

Laboratorio de Electrónica

Tema:– Fabricación de resistores.

– Circuitos en paralelo y serie.

- Materiales de construcción de resistencia.(fabricación de resitores)

El resistor o resistencia es el elemento circuital más simple y de mayor uso.

Se caracteriza porque su parámetro circuital más relevante es la propiedad que se conoce con el nombre de resistencia .

Cuando los electrones pasan a través de un material, ocurren numerosas

colisiones con la celosía o red de los átomos que forman la estructura cristalina del material. En promedio, este fenómeno se opone (o resiste) al movimiento de los electrones. Mientras mayor sea el número de colisiones, mayor será la resistencia que presenta el material a la circulación o paso de electrones. Estas colisiones no son elásticas, por lo que hay pérdida de energía (desde el punto de vista de la energía asociada con los electrones) en cada una de ellas. La reducción de energía por unidad de carga se interpreta como caída de potencial a través del material.

Desde el punto de vista de la resistividad , podemos encontrar materiales conductores (no presentan ninguna oposición al paso de la corriente eléctrica), aislantes (no permiten el flujo de corriente), y resistivos (que presentan cierta resistencia). Dentro de este último grupo se sitúan las resistencias. Es por esto que se fabrican un tipo de componentes llamados resistores cuyo único objeto es proporcionar en un pequeño tamaño una determinada resistencia, especificada por el fabricante.

Las resistencias son componentes eléctricos pasivos en los que la tensión instantánea aplicada es proporcional a la intensidad de corriente que circula por ellos. Su unidad de medida es el ohmio ().

Se pueden dividir en tres grupos:

Resistencias lineales fijas: su valor de resistencia es constante y está predeterminado por el fabricante.

Resistencias variables: su valor de resistencia puede variar dentro de unos límites.

Resistencias no lineales: su valor de resistencia varía de forma no lineal dependiendo de distintas magnitudes físicas (temperatura, luminosidad, etc.).

Resistencias Lineales Fijas

Estos componentes de dos terminales presentan un valor nominal de resistencia constante (determinado por el fabricante), y un comportamiento lineal, se representa por uno de estos símbolos:



Clasificación De Resistencias Lineales

La clasificación de estas resistencias se puede hacer en base a los materiales utilizados para su construcción, básicamente mezclas de carbón o grafitos y materiales o aleaciones metálicas. También se pueden distinguir distintos tipos atendiendo a características constructivas y geométricas. Una clasificación sería la siguiente:

DE CARBÓN: Aglomeradas y de capa.

METÁLICAS: De capa, de película y bobinadas.

Resistencias De Carbón



Es el tipo más utilizado y el material base en su construcción es el carbón o grafito. Son de pequeño tamaño y baja disipación de potencia. Según el proceso de fabricación y su constitución interna, podemos distinguir:

Resistencias Aglomeradas:

También se conocen con el nombre de "composición", debido a su constitución: una mezcla de carbón, materia aislante, y resina aglomerante. Variando el porcentaje de estos componentes se obtienen los distintos valores de resistencias. Entre sus características se puede destacar:

- Robustez mecánica y eléctrica (sobrecarga).
- Bajos coeficientes de tensión y temperatura.
- Elevado nivel de ruido.
- Considerables derivas.

Resistencias de Capa de Carbón

En este tipo de resistencias, la fabricación está basada en el deposito de la composición resistiva sobre un cuerpo tubular formado por materiales vítreos cerámicos. Como características más importantes:

- Elevado coeficiente de temperatura.
- Soportan mal las sobrecargas.
- Ruido y coeficiente de tensión prácticamente nulos.
- Mayor precisión y menores derivas que las aglomeradas:

Resistencias Metálicas

Estas resistencias están constituidas por metales, óxidos y aleaciones metálicas como material base. Según el proceso de fabricación y aplicación a la que se destinan podemos distinguir:

Resistencias De Capa Metálica

Están constituidas por un soporte que puede ser de pirex, vidrio, cuarzo o porcelana, sobre el que se depositan capas por reducción química para el caso de óxidos metálicos o por vaporización al vacío para metales o aleaciones metálicas. Los óxidos más utilizados son de estaño, antimonio e indio, como metales y aleaciones de oro, platino, indio y paladio dentro del grupo de metales preciosos.

Estos componentes tienen una gran estabilidad y precisión y un bajo nivel de ruido por lo que suelen ser utilizadas en aplicaciones exigentes.

