

# Sistemas Fotovoltaicos Autónomos

## Conceptos Generales y Componentes

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Regulador de  
carga

Luminarias

## Conceptos Generales

Acumulador Electroquímico

Regulador de carga

Luminarias

# Definición de un Sistema Autónomo

Sistemas  
Fotovoltaicos  
Autónomos

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Conceptos  
Generales

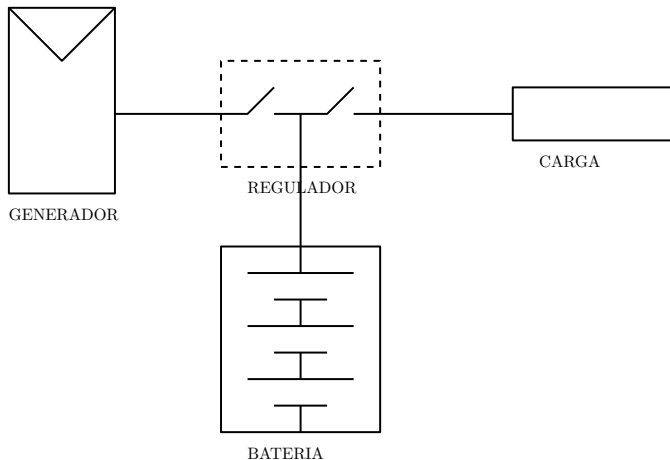
Acumulador  
Electroquímico

Regulador de  
carga

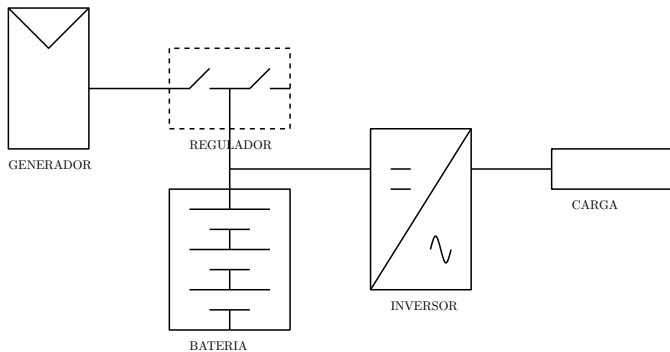
Luminarias

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para **satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético** para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo.

# Configuración SHS



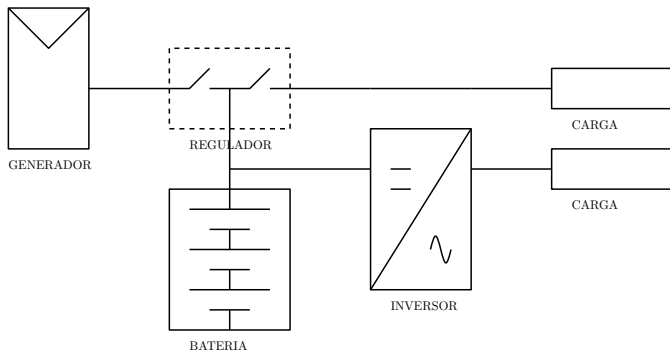
# Configuración AC



# Configuración DC+AC

Sistemas  
Fotovoltaicos  
Autónomos

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro



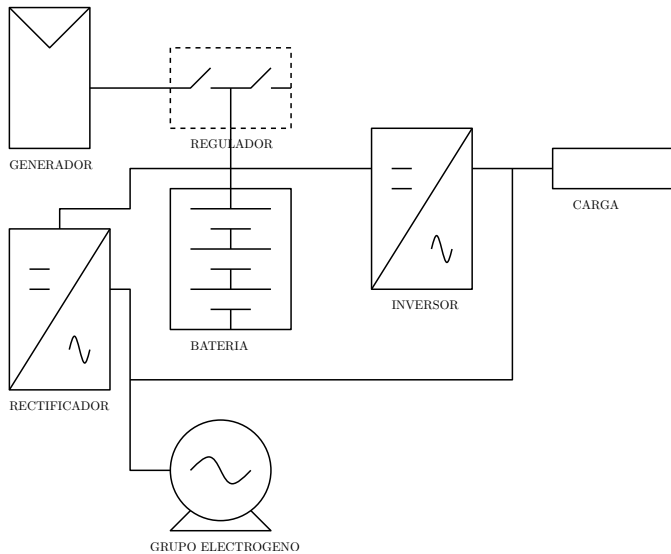
Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Regulador de  
carga

