

# UNIDAD 3. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

Los principales elementos pasivos que encontramos en los circuitos se pueden clasificar en Resistencias, Condensadores y Bobinas

## 3.1 RESISTENCIAS

Las resistencias son componentes fundamentales en una amplia variedad de aplicaciones, y se pueden clasificar principalmente en dos categorías según su uso: elementos calefactores y elementos limitadores de la corriente.

### Resistencias calefactoras

Las resistencias utilizadas para calentar se diseñan para convertir la energía eléctrica en calor. Estas resistencias, comúnmente conocidas como elementos calefactores, tienen aplicaciones en dispositivos como calentadores, hornos, planchas, y secadores de pelo. Funcionan mediante el principio del efecto Joule, donde la corriente eléctrica que pasa a través de la resistencia genera calor debido a la oposición al flujo de corriente.

### Resistencias para limitar la corriente

Por otro lado, las resistencias en electrónica se emplean principalmente para controlar el flujo de corriente y establecer niveles de tensión en los circuitos. Estas resistencias son cruciales para el funcionamiento correcto de componentes electrónicos y sistemas más complejos. Existen en diversas formas y tamaños, y pueden ser fijas o variables, con aplicaciones que incluyen la limitación de corriente en LEDs, la estabilización de voltajes en circuitos de alimentación, y la creación de divisores de tensión.

### Definición y tipos

Las resistencias limitan el flujo de corriente en un circuito. Existen varios tipos:

- **Fijas:** Tienen un valor de resistencia constante.
- **Variables:** Su resistencia puede ajustarse manualmente o automáticamente.

### Resistencias variables

- **Potenciómetros:** Resistencias ajustables manualmente. Ejemplo de uso: para introducir una consigna en un controlador automático de un proceso.

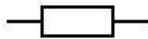
- **LDR (Light Dependent Resistor):** Su resistencia disminuye con la luz. Usados en sistemas de iluminación automática.
- **PTC (Positive Temperature Coefficient):** Aumentan su resistencia al aumentar la temperatura. Usados en protección contra sobrecalentamiento.
- **NTC (Negative Temperature Coefficient):** Disminuyen su resistencia al aumentar la temperatura. Usados en sensores de temperatura.
- **VDR (Voltage Dependent Resistor):** Cambian su resistencia en función de la tensión aplicada. Usados en protección contra sobretensiones.

### Unidades de medida

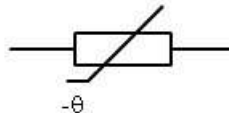
La resistencia se mide en ohmios ( $\Omega$ ). Es común utilizar hasta kiloOhmios ( $k\Omega$ ) en según que aplicaciones electrónicas, y MegaOhmios ( $M\Omega$ ) cuando se habla de la resistencia de aislamiento de algún componente eléctrico

### Simbología

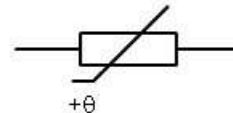
Resistencia fija:



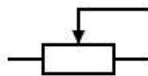
Símbolo NTC



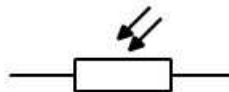
Símbolo PTC



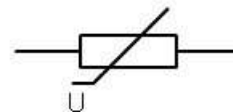
Potenciómetro:



Símbolo LDR



Símbolo VDR



### Asociación de resistencias

- **Serie:** La resistencia total es la suma de las resistencias individuales ( $R_{total} = R1 + R2 + \dots + Rn$ ).

- **Paralelo:** La inversa de la resistencia total es la suma de las inversas de las resistencias individuales ( $1/R_{\text{total}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ ).

Ejemplo de uso en serie: Divisores de tensión. Ejemplo de uso en paralelo: Distribución de carga en circuitos de potencia.