Entre sus características más importantes:

- Rangos reducidos de potencia y tensión.
- Estrechas tolerancias y elevada estabilidad.
- Bajo coeficiente de temperatura y altas temperaturas de funcionamiento.
- Reducido nivel de ruido.

Resistencias De Película Metálica

La diferencia fundamental con las anteriores está en las técnicas de fabricación utilizadas, mediante las cuales se han conseguido integrar redes de resistencias. Los materiales base usados en su fabricación y los cuerpos soporte son los característicos de las resistencias metálicas, a excepción de los óxidos metálicos. Dentro de este tipo también podemos diferenciar dos tipos: de película delgada y de película gruesa, diferenciándose en las características constructivas.

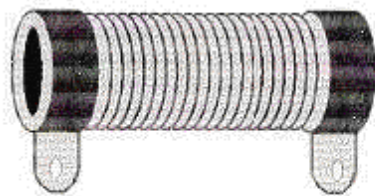
Las principales ventajas de estas resistencias radica en su reducido tamaño, y sobretodo en la disponibilidad de redes de resistencias como componente integrado. A pesar de su reducido margen de potencia, inferior a 1/2 W, las ventajas respecto a las resistencias discretas se pueden resumir en:

- Costo menor para un mismo número de resistencias.
- Reducción del cableado, peso y espacio en el circuito.
- Tolerancias más ajustadas.
- Características generales de las unidades integradas muy similares y valores nominales prácticamente idénticos.
- Posibilidad de obtención de valores óhmicos distintos en función de la configuración interna y el número de resistencias integradas.

Esta última posibilidad está ligada al tipo de encapsulado en que se presenta la red. En la práctica los más comunes que se nos presentan son:

- Tipo SIL, disposición de terminales en una linea, usada también para algunos tipos de conectores.
- Tipo DIL, característica de los encapsulados de circuitos integrados.

Resistencias Metálicas Bobinadas



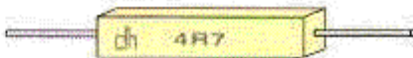
Resistencia bobinada de gran potencia: 10 W en adelante

En este tipo se emplean como soportes núcleos cerámicos y vítreos, y como materiales resistivos metales o aleaciones en forma de hilos o cintas de una determinada resistividad, que son bobinados sobre los núcleos soporte.

Generalmente se suele hacer una subdivisión de este tipo en bobinadas de potencia y bobinadas de precisión, según la aplicación a la que se destinan.

Como características generales se pueden destacar las siguientes:

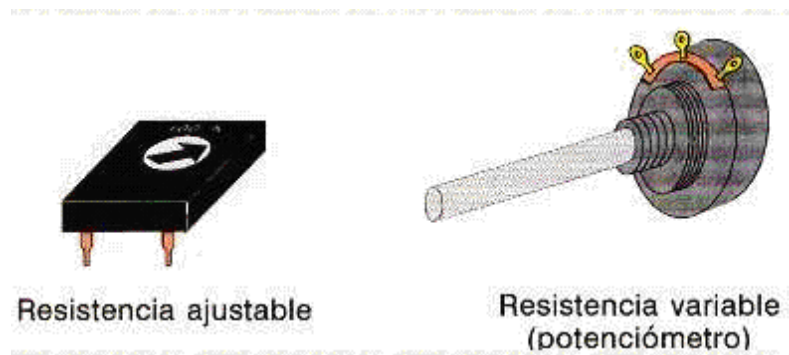
- Gran disipación de potencias y elevadas temperaturas de trabajo.
- Elevada precisión, variación con la temperatura y baja tensión de ruido.
- Considerables efectos inductivos.
- Construcción robusta.



Resistencia bobinada cementada: de 2 a 15 W

Las resistencias bobinadas se pueden incluir en algunos de los modelos comerciales siguientes: hilo descubierto, esmaltadas, vitrificadas o sementadas y aisladas.

Resistencias Variables



Estas resistencias pueden variar su valor óhmico dentro de unos límites. Para ello se les ha añadido un tercer terminal unido a un contacto móvil que puede desplazarse sobre el elemento resistivo proporcionando variaciones en el valor de la resistencia. Este tercer terminal puede tener un desplazamiento angular (giratorio) o longitudinal (deslizante).