Luminarias

# Sistema Híbrido



Sistemas  
Fotovoltaicos  
Autónomos

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Regulador de  
carga

Luminarias

Conceptos Generales

Acumulador Electroquímico

Regulador de carga

Luminarias



Conceptos Generales

**Acumulador Electroquímico**

Definiciones

Principios de funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de carga

Luminarias

# Acumulador electroquímico

Un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Sus principales funciones son:

- ▶ **Autonomía:** satisface los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación.
- ▶ **Suministro de picos de intensidad:** cuando es necesario, puede suministrar valores de intensidad superiores a los que proporciona el generador FV.
- ▶ **Estabilización del voltaje:** evita fluctuaciones dañinas para los equipos de consumo.

**Capacidad nominal ( $C_{nom}$ )** es la carga eléctrica que puede ser extraída de una batería hasta llegar a la descarga total.

**Régimen de carga/descarga** es la corriente aplicada a una batería para restablecer/extraer la capacidad nominal. Normalmente se presenta como un ratio entre la capacidad nominal y la corriente.

**Estado de carga (SoC)** de una batería es la capacidad de una batería parcialmente cargada, dividida por su capacidad nominal. Por tanto siempre será  $0 < SoC < 1$ .

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

**Profundidad de descarga (PD)** es el complemento del estado de carga.

**Tensión de corte:** es la tensión a la que finaliza la descarga de la batería. Depende del régimen de descarga y del tipo de batería. Determina la profundidad de descarga máxima,  $PD_{max}$ , y por tanto, la capacidad útil,  $C_U$ , siendo

$$C_U = PD_{max} \cdot C_{nom}$$

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

**Eficiencia farádica** es el ratio entre la carga extraída durante la descarga y la carga requerida para restablecer el estado inicial.

**Eficiencia energética** es el ratio entre la energía extraída durante la descarga y la energía requerida para restablecer el estado inicial.

Conceptos Generales

**Acumulador Electroquímico**

Definiciones

**Principios de funcionamiento**

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

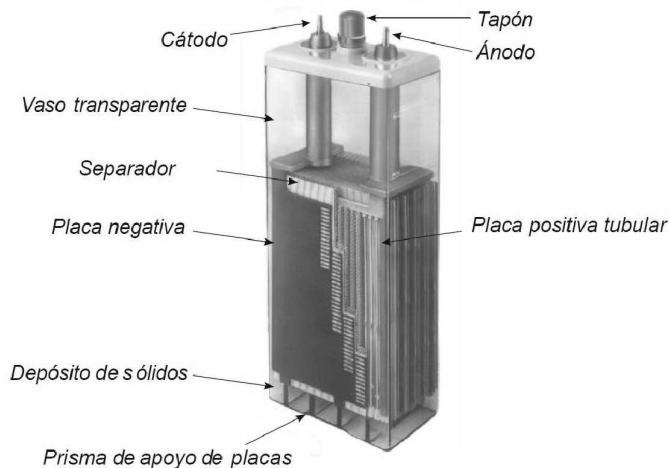
Regulador de carga

Luminarias

# Composición

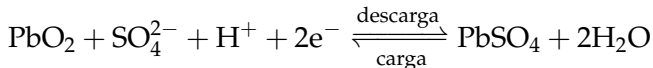
Una batería de ácido-plomo se compone de:

- ▶ Un **ánodo o electrodo positivo** con  $PbO_2$
- ▶ Un **cátodo o electrodo negativo** con  $Pb$ .
- ▶ **Electrolito** a base de  $H_2SO_4$  diluido en agua.

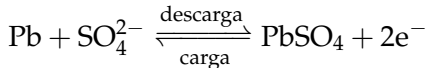


# Reacción Química REDOX

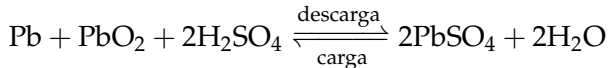
▶ Ánodo (+):



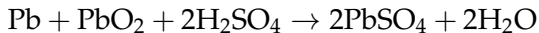
▶ Cátodo (-):



▶ Global:







- ▶ **Consumo de electrolito** (disminuye su densidad)
- ▶ **Cambios de volumen** de los materiales activos.
- ▶ **Descargas repetidas** producen **pérdida de material activo** y degradación de las placas.
- ▶ Si la descarga es muy rápida y la batería permanece descargada largo tiempo, el sulfato cristaliza y no es recuperable (**sulfatación**).