#### Divisor de tensión con 2 resistencias o potenciómetro

Un divisor de tensión se usa para obtener una tensión menor a partir de una mayor. Se realiza conectando dos resistencias en serie. La tensión de salida se toma de entre las dos resistencias y se calcula con la fórmula:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

Para un potenciómetro, el punto de toma se desplaza a lo largo de la resistencia ajustable, variando  $V_{\text{out}}$ .

Ejemplo: Control de brillo de una lámpara LED.

#### Shunt para la ampliación de la escala de aparatos de medición

Un shunt es una resistencia de valor conocido y bajo, conectada en paralelo con el aparato de medición. Permite medir corrientes mayores que las que podría soportar directamente el dispositivo. La corriente se divide entre el shunt y el medidor, y mediante la ley de Ohm se puede calcular la corriente total.

Ejemplo: Medición de alta corriente en un multímetro.

### 3.2 BOBINAS

#### Definición

Las bobinas son componentes que almacenan energía en forma de campo magnético cuando circula corriente a través de ellas.

#### Unidad de medida

La inductancia se mide en henrios (H).

## Simbología

- Bobina:



## Asociación de bobinas

- **Serie:** La inductancia total es la suma de las inductancias individuales ( $L_{\text{total}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ ).
- **Paralelo:** La inversa de la inductancia total es la suma de las inversas de las inductancias individuales ( $1/L_{\text{total}} = 1/L_1 + 1/L_2 + \dots + 1/L_n$ ).

Ejemplo de uso: Filtros de frecuencia en sistemas de audio. Bobinados de cualquier máquina eléctrica, desde transformadores a motores a alternadores



## 3.3 CONDENSADORES

### Definición

Los condensadores son componentes que almacenan energía en forma de campo eléctrico entre sus placas.

## Unidad de medida

La capacitancia se mide en faradios (F). El faradio equivale a la capacidad de un condensador que al cargarse con un culombio adquiere el potencial de un voltio.

Como el faradio es un valor muy elevado, es frecuente catalogar los condensadores en microfaradios ( $\mu\text{F}$ )

## Simbología

- **Condensador:**

### Asociación de condensadores



- **Serie:** La inversa de la capacitancia total es la suma de las inversas de las capacitancias individuales ( $1/C_{\text{total}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$ ).
- **Paralelo:** La capacitancia total es la suma de las capacitancias individuales ( $C_{\text{total}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ ).

Ejemplo de uso en serie: Regulación de la salida de alta tensión. Ejemplo de uso en paralelo: Suministro de corriente instantánea en fuentes de alimentación.

En instalaciones industriales, los condensadores son muy utilizados para controlar el exceso de potencia reactiva, como se verá más adelante, o para ayudar al arranque de motores eléctricos



### 3.4 ANÁLISIS DE CIRCUITOS

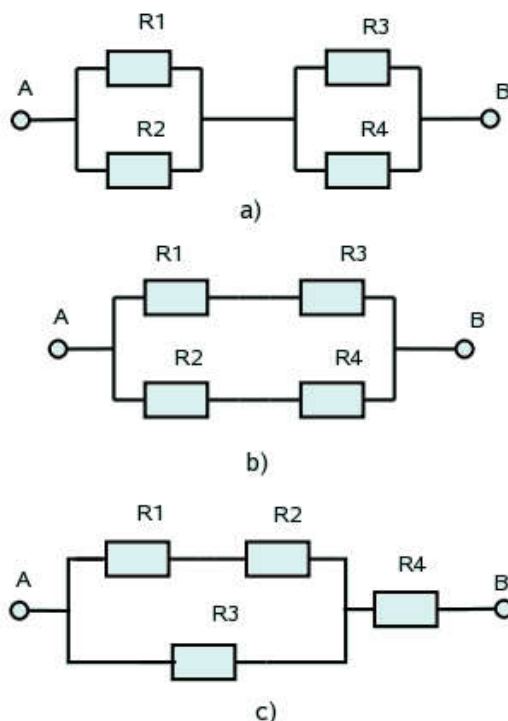
El análisis de circuitos tiene por objetivo conocer la corriente que circula en cada ramal de un circuito y es esencial para garantizar el correcto dimensionamiento de los conductores y elementos de protección, evitando así daños al circuito. Así se asegura la eficiencia y la seguridad del sistema.

