

**Muy buen día tengan todos...**



**ceccadcier**



**Serie de Charlas: “Hablemos de Baterías”**

# Amado Rodríguez Castrillo



Instituto Costarricense  
De Electricidad I.C.E.



Tel: (506) 2000-9605



@mail:  
amrodriguez@ice.go.cr



<https://www.linkedin.com/in/amado-rodriguez-313266b3/>

## Experiencia

- Encargado de Montaje Eléctrico de la Planta Geotérmica Miravalles •
- Coordinador de sistemas de control y protecciones de Subestaciones de Transmisión
- Coordinador de Unidad de Verificación metrológica del Centro Nacional de Control de Energía • I.C.E.
- Área de Gestión Integral de Pérdidas de la red de distribución • I.C.E.

Especialista en sistemas de control y protección de sistemas eléctricos de Potencia desde 1992, 28 años de experiencia en labores de diseño, puesta en marcha y mantenimiento de sistemas de potencia en las redes de generación, distribución y transmisión. Encargado de sistemas de Corriente Directa de sistemas auxiliares de sistemas de potencia por más de 20 años.

## Formación

**Grado académico :** Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

**Grado adicional:** Maestría en Administración de Proyectos (MAP)

## Liderazgo

Presidente del Sub-Comité Nacional de Vocabulario Eléctrico en Instituto de Normas técnicas de Costa Rica INTECO.

Miembro de Sub-Comité Nacional de Metrología eléctrica en Instituto de Normas técnicas de Costa Rica INTECO.

Instructor en temas de Control, Protecciones Eléctricas y Corriente Directa en el Instituto Costarricense de Electricidad

Profesor Universitario del curso de Diseño de Subestaciones Eléctricas por 12 períodos.



cecacier



# PRINCIPIOS BÁSICOS DE ACUMULADORES DE ENERGÍA Y BATERÍAS

MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE BATERÍAS EN APLICACIONES DE SISTEMAS DE POTENCIA.



# INTRODUCCION

- ▶ Desde los años cercanos a 1800 los estudios y trabajos de Luis Galvani y Alejandro Volta sentaron las bases para una de las invenciones más útiles de la industria eléctrica, los acumuladores o pilas
- ▶ Existen acumuladores o pilas primarias y secundarias, a saber, las primarias son aquellas que por un proceso puramente químico producen energía eléctrica en forma de corriente directa por medio de la transmutación química de sus elementos constituyentes en un proceso no reversible y que finaliza con el desgaste de los materiales que forman la pila. Los acumuladores o pilas secundarias, denominadas generalmente baterías, son reactores químicos que emplean procesos reversibles de conversión y reconversión de elementos que permite acumular y entregar energía eléctrica de corriente directa en forma cíclica es decir repetitiva y constantemente.



# GENERALIDADES

- ▶ Una celda es por tanto la unidad básica de ensamblaje de una determinada tecnología constructiva que tiene el voltaje elemental o mínimo que dicha construcción permite
- ▶ Una batería es el producto terminado en un solo recipiente o contenedor que puede tener una o más celdas. Cuando el voltaje de la batería y el voltaje de la celda básico son iguales usamos el término celda para referirnos a esa unidad constructiva
- ▶ Llamaremos banco de baterías al grupo de baterías o celdas conectadas entre sí para obtener el voltaje y la corriente deseados. O sea un Banco de baterías está formado por la conexión en serie o paralelo o serie-paralelo de múltiples baterías

# SIMBOLOGIA BÁSICA

Los siguientes elementos gráficos serán usados para representar en planos eléctricos a las celdas o baterías:



*Figura 1 "Simbología"*

- 
- 
- ▶ La capacidad de almacenamiento es una medida de la cantidad de energía que acumula cada batería, aunque la energía se mide en Joules o Watts-segundo, es usual que en la energía de las baterías se indique en unidades de corriente y tiempo (dado que el voltaje es constante).
  - ▶ La unidad usual de energía acumulada en baterías es el Amperio-Hora. (AH). Dado que el voltaje de las baterías es prácticamente constante durante su uso normal se puede omitir este dato entendiendo que el producto de Voltaje x Capacidad, i.e.
  - ▶  $V * AH = WH$  (watt-hora)
  - ▶ El concepto de Amperio-Hora o Capacidad de la Batería puede tomarse en forma ideal como el simple producto de la corriente que pasa por la batería y el tiempo que dura este flujo

