donde se deduce que la capacidad equivalente  $C_r$  del conjunto de condensadores valdrá (Fig. 4.4b):

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

En el caso de que las capacidades de cada uno de los condensadores sea la misma, la expresión anterior puede ponerse bajo la forma:

$$\frac{1}{C_r} = \frac{n}{C}$$

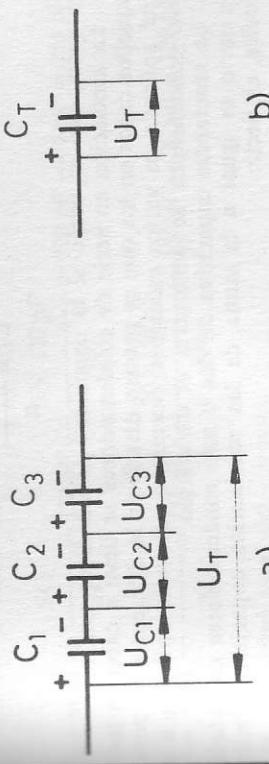
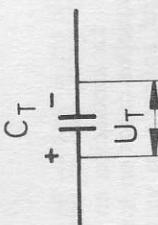
CONEXION DE CONDENSADORES EN SERIE	LAMINA 4.2
 <p>a)</p>	 <p>b)</p>

Fig. 4.4

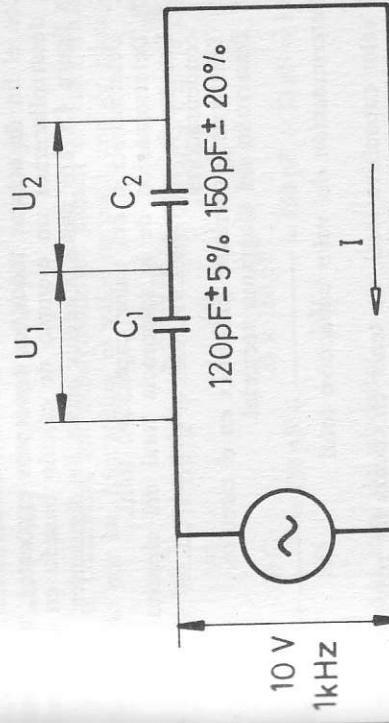


Fig. 4.5

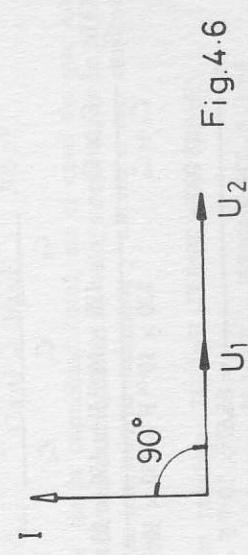


Fig. 4.6

en donde  $n$  es el número de condensadores conectados en serie.  
De la última expresión se deduce que:

$$C_r = \frac{C}{n}$$

es decir, que es como si la capacidad se dividiera por  $n$ .

La asociación en serie de condensadores se lleva a cabo en todos aquellos casos en los que es preciso distribuir la diferencia de potencial aplicada en varios escalones, porque si estuviese aplicada a un solo condensador se perforaría el dieléctrico.

La reactancia capacitiva de dos o más condensadores conectados en serie es igual a la suma de las reactancias capacitivas individuales, es decir:

$$X_r = X_{c1} + X_{c2} + X_{c3} + \dots + X_{cn}$$

Con el fin de aclarar todos los conceptos expuestos, a continuación desarrollaremos un ejemplo de cálculo basado en el circuito de la figura 4.5. Los pasos a seguir serán los siguientes:

- 1.º Determinación del valor capacitivo total.
- 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito.
- 3.º Reactancia individual de cada condensador y del conjunto de condensadores.
- 4.º Tensiones y corriente presentes en el circuito.
- 5.º Desarrollo del diagrama vectorial.

#### 1.º Determinación del valor capacitivo total

El valor capacitivo total, sin tener en cuenta las respectivas tolerancias, será de:

$$C_r = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\begin{aligned} C_r &= \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{120 \times 10^{-12} F \times 150 \times 10^{-12} F}{120 \times 10^{-12} F + 150 \times 10^{-12} F} = \\ &= \frac{18000 \times 10^{-12} F^2}{270 \times 10^{-12} F} = 66,67 \times 10^{-12} F = 66,67 \text{ pF} \end{aligned}$$

#### 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito

Si los condensadores tienen el valor mínimo determinado por las tolerancias, el valor de cada uno de ellos será:

$$C_{1\min.} = C_1 - \frac{5 C_1}{100} = 120 \text{ pF} - \frac{5 \times 120 \text{ pF}}{100} = 120 \text{ pF} - 6 \text{ pF} = 114 \text{ pF}$$

$$C_{2\min.} = C_2 - \frac{20 C_2}{100} = 150 \text{ pF} - \frac{20 \times 150 \text{ pF}}{100} = 150 \text{ pF} - 30 \text{ pF} = 120 \text{ pF}$$

y la capacidad total del circuito:

$$C_{T\min.} = \frac{C_{1\min.} \times C_{2\min.}}{C_{1\min.} + C_{2\min.}} = \frac{114 \text{ pF} \times 120 \text{ pF}}{114 \text{ pF} + 120 \text{ pF}} = \frac{13680 \text{ pF}^2}{234 \text{ pF}} = 58,46 \text{ pF}$$

Si por el contrario, los condensadores tienen el valor máximo determinado por las tolerancias, el valor de cada uno de ellos será:

$$C_{1\max.} = C_1 + \frac{5 C_1}{100} = 120 \text{ pF} + \frac{5 \times 120 \text{ pF}}{100} = 120 \text{ pF} + 6 \text{ pF} = 126 \text{ pF}$$

$$C_{2\max.} = C_2 + \frac{20 C_2}{100} = 150 \text{ pF} + \frac{20 \times 150 \text{ pF}}{100} = 150 \text{ pF} + 30 \text{ pF} = 180 \text{ pF}$$

y la capacidad total del circuito:

$$C_{T\max.} = \frac{C_{1\max.} \times C_{2\max.}}{C_{1\max.} + C_{2\max.}} = \frac{126 \text{ pF} \times 180 \text{ pF}}{126 \text{ pF} + 180 \text{ pF}} = \frac{22680 \text{ pF}^2}{306 \text{ pF}} = 74,12 \text{ pF}$$

Como el valor de la capacidad total, en el caso de que ambos condensadores tuvieran exactamente su valor nominal, es de 66,67 pF, la diferencia entre los valores máximos y mínimos con respecto al valor nominal será:

Variación máxima: 74,12 pF — 66,67 pF = 7,45 pF

Variación mínima: 58,46 pF — 66,67 pF = — 8,21 pF

La tolerancia porcentual del circuito será, pues:

$$P = \frac{7,45 \text{ pF} \times 100}{66,67 \text{ pF}} = 11,17$$

$$P = \frac{-8,21 \text{ pF} \times 100}{66,67 \text{ pF}} = -12,31$$

es decir, el condensador equivalente valdrá  $66,61 \text{ pF} \pm 11,17\%$

Suponiendo que la tolerancia total del circuito está comprendida entre los dos valores de tolerancia parcial de cada condensador.

3º. *Reactancia individual de cada condensador y del conjunto de condensadores*

Suponiendo que el valor real de cada condensador coincide con su valor teórico, la reactancia capacitiva de cada uno de ellos, a la frecuencia de 1000 Hz, será:

$$X_{cl} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \text{ Hz} \times 150 \times 10^{-12} \text{ F}} =$$

$$= \frac{1}{7,54 \times 10^{-7}} = 1326291 \Omega$$

$$X_{cl} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \text{ Hz} \times 120 \times 10^{-12} \text{ F}} =$$

$$= \frac{1}{9,43 \times 10^{-7}} = 1061033 \Omega$$

La reactancia capacitiva del condensador equivalente  $C_r$ , de  $66,67 \text{ pF}$  será:

$$X_r = \frac{1}{2\pi f C_r} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \text{ Hz} \times 66,67 \times 10^{-12} \text{ F}} =$$

$$= \frac{1}{419 \times 10^{-7}} = 2387324 \Omega$$

Observe que el valor de la reactancia capacitiva del condensador equivalente es igual a la suma de las reactancias individuales de cada condensador, tal y como se ha dicho anteriormente y se quería demostrar.

4º. *Tensiones y corrientes presentes en el circuito*

Suponiendo que el valor real de cada condensador coincide con su valor teórico, la intensidad de corriente que circula por el conjunto será:

$$I = \frac{U_r}{X_{cl} + X_{cl}} = \frac{U_r}{X_r} = \frac{10 \text{ V}}{2387324 \Omega} = 4,2 \mu\text{A}$$

y la tensión en bornes de cada uno de ellos:

$$U_{cl} = X_{cl} I = 1326291 \Omega \times 4,2 \mu\text{A} = 5,56 \text{ V}$$

$$U_{cl} = X_{cl} I = 1061033 \Omega \times 4,2 \mu\text{A} = 4,44 \text{ V}$$

Observe que la suma de las tensiones individuales es igual a la tensión total aplicada al circuito:

$$U_r = U_{cl} + U_{cl} = 5,56 \text{ V} + 4,44 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

De esto último se deduce que dos condensadores conectados en serie se comportan como un divisor de tensión alterna.

5º. *Desarrollo del diagrama vectorial*

- En la figura 4.6 se ha dibujado el diagrama vectorial de tensiones y corriente presentes en el circuito. Observe sobre él las siguientes particularidades:
- El vector intensidad está adelantado  $90^\circ$  con respecto a los vectores de tensión  $U_{cl}$  y  $U_{cl}$ .
  - La longitud de  $U_{cl}$  es proporcional a su valor ( $5,6 \text{ V}$ ) y la de  $U_{cl}$  al suyo ( $4,4 \text{ V}$ ).
  - Las tensiones  $U_{cl}$  y  $U_{cl}$  están en fase, por lo que la suma de ambos vectores nos da el vector  $U_r$ , no indicado, cuyo valor es igual a la suma de  $U_{cl} + U_{cl}$  ( $10 \text{ V}$ ).

### LAMINA 4.3. CONEXION DE CONDENSADORES EN PARALELO

Recibe el nombre de *conexión paralelo* o *conexión derivación de condensadores* la conexión mediante la cual todas las armaduras externas de los mismos se unen entre sí, así como todas las armaduras internas. En la figura 4.7a puede apreciar el esquema correspondiente de este montaje. Como puede comprobar sobre la citada figura, la diferencia de potencial  $U$  aplicada es la misma para todos los condensadores, por lo que las cargas en cada uno de ellos será igual a:

$$Q_1 = C_1 U \quad Q_2 = C_2 U \quad Q_3 = C_3 U$$

Las cargas del mismo signo que lleva el conductor único constituido por cada conjunto de armaduras conectadas entre sí (externas por un lado e internas por el otro), se suman aritméticamente, por lo que la capacidad total equivalente  $C_T$  (Fig. 4.7b) valdrá:

$$C_T = \frac{\Sigma Q}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} + \frac{Q_3}{U}$$

de donde se deduce:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

Así pues, la capacidad total de dos o más condensadores conectados en paralelo es igual a la suma aritmética de los valores individuales de cada uno de ellos.

En el supuesto de que todos los condensadores tuvieran la misma capacidad, el valor capacitivo resultante de la conexión de todos ellos en paralelo será igual a:

$$C_T = nC$$

en donde  $n$  es el número de condensadores conectados en paralelo y  $C$  el valor capacitivo de uno de ellos.

El valor máximo que puede alcanzar la tensión  $U$  aplicada a estos circuitos es igual a la del condensador que menor tensión soporta.

La inversa de la reactancia capacitiva de dos o más condensadores conectados en paralelo es igual a la suma de las susceptancias capacítivas (inversa de reactancia capacitiva), es decir:

$$\frac{1}{X_{er}} = \frac{1}{X_{c1}} + \frac{1}{X_{c2}} + \frac{1}{X_{c3}} + \dots + \frac{1}{X_n}$$

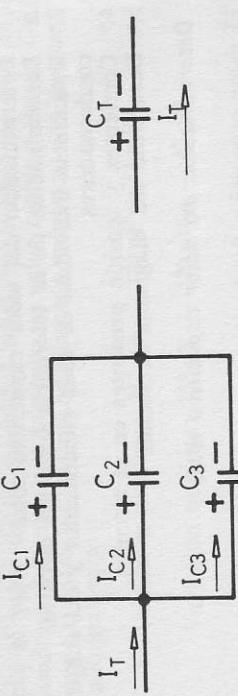
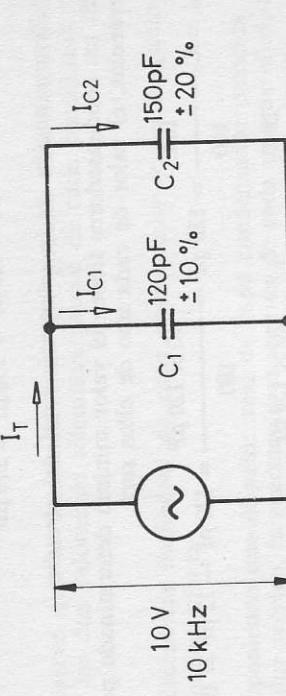
CONEXION DE CONDENSADORES EN PARALELO	LAMINA 4.3
 	a) b)

Fig. 4.7

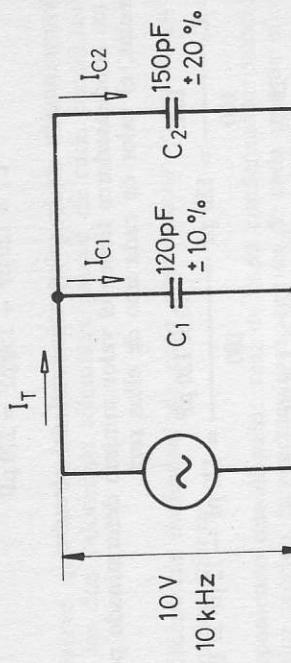


Fig. 4.8

$$I_{C2} = 94,2 \mu A$$

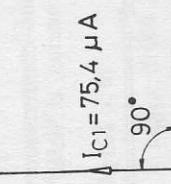


Fig. 4.9

Al igual que se hizo con la conexión de condensadores en serie, a continuación desarrollaremos, a título de ejemplo, el cálculo del circuito de la figura 4.8, según el siguiente orden:

- 1.º Determinación del valor capacitivo total.
- 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito.
- 3.º Reactancia individual de cada condensador y del conjunto de condensadores.
- 4.º Corrientes y tensión presentes en el circuito.
- 5.º Desarrollo del diagrama vectorial.