Según su función en el circuito, estas resistencias se denominan: –

Potenciómetros: se aplican en circuitos donde la variación de resistencia la efectúa el usuario desde el exterior (controles de audio, video, etc.).

Trimmers, o resistencias ajustables: se diferencian de las anteriores en que su ajuste es definitivo en el circuito donde van aplicadas. Su acceso está limitado al personal técnico (controles de ganancia, polarización, etc.).

Reóstatos: son resistencias variables en las que uno de sus terminales extremos está eléctricamente anulado.

Tanto en un potenciómetro como un trimmer, al dejar unos de sus terminales extremos al aire, su comportamiento será el de un reóstato, aunque estos están diseñados para soportar grandes corrientes.

Clasificación de resistencias variables

Los materiales usados para la fabricación de estas resistencias suelen ser los mismos que los utilizados para las resistencias fijas, es decir, mezclas de carbón y grafito, metales y aleaciones metálicas. La diferencia fundamental, a parte de las aplicaciones, está en los aspectos constructivos. Tomando este criterio podemos hacer la siguiente clasificación:

DE CAPA: Carbón, metálica y cermet.

BOBINADAS: Pequeña disipación, potencia y precisión.

Resistencias variables de capa

Capa de carbón

Están constituidas por carbón coloidal (negro de humo), mezclado en proporciones adecuadas con baquelita y plastificantes. Bajo estas características podemos encontrarnos con:

Potenciómetros de carbón:

- Valores de resistencias entre 50 y 10M óhmios.
- Tolerancias del $\pm 10\%$ y $\pm 20\%$.
- Potencias de hasta 2W.
- Formatos de desplazamiento giratorio y longitudinal, con encapsulado simple, doble resistencia o con interruptor incorporado.

Trimmers de carbón:

- Valores usuales entre 100 y 2M óhmios.
- Potencia de 0,25W.
- Pequeñas dimensiones y bajo costo.

Capa Metálica

Las capas de estos tipos de resistencias están formadas a base de mezclas de óxidos de estaño y antimonio depositadas sobre un soporte de vidrio generalmente. El cursor, como en las de capa de carbón, suele ser de

aleaciones de cobre y oro o plata, tomando los terminales de salida en contactos metalizados practicados sobre la capa, para ajustes desde el exterior, por lo que integran el grupo de los potenciómetros. Como características importantes:

- Bajas tolerancias: $\pm 5\%$, $\pm 2\%$, $\pm 1\%$.
- Potencias desde 0,25W a 4W.
- Muy bajo ruido de fondo.
- Buena linealidad: 0,05%.

Capa Tipo Cermet

La capa está constituida por mezcla aglomerada de materiales vítreos y metales nobles, depositada sobre un sustrato de cerámica. Las principales aplicaciones son para ajustes por lo que concluimos que pertenecen al grupo de los trimmers.

Sus características principales:

- Valores desde 10 a 2M óhmios.
- Potencias entre 0,5 y 2W.
- Elevada precisión en modelos multivuelta.
- Muy buena linealidad y resolución.

Resistencias variables bobinadas

De pequeña disipación

La constitución de este tipo de resistencias es muy parecida a la de las resistencias bobinadas fijas. Suelen usar los mismos materiales, aleaciones Ni-Cu para pequeños valores de resistencia, y Ni-Cr para valores altos. Su principal aplicación es la limitación de corriente en circuitos serie, por lo que se pueden denominar reóstatos, aunque la potencia que pueden aguantar no es muy elevada, por lo que también los encontraremos en aplicaciones como potenciómetros. Sus principales características:

- Valores desde 50 hasta 50K óhmios.
- Tolerancias entre $\pm 10\%$ y $\pm 5\%$.
- Potencia nominal entre 0,5 y 8W.
- Ruido de fondo despreciable.

Bobinadas De Potencia

Se pueden comparar a los modelos vitrificados de alta precisión de las resistencias fijas. Este tipo de resistencias son las que realmente se denominan reóstatos, capaces de disipar elevadas potencias aplicadas como limitadores de corriente.

Entre sus características podemos destacar:

- Valores desde 1 a 2,5K óhmios para potencias de hasta 50W, hasta 5K óhmios para 100W, y hasta 10K óhmios para 250W.
- Tolerancias del $\pm 10\%$, y $\pm 5\%$.
- Potencias nominales entre 25W y 1KW.
- Máxima temperatura de funcionamiento en torno a los 200°C.