- ▶ Con largos períodos en estados parciales de carga, el ácido se concentra en el fondo por gravedad (**estratificación**)
  - ▶ Las reacciones no se producen de igual forma en toda la extensión de las placas, lo que realimenta el proceso.
  - ▶ Puede reducirse mediante un **gaseo controlado**.
- ▶ Al terminar el proceso de carga se produce la electrolisis del agua, con liberación de oxígeno e hidrógeno (**gaseo**):
  - ▶ Pérdida de agua del electrolito (hay que reponerla)
  - ▶ Homogeneización del electrolito por agitación (reduce la estratificación)

Conceptos Generales

## Acumulador Electroquímico

Definiciones

Principios de funcionamiento

**Modelo eléctrico**

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

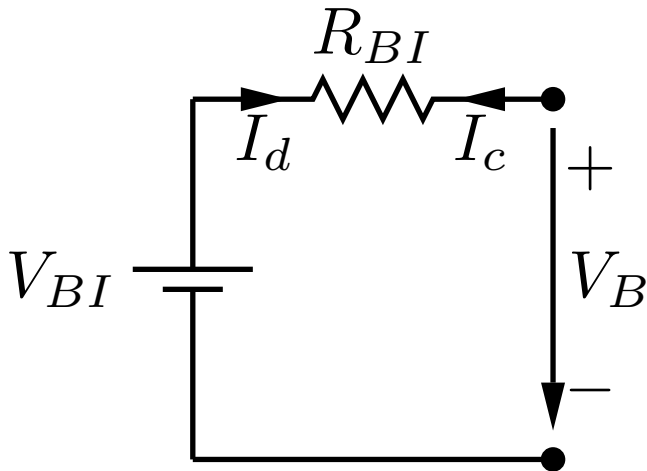
Composición

Regulador de carga

Luminarias

# Fuente de tensión

- ▶ Una batería de ácido-plomo puede ser modelada como una fuente de tensión,  $V_{BI}$ , en serie con una resistencia,  $R_{BI}$ .



# Densidad del electrolito y Tensión en Abierto

La medida de la tensión en circuito abierto de la batería es un método común para estimar el estado de carga de una batería.

- ▶  $V_{BI} = \rho_e + 0.84$
- ▶ Baterías cargadas:
  - ▶  $1,2 \text{ g cm}^{-3} \leq \rho_e \leq 1,28 \text{ g cm}^{-3}$ .
  - ▶  $2,04 \text{ V} \leq V_{BI} \leq 2,12 \text{ V}$ .
- ▶ **Hay que corregir con la temperatura**

# Evolución de la tensión durante un proceso de descarga

Sistemas  
Fotovoltaicos  
Autónomos

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

**Modelo eléctrico**

Efecto de la temperatura

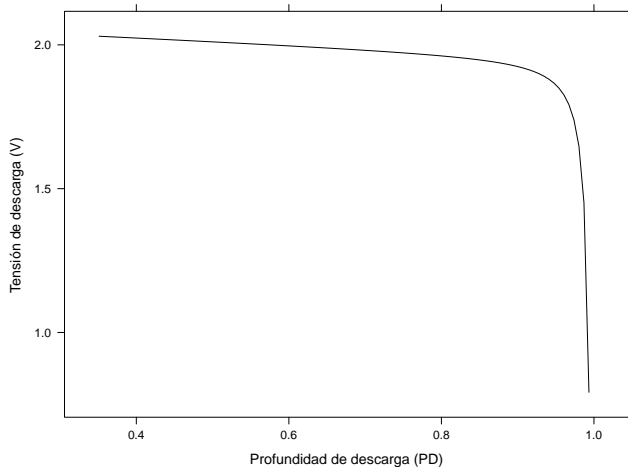
Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias



# Evolución de la tensión en un proceso de carga

Sistemas  
Fotovoltaicos  
Autónomos

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

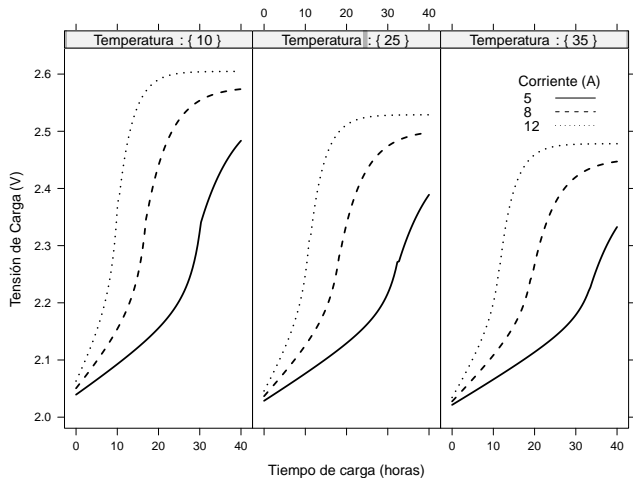
Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias



Conceptos Generales

## Acumulador Electroquímico

Definiciones

Principios de funcionamiento

Modelo eléctrico

**Efecto de la temperatura**

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de carga

Luminarias



- ▶ El electrolito se hace más viscoso y decrece la movilidad de los iones (aumenta la resistencia eléctrica)
- ▶ **Baja la capacidad** para un regimen de descarga determinado a razón de  $1\%/^{\circ}\text{C}$
- ▶ Si el electrolito se congela, no hay movimiento iónico, y por tanto la capacidad es nula. Para evitarlo, **hay que recurrir a densidades altas de electrolito en lugares muy frios.**

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

- ▶ **Acelera las reacciones, favoreciendo la corrosión.**  
Por tanto, decrece la vida de la batería.
- ▶ En **climas cálidos**, se debe optar por **bajas concentraciones de electrolito** (que se ve compensada por la mayor movilidad iónica debida a la alta temperatura).
- ▶ **Baja el valor de tensión al que empieza la sobrecarga** debido a que la resistencia interna baja con la temperatura.
  - ▶ Hay que corregir el umbral de corte con la temperatura (se puede utilizar la ambiente como referencia)

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

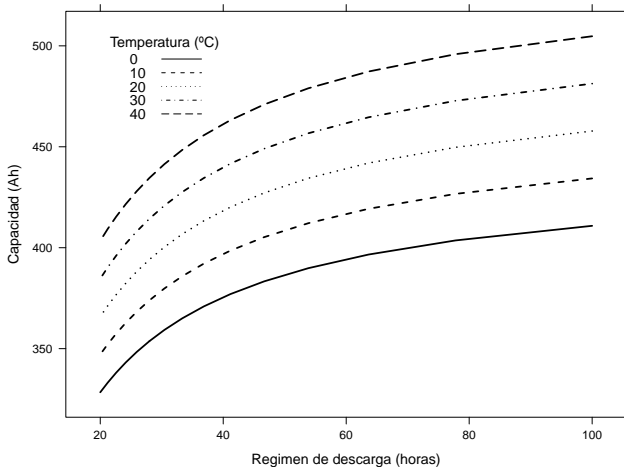
Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

# Capacidad según el regimen de descarga y la temperatura



Conceptos Generales

## Acumulador Electroquímico

Definiciones

Principios de funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

### Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de carga

Luminarias

- ▶ El ciclado es el **proceso** por el que un acumulador es **continuamente cargado y descargado durante su vida**.
- ▶ Produce **degradación** de la batería por **perdida de material activo** (descargas repetidas) y **estratificación**.

# Resistencia al ciclado

Los factores que influyen sobre la resistencia del acumulador al ciclado son:

- ▶ **La profundidad de descarga:** las descargas profundas disminuyen los ciclos de vida de una batería.
- ▶ **El régimen de carga:** cuanto mayor es el régimen de carga y el porcentaje de sobrecarga, menor será la vida alcanzada.
- ▶ **La temperatura:** las temperaturas altas aceleran la corrosión en los electrodos disminuyendo los ciclos de vida.

Conceptos Generales

## Acumulador Electroquímico

Definiciones

Principios de funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

**Tipos de acumuladores**

Composición

Regulador de carga

Luminarias

- ▶ Un acumulador incorporado a un SFA debe ser **capaz de funcionar sometido a ciclados diarios y anuales de carga y descarga**, teniendo en cuenta que la carga entregada por el generador depende directamente de la radiación (variable en los períodos intradiario e intraanual).
- ▶ Debido a las posibles fluctuaciones en la carga aportada, es probable que se sucedan **periodos prolongados en carga parcial**.
- ▶ Es habitual que las **descargas sean a baja intensidad con periodos de descarga largos**, típicamente en torno a las 100 horas.