#### 1.º Determinación del valor capacitivo total

El valor capacitivo total, sin tener en cuenta las respectivas tolerancias, será de:

$$C_1 = C_1 + C_2$$

$$C_1 = 120 \text{ pF} + 150 \text{ pF} = 270 \text{ pF}$$

#### 2.º Determinación de la tolerancia total del circuito

Si los condensadores tienen el valor mínimo determinado por las tolerancias, el valor de cada uno de ellos será:

$$C_{1\min.} = C_1 - \frac{10 \times 120 \text{ pF}}{100} = 120 \text{ pF} - \frac{12 \text{ pF}}{100} = 108 \text{ pF}$$

$$C_{2\min.} = C_2 - \frac{20 \times C_2}{100} = \frac{150 \text{ pF} - 30 \text{ pF}}{100} = 120 \text{ pF}$$

y la capacidad total del circuito:

$$C_{\text{total}} = C_{1\min.} + C_{2\min.} = 108 \text{ pF} + 120 \text{ pF} = 228 \text{ pF}$$

Si, por el contrario, los condensadores tienen el valor máximo determinado por las tolerancias, el valor de cada uno de ellos será:

$$C_{1\max.} = C_1 + \frac{10 C_1}{100} = \frac{10 \times 120 \text{ pF}}{100} = 120 \text{ pF} + 12 \text{ pF} = 132 \text{ pF}$$

$$C_{2\max.} = C_2 + \frac{20 C_2}{100} = \frac{20 \times 150 \text{ pF}}{100} = 150 \text{ pF} + 30 \text{ pF} = 180 \text{ pF}$$

y la capacidad total del circuito será, en este caso:

$$C_{\text{total}} = C_{1\max.} + C_{2\max.} = 132 \text{ pF} + 180 \text{ pF} = 132 \text{ pF}$$

Como el valor de la capacidad total, en el caso de que ambos condensadores tuvieran exactamente su valor nominal, es de 270 pF, la diferencia entre los valores máximos y mínimos con respecto al valor nominal será:

$$\text{Variación máxima: } 312 \text{ pF} - 270 \text{ pF} = 42 \text{ pF}$$

$$\text{Variación mínima: } 228 \text{ pF} - 270 \text{ pF} = -42 \text{ pF}$$

La tolerancia porcentual del circuito será pues:

$$P = \frac{\pm 42 \times 100}{270} = 15,56 \%$$

Observe que la tolerancia total del circuito está comprendida entre los dos valores de tolerancia parcial de cada condensador.

3.º Reactancia individual de cada condensador y del conjunto de condensadores

Suponiendo que el valor real de cada condensador coincide con su valor teórico, la reactancia capacitiva de cada uno de ellos, a la frecuencia de 10 000 Hz, será:

$$X_{ct} = \frac{1}{2\pi f C_t} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10 000 \text{ Hz} \times 120 \times 10^{-12} \text{ F}} = \frac{1}{7,54 \times 10^{-6}} = 132,629 \Omega$$

$$X_{ct} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10 000 \text{ Hz} \times 150 \times 10^{-12} \text{ F}} = \frac{1}{9,43 \times 10^{-6}} = 106,103 \Omega$$

$$X_r = \frac{1}{2\pi f C_r} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10\,000 \text{ Hz} \times 270 \times 10^{-9} \text{ F}} =$$

$$\frac{1}{1,69 \times 10^{-5}} = 58\,946 \Omega$$

Si sumamos las inversas de las reactancias parciales:

$$\frac{1}{X_r} = \frac{1}{X_{c1}} + \frac{1}{X_{c2}}$$

se tiene:

$$\begin{aligned} X_r &= \frac{X_{c1} \times X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}} = \frac{132\,629 \Omega \times 106\,103 \Omega}{132\,629 \Omega + 106\,103 \Omega} = \\ &= \frac{14\,072\,387\,000 \Omega^2}{238\,732 \Omega} = 58\,946 \Omega \end{aligned}$$

Lo cual demuestra y confirma que la suma de las inversas de las reactancias capacitivas individuales es igual a la inversa de la reactancia total.

#### 4.º Corrientes y tensión presentes en el circuito

Suponiendo que el valor real de cada condensador coincide con su valor teórico, la tensión en bornes del conjunto será igual a la tensión de la fuente de alimentación y la corriente que circula por cada uno de ellos será:

$$I_{c1} = \frac{U}{X_{c1}} = \frac{10 \text{ V}}{132\,629 \Omega} \approx 0,000\,075\,4 \text{ A} = 75,4 \mu\text{A}$$

$$I_{c2} = \frac{U}{X_{c2}} = \frac{10 \text{ V}}{106\,103} \approx 0,000\,94\,2 \text{ A} = 94,2 \mu\text{A}$$

Observe que la suma de las corrientes individuales es igual a la intensidad de corriente total que circula por el circuito.

$$I_r = I_{c1} + I_{c2} = 75,4 \mu\text{A} + 94,2 \mu\text{A} = 169,6 \mu\text{A}$$

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{U}{\frac{1}{X_{c1}} + \frac{1}{X_{c2}}} = \frac{10 \text{ V}}{\frac{58\,946 \Omega}{X_{c1}} + \frac{58\,946 \Omega}{X_{c2}}} = 0,000\,169\,6 \text{ A} = 169,6 \mu\text{A} \end{aligned}$$

#### 5.º Desarrollo del diagrama vectorial

En la figura 4.9 se ha dibujado el diagrama vectorial de tensiones y corrientes presentes en el circuito. Observe sobre él las siguientes particularidades:

- a) El vector tensión está atrasado 90° con respecto a los vectores de corriente  $I_{c1}$  e  $I_{c2}$ .
- b) La longitud de  $I_{c1}$  es proporcional a su valor (75,4  $\mu\text{A}$ ) y la del vector  $I_{c2}$  al suyo (94,2  $\mu\text{A}$ ).
- c) Las corrientes  $I_{c1}$  e  $I_{c2}$  están en fase, por lo que la suma de ambos vectores nos da el vector  $I_r$ , no indicado, cuyo valor es igual a la suma de  $I_{c1} + I_{c2}$  (169,6  $\mu\text{A}$ ).

#### LAMINA 4.4. CONEXION MIXTA DE CONDENSADORES

Cuando en un circuito eléctrico se conectan condensadores en serie y en derivación, se dice que es una *conexión mixta*. Para el cálculo de la capacidad equivalente se procede de igual forma que en el caso de los condensadores en serie y los condensadores en derivación, es decir, sumando las capacidades en derivación y sumando las inversas de las capacidades en serie. Como ejemplo de cálculo vamos a desarrollar el del valor capacitivo del condensador equivalente del circuito de la figura 4.10, así como de las tensiones y corrientes presentes en el circuito.

Para ello partiremos de los siguientes valores conocidos:

Tensión total aplicada al circuito  $U_r = 25 \text{ V}$ .

Frecuencia de la corriente  $f = 400 \text{ kHz}$ .

Condensador  $C_1 = 150 \text{ pF}$ .

Condensador  $C_2 = 220 \text{ pF}$ .

Condensador  $C_3 = 100 \text{ pF}$ .

Para facilitar los cálculos no se tendrán en cuenta las tolerancias de los condensadores, es decir los consideraremos componentes ideales cuyo valor teórico coincide con su valor real y carentes de cualquier pérdida eléctrica.

La primera operación a realizar consiste en simplificar el circuito, es decir, buscar una capacidad equivalente al conjunto de todos los condensadores presentes en el circuito. Para ello se comienza simplificando los condensadores conectados en derivación; en nuestro caso buscaremos la capacidad equivalente de los condensadores  $C_1$  y  $C_2$ , conectados en derivación, y cuyo valor capacitivo total será:

$$C_{12} = C_1 + C_2 = 150 \text{ pF} + 220 \text{ pF} = 370 \text{ pF}$$

y con lo cual el circuito queda transformado en el representado en la figura 4.11a.

A continuación se busca el valor equivalente de los condensadores conectados en serie, en nuestro caso  $C_{12}$  y  $C_3$ , y cuyo valor será:

$$C_{123} = \frac{C_{12} \times C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{370 \text{ pF} \times 100 \text{ pF}}{370 \text{ pF} + 100 \text{ pF}} = \frac{37000 \text{ pF}}{470 \text{ pF}} = 78,72 \text{ pF}$$

con lo cual se obtiene un circuito formado por un solo condensador cuyo valor capacitivo equivale al conjunto de los condensadores  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  (figura 4.11b).

CONEXION MIXTA DE CONDENSADORES	LAMINA 4.4
---------------------------------	---------------

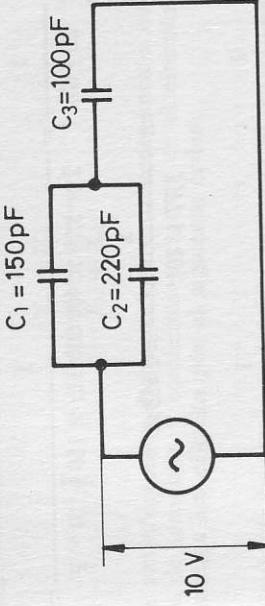
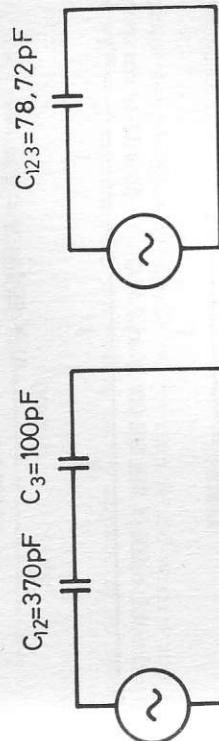


Fig. 4.10



b)

Fig. 4.11

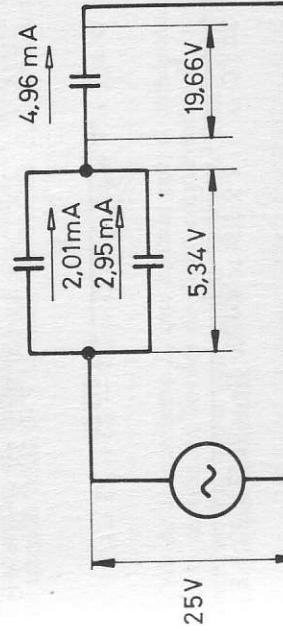


Fig. 4.12

Una vez efectuados estos cálculos, podemos obtener el valor de las reactancias de cada condensador y de los condensadores equivalentes:

$$X_{c1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400\,000 \text{ Hz} \times 150 \times 10^{-12} \text{ F}} \approx$$

$$\approx \frac{1}{3,77 \times 10^{-4}} = 2\,653 \Omega$$

$$X_{c2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400\,000 \text{ Hz} \times 220 \times 10^{-12} \text{ F}} \approx$$

$$\approx \frac{1}{5,53 \times 10^{-4}} = 1\,809 \Omega$$

$$X_{c3} = \frac{1}{2\pi f C_3} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400\,000 \text{ Hz} \times 100 \times 10^{-12} \text{ F}} \approx$$

$$\approx \frac{1}{2,51 \times 10^{-4}} = 3\,979 \Omega$$

$$X_{el\,1} = \frac{1}{2\pi f C_{1,2}} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400\,000 \text{ Hz} \times 370 \times 10^{-12} \text{ F}} \approx$$

$$\approx \frac{1}{9,30 \times 10^{-4}} = 1\,075 \Omega$$

$$X_{el\,2,3} = \frac{1}{2\pi f C_{1,2,3}} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400\,000 \text{ Hz} \times 78,77 \times 10^{-12} \text{ F}} \approx$$

$$\approx \frac{1}{1,98 \times 10^{-4}} = 5\,054 \Omega$$

Aconsejamos al lector que compruebe cómo la suma de las reactividades de los condensadores en serie y en derivación da la reactancia total del conjunto de condensadores, es decir que se cumple la igualdad:

$$X_{el\,2,3} = \frac{X_{el} \times X_{c2}}{X_{el} + X_{c2}} + X_{c3}$$

Una vez efectuados dichos cálculos, procederemos a averiguar los valores de tensiones y corrientes presentes en el circuito. Para ello realizaremos los cálculos por el siguiente orden:

1º *Cálculo de la corriente total  $I_T$  que circula por el circuito.* Esta corriente es la que circula por el condensador equivalente  $C_{1,2,3}$ , por lo que su valor será:

$$I_T = \frac{U_T}{X_{el\,2,3}} = \frac{25 \text{ V}}{5\,054 \Omega} \approx 0,00496 \text{ A} \approx 4,96 \text{ mA}$$

2º *Cálculo de la tensión  $U_{ea}$  en bornes del condensador  $C_3$ .* Como la corriente  $I_{el}$  que circula por dicho condensador es igual a la corriente total  $I_T$  que circula por el circuito, la tensión en bornes de la misma será:

$$U_3 = I_{el} X_{ea} = I_T X_{ea} = 4,94 \text{ mA} \times 3\,979 \Omega = 19,66 \text{ V}$$

3º *Cálculo de la tensión en bornes del conjunto de condensadores  $C_1, C_2$ .* La tensión en bornes de estos dos condensadores es la misma, puesto que están en derivación, y su valor es igual a la diferencia entre la tensión total  $U_T$  y la caída de tensión  $U_3$  en bornes de  $C_3$ , es decir:

$$U_{el} = U_{ea} = U_T - U_3 = 25 \text{ V} - 19,66 \text{ V} = 5,34 \text{ V}$$

4º *Cálculo de la corriente  $I_{el}$  que circula por el condensador  $C_1$ .* Conociendo la tensión en bornes de dicho condensador  $U_{el}$  y su reactancia capacitiva  $X_{el}$ , basta con aplicar la ley de Ohm para conocer la corriente que por él circula:

$$I_{el} = \frac{U_{el}}{X_{el}} = \frac{5,34 \text{ V}}{2\,653 \Omega} \approx 0,00201 \text{ A} \approx 2,01 \text{ mA}$$

5.<sup>o</sup> Cálculo de la corriente  $I_2$  que circula por el condensador  $C_2$ . Al igual que en el caso precedente, basta con aplicar la ley de Ohm:

$$I_{2a} = \frac{U_{2a}}{X_{2a}} = \frac{5,34 \text{ V}}{1899 \Omega} \approx 0,00295 \text{ A} \approx 2,95 \text{ mA}$$

Observe que la suma aritmética de las corrientes  $I_{c1}$  e  $I_{2a}$  es igual a la corriente total  $I_r$  que circula por el condensador  $C_3$  en serie con el conjunto  $C_1 - C_2$ . Para finalizar vea en la figura 4.12 la anotación de todas las corrientes y tensiones presentes en el circuito.

