

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: COMPONENTES DE UN SISTEMA AUTÓNOMO

OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO

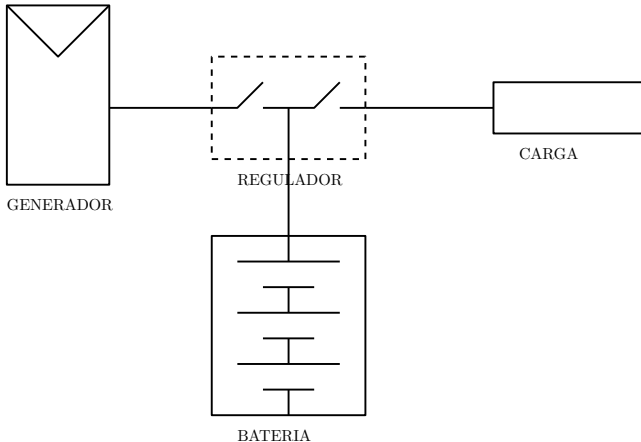
ÍNDICE

- 1 CONCEPTOS GENERALES
- 2 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO
 - Definiciones
 - Principios de funcionamiento
 - Composición
 - Tipos de acumuladores
- 3 REGULADOR DE CARGA
- 4 LUMINARIAS

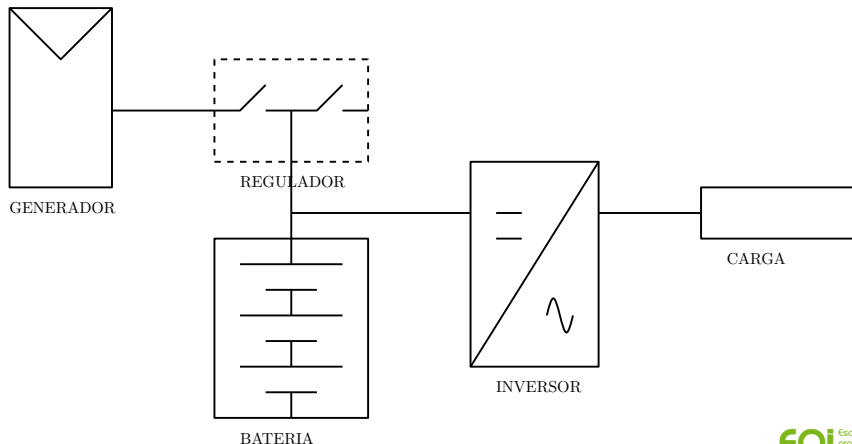
DEFINICIÓN DE UN SISTEMA AUTÓNOMO

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.