# CELDAS SECAS Y HÚMEDAS

- ▶ Llamaremos celda seca a aquellas que los electrodos están inmersos en algún tipo de pasta, gel o polímero, que no requieren relleno de electrolito, que son completamente selladas y por ende libre de derrames, suelen venir totalmente listas para instalar, un ejemplo claro son las baterías de computadora
- ▶ En forma complementaria, se denomina Celda Húmeda a todas aquellas que los electrodos internos están inmersos en un electrolito líquido, estas celdas , suelen requerir relleno de agua o reemplazo del electrolito, son propensas a derrames si se vuelcan, suelen requerir un proceso de ensamblaje y relleno inicial para su montaje, siendo este más laborioso y complejo. Como ejemplo de este tipo de celdas están las baterías automotrices

# CONEXIÓN DE BATERIAS

- ▶ **Aplican en esto varias reglas muy elementales**
- ▶ Las baterías se pueden conectar en serie o en paralelo o en conexiones serie-paralelo.
- ▶ Las baterías en serie se conectan del polo de una al polo opuesto de la otra, esto es, el negativo de una con el positivo de otra formando una especie de cadena.
- ▶ Las baterías en paralelo se conectan con el polo de una al polo de la misma polaridad de la otra, es decir positivo con positivo, negativo con negativo.
- ▶ Las baterías en serie suman el voltaje de todas las celdas conectadas
- ▶ No es recomendable conectar celdas en serie de diferentes capacidades, o voltajes. Se recomienda siempre que las celdas sean idénticas.
- ▶ Las baterías en serie conservan la capacidad en AH de cada celda
- ▶ Las baterías conectadas en paralelo conservan el voltaje de las celdas **(se deben conectar en paralelo solamente celdas idénticas, mismo voltaje, mismo tipo, mismo modelo, misma marca).**
- ▶ Las baterías conectadas en paralelo suman las capacidades en AH de cada celda.

**Caso 1:** Se requiere conectar en serie 24 celdas de plomo de 2 voltios cada una, con una capacidad de 100AH por celda. Determinar la forma de conexión, el voltaje final del arreglo y la capacidad en Amperios-Hora del mismo.

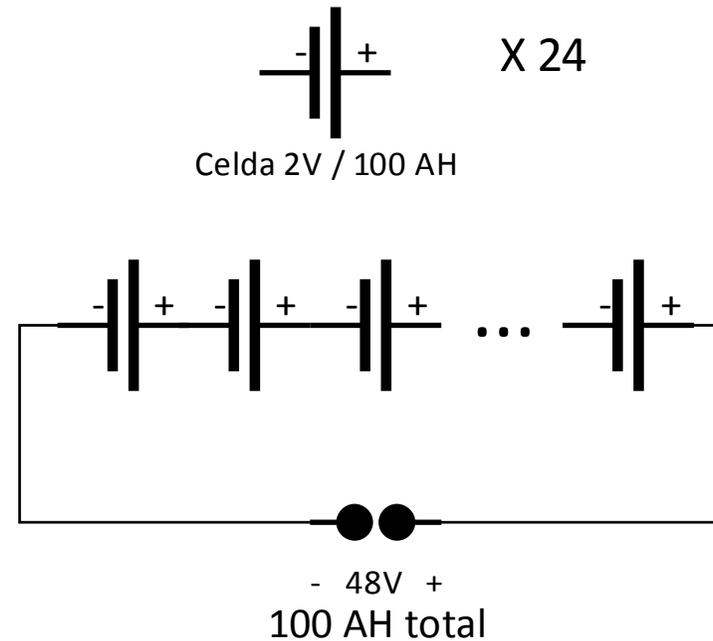


Figura 2 "Celdas en serie"

- Caso 2: Se tiene 4 baterías automotrices de 40 AH y 12 V cada una. Como se deben conectar para obtener los mismos 12 Voltios, pero aumentando su capacidad de almacenamiento