## 5. Bobinados

### INTRODUCCIÓN

Las *bobinas*, también llamadas *inductancias*, son los elementos que, probablemente, varían en su diseño más que cualquier otro componente. En su concepción más elemental una bobina consiste simplemente en un hilo conductor enrollado sobre un material aislante.

Cuanto más alta es la frecuencia de la corriente aplicada a una bobina menos espiras se necesitan para obtener una reactancia o oposición al paso de la corriente alterna suficiente. Así, se construyen bobinas de reducido número de espiras y tamaño, para funcionar a muchos cientos de MHz, hasta grandes bobinas, de muchas espiras, como elementos de filtro de la corriente alterna de hasta unos centenares de hertz.

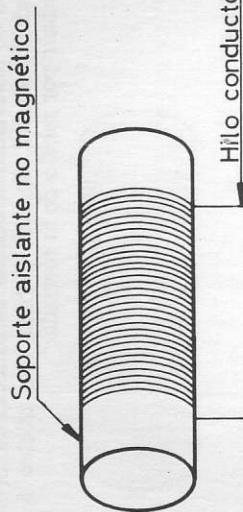
### CLASIFICACIÓN DE LAS BOBINAS

Según la frecuencia de las corrientes alternas distinguiremos entre *bobinas para alta frecuencia* y *bobinas para bajas frecuencias*. Según el núcleo o soporte donde va arrollada la bobina, distinguiremos entre:

- bobinas con núcleo de aire,*
- bobinas con núcleo de hierro,*
- bobinas con núcleo de pulvín metal,*
- bobinas con núcleo de ferrita.*

Además, las bobinas pueden estar apantalladas, es decir situadas dentro de un recipiente metálico que evita transferencias indebidas de energía entre la bobina y los elementos del circuito situados fuera del apantallamiento.

BOBINAS CON NUCLEO DE AIRE	LAMINA 5.1
----------------------------	---------------



**LAMINA 5.1. BOBINAS CON NUCLEOS DE AIRE**

La bobina con núcleo de aire consta de un arrollamiento de hilo conductor devanado sobre un soporte de fibra, plástico u otro material no magnético, sin hierro alguno en sus inmediaciones (Fig. 5.1).

En la fabricación de estas bobinas se utiliza generalmente hilo de cobre cuando la frecuencia de la corriente que se le aplica es de hasta 50 MHz. Para frecuencias superiores se emplean soportes de cobre plateado con el fin de evitar pérdidas. En radiofrecuencia se utiliza el *hilo de Litz*, consistente en un determinado número de hilos finos aislados individualmente, o bien de hilos trenzados en grupos de tres. Cada grupo de tres hilos debe pasar desde la superficie exterior al interior del cable, con lo cual se distribuye la corriente superficial, debida al efecto pelicular, a través de la sección recta total, incrementándose así la sección efectiva y reduciéndose las pérdidas en alta frecuencia por el efecto pelicular ya citado. El efecto pelicular consiste en una tendencia de la corriente alterna a concentrarse en la capa superficial de un conductor. El efecto aumenta con la frecuencia y hace que, por disminución de la sección útil, aumente la resistencia efectiva del conductor.

Las bobinas de núcleo de aire se construyen desde una fracción de espira hasta varios cientos de espiras superpuestas en varias capas. En la figura 5.2 se muestra la fotografía de varias bobinas con núcleo de aire.

Normalmente las bobinas se impregnan con el fin de hacerlas resistentes a la humedad y para mejorar su comportamiento ante las fuerzas mecánicas que puedan soportar.

Fig. 5.1

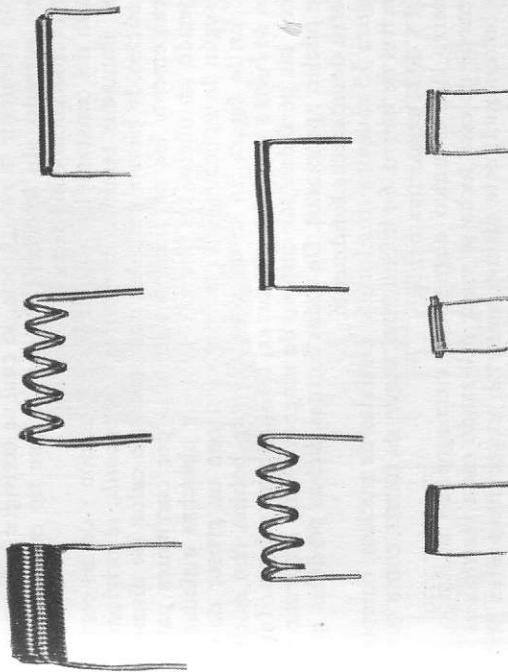


Fig. 5.2

### LAMINAS 5.2 y 5.3. BOBINAS CON NUCLEOS MAGNETICOS

El núcleo magnético se utiliza para incrementar la inductancia del bobinado sin aumentar la cantidad de hilo. Con este fin se inserta dentro del bobinado un núcleo de material ferromagnético. En la figura 5.3 se muestra una bobina de estas características.

La inductividad  $L$  de una bobina con núcleo ferromagnético se puede definir por medio de la fórmula:

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

en donde  $N$  es el número de espiras y  $R_m$  la reluctancia o resistencia magnética del trayecto de las líneas de fuerza expresado en Av/Mx (Amperivuelas por maxwell). Para obtener altas inductividades puede aumentarse el número de espiras, pero esto tiene la desventaja de que aumenta la resistencia ohmica del bobinado; por este motivo es preferible disminuir la reluctancia, lo cual se consigue con un núcleo de hierro cerrado, sin interrupción, puesto que un entrehierro presenta una reluctancia considerable.

A causa del constante cambio de magnetización y de las corrientes parásitas, llamadas también *corrientes de Foucault*, se originan, dentro del núcleo de hierro, pérdidas que producen calor. Se disminuyen considerablemente las pérdidas ocasionadas por corrientes parásitas construyendo un núcleo de hierro a base de planchas aisladadas entre sí que, según la aplicación de la bobina, tienen un grosor de 0,05 a 0,5 mm. En la figura 5.4 se ha dibujado una bobina con núcleo de planchas de hierro como las citadas en las líneas anteriores. También se reducen las pérdidas por cambio de magnetización eligiendo materiales de núcleo apropiados. De todas formas dichas pérdidas no pueden hacerse desaparecer totalmente.

La figura 5.5 muestra tres formas distintas de núcleos, compuestos por planchas de hierro. Se denominan, según su forma, como corte de UI, de EI y de M respectivamente.

El hierro fue el único elemento ferromagnético utilizado hasta 1900. A partir de esta fecha se viene utilizando cada vez más el ferrosilicio y ferromnquel; este último material proporciona altas permeabilidades.

Con frecuencias elevadas las pérdidas por corrientes parásitas en el hierro aumentan más. Ya no resulta suficiente que se construya el núcleo con un paquete de planchas degadas, sino que debe hacerse otra subdivisión en «islands» magnéticas, eléctricamente aisladas entre

BOBINAS CON NUCLEO MAGNETICO	LAMINA 5.2
------------------------------	------------

Núcleo ferromagnético

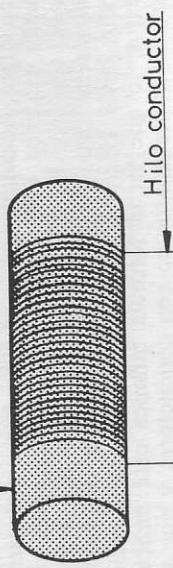


Fig. 5.3

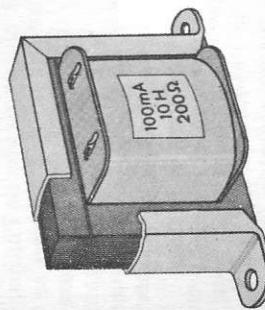
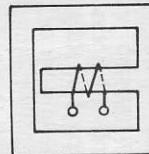
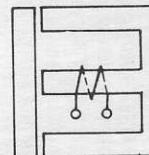


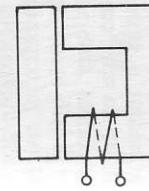
Fig. 5.4



c)



b)



a)

Fig. 5.5

sí. Un progreso esencial se alcanzó utilizando hierro en polvo, fino, mezclado con materia sintética aislante y comprimido todo formando el núcleo de la bobina. La materia básica para estos núcleos de hierro de alta frecuencia es un polvo de hierro que se extrae del *pentacarbónilo de hierro*. El diámetro de una partícula de hierro es de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . Tales materias magnéticas se sirven en el mercado bajo diversas denominaciones.

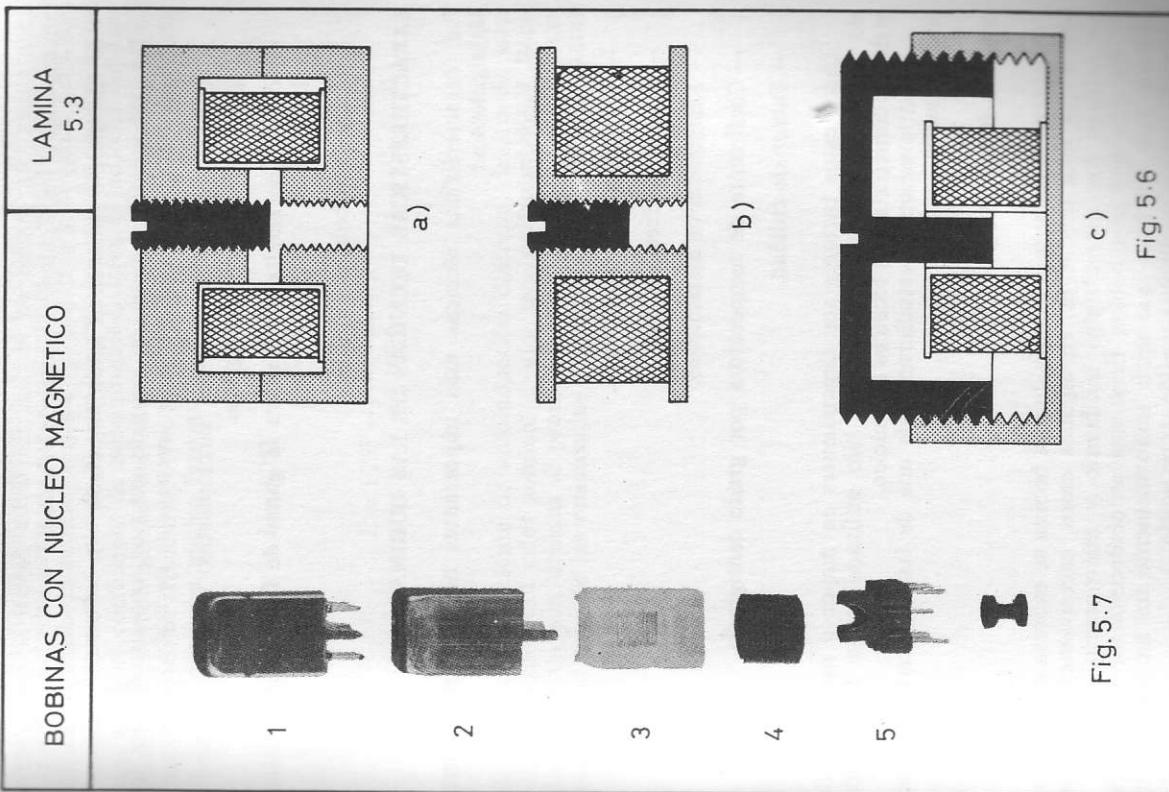
Otro paso más en este sentido fue el desarrollo de las *ferritas*. Estas son óxidos de metales magnéticos, pero con características de dieléctrico, es decir materiales magnéticos aislantes al paso de la corriente eléctrica. Como ejemplo de ferritas podemos citar: *ferrita de níquel* ( $\text{Ni}_0 \times \text{Fe}_2 \text{O}_3$ ), *ferrita de cobalto* ( $\text{Co}_0 \times \text{Fe}_2 \text{O}_3$ ), *ferrita de manganeso* ( $\text{Mn}_0 \times \text{Fe}_2 \text{O}_3$ ) y *ferrita de magnesio* ( $\text{Mg}_0 \times \text{Fe}_2 \text{O}_3$ ). Todos estos compuestos tienen estructura parecida: Son cristales mixtos, lo que en la fórmula química está indicado por el punto. Estos cristales mixtos no son conductores y por esto no hace falta pulverizarlos. Para su elaboración se utiliza el procedimiento de la técnica cerámica: Núcleos construidos por medio de inyección, a presión, o bien en fundición, se cuecen a temperaturas de 1300° C. Los núcleos son muy duros y tienen el tacto de porcelana. Si se les deja caer se rompen con facilidad. Como denominación comercial de las ferritas podemos citar el Ferroxcube de Philips.