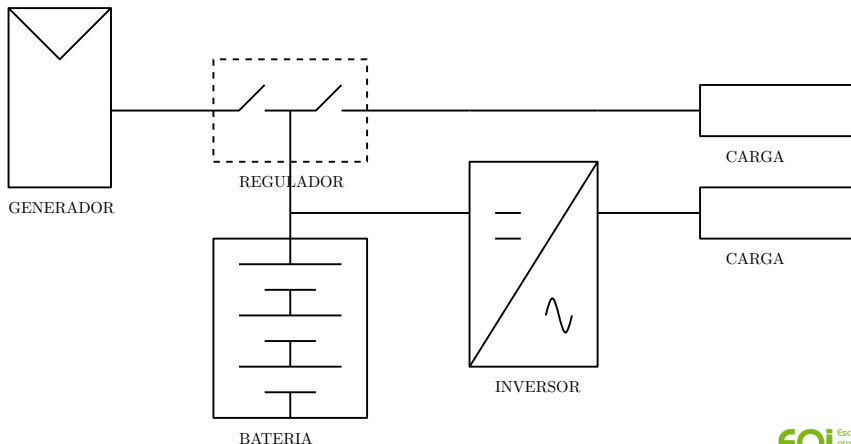
CONFIGURACION SHS



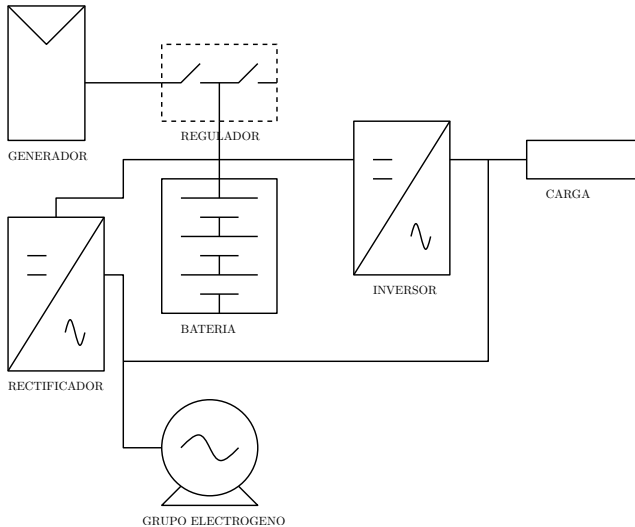
CONFIGURACIÓN AC



CONFIGURACIÓN DC+AC



SISTEMA HÍBRIDO



ÍNDICE

- 1 CONCEPTOS GENERALES
- 2 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO
 - Definiciones
 - Principios de funcionamiento
 - Composición
 - Tipos de acumuladores
- 3 REGULADOR DE CARGA
- 4 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.

DEFINICIONES

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 $0 < SoC < 1$.

DEFINICIONES

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

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

DEFINICIONES

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.

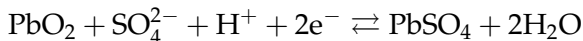
PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Una batería de ácido-plomo se compone de:

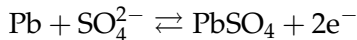
- Un **ánodo o electrodo positivo** con PbO_2
- Un **cátodo o electrodo negativo** con Pb .
- **Electrolito** a base de H_2SO_4 diluido en agua.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

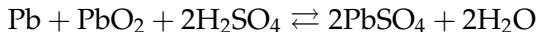
Ánodo (+):



Cátodo (-):



Global:

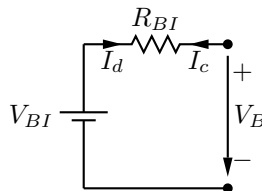


MODELO DE FUNCIONAMIENTO

$$V_B = V_{BI} + I_C R_{BI}$$

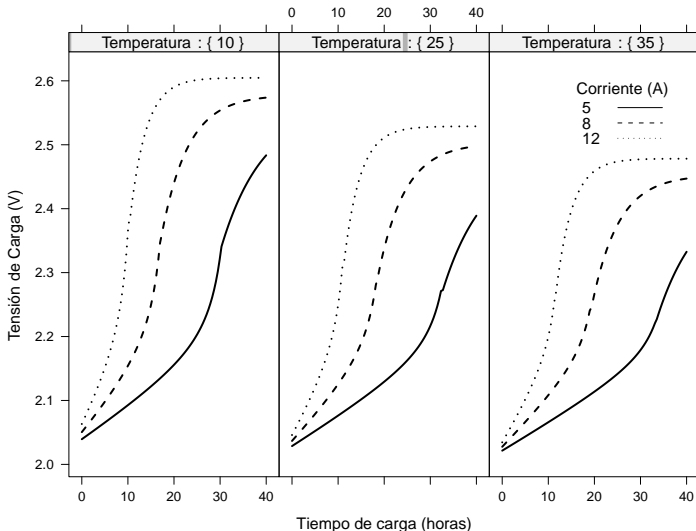
$$V_B = V_{BI} - I_D R_{BI}$$

$$V_{BI} = \rho_e + 0,84$$

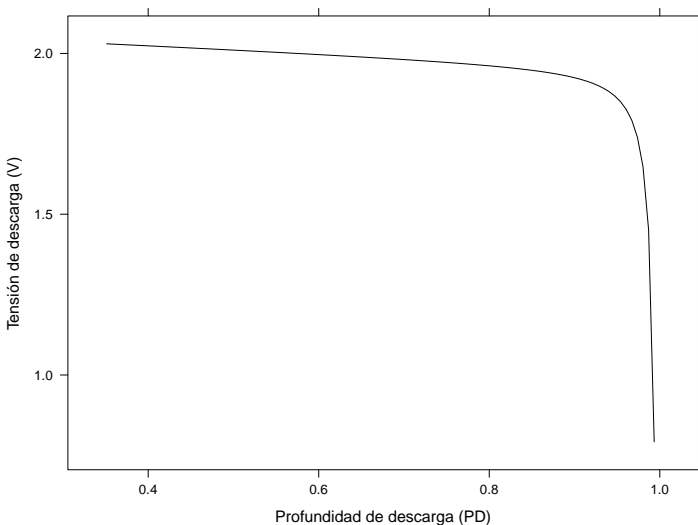


Para baterías cargadas, ρ_e varía entre $1,2 \text{ g/cm}^3$ y $1,28 \text{ g/cm}^3$. Por tanto, la tensión en circuito abierto de un vaso, V_{BI} , está comprendida entre 2,04 V a 2,12 V.

EVOLUCIÓN DE LA TENSIÓN EN UN PROCESO DE CARGA



EVOLUCIÓN DE LA TENSIÓN DURANTE UN PROCESO DE DESCARGA



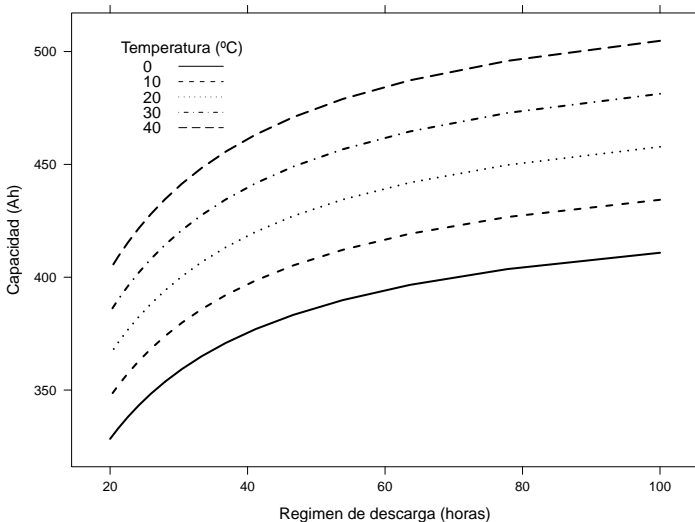
EFECTO DE LA TEMPERATURA

- **Temperatura baja:**
 - 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 %/°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.

EFECTO DE LA TEMPERATURA

- **Temperatura alta:**
 - 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)

CAPACIDAD SEGÚN EL REGIMEN DE DESCARGA Y LA TEMPERATURA



PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

- **El ciclado es el proceso por el que un acumulador es continuamente cargado y descargado durante su vida.**
- **Durante la descarga,** ambos electrodos transforman la materia activa en sulfato de plomo en ambos y agua en el ánodo.
 - Consumo de electrolito (disminuye su densidad) y 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”).

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

- **Durante la carga**, el sulfato de plomo se transforma en oxido de plomo, plomo y acido. Cuando el proceso de carga está por finalizar la electrolisis del agua, con liberación de oxigeno e hidrógeno (gaseo) implica:
 - Pérdida de agua del electrolito (hay que reponerla)
 - Homogeneización del electrolito por agitación (reduce la estratificación: mayor concentración de electrolito en zona inferior por gravedad).

MECANISMOS DE DEGRADACIÓN

- **Corrosión *externa* de los terminales:** ambientes agresivos. Aumenta la resistencia de contacto, de forma que la corriente no se distribuye uniformemente entre los vasos que componen un conjunto acumulador.
- **Corrosión *interna* de las rejillas:** durante la sobrecarga, el material de las rejillas se degrada, formando depositos en los vasos. Este fenomeno disminuye la capacidad de forma irreversible.

MECANISMOS DE DEGRADACIÓN

- **Estratificación:** cuando la batería permanece largos períodos sin ciclar o en estados parciales de carga, el ácido se concentra en el fondo, de forma que la densidad del electrolito no es uniforme. Así, las reacciones no se producen de igual forma en toda la extensión de las placas. Puede reducirse mediante un gaseo controlado.
- **Gaseo excesivo:** produce pérdidas de electrolito y corrosión en la placa positiva.