➔ La conexión debe ser en paralelo de esta forma

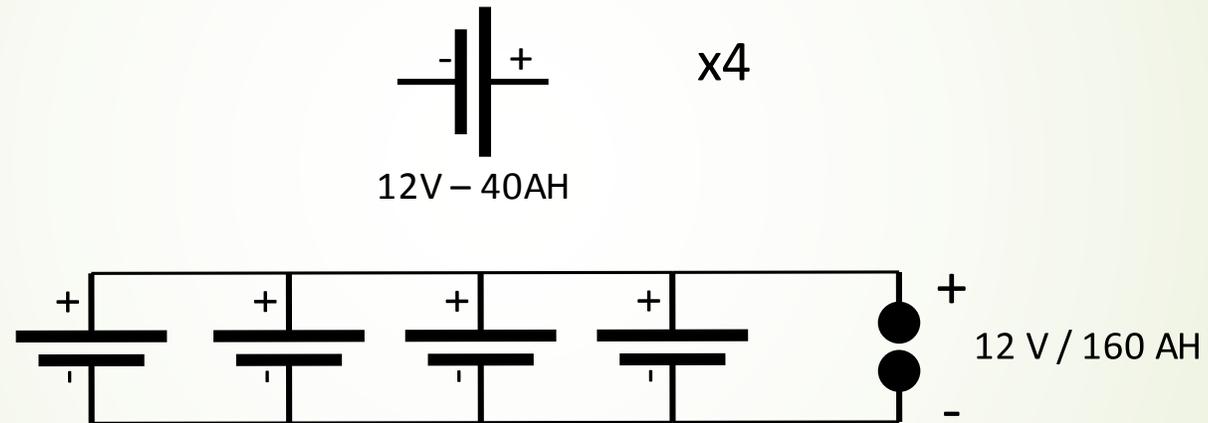


Figura 3 "Celdas en paralelo"

Caso 3: Se cuenta con una conjunto de celdas de 2 voltios y 125 AH. Se requiere armar un banco de baterías de 12 voltios con al menos 300AH de capacidad. ¿Cuántas celdas se ocupan y como deben conectarse?

→ Se requieren de 18 celdas conectadas de esta manera:

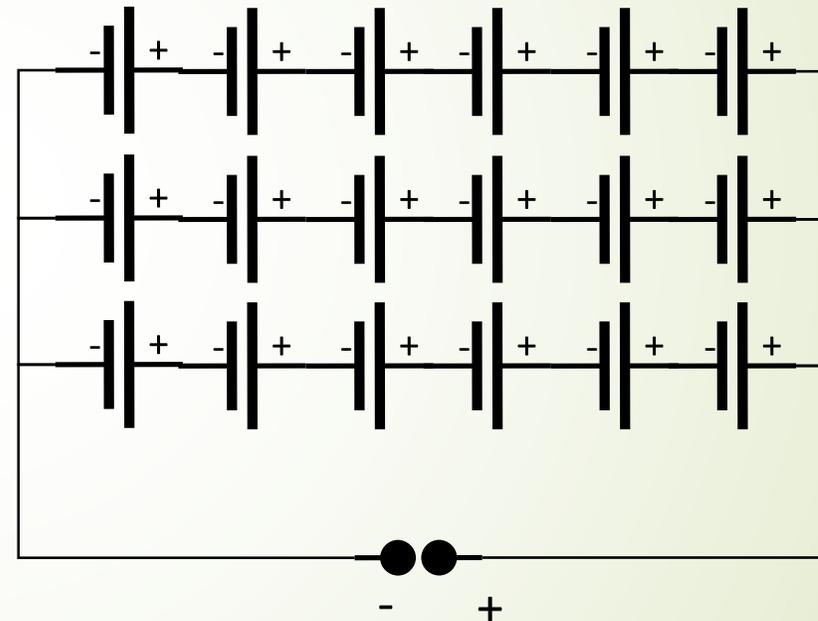


Figura 4 "Conexión combinada"

# BATERIA IDEAL

- ▶ Una batería ideal es aquella que es capaz de entregar “x” Amperios-Hora a la carga cuando previamente se le ha entregado los mismos “x” Amperios-Hora para ser acumulados. Es decir entrega toda la energía con la que se le dio carga. A esto lo llamamos que tiene una eficiencia del 100% de carga o dicho de otra manera:

**Energía de Carga = Energía de Descarga**

$$AH_{\text{(recibidos)}} = AH_{\text{(entregados)}}$$

- ▶ Una batería ideal es aquella donde se puede cargar o almacenar energía a la velocidad que se quiera o requiera, incluso instantáneo. Es decir que para cargar la batería a 1 AH, se puede realizar el proceso de carga en forma indistinta 1 amperio por una hora , 100mA por 10 horas o incluso 3600 A por 1 segundo



## BATERIA IDEAL

- ▶ Similarmente la batería ideal debe permitir extraer la energía acumulada a cualquier tasa de descarga. Tal como se indica en el punto 2, sin por ello perder eficiencia o eficacia. Para una batería ideal extraer 10 AH en 10 horas o 10 segundos debería ser indistinto.
- ▶ La batería ideal debe mantener el voltaje constante entre sus terminales + y – sin que este valor se vea afectado por el grado de carga o la corriente que esté suministrando.
- ▶ La batería ideal debe tener una resistencia interna casi cero, para permitir suministrar las corrientes hacia la carga de forma que no se vea limitado por sí misma y que no afecte el voltaje entre terminales.