Los núcleos de ferrita fabricados como se ha indicado anteriormente sólo se pueden trabajar tallándolos. Para componerlos se unen dos caras talladas planas por medio de pegamento. Si se hace con sumo cuidado este pegado, el espacio que queda en la unión de las caras es inferior a 10  $\mu\text{m}$  con lo que la dispersión del flujo magnético es reducida.

Una forma de núcleo especialmente pobre en dispersión, es el que se compone de dos moldes pegados (Fig. 5.6 a). Estos modelos completamente cerrados se denominan núcleos de campana. Aparte de éstos existen núcleos medio abiertos (Fig. 5.6 b) y núcleos abiertos (Fig. 5.6 c).

Si se quiere obtener un valor exacto de la inductividad, ésta deberá ser graduable, puesto que siempre hay que contar con las tolerancias propias de fabricación. Esto se consigue fácilmente por medio de un entrehierro variable. Por ejemplo, se modifica el núcleo del molde de tal manera que el pivote central sea más corto que el molde. Uno o ambos pivotes centrales se construyen vacíos y se proveen de una rosca, en la que se aplica un tornillo de núcleo, que es del mismo material que el núcleo del molde. Enroscando más o menos el tornillo se puede variar el entrehierro y así mismo la inductividad en un 10 %. Este procedimiento de ajuste se denomina *nivelación o sintonización* y se efectúa primariamente con el montaje de las conexiones y eventualmente debe ser repetido más adelante.

En la figura 5.7 puede ver la fotografía del despiece de una bobina



apantallada con núcleo de ferrita. En dicha figura la numeración corresponde a las siguientes partes de la bobina:

1. Blindaje o pantalla de latón niquelado.
2. Campana de ajuste con roscado exterior, constituido por ferrita adecuada a la gama de frecuencias de trabajo.
3. Cámisa aislante de material termoplástico con rosca interior por donde desliza la campana.
4. Núcleo de ferrita adecuada a la gama de frecuencias de trabajo.
5. Base de la bobina.

## CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS BOBINAS

Las características técnicas más importantes de las bobinas son las siguientes:

- Valor inductivo.
- Tolerancia.
- Variación de la inductancia.
- Margen de frecuencias.
- Resistencia de aislamiento.
- Coeficiente de temperatura por grado centígrado.
- Factor de calidad.

Todos estos factores son dependientes en mayor o menor grado de las características técnicas del hilo utilizado en su fabricación y de las características técnicas del núcleo.

A continuación se estudiarán cada una de las características técnicas citadas.

### VALOR INDUCTIVO

El coeficiente de autoinducción de una bobina se expresa en *Henrios*. Dado que esta unidad es, en algunos casos, excesivamente grande, se utilizan los submúltiplos milihenio y micohenrio.

Se dice que una bobina tiene una autoinducción de un Henrio cuando una corriente que varía uniformemente un amperio en un segundo induce en ella una tensión de un voltio.

El coeficiente de autoinducción de una bobina con núcleo de aire depende exclusivamente de sus características constructivas es decir, del número de espiras, sección de la espira y longitud del aislamiento, mientras que en el caso de una bobina con núcleo ferromagnético el coeficiente de autoinducción depende además del coeficiente de permeabilidad del núcleo. Todo ello queda reflejado en las dos fórmulas siguientes, correspondientes a una bobina con núcleo de aire y otra con núcleo ferromagnético, respectivamente.

$$L = 1,257 \frac{n^2 s}{10^8 l} \mu$$

$$L = 1,257 \frac{n^2 s}{10^8 l} \mu$$

### TOLERANCIA

El valor del coeficiente de autoinducción discrepa, dentro de unos ciertos límites, del valor nominal o valor teórico de la bobina. Estas discrepancias son debidas al proceso de fabricación, y de designar, como en el caso de las resistencias y condensadores, por *tolerancias*.

#### LAMINAS 5.4. VARIACION DE LA INDUCTANCIA

En bobinas con núcleo ajustable la variación que sufre el coeficiente de autoinducción al ajustar el núcleo se indica de forma porcentual. Así, una bobina ajustable de  $260 \mu\text{H}$  cuyo valor inductivo puede ser ajustado en  $\pm 10\%$ , podemos ajustar su valor desde  $234 \mu\text{H}$  a  $286 \mu\text{H}$ .

En ciertos casos los fabricantes indican el tanto por ciento de la variación de la inductancia en función de la carrera del núcleo, tal y como puede apreciar en la figura 5.8.

#### MARGEN DE FRECUENCIAS

Un dato muy importante a tener en cuenta es el margen de frecuencias a la que puede trabajar una bobina. Como ya se ha dicho en puntos anteriores no todos los núcleos son adecuados para trabajar en alta frecuencia, así como los hilos del bobinado pueden resultar inadecuados cuando se produce en ellos el efecto pelicular al trabajar en alta frecuencia. Otro dato de gran influencia al trabajar en alta frecuencia son las capacidades parásitas que se forman entre espiras de la bobina, y que pueden llegar a resultar como auténticos cortocircuitos para la alta frecuencia.

#### RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Los hilos utilizados en la fabricación de bobinas están recubiertos de un barniz o aislante que evita un cortocircuito directo entre espiras ayacentes. Dicho aislamiento puede sin embargo ser perforado si la tensión aplicada a la bobina sobrepasa un cierto valor. Aquí cabe hacer una distinción entre tensión aplicada a los terminales de la bobina y tensión soportada entre dos espiras contiguas, puesto que la tensión se reparte por igual entre las espiras y, en el caso de una bobina de una sola capa, la tensión entre espiras es igual a la tensión total aplicada a los bornes de la bobina dividido por el número de espiras. Así, si la bobina consta de 100 espiras y se le aplican 35 V, la tensión entre espiras contiguas será de:

$$\frac{35 \text{ V}}{100} = 0,35 \text{ V}$$

La resistencia de aislamiento entre terminales se indica en megohmios para una tensión continua dada.

VARIACION DE LA INDUCTANCIA EN FUNCION DE LA CARRERA DEL NUCLEO	LAMINA 5.4
Carrera en m.m.	

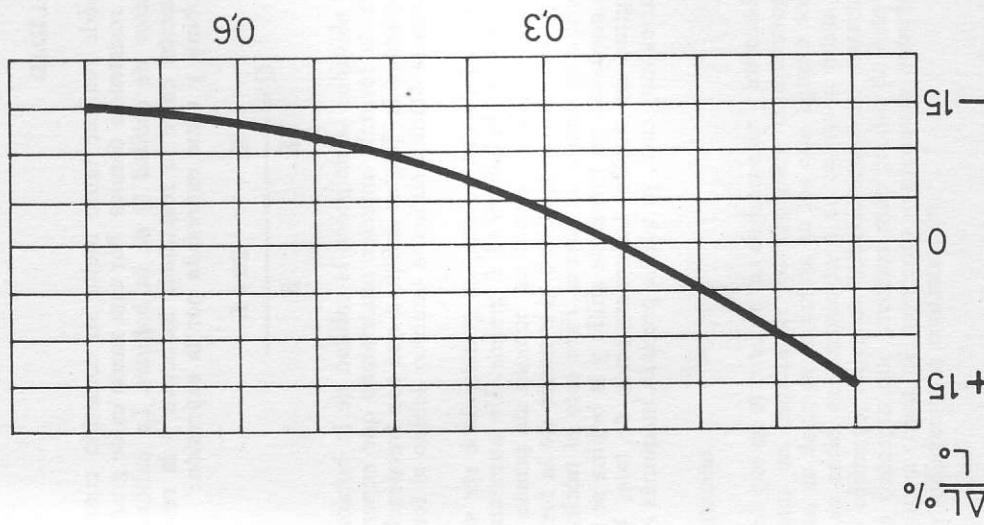


Fig. 5.8

#### COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Tal y como ya sabe, la conductividad de muchos conductores eléctricos varía con la temperatura. El valor ohmico de los hilos con los que se fabrican las bobinas viene por ello afectado más o menos por la temperatura. La influencia de la temperatura sobre la bobina se expresa en *unidades por °C.*

#### FACTOR DE CALIDAD

Toda bobina puede realizar tanto mejor su cometido cuanto más pequeñas sea su resistencia ohmica. Por esta razón es de gran interés el concepto «factor de calidad *Q de la bobina*». La calidad de la bobina es la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia ohmica de la bobina, y viene expresada por la expresión:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f L}{R}$$

Con frecuencias elevadas se empeora la calidad de la bobina, a pesar de que según la fórmula anterior tendríamos que suponer que aumenta con la frecuencia. Ello es debido a que con frecuencias más elevadas la resistencia ohmica aumenta también debido al fenómeno peculiar.

Para que la calidad de una bobina sea grande, debe ser su resistencia *R* pequeña y su inductividad *L* grande. Un aumento de la inductividad se consigue, por ejemplo, en bobinas sin previa magnetización que no precisan un entrehierro, por medio de la formación especial del trayecto de líneas de fuerza. Para esto el núcleo de la bobina se cierra quedando en forma de anillo y la bobina se reparte por toda la longitud del núcleo. La construcción de tales bobinas con núcleo anular es muy cara, ya que se precisan máquinas especiales de bobinar.

#### 6. Circuitos con bobinas

##### Introducción

Al igual que en el caso de las resistencias y los condensadores, a continuación se estudiarán los circuitos compuestos únicamente de bobinas, es decir de circuitos en los que figuran solo bobinas conectadas en serie, en derivación o en conexión mixta.

Sin embargo, antes de introducirnos en materia, conviene abordar un concepto que creemos más propio de este capítulo que del anterior; se trata del concepto «*reactancia inductiva*», cuyo significado estudiaremos a continuación.

### LAMINA 6.1. REACTANCIA INDUCTIVA

Supongamos que un generador de corriente alterna, cuya tensión eficaz es  $U$ , está conectado a una bobina ideal cuyo coeficiente de autoinducción es  $L$  (Fig. 6.1). La variación temporal de la tensión del generador se aprecia en la figura 6.2, en la que puede ver como la tensión va adelantada  $90^\circ$  con respecto a la corriente.

En la figura 6.3 se ha dibujado el diagrama vectorial. Para la fuente de corriente alterna la bobina presenta una especie de resistencia, denominada *reactancia inductiva*, que es consecuencia de su inductividad.

Cuanto más rápidamente la tensión cambie de sentido, es decir, cuanto mayor sea la frecuencia de la tensión del generador, tanto menor será el valor cresta que la corriente podrá alcanzar. La reactancia inductiva de toda bobina depende, pues, de la frecuencia con que varía la tensión del generador y naturalmente también de la inductividad propia de la bobina.

Esta relación se expresa por la siguiente fórmula, que permite el cálculo de la reactancia inductiva a la que designaremos por  $X_L$ :

$$X_L = 2\pi f L$$

Para la reactancia inductiva se emplea la misma unidad que para la resistencia óhmica: el *ohmio*.

Como ejemplo, vamos a calcular la intensidad de corriente que circulará por una bobina de 5 mH a la que se le aplica una tensión de 12 V 1000 Hz:

Para empezar se calcula la reactancia inductiva de la bobina:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3,14 \times 100 \text{ Hz} \times 0,005 \text{ H} = 31,42 \Omega$$

El valor de la corriente se halla por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{10 \text{ V}}{31,42 \Omega} \simeq 0,32 \text{ A}$$

### REACTANCIA INDUCTIVA

### LAMINA 6.1

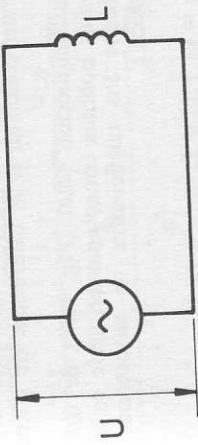


Fig. 6.1

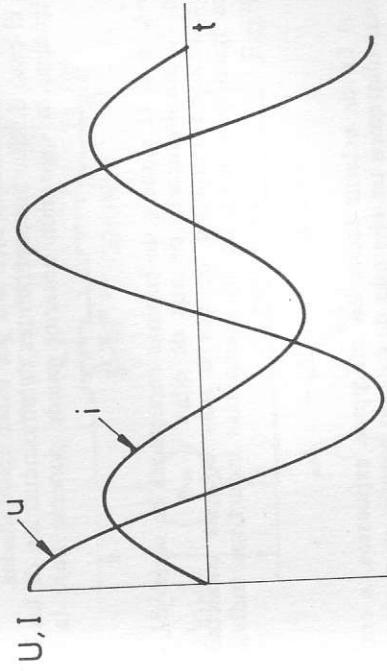


Fig. 6.2

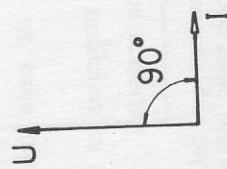


Fig. 6.3

## LAMINA 6.2. CONEXION DE BOBINAS EN SERIE

En la *conexión en serie de bobinas*, el borne de salida de una de ellas va unido al borne de entrada de la siguiente y así sucesivamente (Fig. 6.4a). Los bornes extremos del conjunto de bobinas quedan, pues, libres y se conectan a la diferencia de potencial correspondiente.