Bobinadas De Precisión

En este tipo se usan aleaciones metálicas de pequeña resistividad (Au-Ag) en lugar de aumentar el diámetro del hilo y así conseguir pequeños valores con reducidas dimensiones. Por sus aplicaciones, a este tipo se le suele denominar trimmers bobinados.

Sus características principales:

- Valores resistivos de 5 a 100K óhmios.
- Tolerancias del $\pm 5\%$ y $\pm 1\%$.
- Disipación de potencia de 0,75 a 1,5W.

- Linealidad comprendida entre $\pm 1\%$ y $\pm 0,15\%$.
- Resolución del orden de 0,001.
- Modelos multivuelta y simples.

Resistencias No Lineales

Estas resistencias se caracterizan porque su valor óhmico, que varía de forma no lineal, es función de distintas magnitudes físicas como puede ser la temperatura, tensión, luz, campos magnéticos, etc.. Así estas resistencias están consideradas como sensores.

Entre las más comunes podemos destacar las siguientes:

- Termistores o resistencias NTC y PTC. En ellas la resistencia es función de la temperatura.
- Varistores o resistencias VDR. En ellas la resistencia es función de la tensión.
- Fotorresistencias o resistencias LDR. En estas últimas la resistencia es función de la luz.

Termistores

En estas resistencias, cuyo valor óhmico cambia con la temperatura, además de las características típicas en resistencias lineales fijas como valor nominal, potencia nominal, tolerancia, etc., que son similares para los termistores, hemos de destacar otras:

Resistencia nominal: es la resistencia que presenta a la temperatura ambiente (25°).

Autocalentamiento: este fenómeno produce cambios en el valor de la resistencia al pasar una corriente eléctrica a través de ella. Hemos de tener en cuenta que también se puede producir por una variación en la temperatura ambiente.

Factor de disipación térmica: es la potencia necesaria para elevar su temperatura en 1°C .

Dentro de los termistores podemos destacar dos grupos: NTC y PTC.

Resistencias NTC

Esta resistencia se caracteriza por su disminución del valor resistivo a medida que aumenta la temperatura, por tanto presenta un coeficiente de temperatura negativo.

Entre sus características se pueden destacar: resistencia nominal de 10 ohmios a 2M, potencias entre 1 microvatio y 35W, coeficiente de temperatura de -1 a -10% por $^\circ\text{C}$; y entre sus aplicaciones: regulación, compensación y medidas de temperaturas, estabilización de tensión, alarmas, etc.

Resistencias PTC

Estas, se diferencian de las anteriores por el coeficiente de temperatura positivo, de forma que su resistencia aumentará como consecuencia del aumento de la temperatura (aunque esto sólo se da en un margen de temperaturas).

Varistores

Estos dispositivos (también llamados VDR) experimentan una disminución en su valor óhmico de resistencia a medida que aumenta la tensión aplicada en sus extremos. A diferencia de lo que ocurre con las NTC y PTC la variación se produce de una forma instantánea.

Las aplicaciones más importantes de este componente se encuentran en: protección contra sobretensiones, regulación de tensión y supresión de transitorios.

Fotorresistencias

Estas resistencias, también conocidas como LDR, se caracteriza por su disminución de resistencia a medida que aumenta la luz que incide sobre ellas.

Las principales aplicaciones de estos componentes están en controles de iluminación, control de circuitos con relés, en alarmas, etc

• Circuitos en paralelo y serie.

Hay dos formas básicas de conectar resistencias: En serie y en paralelo. En

los próximos párrafos se analiza cada uno de estos tipos de conexión y se determina la resistencia equivalente correspondiente.

Resistencias en serie.

Dos resistencias están conectadas en serie si se cumplen las dos condiciones siguientes:

- Un terminal de cada elemento está conectado a un nodo común.
- No hay ningún otro elemento conectado a dicho nodo. Cuando dos resistencias están conectadas en serie, como las mostradas en la Figura 2.29, cumplen las siguientes propiedades:
- La corriente que circula por una de ellas es idéntica a la corriente que circula por la otra.
- El voltaje total entre los terminales de la conexión en serie es igual a la suma de los voltajes entre los terminales de cada una de las resistencias.

Conexión de Resistencias en serie.

Tres o más resistencias se pueden conectar en serie aplicando las condiciones expresadas anteriormente, tomando los elementos de dos en dos. Para la conexión de tres o más resistencias en serie, se cumplen las dos propiedades enunciadas anteriormente.

