

Curso: Procesamiento Electrónico de Potencia

# TECNOLOGÍAS PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Ing. Sergio A. Morales Hernández

Escuela de Ingeniería Electrónica  
Tecnológico de Costa Rica

I Semestre 2021

## 1 CLASIFICACIÓN DE RESERVORIOS DE ENERGÍA

# AGENDA

1 CLASIFICACIÓN DE RESERVORIOS DE ENERGÍA

2 BATERÍAS

# AGENDA

- 1 CLASIFICACIÓN DE RESERVORIOS DE ENERGÍA
- 2 BATERÍAS
- 3 SUPERCAPACITORES

## CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.

# CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.
- La batería es la tecnología más antigua usada como reservorio de energía eléctrica.

# CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.
- La batería es la tecnología más antigua usada como reservorio de energía eléctrica.
- Sin embargo, para sistemas de pequeña escala, una batería puede presentar una serie de inconvenientes.

# CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.
- La batería es la tecnología más antigua usada como reservorio de energía eléctrica.
- Sin embargo, para sistemas de pequeña escala, una batería puede presentar una serie de inconvenientes.
- Analicemos el caso de una red inalámbrica de sensores:

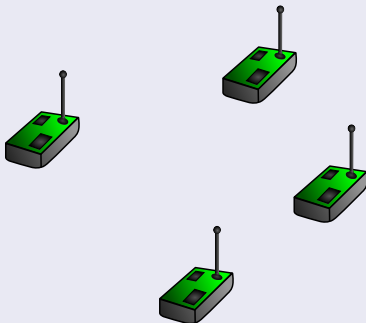


# CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.
- La batería es la tecnología más antigua usada como reservorio de energía eléctrica.
- Sin embargo, para sistemas de pequeña escala, una batería puede presentar una serie de inconvenientes.
- Analicemos el caso de una red inalámbrica de sensores:

# CLASIFICACIÓN

- La energía eléctrica para dispositivos de baja y media potencia, móviles, se acostumbra almacenar en baterías.
- La batería es la tecnología más antigua usada como reservorio de energía eléctrica.
- Sin embargo, para sistemas de pequeña escala, una batería puede presentar una serie de inconvenientes.
- Analicemos el caso de una red inalámbrica de sensores:



## CLASIFICACIÓN, continuación

- Para algunos casos, la batería, como se analizó anteriormente, podría no ser el medio más adecuado para almacenar energía.

## CLASIFICACIÓN, continuación

- Para algunos casos, la batería, como se analizó anteriormente, podría no ser el medio más adecuado para almacenar energía.
- De allí que se valoren los supercapacitores para tal fin.

## CLASIFICACIÓN, continuación

- Para algunos casos, la batería, como se analizó anteriormente, podría no ser el medio más adecuado para almacenar energía.
- De allí que se valoren los supercapacitores para tal fin.
- Estos dispositivos, pueden entregar energía de forma más rápida pero en menor cantidad.

## CLASIFICACIÓN, continuación

- Para algunos casos, la batería, como se analizó anteriormente, podría no ser el medio más adecuado para almacenar energía.
- De allí que se valoren los supercapacitores para tal fin.
- Estos dispositivos, pueden entregar energía de forma más rápida pero en menor cantidad.
- Esto quiere decir, que soportarían una mayor variación de consumo, pero en periodos cortos.

## CLASIFICACIÓN, continuación

- Para algunos casos, la batería, como se analizó anteriormente, podría no ser el medio más adecuado para almacenar energía.
- De allí que se valoren los supercapacitores para tal fin.
- Estos dispositivos, pueden entregar energía de forma más rápida pero en menor cantidad.
- Esto quiere decir, que soportarían una mayor variación de consumo, pero en periodos cortos.
- Aparte del caso de una RIdS, ¿en qué otro caso se podrían utilizar los supercapacitores?

# BATERÍAS



## CONCEPTOS BÁSICOS

- Vamos a iniciar el análisis de las baterías, por ser el medio más común de almacenamiento de energía.

## CONCEPTOS BÁSICOS

- Vamos a iniciar el análisis de las baterías, por ser el medio más común de almacenamiento de energía.
- Las baterías pueden ser divididas en *primarias* (no recargables) y *secundarias* (recargables).

## CONCEPTOS BÁSICOS

- Vamos a iniciar el análisis de las baterías, por ser el medio más común de almacenamiento de energía.
- Las baterías pueden ser divididas en *primarias* (no recargables) y *secundarias* (recargables).
- Nos centraremos en este último tipo.