El coeficiente de autoinducción total (Fig. 6.4b) de un circuito compuesto por dos o más bobinas conectadas en serie es igual a la suma aritmética de todos los coeficientes de autoinducción parciales del circuito, es decir:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Esta ley es sólo válida en el supuesto de que no exista acoplamiento magnético entre las bobinas, bien sea por estar suficientemente alejadas unas de otras o bien sea por estar apantalladas.

En el caso de que los coeficientes de autoinducción de las bobinas sean iguales, la expresión anterior puede ponerse bajo la forma:

$$L_T = n L$$

en donde  $n$  es el número de bobinas conectadas en serie y  $L$  el coeficiente de autoinducción de una de ellas.

La reactancia inductiva de dos o más bobinas conectadas en serie es igual a la suma de las reactancias inductivas individuales, es decir:

$$X_T = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n}$$

Con el fin de aclarar todos los conceptos expuestos, a continuación desarrollaremos un ejemplo de cálculo basado en el circuito de la figura 6.5. Los pasos a seguir serán los siguientes:

- 1.º Determinación del coeficiente de autoinducción total.
- 2.º Reactancia individual de cada bobina y del conjunto de bobinas.
- 3.º Tensiones y corriente presentes en el circuito.
- 4.º Desarrollo del diagrama vectorial.

En este ejemplo consideraremos que las tolerancias de cada bobina son nulas, es decir que el valor teórico coincide con el valor real.

## CONEXION DE BOBINAS EN SERIE

### LAMINA 6.2

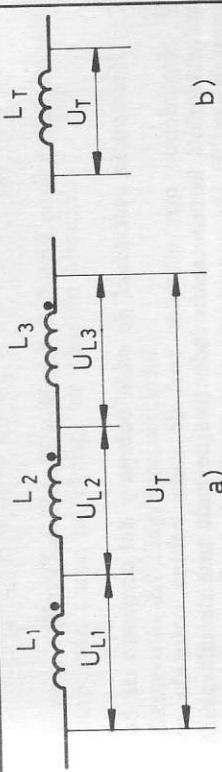


Fig. 6.4

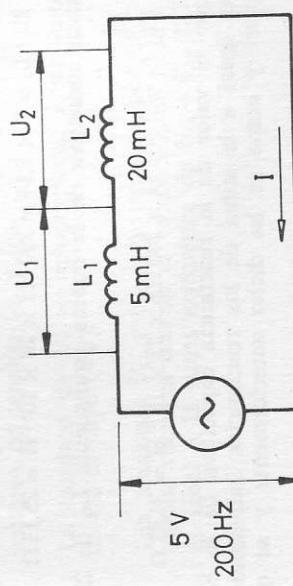


Fig. 6.5

$$U_{L2} = 4 \text{ V}$$

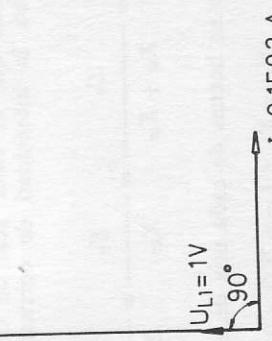


Fig. 6.6

- 1.<sup>o</sup> *Determinación del coeficiente de autoinducción total*  
 El valor inductivo total, sin tener en cuenta las respectivas tensiones, será de:

$$L_T = L_1 + L_2 = 5 \text{ mH} + 20 \text{ mH} = 25 \text{ mH}$$

- 2.<sup>o</sup> *Reactancia individual de cada bobina y del conjunto de bobinas*

Suponiendo que el valor real de cada bobina coincide con su valor teórico, la reactancia inductiva de cada una de ellas, a la frecuencia de 200 Hz que indica el esquema de la figura 6.5, será:

$$X_{L1} = 2\pi f L_1 = 2 \times 3,14 \times 200 \text{ Hz} \times 5 \times 10^{-3} \text{ H} = 6,28 \Omega$$

$$X_{L2} = 2\pi f L_2 = 2 \times 3,14 \times 200 \text{ Hz} \times 20 \times 10^{-3} \text{ H} = 25,13 \Omega$$

La reactancia inductiva de la bobina equivalente  $L_T$ , de 25 mH será:

$$X_{L,T} = 2\pi f L_T = 2 \times 3,14 \times 200 \text{ Hz} \times 25 \times 10^{-3} \text{ H} = 31,41 \Omega$$

Observe que el valor de la reactancia capacitiva de la bobina equivalente es igual a la suma de las reactivas individuales de cada bobina, tal y como se ha dicho anteriormente y se quería demostrar.

- 3.<sup>o</sup> *Tensiones y corriente presentes en el circuito*

Suponiendo que el valor real de cada bobina coincide con su valor teórico, la intensidad de corriente que circula por el conjunto será:

$$I = \frac{U_T}{X_{L1} + X_{L2}} = \frac{U_T}{X_{L,T}} = \frac{5 \text{ V}}{31,41 \Omega} \approx 0,1592 \text{ A}$$

y la tensión en bornes de cada una de ellas:

$$U_{L1} = X_{L1} \times I = 6,28 \Omega \times 0,1592 \text{ A} = 1 \text{ V}$$

$$U_{L2} = X_{L2} \times I = 25,13 \Omega \times 0,1592 \text{ A} = 4 \text{ V}$$

Observe que la suma de las tensiones individuales es igual a la tensión total aplicada al circuito:

$$U_T = U_{L1} + U_{L2} = 1 \text{ V} + 4 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

De esto último se deduce que dos bobinas conectadas en serie se comportan como un divisor de tensión alterna.

#### 4.<sup>o</sup> *Desarrollo del diagrama vectorial*

En la figura 6.6 se ha dibujado el diagrama vectorial de tensiones y corrientes presentes en el circuito. Observe sobre él las siguientes particularidades:

- a) El vector intensidad está atrasado 90° con respecto a los vectores de tensión  $U_{L1}$  y  $U_{L2}$ .
- b) La longitud de  $U_{L1}$  es proporcional a su valor (1 V) y la de  $U_{L2}$  al suyo (4 V).
- c) Las tensiones  $U_{L1}$  y  $U_{L2}$  están en fase, por lo que la suma de ambos vectores nos da el vector  $U_T$ , no indicado, cuyo valor es igual a la suma aritmética de  $U_{L1} + U_{L2}$  (5 V).

### LAMINA 6.3. CONEXION DE BOBINAS EN PARALELO

Recibe el nombre de *conexión paralelo* o *conexión derivación de bobinas* la conexión mediante la cual todos los terminales de entrada de las mismas se unen entre sí, así como todos los terminales de salida. En la figura 6.7a puede apreciar el esquema correspondiente de este montaje. Como puede comprobar sobre la citada figura, la diferencia de potencial  $U$  aplicada es la misma para todas las bobinas.

La inversa del coeficiente de autoinducción de dos o más bobinas conectadas en paralelo es igual a la suma aritmética de las inversas de los coeficientes de autoinducción parciales del circuito, es decir:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Esta ley es sólo válida en el supuesto de que no exista acoplamiento magnético entre las bobinas, bien por estar suficientemente alejadas unas de otras o bien por estar apantalladas.

En el supuesto de que todos los coeficientes de autoinducción fuesen del mismo valor, el coeficiente de autoinducción total de la conexión de todas las bobinas en paralelo será igual a:

$$L_T = \frac{L}{n}$$

en donde  $n$  es el número de bobinas conectadas en paralelo y  $L$  el coeficiente de autoinducción de una de ellas.

La inversa de la reactancia inductiva de dos o más bobinas conectadas en paralelo es igual a la suma de las susceptancias inductivas (inversa de reactancia inductiva), es decir:

$$\frac{1}{X_{Tr}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \dots + \frac{1}{X_{Ln}}$$

Al igual que se hizo anteriormente con la conexión de bobinas en serie, a continuación desarrollaremos, a título de ejemplo, el cálculo del circuito de la figura 6.8, según el siguiente orden:

- 1º Determinación del coeficiente de autoinducción total.
- 2º Reactancia individual de cada bobina y del conjunto de bobinas.
- 3º Corrientes y tensión presentes en el circuito.
- 4º Desarrollo del diagrama vectorial.

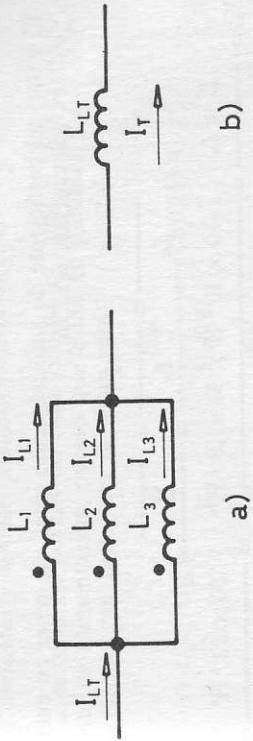
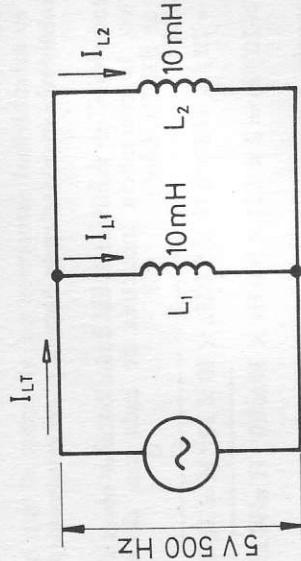
CONEXION DE BOBINAS EN PARALELO	LAMINA 6.3
	

Fig. 6.7

Fig. 6.8

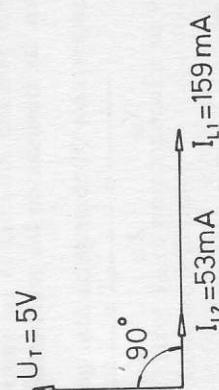


Fig. 6.9

Para el desarrollo de estos cálculos partiremos de la hipótesis de que los valores teóricos de cada bobina coinciden con sus valores reales.

### 1.<sup>o</sup> Determinación del coeficiente de autoinducción total

El valor del coeficiente de autoinducción total, sin tener en cuenta las posibles tolerancias, será de:

$$L_T = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} = \frac{10 \times 10^{-3} H \times 30 \times 10^{-3} H^2}{10 \times 10^{-3} H + 30 \times 10^{-3} H} = \frac{30 \times 10^{-3} H^2}{40 \times 10^{-3} H} = 7,5 \times 10^{-3} H = 0,0075 H$$

### 2.<sup>o</sup> Reactancia individual de cada bobina y del conjunto de bobinas

Suponiendo que el valor real de cada bobina coincide con su valor teórico, la reactancia inductiva de cada una de ellas, a la frecuencia de 500 Hz, será:

$$\begin{aligned} X_{L_1} &= 2\pi f L_1 = 2 \times 3,14 \times 500 \text{ Hz} \times 10 \times 10^{-3} H = 31,42 \Omega \\ X_{L_2} &= 2\pi f L_2 = 2 \times 3,14 \times 500 \text{ Hz} \times 30 \times 10^{-3} H = 94,25 \Omega \end{aligned}$$

La reactancia inductiva de la bobina equivalente  $L_T$ , de 7,5 mH, será:

$$X_{L_T} = 2\pi f L_T = 2 \times 3,14 \times 500 \text{ Hz} \times 7,5 \times 10^{-3} H = 23,56 \Omega$$

Si sumamos las inversas de las reactancias parciales:

$$\frac{1}{X_{L_1}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}$$

se tiene:

$$X_{L_T} = \frac{X_{L_1} \times X_{L_2}}{X_{L_1} + X_{L_2}} = \frac{31,42 \Omega \times 94,25 \Omega}{31,42 \Omega + 94,25 \Omega} = \frac{2961,34 \Omega^2}{125,67 \Omega} = 23,56 \Omega$$

Lo cual demuestra y confirma que la suma de las inversas de las reactancias inductivas individuales es igual a la inversa de la reactancia total.

### 3.<sup>o</sup> Corrientes y tensión presentes en el circuito

La tensión en bornes de cada bobina es igual a la tensión de la fuente de alimentación, puesto que están en paralelo, y la corriente que circula por cada una de ellas será:

$$\begin{aligned} I_{L_1} &= \frac{U}{X_{L_1}} = \frac{5 \text{ V}}{31,42 \Omega} \approx 0,159 \text{ A} \\ I_{L_2} &= \frac{U}{X_{L_2}} = \frac{5 \text{ V}}{94,25 \Omega} = 0,053 \text{ A} \end{aligned}$$

Observe que la suma de las corrientes individuales es igual a la intensidad de corriente total que circula por el circuito:

$$I_T = I_{L_1} + I_{L_2} = 0,159 \text{ A} + 0,053 \text{ A} = 0,212 \text{ A}$$

$$I_T = \frac{U}{X_{L_T}} = \frac{U_1}{X_{L_1}} + \frac{U_1}{X_{L_2}} = \frac{5 \text{ V}}{23,56 \Omega} \approx 0,212 \text{ A}$$

### 4.<sup>o</sup> Desarrollo del diagrama vectorial

En la figura 6.9 se ha dibujado el diagrama vectorial de tensiones y corrientes presentes en el circuito. Observe sobre él las siguientes particularidades:

- a) El vector tensión está adelantado 90° con respecto a los vectores de corriente  $I_{L_1}$  e  $I_{L_2}$ .
- b) La longitud del vector  $I_{L_1}$  es proporcional a su valor (159 mA) y la del vector  $I_{L_2}$  al suyo (53 mA).
- c) Las corrientes  $I_{L_1}$  e  $I_{L_2}$  están en fase, por lo que la suma de ambos vectores nos da el vector  $I_T$ , no indicado, cuyo valor es igual a la suma de  $L_1 + L_2$  (212 mA).