MECANISMOS DE DEGRADACIÓN

- **Sulfatación:** cuando la batería opera en largos periodos de carga parcial el sulfato de plomo cristaliza, y deja de participar en las reacciones químicas, disminuyendo así la capacidad de forma irreversible. Además, al cristalizar se produce un cambio de volumen local, provocando tensiones en la rejilla que pueden ocasionar fisuras.
- **Depositos de materia activa:** cuando la batería opera en bajos estados de carga durante largos periodos, la materia activa pierde adherencia y puede precipitar al fondo del vaso. Además de disminuir la capacidad, puede ocasionar cortocircuitos que causen la muerte de la batería.

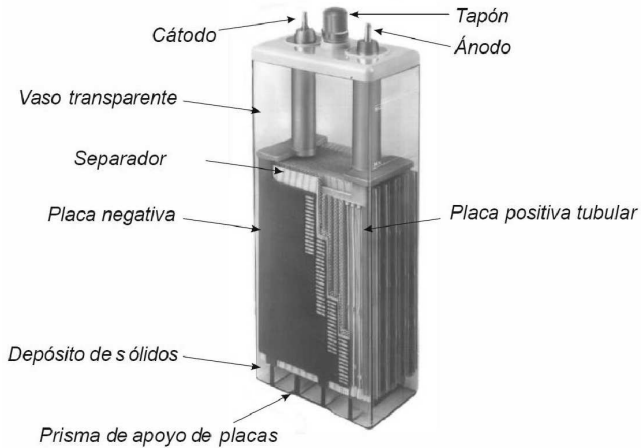
CICLADO

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.

El ciclado y los agentes externos contribuyen a degradar el acumulador hasta que alcanza el fin de su vida útil, momento que puede ser definido como un valor mínimo en su capacidad útil.

COMPOSICIÓN



REJILLAS

- Las rejillas dan **soporte estructural a los materiales activos** (óxido de plomo en ánodo, plomo en cátodo) y **conducen la corriente eléctrica** hacia el circuito externo.
- Están fabricadas en **aleaciones de Plomo**.
 - La **aleación de plomo-calcio** proporciona alta resistencia a la corrosión por sobrecarga pero presenta elevada corrosión en bajos estados de carga.
 - La **aleación de plomo-antimonio** presenta buen comportamiento en ciclado y en descarga profunda.
- La **rejilla negativa es plana**, mientras que la **rejilla positiva puede ser plana** (operación en flotación) o **tubular** (operación en ciclado).

MATERIALES ACTIVOS Y ELECTROLITO

- 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.
- La **elección del electrolito** debe tener en cuenta su **densidad, conductividad, punto de congelación, poder de corrosión e impurezas**.

ELECTROLITO

- **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).
- Altos regímenes de descarga requieren mayor densidad para facilitar el transporte iónico. Los acumuladores estacionarios utilizan densidades más bajas que los de arranque.
- El electrolito **puede ser líquido** (aireadas) **o inmovilizado** (selladas).

SEPARADORES

- Los separadores **aislan las placas de diferente polaridad pero permiten el movimiento iónico a través suyo**. Deben tener resistencia mecánica, ser permeables y porosas, resistentes a la oxidación, sin contaminantes y electricamente no conductores.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- 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.

BATERÍAS DE ARRANQUE

- 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
- Reemplazo de baterías estropeadas
- Buen comportamiento en descarga de alta intensidad y tienen buen rendimiento de descarga a bajas temperaturas.
- No son resistentes frente al ciclado

BATERÍAS DE TRACCIÓN

- Empleadas, por ejemplo, en carretillas elevadoras.
- Resistencia suficiente para soportar un elevado número de ciclos profundos de carga-descarga.
- Requieren aportación de agua y mantenimiento frecuente.
- Empleo en SFA sólo cuando exista mantenimiento regular.

BATERÍAS ESTACIONARIAS

- 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.