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias



- ▶ Habitualmente empleadas en **automóviles**
- ▶ Fácilmente localizables en cualquier **mercado local a bajo precio** (relativo)
- ▶ **Opción frecuentemente empleada** en sistemas de electrificación rural de **pequeño tamaño** o como **reemplazo** de baterías estropeadas
- ▶ Buen comportamiento en descarga de alta intensidad y a bajas temperaturas
- ▶ **No son resistentes frente al ciclado**

- ▶ Empleadas, por ejemplo, en **carretillas elevadoras**.
- ▶ Soportan **elevado número de ciclos profundos de carga-descarga**.
- ▶ Requieren **aportación de agua y mantenimiento frecuente**.
- ▶ Empleo en SFA sólo cuando exista mantenimiento regular.

- ▶ Empleadas en sistemas de alimentación ininterrumpida (**UPS**) o instalaciones remotas (por ejemplo, radioenlaces).
- ▶ Funcionan en **régimen de flotación**.
- ▶ Gran reserva de electrolito aunque realizan poco uso de agua.
- ▶ **Resistencia a la corrosión** y elevada fiabilidad.
- ▶ **Opción muy interesante para SFA**. Precio más elevado frente a las anteriores opciones.

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

# Elección de batería

## Criterios a tener en cuenta

- ▶ **Requisitos técnicos** (capacidad, tipo de ciclado, etc.)
- ▶ **Coste del sistema**
- ▶ Recursos de **mantenimiento**.
- ▶ **Disponibilidad de reemplazo** en el mercado local
- ▶ Capacidad de intervención del usuario.

## Para aplicaciones fotovoltaicas se recomienda

- ▶ **Baterías estacionarias aireadas de placa positiva tubular**
- ▶ **Baterías SLI modificadas:** placas más gruesas, mayor cantidad de electrolito por encima de las placas, con aleación de Pb-Sb en la rejilla y vaso transparente.

Conceptos Generales

## Acumulador Electroquímico

Definiciones

Principios de funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

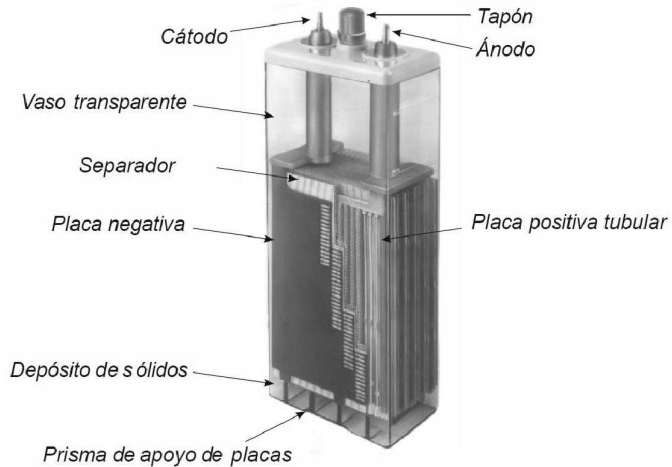
Tipos de acumuladores

**Composición**

Regulador de carga

Luminarias

# Composición



- ▶ Dan **soporte estructural a los materiales activos**
- ▶ **Conducen la corriente eléctrica** hacia el circuito externo.
- ▶ Están fabricadas en **aleaciones de Plomo**.
  - ▶ La **aleación de plomo-antimonio** presenta buen comportamiento en ciclado y en descarga profunda.
- ▶ La **rejilla negativa** es **plana**
- ▶ La **rejilla positiva** puede ser **plana** (operación en flotación) o **tubular** (operación en ciclado).

- ▶ Los materiales activos participan en las reacciones químicas.
- ▶ Están **adheridos a las rejillas**.
- ▶ Deben ser **porosos** para permitir la penetración del electrolito



- ▶ El **electrolito** participa en la reacción y **realiza el transporte iónico** para cerrar el ciclo de corriente de las reacciones.
- ▶ Para **reducir la resistencia eléctrica** del electrolito, su **densidad debe ser alta**,
- ▶ Pero **un electrolito de alta densidad es muy agresivo** (produce corrosión en la rejilla positiva).
- ▶ Los acumuladores estacionarios utilizan densidades más bajas que los de arranque (altos regímenes de descarga).
- ▶ El electrolito **puede ser líquido** (aireadas) o **inmovilizado** (selladas).