### CONEXION MIXTA DE BOBINAS

Para el cálculo de circuitos formados por bobinas en serie y en paralelo se utilizan las mismas fórmulas citadas en los apartados anteriores, según las conexiones, por lo que como creemos que el lector se encuentra en perfectas condiciones para su aplicación sin necesidad de otras explicaciones complementarias, esta vez damos por resuelto este tema.

### CONEXION DE PARALELO DE DOS BOBINAS ACOPLADAS MAGNETICAMENTE

En el caso de bobinas devanadas en el mismo sentido y conectadas en paralelo, el coeficiente de autoinducción total es igual a:

$$L_r = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2 M}$$

Si el sentido de los devanados de las bobinas es opuesto, la fórmula a aplicar es:

$$L_r = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2 M}$$

### CONEXION DE SERIE DE DOS BOBINAS ACOPLADAS MAGNETICAMENTE

En todos los ejemplos anteriores hemos considerado las bobinas no acopladas magnéticamente, es decir, lo suficientemente alejadas una de otra o con un apantallamiento que evite la inducción mutua en ambas bobinas.

Las fórmulas utilizadas no son válidas si existe una inducción mutua entre las bobinas, la cual puede ser positiva o negativa, dependiendo esto último de que si los flujos magnéticos creados en las bobinas se suman (están en el mismo sentido) o se restan (están en sentido opuesto).

En el caso de bobinas devanadas en el mismo sentido, el coeficiente de autoinducción total es igual a:

$$L_r = L_1 + L_2 + 2 M$$

donde  $M$  es la inducción mutua entre las bobinas, siendo su valor:

$$M = K \sqrt{L_1 L_2}$$

en donde  $K$  es el coeficiente de acoplamiento de las bobinas. Este coeficiente varía entre 0 (bobinas desacopladas) y 1 (bobinas totalmente acopladas).

En el caso de bobinas devanadas en sentido opuesto, el coeficiente de autoinducción total es igual a:

$$L_r = L_1 + L_2 - 2 M$$

## 7. Circuitos R. C. L.

### Introducción

A continuación se expondrán las fórmulas de cálculo de los circuitos formados por resistencia, inductancia y capacidad, con indicación de los parámetros de mayor interés, su esquema y el diagrama vectorial de los mismos.

Los circuitos que vamos a tratar serán, pues:

- circuito RC (serie y paralelo),
- circuito RL (serie y paralelo),
- circuito LC (serie y paralelo),
- circuito RLC (serie y paralelo).

### LAMINA 7.1. CIRCUITO RC SERIE

#### Funcionamiento en corriente continua

Al aplicar una tensión continua  $U_r$  a los bornes del conjunto RC (Fig. 7.1), se produce una corriente de carga  $I$  hasta que el condensador queda totalmente cargado, instante en el cual deja de circular corriente y el circuito se comporta como un aislante. Este circuito se utiliza como temporizador, circuito de disparo de tiristores, etc.

El tiempo  $T$ , o constante de tiempo del circuito, transcurrido el cual, la tensión  $U_c$  en bornes del condensador alcanza un 63% del valor  $U_r$ , puede calcularse con la fórmula:

$$T = R C$$

en donde  $R$  se expresa en ohmios,  $C$  en faradios y  $T$  en segundos. En la figura 7.2 se ha dibujado la curva exponencial de carga de este circuito.

#### Funcionamiento en corriente alterna

Al aplicar una tensión alterna  $U_r$  a los bornes del conjunto RC serie (Fig. 7.1), se produce una corriente  $I$  de carga y descarga de forma continuada. La intensidad de corriente  $I$  es directamente proporcional a la tensión  $U_r$  aplicada al circuito e inversamente proporcional a la impedancia del circuito:

$$I = \frac{U_r}{Z}$$

siendo la impedancia  $Z$  igual a:

$$\sqrt{R^2 + X_e^2}$$

en esta fórmula:

$$X_e = \frac{1}{2\pi f C}$$

La tensión total  $U_r$  es igual a la suma geométrica de las tensiones parciales  $U_R$  y  $U_c$  en bornes de la resistencia y del condensador, respectivamente:

$$U_r = \sqrt{U_R^2 + U_c^2}$$

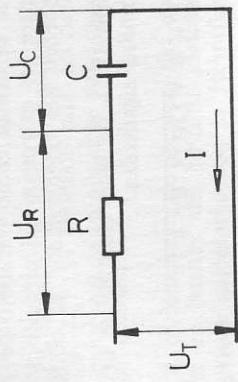
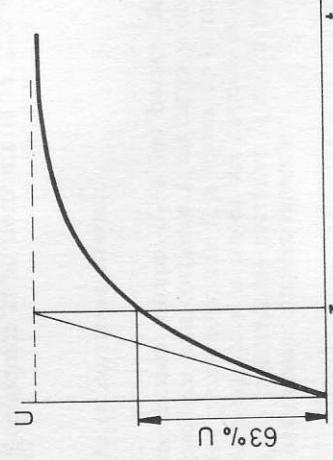
CIRCUITO RC SERIE	LAMINA 7.1
	 <p>Fig. 7.1</p>

Fig. 7.2

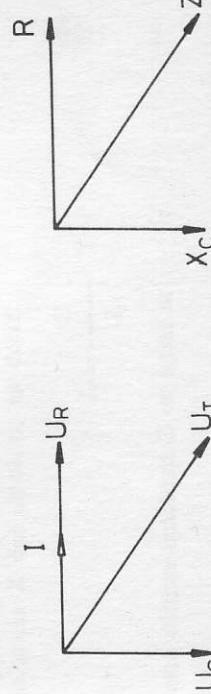


Fig. 7.3

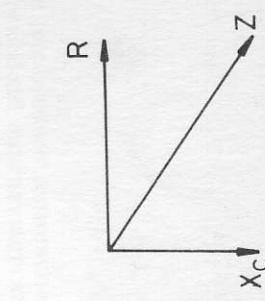


Fig. 7.4

En la figuras 7.3 y 7.4 puede ver los bocetos vectoriales de las magnitudes presentes en este circuito. La longitud de cada uno de los vectores dependerá, como puede suponer, de los valores de cada una de las magnitudes.

El circuito RC serie se utiliza como elemento de filtrado de una tensión rectificada. Entre los extremos del circuito se aplica la tensión a filtrar y en bornes del condensador se obtiene la tensión filtrada.

El coeficiente de filtrado  $\alpha$  de este circuito se deduce por cualquiera de las dos fórmulas siguientes:

$$\alpha = \sqrt{(2\pi f C R)^2 + 1}$$

$$\alpha = \frac{U_{\text{onda}}}{U_{\text{onda}}}$$

En esta última fórmula  $U_{\text{onda}}$  es la amplitud de la componente alterna de  $U_r$  y  $U_{\text{onda}}$  es la amplitud de la componente alterna de la tensión  $U_e$ .

## LAMINA 7.2. CIRCUITO RC PARALELO

### Funcionamiento en corriente continua

Si se conecta en derivación con un condensador cargado C una resistencia R (Fig. 7.5), se produce una corriente de descarga hasta que el condensador queda totalmente descargado, instante en el cual deja de circular corriente.

El tiempo  $T$ , o constante de tiempo del circuito, transcurrido el cual la tensión en bornes del circuito desciende a un 37% de su valor inicial, puede calcularse con la fórmula:

$$T = RC$$

en donde  $R$  se expresa en ohmios,  $C$  en faradios y  $T$  en segundos. En la figura 7.6 se ha dibujado la curva exponencial de descarga de este circuito.

### Funcionamiento en corriente alterna

Al aplicar una tensión alterna  $U_r$  a los bornes del conjunto  $RC$  (Fig. 7.5), se produce una corriente  $I_e$  de carga y descarga a través del condensador y una corriente  $I_k$  a través de la resistencia. La intensidad de corriente total a través del circuito es igual a la suma geométrica de las intensidades parciales  $I_k$  e  $I_e$  a través de la resistencia y del condensador respectivamente:

$$I_r = \sqrt{I_k^2 + I_e^2}$$

La intensidad de corriente total  $I_r$  es directamente proporcional a la tensión  $U$  aplicada al circuito e inversamente proporcional a la impedancia  $Z$  del circuito; es decir:

$$I_r = \frac{U}{Z}$$

en esta última igualdad  $Z$  es igual a:

$$Z = \frac{R X_e}{\sqrt{R^2 + X_e^2}}$$

En las figuras 7.7 y 7.8 puede ver los bocetos vectoriales de las magnitudes presentes en este circuito. La longitud de cada uno de los vectores dependerá, como puede suponer, de los valores de cada una de las magnitudes.

Observe que el diagrama vectorial de la figura 7.8 corresponde a la suma vectorial de la conductancia  $G$  (inversa de resistencia) y de la susceptancia capacitiva  $S_c$  (inversa de reactancia capacitiva  $X_c$ ), la susceptancia resultante la admittance  $Y$  (inversa de la impedancia  $Z$ ), puesto que los componentes están conectados en derivación. De ello se desprende que la admittance  $Y$  es igual a:

$$Y = \sqrt{G^2 + S_c^2}$$

Una de las aplicaciones más importantes del circuito RC paralelo, y que citaremos a título de ejemplo, es la polarización de cátodo de una válvula o del colector de un transistor, de forma que el condensador cortocircuite la componente alterna y en bornes de la resistencia se mantenga una polarización de tensión continua estable. Para que ello se cumpla, la reactancia capacitiva del condensador  $X_c$  ha de ser, como mínimo, igual a  $R/10$ .

### CIRCUITO RC PARALELO

LAMINA  
72

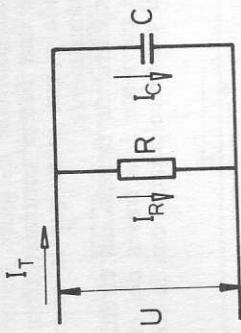


Fig. 7.5

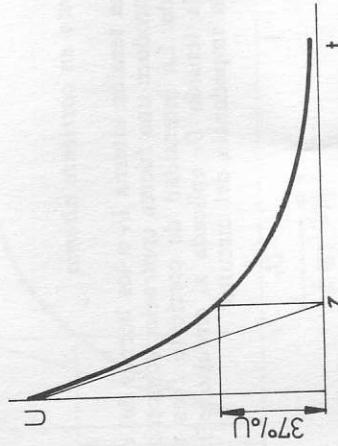


Fig. 7.6

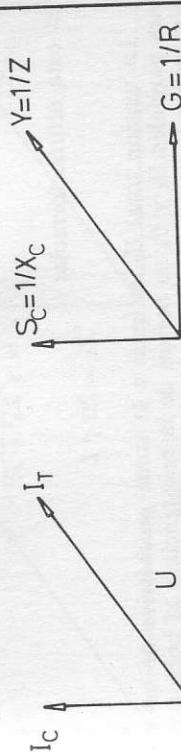


Fig. 7.7 Fig. 7.8



### LAMINA 7.3. CIRCUITO RL SERIE

#### Funcionamiento en corriente continua

Al aplicar una tensión continua  $U_T$  a los bornes del conjunto  $RL$  (Fig. 7.9), se produce una fuerza contraelectromotriz inducida que se opone a la aplicada y que evita que la corriente  $I$  alcance su valor máximo instantáneamente. El tiempo  $T$ , o constante de tiempo del circuito, transcurrido el cual la intensidad de corriente  $I$ , a través del circuito, alcanza un 63 % de su valor final puede calcularse con la fórmula:

$$T = \frac{L}{R}$$

en donde  $R$  se expresa en ohmios,  $L$  en henrios y  $T$  en segundos. En la figura 7.10 se ha dibujado la curva exponencial de este circuito.

#### Funcionamiento en corriente alterna

Al aplicar una tensión alterna  $U_T$  a los bornes del conjunto  $RL$  serie (Fig. 7.9) se produce una fuerza contraelectromotriz inducida de forma continuada. La intensidad de corriente  $I$  es directamente proporcional a la tensión  $U_T$  aplicada al circuito e inversamente proporcional a la impedancia del circuito:

$$I = \frac{U_T}{Z}$$

siendo la impedancia  $Z$  igual a:

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

en esta última fórmula:

$$X_L = 2\pi f L$$

La tensión total  $U_T$  es igual a la suma geométrica de las tensiones parciales  $U_R$  y  $U_L$  en bornes de la resistencia y la bobina respectivamente:

$$U_T = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

CIRCUITO RL SERIE	LAMINA 7.3
-------------------	---------------

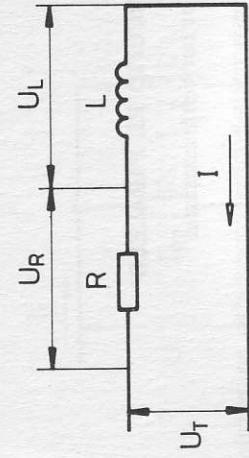


Fig. 7.9

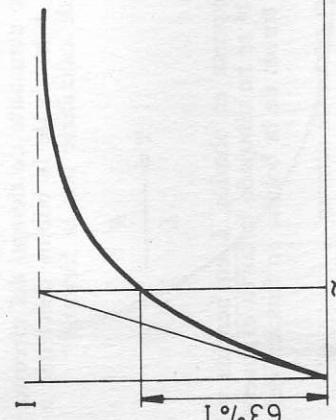


Fig. 7.10

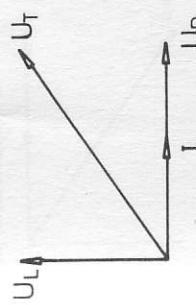


Fig. 7.11

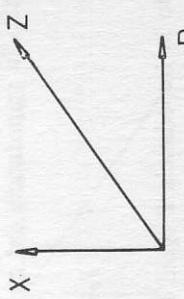


Fig. 7.12

En las figuras 7.11 y 7.12 puede ver los bocetos vectoriales de las magnitudes presentes en este circuito. La longitud de cada uno de los vectores dependerá, como puede suponer, de los valores de cada una de las magnitudes.