Cuando se tienen dos o más resistencias en serie, como se muestra en la Figura 2.30.a, es posible sustituir ese arreglo por una resistencia equivalente como la de la Figura 2.30.b, esto es, una resistencia que conectada en lugar del arreglo, mantenga el mismo voltaje entre sus terminales y que por ella circule la misma corriente que circulaba por el arreglo.

Figura 2.30.– Resistencia equivalente de un arreglo de resistencias conectadas en serie.

Para determinar el valor de la resistencia equivalente del conjunto de resistencias conectadas en serie es necesario aplicar la LKV y la ley de Ohm.

En el circuito de la Figura 2.30.a se cumple:

$v_0 = v_1 + v_2 + v_3 = i_0 R_1 + i_0 R_2 + i_0 R_3 = i_0 (R_1 + R_2 + R_3)$ (2.86) Y en el circuito de la Figura 2.30.b se cumple:

$$v_0 = i_0 R_{eq} \quad (2.87)$$

Por lo tanto el valor de la resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2.88)$$

Si hay n resistencias conectadas en serie, la expresión general de la resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (2.89)$$

$$i=1$$

$$n$$

$$R_i \quad (2.89)$$

El valor de una resistencia equivalente serie es siempre mayor que la resistencia del componente de valor más elevado.

La potencia disipada por cada resistencia del arreglo está dada por la siguiente expresión:

$$P_{R_i} = i_0^2 R_i$$

Por lo tanto la resistencia de mayor valor nominal disipa más potencia. La potencia total disipada por el arreglo de resistencias en serie está dada por la ecuación:

$$P_{R_T} = \sum_{i=1}^n P_{R_i}$$

$$i=1$$

$$n$$

$$P_{R_i} = i_0^2 R_i$$

$$i=1$$

$$n$$

$$R_i = i_0^2 R_{eq} \quad (2.90)$$

De esta relación se concluye que la potencia disipada por el arreglo de

resistencias en serie es igual a la disipada por la resistencia equivalente.

Resistencias en Paralelo:

Se dice que dos resistencias están conectadas en paralelo si se cumplen las dos condiciones siguientes: 53

- Un terminal de cada elemento esta conectado a un nodo común.
- El segundo terminal de cada elemento esta conectado a otro nodo común.

Cuando dos resistencias están conectadas en paralelo, como las mostradas en la Figura 2.31, cumplen las siguientes propiedades:

- El voltaje aplicado a cada una de ellas es el mismo.
- La corriente total del arreglo es igual a la suma de las corrientes que circulan por cada resistencia.

Conexión de Resistencias en paralelo.

Tres o más resistencias se pueden conectar en paralelo aplicando las condiciones expresadas anteriormente. Para la conexión de tres o más resistencias en paralelo, se cumplen las dos propiedades enunciadas anteriormente.

Cuando se tienen dos o más resistencias en paralelo, como se muestra en la Figura 2.32.a, es posible sustituir ese arreglo por una resistencia equivalente como la de la Figura 2.32.b, esto es, una resistencia que conectada en lugar del arreglo, mantenga el mismo voltaje entre sus terminales y que por ella circule la misma corriente que circulaba por el arreglo.

Figura 2.32.– Resistencia equivalente de un arreglo de resistencias conectadas en paralelo.

Para determinar el valor de la resistencia equivalente del conjunto de resistencias conectadas en paralelo es necesario aplicar la LKC y la Ley de Ohm,

además de utilizar el concepto de conductancia.

En el circuito de la Figura 2.32.a se cumple:

$$i_0 = v_0$$

$$R_1 + v_0$$

$$R_2 + v_0$$

$$R_3 = v_0(1$$

$$R_1 + 1$$

$$R_2 + 1$$

$$R_3) = v_0(G_1 + G_2 + G_3) \quad (2.91)$$

Y en el circuito de la Figura 2.32.b se cumple:

$$i_0 = v_0 G_{eq} \quad (2.92)$$

Por lo tanto el valor de la conductancia equivalente es:

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (2.93)$$

Si hay n resistencias conectadas en paralelo, la expresión general de la conductancia equivalente es:

$$G_{eq} = \sum$$

$$i=1$$

$$n$$

$$G_i \quad (2.94)$$

El valor de la conductancia equivalente de un arreglo de resistencias conectadas en paralelo es siempre mayor que la conductancia del componente de valor más elevado, por lo tanto la resistencia equivalente de dicho arreglo es menor que la menor de las resistencias del arreglo.