## CONCEPTOS BÁSICOS

- Vamos a iniciar el análisis de las baterías, por ser el medio más común de almacenamiento de energía.
- Las baterías pueden ser divididas en *primarias* (no recargables) y *secundarias* (recargables).
- Nos centraremos en este último tipo.
- En las baterías recargables se da un proceso de conversión de energía química en energía eléctrica y viceversa.

## CONCEPTOS BÁSICOS

- Vamos a iniciar el análisis de las baterías, por ser el medio más común de almacenamiento de energía.
- Las baterías pueden ser divididas en *primarias* (no recargables) y *secundarias* (recargables).
- Nos centraremos en este último tipo.
- En las baterías recargables se da un proceso de conversión de energía química en energía eléctrica y viceversa.
- Analizaremos 2 tipos de baterías secundarias: Litio y ácido Plomo.

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- En una batería secundaria se tienen un par de electrodos y un medio conductor de electricidad (electrolito).

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- En una batería secundaria se tienen un par de electrodos y un medio conductor de electricidad (electrolito).
- Los electrodos tienen superficies metálicas, que interactúan con el electrolito (REDOX).

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- En una batería secundaria se tienen un par de electrodos y un medio conductor de electricidad (electrolito).
- Los electrodos tienen superficies metálicas, que interactúan con el electrolito (REDOX).
- Cuando un electrodo se oxida, pierde electrones y se le denomina ánodo (A).



## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- En una batería secundaria se tienen un par de electrodos y un medio conductor de electricidad (electrolito).
- Los electrodos tienen superficies metálicas, que interactúan con el electrolito (REDOX).
- Cuando un electrodo se oxida, pierde electrones y se le denomina ánodo (A).
- Cuando un electrodo se reduce, gana electrones y se le conoce como cátodo (K).

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- Si la batería entrega energía, el ánodo será (-) y el cátodo (+).

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- Si la batería entrega energía, el ánodo será (-) y el cátodo (+).
- Si la batería consume energía, el ánodo será (+) y el cátodo (-).

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

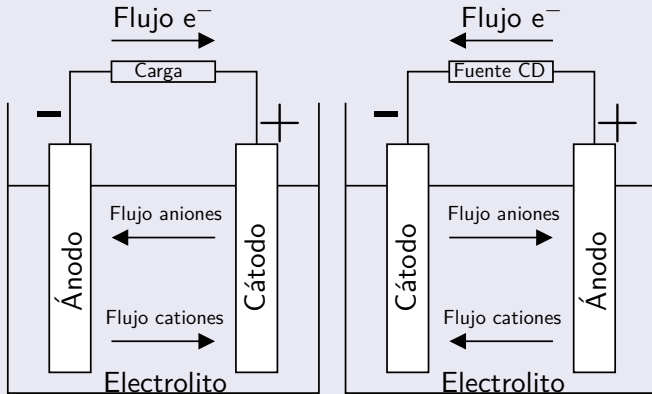
- Si la batería entrega energía, el ánodo será (-) y el cátodo (+).
- Si la batería consume energía, el ánodo será (+) y el cátodo (-).
- ¿Cuáles son esos casos?

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- Si la batería entrega energía, el ánodo será (-) y el cátodo (+).
- Si la batería consume energía, el ánodo será (+) y el cátodo (-).
- ¿Cuáles son esos casos?

## CONCEPTOS BÁSICOS, continuación

- Si la batería entrega energía, el ánodo será (-) y el cátodo (+).
- Si la batería consume energía, el ánodo será (+) y el cátodo (-).
- ¿Cuáles son esos casos?



## BATERÍA LITIO

- Estas baterías requieren una circuitería adicional para impedir que se llegue a descargar totalmente o continuar el proceso de carga una vez alcanzado su máximo valor.

## BATERÍA LITIO

- Estas baterías requieren una circuitería adicional para impedir que se llegue a descargar totalmente o continuar el proceso de carga una vez alcanzado su máximo valor.
- Una descarga total provoca daños en la celda debido a una degradación química de los elementos de la batería.



## BATERÍA LITIO

- Estas baterías requieren una circuitería adicional para impedir que se llegue a descargar totalmente o continuar el proceso de carga una vez alcanzado su máximo valor.
- Una descarga total provoca daños en la celda debido a una degradación química de los elementos de la batería.
- Una carga máxima provoca una oxidación del electrolito en el cátodo, produciendo pérdida de capacidad.

## BATERÍA LITIO

- Estas baterías requieren una circuitería adicional para impedir que se llegue a descargar totalmente o continuar el proceso de carga una vez alcanzado su máximo valor.
- Una descarga total provoca daños en la celda debido a una degradación química de los elementos de la batería.
- Una carga máxima provoca una oxidación del electrolito en el cátodo, produciendo pérdida de capacidad.
- Además, aumenta la temperatura y se da un proceso de gasificación, lo cual la convierte en un dispositivo peligroso si no se limita una posible sobrecarga.