#### Leyes de Kirchhoff

- **Ley de corrientes (KCL):** La suma de las corrientes que entran en un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen de él.
- **Ley de tensiones (KVL):** La suma de las tensiones alrededor de un lazo cerrado es igual a cero.

#### Resolución de circuitos

La resolución de circuitos implica el uso de las leyes de Kirchhoff y otras herramientas matemáticas para determinar las corrientes y tensiones en cada parte del circuito. Se pueden usar métodos como el análisis de nodos, el análisis de mallas y las transformaciones de Thevenin y Norton para simplificar y resolver circuitos complejos.



### 3.5 ACUMULADORES

Las baterías o acumuladores son componentes destinados a almacenar energía eléctrica para su posterior consumo. Su principio de funcionamiento se basa en aprovechar los efectos electroquímicos resultantes de poner en proximidad placas de materiales con diferentes electronegatividades, facilitando el traslado de electrones de unas a otras por medio de un medio llamado electrolito. Si las placas se unen exteriormente a través de un circuito, aparecerá una corriente continua aprovechable. Las baterías son recargables y su longevidad depende en gran medida del uso correcto y de un adecuado mantenimiento

Las baterías en los buques tienen tres cometidos principalmente:

- Suministrar la energía para accionar el/los motores de arranque.
- Suministrar corriente a distintos servicios del barco cuando el motor principal está parado y por lo tanto el alternador también lo está. Esto ocurre en barcos pequeños.
- Suministrar energía en caso de emergencia cuando falla la corriente principal.

### PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS ACUMULADORES

Las baterías se caracterizan por su **tensión nominal**. Las baterías están construidas internamente a partir de celdas. Cada celda tiene un valor de entre 2.1V (baterías de plomo) y 3.2V (baterías de litio). De esta manera, una batería de 12V nominales está constituida por 6 celdas de 2.1V conectadas internamente en serie, entregando una tensión real de 12.6V. Las tensiones más habituales son 6V (baterías pequeñas para ciclomotores y otros usos menores), 12V (esloras pequeñas), 24V y 48V (esloras mayores). Cabe notar que las baterías se diseñan generalmente para trabajar por debajo de 50V, que se considera el límite de las tensiones “de seguridad”, en las que las corrientes generadas a través de la resistencia del cuerpo humano están por debajo de los límites peligrosos para la salud.

Otra característica fundamental de una batería es su **capacidad**. Esta se mide en amperios-hora [Ah]. Esto quiere decir que una batería de 50Ah es capaz de entregar 50 amperios durante 1 hora, o bien 5 amperios durante 10 horas. Aunque esto no es completamente cierto

ya que, como se verá, en la mayoría de los casos las baterías no toleran bien que se las descargue por completo.

El **régimen o tasa de descarga** complementa a la capacidad de batería. Por ejemplo, una batería de tasa C100 entregará la cantidad de Ah nominales de la batería siempre que esta se descargue en 100 horas. Si a la misma batería se le demanda una cantidad mayor de amperios durante un tiempo tal que la descarga de la batería se alcanza en menos de 100h, la batería no entregará los Ah nominales, sino menos.

La **corriente de arranque en frío** o amperaje de arranque en frío (**CCA** por las siglas en inglés *Cold Cranking Amps*) es una magnitud que determina la máxima corriente que una batería puede suministrar durante 30 segundos a 0°C, sin que caiga la tensión por debajo de 1,2V en ninguna de sus celdas. Se basa en las peores condiciones para arrancar el motor un automóvil.

## AUTODESCARGA

Puesto que su funcionamiento se basa en reacciones químicas, aunque no se utilicen las baterías están constantemente en un proceso de autodescarga, que depende de la temperatura ambiente. Una tasa normal de autodescarga puede ser de un 2% de la capacidad de la batería por mes de almacenaje en baterías nuevas.