BATERÍAS “FOTOVOLTAICAS”

- Baterías SLI modificadas (baratas)
- Baterías estacionarias modificadas (caras)

ELECCIÓN DE BATERÍA

La elección entre uno u otro tipo es un ejercicio que debe tener en consideración no sólo **criterios puramente técnicos** sino también aspectos como el **coste del sistema**, recursos de **mantenimiento** disponibles durante la vida del sistema, **disponibilidad de reemplazo** en el mercado local o capacidad de intervención del usuario. No obstante, **para aplicaciones fotovoltaicas se recomienda usar baterías estacionarias aireadas de placa positiva tubular, o al menos baterías SLI modificadas** (placas más gruesas, mayor cantidad de electrolito por encima de las placas, más baratas que las estacionarias), con aleación de Pb-Sb en la rejilla y vaso transparente

ÍNDICE

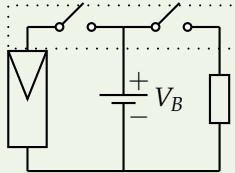
- 1 CONCEPTOS GENERALES
- 2 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO
 - Definiciones
 - Principios de funcionamiento
 - Composición
 - Tipos de acumuladores
- 3 REGULADOR DE CARGA
- 4 LUMINARIAS

DEFINICIÓN

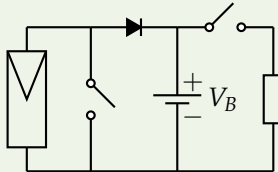
Un regulador de carga es un equipo electrónico capaz de **evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador** desconectando al acumulador del generador o del consumo cuando se alcanzan determinados estados umbral, generalmente determinados por la tensión en bornes.

REGULADOR SERIE Y PARALELO

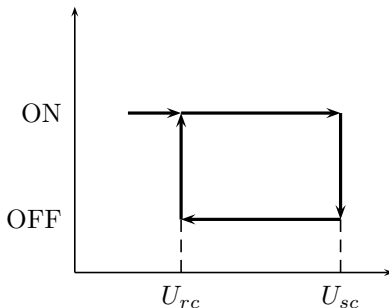
REGULADOR SERIE



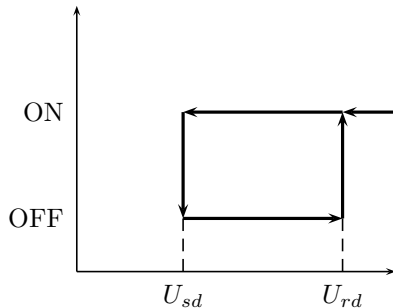
REGULADOR PARALELO



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 a 5 mV/°C por vaso.



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

ÍNDICE

- 1 CONCEPTOS GENERALES
- 2 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO
 - Definiciones
 - Principios de funcionamiento
 - Composición
 - Tipos de acumuladores
- 3 REGULADOR DE CARGA
- 4 LUMINARIAS

FUNCIONAMIENTO

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.

Aplicando tensión entre los electrodos, debido a la ionización permanente del gas se produce el **movimiento de las partículas cargadas** (corriente eléctrica). La **ionización** permanente es producida por la radiación exterior, y por tanto, es **limitada**.

FUNCIONAMIENTO

Alcanzado un umbral de tensión, la causa de ionización cambia: la tensión aplicada supone un campo eléctrico suficiente como para comunicar energía a los electrones, que ahora son capaces de ionizar a los átomos del gas. Este proceso se realimenta y se produce un **efecto avalancha**.

FUNCIONAMIENTO

A partir de esta etapa, con pequeños incrementos de tensión la corriente aumenta rápidamente, hasta alcanzar un límite que ocasiona un arco eléctrico, que debe ser controlado. Este arco eléctrico afecta al gas, que emite energía electromagnética que es absorbida por el material fluorescente para producir radiación en el rango de lo visible.

FUNCIONAMIENTO

Es necesario un **circuito auxiliar (balasto)** que cumpla dos funciones principales:

- **Proporcionar la tensión de encendido** necesaria para que fluya corriente por el tubo.
- **Regular la corriente** que circula por el tubo una vez que se ha producido el encendido para evitar su destrucción.

FUNCIONAMIENTO

Al encender el tubo con picos de alta tensión, se produce desgaste en los electrodos por el bombardeo iónico. Así, 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.

Se recomienda que la lámpara resista un mínimo de 10 000 ciclos de encendido y apagado, y en todo caso, **deberá resistir 5 000 ciclos.**

FOTOMETRÍA

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, 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: Lumen/Watio). Se recomienda que esta eficiencia sea superior a 50 lm/W , y en todo caso, debe ser superior a 35 lm/W .