## BATERÍA ÁCIDO PLOMO

- Son las de menor costo en el mercado por unidad de energía, por lo tanto es la tecnología más difundida en el campo del almacenamiento de energía eléctrica para mediana magnitud.

## BATERÍA ÁCIDO PLOMO

- Son las de menor costo en el mercado por unidad de energía, por lo tanto es la tecnología más difundida en el campo del almacenamiento de energía eléctrica para mediana magnitud.
- No se pueden almacenar totalmente descargadas, porque reduce la concentración del electrolito y promueve la sulfatación (creación de cristales, proceso no reversible).

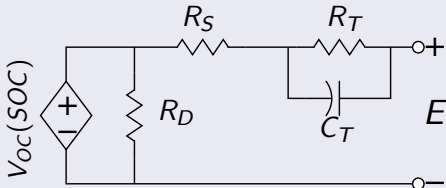
## BATERÍA ÁCIDO PLOMO

- Son las de menor costo en el mercado por unidad de energía, por lo tanto es la tecnología más difundida en el campo del almacenamiento de energía eléctrica para mediana magnitud.
- No se pueden almacenar totalmente descargadas, porque reduce la concentración del electrolito y promueve la sulfatación (creación de cristales, proceso no reversible).
- No se deben cargar parcialmente, ya que esto reduce su vida útil.

## BATERÍA ÁCIDO PLOMO

- Son las de menor costo en el mercado por unidad de energía, por lo tanto es la tecnología más difundida en el campo del almacenamiento de energía eléctrica para mediana magnitud.
- No se pueden almacenar totalmente descargadas, porque reduce la concentración del electrolito y promueve la sulfatación (creación de cristales, proceso no reversible).
- No se deben cargar parcialmente, ya que esto reduce su vida útil.
- **Foro 4 en TEAMS:** ¿cuál es el protocolo utilizado para cargar una batería de Litio y una de Plomo?

## MODELO ELÉCTRICO COMÚN BATERÍA



- $V_{OC}(SOC)$  es el voltaje de la batería dependiente de su valor de carga.
- $R_D$  es la resistencia de descarga de la batería.
- $R_S$  es la resistencia en serie de la batería, producto de la conductividad de sus componentes internos.
- $R_T$  y  $C_T$  son los elementos transitorios de la batería.
- $E = - \left[ R_S C \dot{x} + x \left( \frac{R_S}{R_T} + 1 \right) - V_{OC} \right]$ , donde  $x = v_{C_T}$ .

# SUPERCAPACITORES



## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.
- Un supercapacitor (SC) presenta perfiles de carga y descarga muy dinámicos, permitiendo más de medio millón de estos ciclos.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.
- Un supercapacitor (SC) presenta perfiles de carga y descarga muy dinámicos, permitiendo más de medio millón de estos ciclos.
- Otras características de un SC son:

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.
- Un supercapacitor (SC) presenta perfiles de carga y descarga muy dinámicos, permitiendo más de medio millón de estos ciclos.
- Otras características de un SC son:
  - Muy baja impedancia interna.

## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.
- Un supercapacitor (SC) presenta perfiles de carga y descarga muy dinámicos, permitiendo más de medio millón de estos ciclos.
- Otras características de un SC son:
  - Muy baja impedancia interna.
  - Menor densidad de energía.



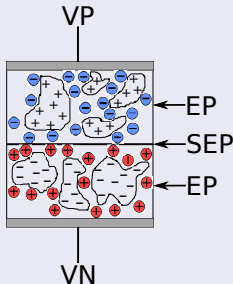
## CONDICIONES PARA SU USO

- En sistemas con un perfil de consumo dinámico (RIdS, por ejemplo), una batería perdería rápidamente su capacidad.
- La batería se degrada más rápido por tener un proceso electroquímico de conversión.
- El SC permite procesos de recarga más rápidos, por ser un fenómeno físico.
- Por otro lado, una batería de Ión Litio permite unos pocos miles de ciclos de carga-descarga, hasta que se degrada, provocando su recambio.
- Un supercapacitor (SC) presenta perfiles de carga y descarga muy dinámicos, permitiendo más de medio millón de estos ciclos.
- Otras características de un SC son:
  - Muy baja impedancia interna.
  - Menor densidad de energía.
  - Mayor autodescarga.



## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- Contrario a un capacitor convencional, la estructura de un SC no presenta un par de placas paralelas, sino una configuración porosa, como se puede apreciar a continuación.