## ASOCIACIÓN DE BATERIAS

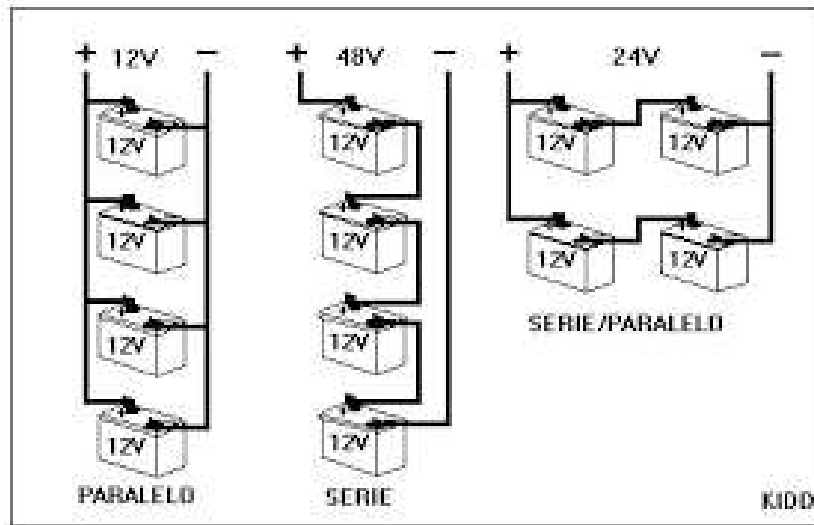
Las baterías pueden asociarse en bancos para conseguir mayores tensiones o capacidades.

-Asociación en serie: conectando el positivo de una batería con el negativo de la siguiente conseguimos sumar voltajes nominales, manteniendo su capacidad. Conectando así dos baterías de 12V 50Ah se obtendría un banco de 24V 50Ah

-Asociación en paralelo: conectando positivo con positivo y negativo con negativo se consigue sumar la capacidad, manteniendo la tensión constante. En este caso, dos baterías de 12V 50Ah formarían un banco de 12V 100Ah-Asociación mixta: se pueden conseguir otras combinaciones combinando conexiones en paralelo y en serie. Por ejemplo a partir de 4 baterías de 12V 50Ah se puede conseguir un banco de 24V 100h si las conectamos en serie



de dos en dos, y los dos grupos resultantes se conectan en paralelo. Siempre se deben asociar baterías idénticas (misma marca, misma tensión, misma capacidad).



## TIPOS DE BATERÍAS SEGÚN SU USO

-Baterías SLI (Start, Lighting, Ignition): son las conocidas como baterías de arranque. Su construcción interna está basada en placas más finas que permiten entregar una elevada intensidad durante un breve período de tiempo. No toleran bien ser descargadas más de un 20% de su capacidad nominal.

-Baterías de ciclo profundo: Las baterías de ciclo profundo están fabricadas y diseñadas para ser cargadas-descargadas de forma lenta y prolongada en el tiempo, esto es así gracias a la composición interna y procesos de fabricación que implican placas más robustas y diseñadas para dicho fin.

-Baterías estacionarias: se llaman así porque se instalan en lugares donde se quedan estáticas, no se mueven con los vehículos como el resto. Están diseñadas para aplicaciones en sistemas de alarma de incendios, alumbrado de emergencia, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI o UPS), telecomunicaciones y acumulación de energía renovable (solar o eólica principalmente) entre otros. Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas para compensar la pérdida de capacidad por auto descarga, y están construidas para resistir descargas profundas esporádicas.

## TIPOS DE BATERÍAS SEGÚN LOS MATERIALES

Existen muchas combinaciones de metales y electrolitos. En buques són habituales las siguientes:

### Baterías de plomo-ácido

Estas baterías están constituidas por placas de plomo con un electrolito a base de ácido sulfúrico diluido en agua destilada. Existen 3 tipos, según la disposición del electrolito.