#### LAMINA 7.4. CIRCUITO RL PARALELO

*Funcionamiento en corriente continua*

Si un conjunto resistencia-bobina conectadas en paralelo se descuelga de una fuente de corriente continua, se induce en la bobina una fuerza contraelectromotriz que tiende a mantener el paso de la corriente.

El tiempo  $T$ , o constante de tiempo del circuito, transcurrido el cual la corriente a través de la bobina desciende a un 37% de su valor inicial, puede calcularse por la fórmula:

$$T = \frac{R}{L}$$

en donde  $R$  se expresa en ohmios,  $L$  en henrios y  $T$  en segundos.

En la figura 7.14 se ha dibujado la curva exponencial de descenso de la corriente a través de la bobina en función del tiempo.

*Funcionamiento en corriente alterna*

Al aplicar una tensión alterna  $U$  a los bornes del conjunto RL paralelo (Fig. 7.13), se produce una fuerza contraelectromotriz inducida de forma continuada. La intensidad de corriente  $I_r$  es directamente proporcional a la tensión  $U$  aplicada al circuito e inversamente proporcional a la impedancia del circuito:

$$I_r = \frac{U}{Z}$$

siendo la impedancia  $Z$  igual a:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

#### CIRCUITO RL PARALELO

#### LAMINA 7.4

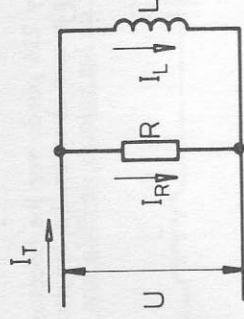


Fig. 7.13

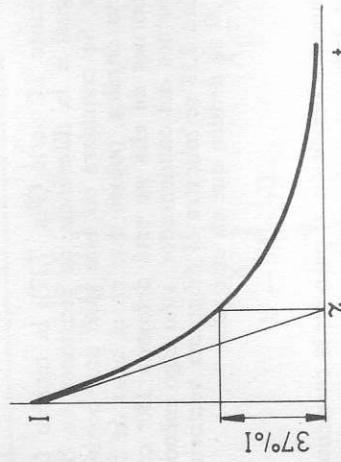


Fig. 7.14

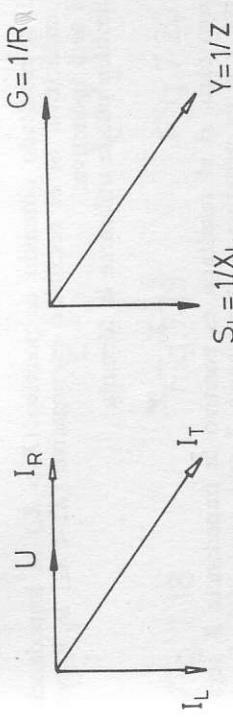


Fig. 7.15

Fig. 7.16

La intensidad de corriente total  $I_r$  es igual a la suma geométrica de las intensidades de corriente parciales  $I_k$  e  $I_L$  a través de la resistencia y de la bobina respectivamente:

$$I_r = \sqrt{I_k^2 + I_L^2}$$

En las figuras 7.15 y 7.16 puede ver los bocetos vectoriales de las magnitudes presentes en este circuito. La longitud de cada uno de los vectores dependerá de los valores de cada una de las magnitudes.

#### LAMINAS 7.5 y 7.6. CIRCUITO LC SERIE

En todo circuito LC serie (Fig. 7.17), la tensión  $U_r$  en bornes del mismo es igual a la diferencia de tensiones en bornes de ambos componentes. Se considera en este caso una bobina ideal, es decir sin resistencia ohmica, puesto que en el caso de bobinas reales la tensión en bornes de ella no está desfasada  $180^\circ$  con respecto a la tensión en bornes del condensador, sino algo menos.

En la figura 7.18 se muestra el diagrama vectorial de un circuito LC serie. De él se deduce que en este caso:

$$U_r = U_L - U_C$$

La impedancia u oposición al paso de la corriente alterna de este circuito viene dada por la fórmula:

$$Z = X_e - X_L$$

Si el resultado obtenido es positivo ( $X_e > X_L$ ) la impedancia  $Z$  será capacitiva. Si el resultado es negativo ( $X_e < X_L$ ) la impedancia  $Z$  será inductiva.

También puede utilizarse la fórmula:

$$Z = X_L - X_e$$

en cuyo caso, si el resultado es positivo la impedancia  $Z$  será inductiva y si es negativo la impedancia  $Z$  será capacitiva. En la figura 7.19 se muestra el diagrama vectorial de reactancias e impedancia, para un circuito LC serie con impedancia capacitiva.

CIRCUITO LC SERIE	LAMINA 7.5
-------------------	---------------

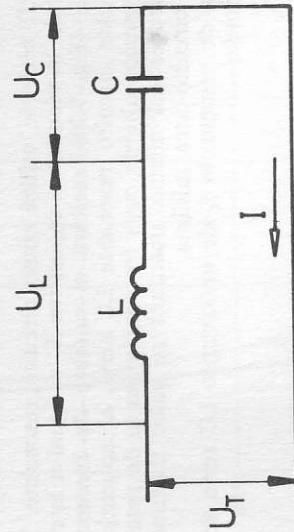


Fig. 7.17

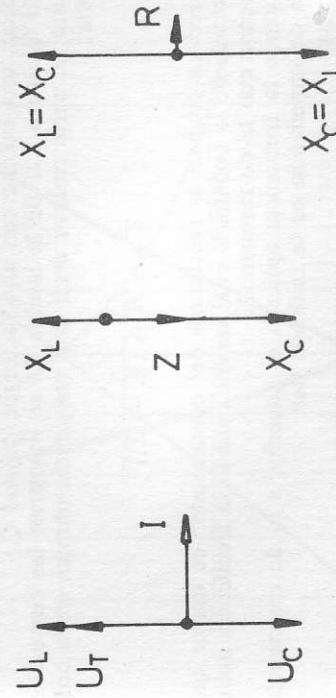


Fig. 7.18  
Fig. 7.19

Fig. 7.20

La intensidad de corriente que circula a través de este circuito se obtiene a partir de la ley de Ohm para corriente alterna:

$$I = \frac{U_r}{Z}$$

El circuito LC serie se utiliza como circuito resonante. La frecuencia  $f_r$  a la cual la reactancia capacitiva  $X_c$  es igual a la reactancia inductiva  $X_L$  (Fig. 7.20), recibirá el nombre de frecuencia de resonancia. En este circuito resonante LC serie, al aplicarle entre sus bornes una tensión alterna cuya frecuencia sea la de resonancia, la corriente a través del mismo alcanzará su valor máximo, y la impedancia del circuito será mínima.

La frecuencia de resonancia  $f_r$  de un circuito LC serie se determina por la fórmula:

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

En esta fórmula  $f_r$  viene dada en hertzios,  $L$  en henrios y  $C$  en faradios.

Es de destacar que en dicha fórmula se desprecia la resistencia ohmica propia de la bobina, la cual debe ser lo más pequeña posible. Es decir, una bobina con alto factor de calidad  $Q$ .

En la figura 7.21 de la lámina 7.6 se muestran las curvas de un circuito LC serie real, es decir con resistencia ohmica en la bobina. En ella:

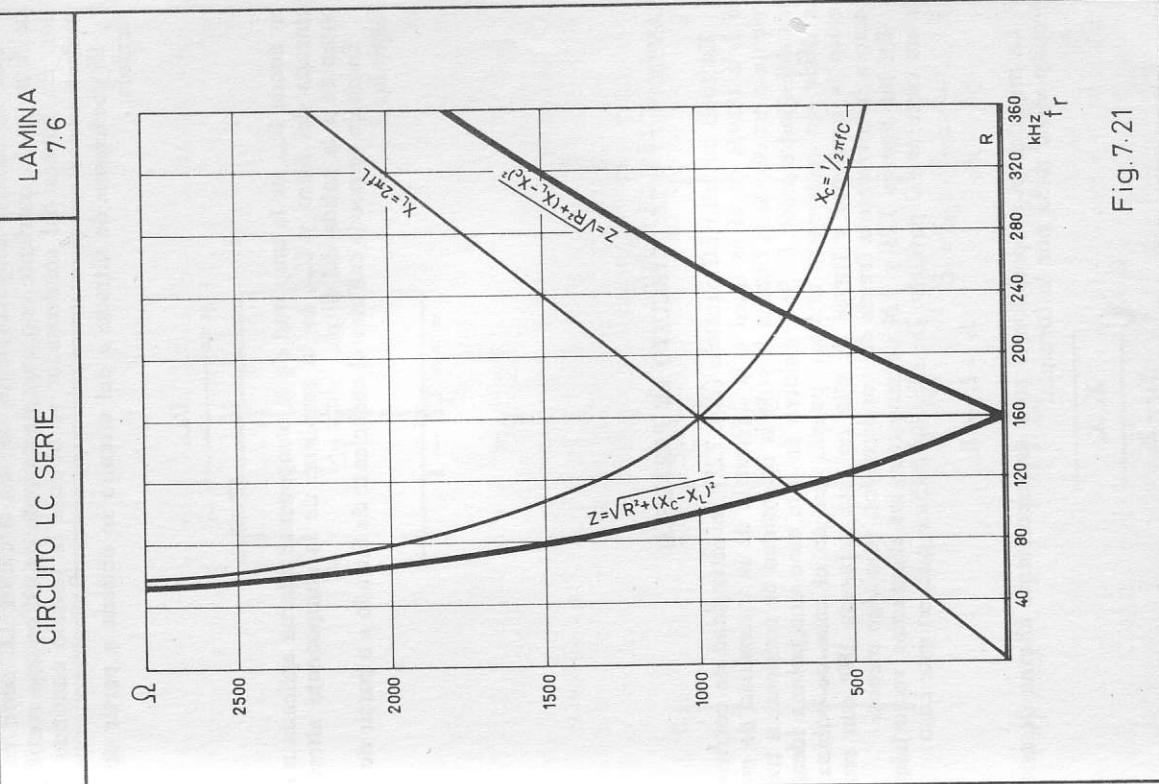
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

se produce cuando la reactancia del condensador es mayor que la reactancia de la bobina, lo cual sucede cuando la frecuencia aplicada es menor que la de resonancia.

Cuando la frecuencia aplicada es superior a la de resonancia, la curva de impedancia es la indicada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

El punto de intersección de las impedancias inductivas y capacitativas corresponde a una impedancia nula y es en él donde el valor de la corriente alcanza su valor máximo. Dicha frecuencia de resonancia también se obtiene a partir del punto de intersección de las curvas de reactancias inductiva y capacitativa (véase Fig. 7.21).



Una aplicación muy corriente de los circuitos LC serie es la de filtro de la corriente continua procedente de un equipo rectificador. En bornes del condensador se obtiene la tensión continua filtrada.

El coeficiente de filtrado  $\alpha$  del circuito se obtiene a partir de la fórmula:

$$\alpha = \frac{U_{\text{onda}}}{U_{\text{onda}}} - 1$$

en donde  $U_{\text{onda}}$  es la amplitud de la componente alterna aplicada a la entrada del filtro y  $U_{\text{onda}}$  es la amplitud de la componente alterna obtenida a la salida del filtro.

También se puede calcular el coeficiente de filtrado  $\alpha$  a partir de la fórmula:

$$\alpha = \omega^2 CL - 1$$

### CIRCUITO LC PARALELO

### LAMINA 7.7

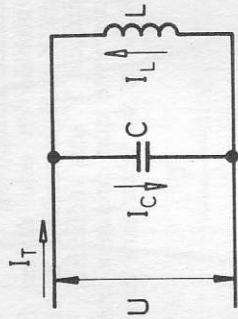


Fig.7.22

### LAMINAS 7.7 y 7.8. CIRCUITO LC PARALELO

En todo circuito LC paralelo (Fig. 7.22), la intensidad de corriente  $I_T$  a través de él es igual a la diferencia de la intensidad de corriente a través de la bobina  $I_L$  y de la intensidad de corriente a través del condensador  $I_C$ . Se considera en este caso una bobina ideal, es decir sin resistencia ohmica, puesto que en el caso de bobinas reales la corriente a través de ella no estará desfasada  $180^\circ$  con respecto a la corriente a través del condensador, sino algo menos.

En las figuras 7.23 y 7.24 se muestran los diagramas vectoriales de un circuito LC paralelo. De ellos se deduce que, en este caso:

$$I_T = I_C - I_L$$

La impedancia u oposición al paso de la corriente alterna de este circuito viene dada por la fórmula:

$$Z = \sqrt{\frac{X_L X_C}{X_L - X_C}}$$

Fig.7.23

Fig.7.25

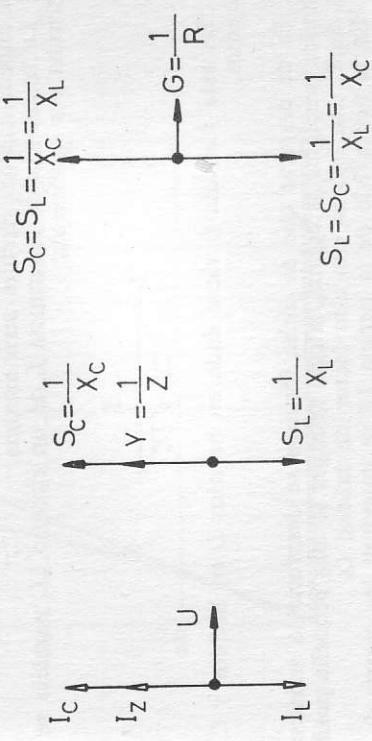


Fig.7.24

Fig.7.25

También puede obtenerse la impedancia  $Z$  a partir de la expresión:

$$Y = S_c - S_l$$

en donde  $Y$  es la admittance del circuito en siemens (inversa de impedancia),  $S_c$  es la susceptancia capacitiva en siemens (inversa de reactancia capacitativa) y  $S_l$  es la susceptancia inductiva en siemens (inversa de reactancia inductiva).