- Tenemos que **VP** es el voltaje positivo, **VN** el voltaje negativo, **EP** es el electrodo poroso y **SEP** es el separador.

## PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

- Debido a sus características porosas, si se mantiene mucho tiempo el proceso de carga, se producirá una mejor distribución de las cargas eléctricas, reduciendo el proceso de autodescarga.

## PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

- Debido a sus características porosas, si se mantiene mucho tiempo el proceso de carga, se producirá una mejor distribución de las cargas eléctricas, reduciendo el proceso de autodescarga.
- Al poseer una baja impedancia interna, permite una corriente de carga alta, lo que se debe considerar al realizar este proceso.

## PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

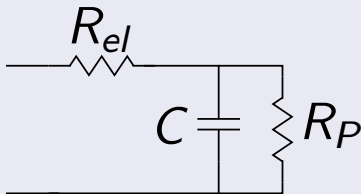
- Debido a sus características porosas, si se mantiene mucho tiempo el proceso de carga, se producirá una mejor distribución de las cargas eléctricas, reduciendo el proceso de autodescarga.
- Al poseer una baja impedancia interna, permite una corriente de carga alta, lo que se debe considerar al realizar este proceso.
- El modelo eléctrico más sencillo para este dispositivo se muestra a continuación:

## PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

- Debido a sus características porosas, si se mantiene mucho tiempo el proceso de carga, se producirá una mejor distribución de las cargas eléctricas, reduciendo el proceso de autodescarga.
- Al poseer una baja impedancia interna, permite una corriente de carga alta, lo que se debe considerar al realizar este proceso.
- El modelo eléctrico más sencillo para este dispositivo se muestra a continuación:

## PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

- Debido a sus características porosas, si se mantiene mucho tiempo el proceso de carga, se producirá una mejor distribución de las cargas eléctricas, reduciendo el proceso de autodescarga.
- Al poseer una baja impedancia interna, permite una corriente de carga alta, lo que se debe considerar al realizar este proceso.
- El modelo eléctrico más sencillo para este dispositivo se muestra a continuación:





## MODELO AMPLIADO

- Para representar mejor las características dinámicas de un SC, se tiene un modelo que representa el comportamiento de carga-descarga para lapsos de segundos, minutos y decenas de minutos.

## MODELO AMPLIADO

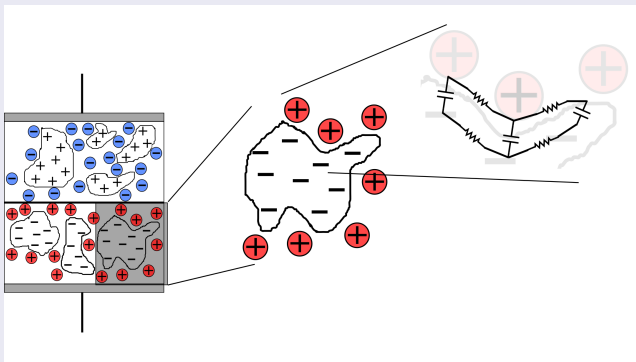
- Para representar mejor las características dinámicas de un SC, se tiene un modelo que representa el comportamiento de carga-descarga para lapsos de segundos, minutos y decenas de minutos.
- Ese modelo parte del siguiente análisis:

## MODELO AMPLIADO

- Para representar mejor las características dinámicas de un SC, se tiene un modelo que representa el comportamiento de carga-descarga para lapsos de segundos, minutos y decenas de minutos.
- Ese modelo parte del siguiente análisis:

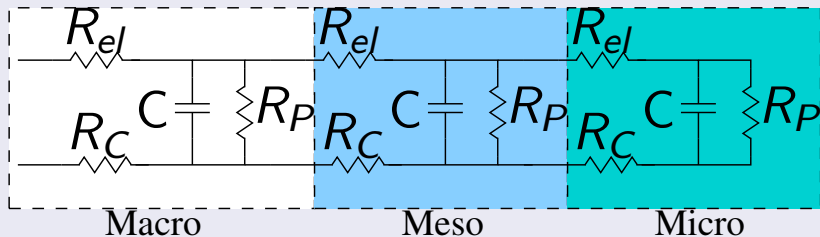
## MODELO AMPLIADO

- Para representar mejor las características dinámicas de un SC, se tiene un modelo que representa el comportamiento de carga-descarga para lapsos de segundos, minutos y decenas de minutos.
- Ese modelo parte del siguiente análisis:



## MODELO AMPLIADO, continuación

- El modelo ampliado será el siguiente:



**¡Muchas Gracias!**