-Electrolito líquido (flooded batteries): el electrolito es líquido y por tanto podría derramarse si la batería perdiera estanqueidad. Estas baterías deben trabajar siempre en posición horizontal.

-Electrolito absorbido (absorbed glass mat, o AGM): El electrolito se encuentra empapado en unas capas de tejido de fibra de vidrio. En estas baterías la corriente de carga puede ser menor que con las de gel y requerir tiempos de carga algo mayores

-Electrolito gel: el electrolito en estas baterías ha sido solidificado, formando una especie de gelatina que no puede derramarse. Adecuadas para aplicaciones donde existe cambio de posición o riesgo de vuelco (en embarcaciones, por ejemplo)

### Baterías de litio

Las baterías de litio han evolucionado mucho, superando los inconvenientes iniciales que ocasionaban fallos y explosiones. Las baterías de fosfato de hierro y litio ( $\text{LiFePO}_4$  o LFP), son las baterías tradicionales de Li-Ion más seguras. La tensión nominal de una celda de LFP es de 3,2V (plomo-ácido: 2V/celda). Una batería LFP de 12,8V, por lo tanto, consiste de 4 celdas conectadas en serie; y una batería de 25,6V consiste de 8 celdas conectadas en serie.

Las baterías de litio tienen una densidad energética superior, por lo que para la misma capacidad de baterías, las de litio pueden ahorrar hasta un 70% en espacio y peso. Las baterías LFP son caras en comparación con las de plomo-ácido. Pero si se usan en aplicaciones exigentes, el alto coste inicial se verá más que compensado por una vida útil mayor, una fiabilidad superior y una excelente eficiencia. Además, pueden incorporar avances tecnológicos como conexión bluetooth, mediante la cual se pueden supervisar

tensiones de celda, temperaturas y estados de alarmas, haciendo posible localizar un (posible) problema, como un desequilibrio de celdas.

Además las baterías de litio són más robustas. Una batería de plomo-ácido fallará prematuramente debido a la sulfatación si:

- funciona en modo de déficit durante largos periodos de tiempo (esto es, si la batería raramente o nunca está completamente cargada).
- se deja parcialmente cargada o, peor aún, completamente descargada (yates o caravanas durante el invierno).

En cambio una batería LFP no necesita estar completamente cargada. Su vida útil incluso mejorará en caso de que esté parcialmente en vez de completamente cargada. Esta es una ventaja decisiva de las LFP en comparación con las de plomo-ácido. Otras ventajas son el amplio rango de temperaturas de trabajo, excelente rendimiento cíclico , baja resistencia interna y alta eficiencia de carga (relación entre cantidad de energía almacenada y cantidad de energía usada en el proceso de carga)

En varias aplicaciones (especialmente aplicaciones no conectadas a la red, solares y/o eólicas), la eficiencia energética puede llegar a ser de crucial importancia. La eficiencia energética del ciclo completo (descarga de 100% a 0% y vuelta a cargar al 100%) de una batería de ácido y plomo normal es del 80%, mientras que la eficiencia energética del ciclo completo de una batería LFP es del 92%.

El proceso de carga de las baterías de plomo-ácido se vuelve particularmente ineficiente cuando se alcanza el estado de carga del 80%, que resulta en eficiencias del 50% o incluso inferiores en sistemas en los que se necesitan reservas para varios días (baterías funcionando entre el 70% y el 100% de carga). Por el contrario, una batería LFP seguirá logrando una eficiencia del 90% en condiciones de descarga leve.






## CARGA DE LAS BATERÍAS

Al recargar las baterías, debe cuidarse que la cantidad de corriente que entrega el cargador sea siempre acorde a las indicaciones del fabricante de la batería. Si la corriente es excesiva, se genera abundante gasificación al interior de la batería y esto puede provocar la dilatación ("hinchazón" y deformación), de la caja y la batería se vuelve inservible. Si el cargador no

funciona de la manera apropiada para su batería, la degradará rápidamente y perderá sus capacidades. A continuación se presentan algunos parámetros basados en el uso de baterías de plomo-ácido

### Tensión de carga

La mejor forma y la más rápida de comprobar una batería es con un voltímetro o multímetro para medir la tensión. La siguiente tabla da una idea del nivel de carga según la tensión, y la acción necesaria.