Si el resultado obtenido en esta última fórmula es positivo ( $S_c > S_l$ ) la admittance  $Y$  será capacitativa. Si el resultado es negativo ( $S_c < S_l$ ) la admittance  $Y$  será inductiva.

La intensidad de corriente que circula a través de este circuito se obtiene a partir de la ley de Ohm para corriente alterna:

$$I_r = \frac{U}{Z}$$

El circuito LC paralelo se utiliza como circuito resonante. La frecuencia  $f_r$  a la cual la susceptancia capacitativa  $S_c$  es igual a la susceptancia inductiva  $S_l$  (Fig. 7.25), recibe el nombre de frecuencia de resonancia. En un circuito resonante LC paralelo, al aplicarle entre sus bornes una tensión alterna cuya frecuencia sea la de resonancia, la corriente a través del mismo alcanzará su valor mínimo y la impedancia del circuito será máxima.

La frecuencia de resonancia  $f_r$  de un circuito LC paralelo se determina por la fórmula:

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

En esta fórmula  $f_r$  viene dada en hertzios  $L$  en henrios y  $C$  en faradios.

Es de destacar que en dicha fórmula se desprecia la resistencia óhmica propia de la bobina, la cual debe ser lo más pequeña posible, es decir, una bobina con alto factor de calidad  $Q$ .

En la figura 7.26 de la lámina 7.8 se muestran las curvas de un circuito LC paralelo real, es decir con resistencia óhmica en la bobina. En ella:

$$Z = \sqrt{\frac{X_L \times X_c}{X_c - X_L}}$$

### CIRCUITO LC PARALELO

LAMINA  
7.8

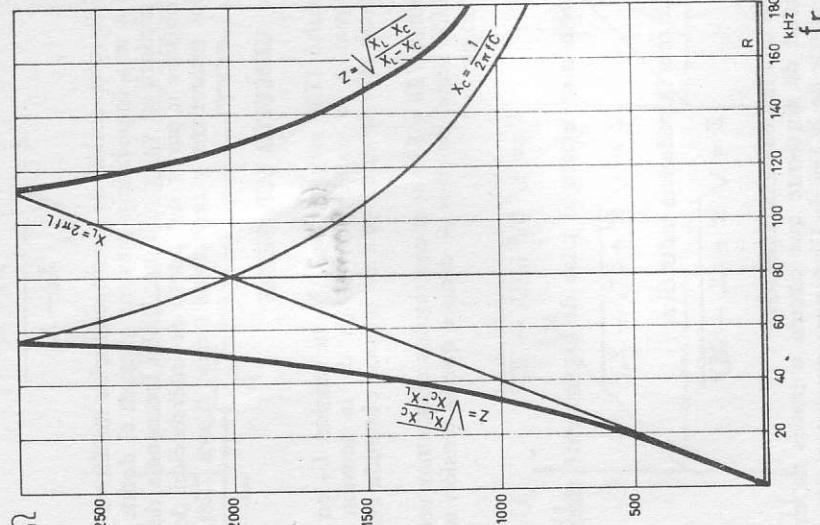


Fig. 7.26

se produce cuando la reactancia del condensador es mayor que la reactancia de la bobina, lo cual sucede cuando la frecuencia aplicada al circuito es menor que la de resonancia.

Cuando la frecuencia aplicada al circuito es superior a la de resonancia, la curva de impedancia es la indicada por:

$$Z = \sqrt{\frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C}}$$

El punto de intersección de las impedancias inductiva y capacitativa corresponde a una impedancia máxima y es en él donde el valor de la corriente alcanza su valor mínimo. Dicha frecuencia de resonancia también se obtiene a partir del punto de intersección de las curvas de reactancias inductivas y capacitativa (véase figura 7.26).

### LAMINA 7.9. CIRCUITO LCR SERIE

En todo circuito LCR serie (fig. 7.27), la tensión  $U_T$  en bornes del mismo es igual a la suma geométrica de la tensión en bornes de la resistencia más la diferencia de tensión obtenida en bornes del grupo LC.

En las figuras 7.28 y 7.29 se muestran los diagramas vectoriales de un circuito LCR serie. De ellos se deduce que la tensión total en bornes del circuito es:

$$U_T = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

y la impedancia u oposición al paso de la corriente alterna es:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

para el caso de una impedancia inductiva, y

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

para el caso de una impedancia capacitativa.

La intensidad de corriente que circula a través de este circuito se obtiene a partir de la ley de Ohm para corriente alterna:

$$I = \frac{U_T}{Z}$$

El circuito LCR serie equivale al circuito resonante LC serie, pero considerando la resistencia ohmica de la bobina.

### CIRCUITO LCR SERIE

### LAMINA 7.9

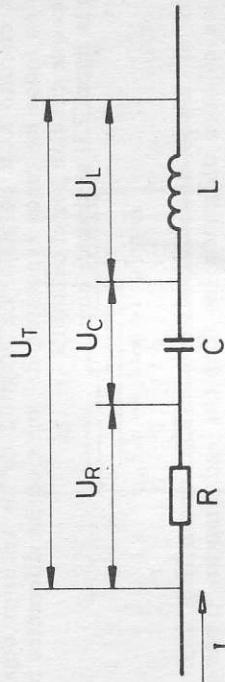


Fig. 7.27

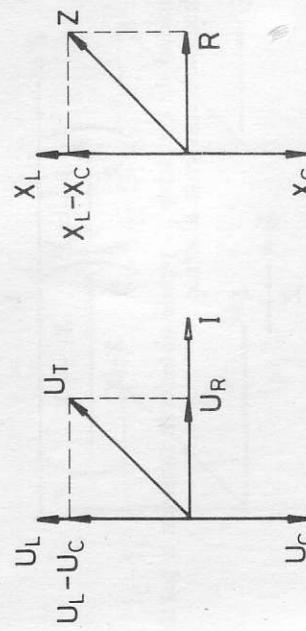


Fig. 7.28

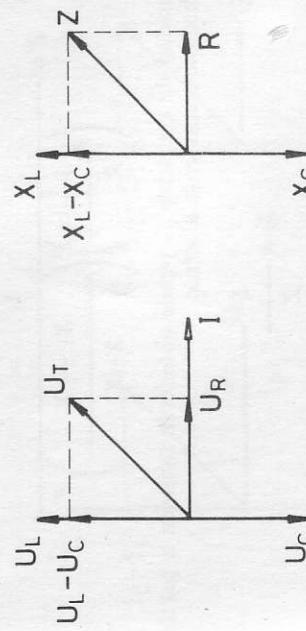


Fig. 7.29

### LAMINA 7.10 CIRCUITO LCR PARALELO

En todo circuito LCR paralelo (Fig. 7.30), la intensidad de corriente  $I_r$  a través de  $N_l$  es igual a la suma geométrica de la intensidad de corriente  $I_R$  a través de la resistencia más la diferencia de intensidades  $I_L$  e  $I_C$  a través de la inductancia y el condensador respectivamente, y que como sabe están en oposición de  $180^\circ$ .

En las figuras 7.31 y 7.32 se han dibujado los diagramas vectoriales de un circuito LCR paralelo. La longitud de los vectores depende, como en todos los casos expuestos, del valor de las diferentes intensidades que circulan por el circuito.

De la figura 7.31 se deduce que:

$$I_r = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

Para el cálculo de la impedancia resulta mucho más fácil efectuar los cálculos utilizando los términos «admitancia» (inversa de impedancia), «conductancia» (inversa de resistencia) y «susceptancia» (inversa de reactancia), puesto que la suma geométrica de la conductancia con la susceptancia es igual a la admittance (Fig. 7.32), es:

$$Y = \sqrt{G^2 + (S_L - S_C)^2}$$

En el caso de utilizar los términos «impedancia», «resistencia» y «reactancia», la fórmula a utilizar sería:

$$Z = \frac{1}{\left( \frac{1}{R} + \frac{z}{X_L - X_C} \right) \left( \frac{X_L - X_C}{X_L X_C} \right)^2}$$

La intensidad de corriente  $I_r$  puede obtenerse también a partir de la ley de Ohm para corriente alterna:

$$I_r = \frac{U}{Z}$$

### CIRCUITO LCR PARALELO

#### LAMINA 7.10

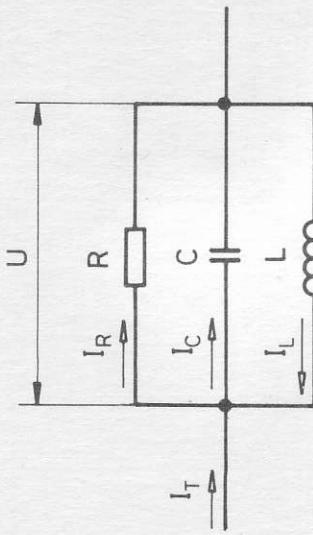


Fig. 7.30

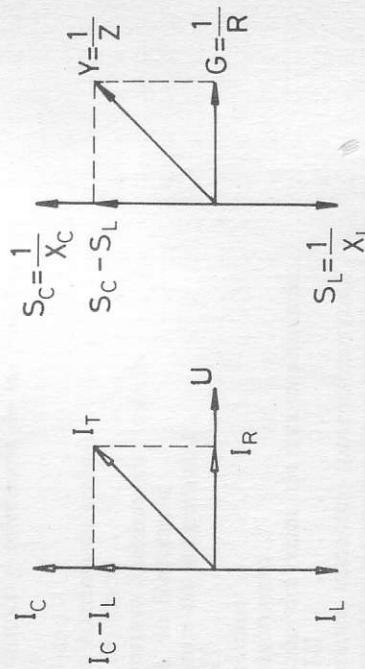


Fig. 7.31

Fig. 7.32

## Indice

Prólogo	5
<b>CAPÍTULO I. Resistencias</b>	
Introducción	7
Clasificación de las resistencias	8
Resistencias aglomeradas	8
Resistencias de capa o película	10
Resistencias bobinadas	12
Potencia de disipación	14
Valor ohmico y tolerancia de las resistencias	20
Tabla I	23
Estabilidad	24
Tensión máxima de trabajo	24
Ruido de fondo	25
Temperatura máxima de trabajo	25
Límites de frecuencia	25
Coeficiente de temperatura	26
Tabla II	27
Solidabilidad	27
Almacenamiento	27
Indicación del valor de una resistencia	28
Tabla III	28
Resistencias variables (potenciómetros)	29
Resistencias y potenciómetros variables de carbón	30
Resistencia variable de hilo bobinado	34
Características técnicas de los potenciómetros	36
Valores de la resistencia	38
Dissipación máxima	38

Linealidad	38
Resolución	39
Coefficiente de temperatura	39
Tensión máxima admisible	39
Tolerancia	40
Resistencia a la humedad	40
Resistencia efectiva mínima	41
Ángulo efectivo de rotación	41
Variación del valor ohmico en función del ángulo de rotación	41
Nivel de ruido	42
Estatabilidad	42
Resistencia de aislamiento	42
Par de accionamiento	44
Par extremo	44
Velocidad de accionamiento para potenciómetros de servicio continuo	44
Comportamiento ante las vibraciones	44
<b>CAPÍTULO 2. Circuitos con resistencias</b>	
Introducción	45
Conexión en Serie de resistencia	46
Conexión en derivación de resistencias	52
Conexión mixta de resistencias	60
Circuitos de resistencias	65
Divisores de tensión	66
Atenudadores	74
Atenudadores simétricos	81
Atenudadores asimétricos	84
Atenudadores variables	88
<b>CAPÍTULO 3. Condensadores</b>	
Introducción	91
Clasificación de los condensadores	91
Condensadores de mica	92
Condensadores de papel	94
Condensadores de poliestireno (Styroflex)	96
Condensadores de poliéster	98
Condensadores de poliéster metalizado	100
Condensadores cerámicos	102
Condensadores electrolíticos	106
Condensadores variables	111
Características técnicas de los condensadores	116
<b>CAPÍTULO 4. Circuitos con condensadores</b>	
Introducción	143
Reactancia capacitiva	143
Conexión de condensadores en serie	146
Conexión de condensadores en paralelo	152
Conexión mixta de condensadores	158
<b>CAPÍTULO 5. Bobinados</b>	
Introducción	163
Clasificación de las bobinas	163
Bobinas con núcleo de aire	164
Bobinas con núcleos magnéticos	166

Características técnicas de las bobinas	170
Valor inductivo	170
Tolerancia	171
Variación de la inductancia	172
Margen de frecuencias	172
Resistencia de aislamiento	172
Coeficiente de temperatura	174

#### CAPÍTULO 6. Circuitos con bobinas

Introducción	175
Reactancia inductiva	176
Conexión de bobinas en serie	178
Conexión de bobinas en paralelo	182
Conexión mixta de bobinas	186
Conexión de paralelo de dos bobinas acopladas magnéticamente	186
Conexión en serie de dos bobinas acopladas magnéticamente	187

#### CAPÍTULO 7. Circuitos RCL

Introducción	189
Circuito RC serie	190
Circuito RC paralelo	193
Circuito RL serie	196
Circuito RL paralelo	198
Circuito LC serie	200
Circuito LC paralelo	204
Circuito LCR serie	208
Circuito LCR paralelo	210