Cuando solo hay dos resistencias conectadas en paralelo, la resistencia equivalente puede calcularse utilizando la siguiente relación:

$$R_{eq} = 1$$

1

$R_1 + 1$

R_2

$= 1$

$R_1 + R_2$

$R_1 R_2$

$= R_1 R_2$

$R_1 + R_2$ (2.95)

Si el número de resistencias en paralelo es tres o más, es preferible utilizar la expresión (2.94) para calcular la resistencia equivalente.

La potencia disipada por cada resistencia del arreglo está dada por la siguiente expresión:

$$P_{R_i} = v_0^2 G_i = v_0^2 \frac{1}{R_i}$$

R_i (2.96) Por lo tanto la resistencia de menor valor nominal disipa más potencia. La potencia total disipada por el arreglo de resistencias en paralelo está dada por la ecuación:

$$P_{R_T} = \sum_{i=1}^n$$

$$i=1$$

$$n$$

$$P_{R_i} = v_0^2 \sum_{i=1}^n$$

$$i=1$$

$$n$$

$$G_i = i_0^2 G_{eq} \text{ (2.97)}$$

De esta relación se concluye que la potencia disipada por el arreglo de resistencias en paralelo es igual a la disipada por la resistencia equivalente. 55

Por lo tanto la resistencia de menor valor nominal disipa más potencia. La

potencia total disipada por el arreglo de resistencias en paralelo está dada por la ecuación:

$$P_T = \sum_{i=1}^n$$

$$i=1$$

$$n$$

$$P_i = V^2 \sum_{i=1}^n$$

$$i=1$$

$$n$$

$$G_i = \frac{1}{R_i} \quad (2.97)$$

De esta relación se concluye que la potencia disipada por el arreglo de resistencias en paralelo es igual a la disipada por la resistencia equivalente.

Red Escalera.

La red escalera es una configuración frecuentemente utilizada en circuitos eléctricos y electrónicos. Su estructura es la mostrada en la Figura 2.33.

Figura 2.33.– Red Escalera.

Para hallar la resistencia equivalente R_{eq} se procede de la siguiente forma: Tal como se puede observar en la Figura 2.33, la resistencia R_5 está en serie con la resistencia R_6 , por lo que se puede calcular la resistencia equivalente R_{eq1} mostrada en la Figura 3.34.a utilizando la expresión:

$$R_{eq1} = R_5 + R_6 \quad (2.98)$$

Dicha resistencia equivalente está en paralelo con la resistencia R_4 , por lo tanto la resistencia equivalente R_{eq2} indicada en la Figura 2.34.b está dada por la ecuación:

$$R_{eq2} = R_4 \parallel R_{eq1}$$

$$R_4 + R_{eq1} \quad (2.99)$$

Figura 2.34.– Cálculo de la Resistencia equivalente de una Red Escalera.

Según se puede observar en la Figura 2.34.b, la resistencia Req2 está en serie con la resistencia R3, por lo tanto, la resistencia Req3 mostrada en la Figura 2.34.c está dada por la ecuación:

$$Req3 = R3 + Req2 \quad (2.100)$$

La resistencia Req3 está en paralelo con R2, por lo que Req4 de la Figura 2.34.d es igual a: 56

Figura 2.34.– Cálculo de la Resistencia equivalente de una Red Escalera.

Según se puede observar en la Figura 2.34.b, la resistencia Req2 está en serie con la resistencia R3, por lo tanto, la resistencia Req3 mostrada en la Figura 2.34.c está dada por la ecuación:

$$Req3 = R3 + Req2 \quad (2.100)$$

La resistencia Req3 está en paralelo con R2, por lo que Req4 de la Figura 2.34.d es igual a:

$$Req4 = R2 \parallel Req3$$

$$Req4 = \frac{R2 \cdot Req3}{R2 + Req3} \quad (2.101)$$

Finalmente, la resistencia equivalente total, mostrada en la Figura 2.34.e es el equivalente de las resistencias R1 y Req4 conectadas en serie, y por lo tanto está dada por la ecuación:

$$Req = R1 + Req4$$

Bibliografía

<http://www3.labc.usb.ve/mgimenez/Ec1251/Cap2.pdf>

<http://www.geocities.com/CollegePark/Library/6086/materiales.html>