Voltage		Stage of Charge	Status	Action Required
Freshpack	AGM			
> 12.6 Volt	13 Volt	100%		No action necessary
12.4 Volt	12.8 Volt	75%		No action necessary
12.1 Volt	12.5 Volt	50%		Battery needs to be charged
11.9 Volt	12.2 Volt	25%		The battery must be recharged urgently
< 11.9 Volt	< 12.0 Volt	0%		Battery is no longer usable

La tensión a circuito abierto después de la carga debe ser de unos 2.12-2.13 V por celda, es decir, unos 12.8V en una batería de 12V nominales.

El proceso para lograr una carga completa tiene tres fases, que se logran si el cargador o alternador disponen de una función de regulación inteligente del voltaje:

-Carga profunda: Hasta el 80 % de la capacidad de la batería se repone en la fase de carga profunda. En esta etapa el cargador entrega la máxima corriente posible a una tensión de unos 14.5V. No se debe retirar la batería del cargador durante esta etapa.

-Carga de absorción. Cuando la batería alcanza el 80 % de la carga total, el cargador pasa a la fase de absorción. En esta etapa el voltaje se mantiene constante, y a medida que la batería se llena, la corriente va disminuyendo paulatinamente hasta llegar a la carga completa.

-Carga flotante: en esta fase se compensan los efectos de la autodescarga, aportando corrientes muy bajas, a menores tensiones (por debajo de 14V). Esto cargará la batería al 100 % y la mantendrá en un estado completamente cargado.

### Carga mediante alternador

El alternador “automotriz” es un método de carga muy frecuente en buques. El alternador produce corriente alterna, pero un puente de diodos interno rectifica esta corriente para suministrarla en forma de corriente continua, y que pueda usarse para cargar baterías. Las instalaciones más básicas pueden incorporar un separador de carga, de manera que un solo alternador cargue tanto la batería de arranque como la de servicios. El inconveniente en estos casos es que el alternador no distingue entre ambos niveles de carga y no ajusta correctamente la tensión según las necesidades de cada banco. En otras instalaciones se dispone de una alternadora dedicada para cada banco de baterías. La tensión suministrada por éstos suele ser de unos 13.5-14.5V, y esta tensión se va ajustando según el nivel de carga de las baterías. En cualquier caso debe comprobarse que la tensión nominal del alternador es adecuada para el tipo de baterías que tenemos instaladas. Esto es de especial importancia al cambiar un banco de baterías de plomo-ácido tradicionales, a una tecnología más avanzada, como el Litio, puesto que la baja resistencia interna en estas baterías (comparada con las de plomo) supone que las corrientes de carga sean tan elevadas que un alternador tradicional llegue a quemarse en algunas condiciones.

### Carga mediante cargador

En general una batería debe cargarse completamente y lo antes posible después de cada descarga. El cargador debe ser el adecuado para el tipo de batería y debe contar con función de desconexión automática. Nunca se deben cargar baterías congeladas, o con temperaturas superiores a 45°C.

La corriente de carga recomendada es del 10% de la capacidad nominal en amperios (por ejemplo, una batería de 40Ah necesitará un cargador de 4A. En baterías de gel o AGM, esta tensión de carga se sitúa entre el 15% y el 25%.

### Carga mediante generación solar o eólica

En ambos casos un regulador se encarga de ajustar la tensión que entrega el panel solar o el aerogenerador, dependiendo de estado de las baterías. En el caso de los aerogeneradores, puesto que la corriente fabricada es alterna, el regulador incorpora una etapa de rectificación para convertirla en continua.