Conceptos  
Generales

Acumulador  
Electroquímico

Definiciones

Principios de  
funcionamiento

Modelo eléctrico

Efecto de la temperatura

Ciclado

Tipos de acumuladores

Composición

Regulador de  
carga

Luminarias

- ▶ Los separadores **aislan las placas de diferente polaridad pero permiten el movimiento iónico a través suyo.**
- ▶ Requisitos:
  - ▶ Resistencia mecánica
  - ▶ Permeables y porosos.
  - ▶ Resistentes a la oxidación
  - ▶ Aislantes eléctricos
  - ▶ Sin contaminantes

Conceptos Generales

Acumulador Electroquímico

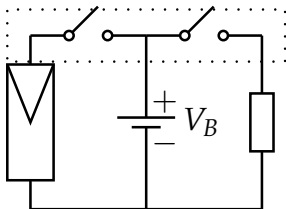
**Regulador de carga**

Luminarias

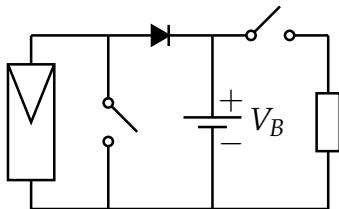
Un regulador de carga es un equipo electrónico capaz de **evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador** desconectando al acumulador del generador o del consumo **cuando se alcanzan determinados estados umbral, generalmente determinados por la tensión en bornes.**

# Regulador Serie y paralelo

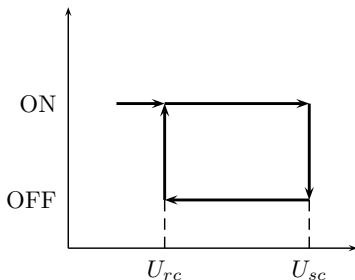
## ► Regulador Serie



## ► Regulador Paralelo

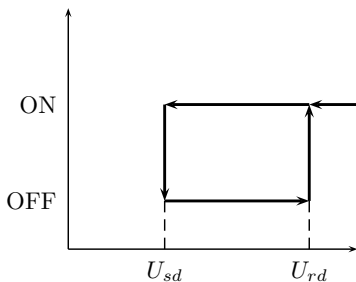


# Ciclo de carga



- ▶  $U_{sc}$  debe estar en el rango de 2,3 V a 2,4 V por vaso a 25 °C.
- ▶  $U_{rc}$  debe estar en el rango de 2,15 V a 2,2 V por vaso a 25 °C.
- ▶ **Deben corregirse por temperatura** a razón de 4 mV °C<sup>-1</sup> a 5 mV °C<sup>-1</sup> por vaso.

# Ciclo de descarga



Los umbrales deben adaptarse a cada tipo de batería  
(mediante ensayos, o recomendaciones del fabricante)

Conceptos Generales

Acumulador Electroquímico

Regulador de carga

**Luminarias**



- ▶ Una lámpara fluorescente convencional está formada por un **tubo de descarga con gas a baja presión**, un **recubrimiento de una mezcla de polvos fluorescentes** y **dos electrodos** en los extremos.
- ▶ Un **circuito auxiliar (balasto)** cumple dos funciones principales:
  - ▶ **Proporciona la tensión de encendido** necesaria para que fluya corriente por el tubo.
  - ▶ **Regula la corriente** que circula por el tubo una vez que se ha producido el encendido para evitar su destrucción.

- ▶ **El proceso de encendido es el que más contribuye a la degradación** de los tubos fluorescentes.
- ▶ Un método alternativo consiste en **precalentar los electrodos** (con un circuito basado en un condensador y en una resistencia) facilitando el paso a la etapa de emisión termoiónica, y acortando el período de encendido.

**Flujo radiante** es la potencia emitida por la fuente luminosa (Unidad: Watio)

**Flujo luminoso** es la potencia emitida capaz de producir sensación luminosa en el ojo humano (Unidad: Lumen)

**Iluminación** de una superficie sobre la que incide un flujo luminoso es el ratio entre flujo y superficie (Unidad: lux,  $\text{lm W}^{-2}$ ).

**Eficiencia** de la luminaria (tubo y balasto) es la relación entre potencia eléctrica consumida por el conjunto y la potencia luminosa producida (Unidad:  $\text{lm W}^{-1}$ ).

- ▶ Recomendable eficiencia superior a  $50 \text{ lm W}^{-1}$ 
  - ▶ **Debe ser superior a  $35 \text{ lm W}^{-1}$ .**
- ▶ Recomendable resistencia a un mínimo de 10000 ciclos de encendido y apagado
  - ▶ **Deberá resistir 5000 ciclos.**