# BATERIA IDEAL

- Se entiende que las baterías al ser un reactor químico, el proceso depende de la cantidad de masa de los elementos que participan en la reacción química por ello se entiende que para extraer/almacenar una determinada cantidad de energía, en forma proporcional se tendrán elementos reactivos, con ellos entendemos que a mayor energía mayor masa, mayor peso y mayor volumen se requiere. Es por ello que pretender aun en modelos ideales que se pueda obtener energía de una celda con peso cero o que no ocupe volumen es utópico. El concepto en este caso es que la tecnología ofrecida debe maximizar dos indicadores:
- $WH/ Kg \rightarrow$  Maximizar la energía por unidad de masa
- $WH/ Lt \rightarrow$  Maximizar la cantidad de energía por unidad de volumen



# BATERIA IDEAL

- ▶ Una batería ideal debe permitir un número infinito de cargas y descargas es decir como en teoría el principio de funcionamiento es una reacción química en un contenedor aislado del mundo, es de esperar que opere la reversibilidad de la reacción química por siempre. La batería ideal se puede cargar y descargar la cantidad de veces que se quiera, sin deteriorarse o perder eficiencia.
- ▶ Una batería ideal debe guardar la energía acumulada en forma indefinida, es decir, que una vez cargada la batería se le podría extraer, sin pérdida alguna, dicha energía una hora después de cargarla o 100 años después de dicha carga.

# TIPOS DE BATERIA

- ▶ Por su construcción
  - ▶ Baterías ventiladas
  - ▶ Baterías selladas – empastadas (electrolito en forma de pasta)
  - ▶ Baterías reguladas por medio de válvulas (VRLA)



# TIPOS DE BATERIA

- ▶ Por el tipo de ensamblaje
  - ▶ Celdas
  - ▶ Baterías Monobloc



# TIPOS DE BATERIA

Por el principio activo

- Plomo – Ácido ( PB)
- Níquel – Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel – Hierro (Ni-Fe)
- Níquel – Hidruro de Metal (Ni-MH)
- Litio – Ion (Li-ion)
- Litio – polímero (LiPo)



# TIPOS DE BATERIA

- ▶ Por su aplicación
  - ▶ Baterías estacionarias
  - ▶ Baterías de fuerza motriz
  - ▶ Baterías portables



# BATERIAS ESTACIONARIAS

- ▶ Las baterías se utilizan en todas partes, ya sea como fuentes de energía o como respaldo de otras fuentes
- ▶ En las subestaciones y plantas de generación las baterías son imprescindibles en el manejo de los sistemas de control, monitoreo, alarmas, accionamientos y dispositivos de prevención e iluminación de emergencia
- ▶ Las baterías estacionarias tienen como función suministrar alimentación permanente a sistemas fijos de corriente directa, con potencias bajas y moderadas por largos períodos de tiempo en ausencia de otras fuentes de alimentación

# REGIMEN DE ENERGIA REAL

- Se ha dicho que la energía almacenada en una batería se determina por una variable AH que designa la cantidad de amperios que la batería puede suministrar por determinadas horas.
- Podemos decir que existe una función Kt, donde Kt es función de la corriente de descarga de la batería, de modo que  $Kt = Kt(I)$  **[Kt es una función de I]**.

$$E = I \times T \text{ (AH)} \rightarrow E(i) = \frac{(i \times T)}{Kt(i)} \text{ AH}$$

Eq. 5 "Efecto de factor Kt"

- Los valores de Kt son suministrados por el fabricante de la batería y corresponden a pruebas tipo realizadas en los diferentes modelos de fabricación

# REGIMEN DE OPERACION

- El valor de placa o valor descriptivo del producto suele definirse en un punto de la curva donde la energía entregada es la correspondiente a una descarga de 10 horas. O sea que si una batería se vende con un dato nominal de 100 AH significa que ese es el nivel de energía que se extrajo a 10 amperios durante 10 horas.
- A este valor se le conoce como  $C_{10}$ , régimen de la batería a 10 horas.
- Similarmente el fabricante entrega una serie de valores correspondientes a la energía obtenible con descargas totales a 1 hora ( $C_1$ ), 3 horas ( $C_3$ ), 5 horas ( $C_5$ ) y varios puntos más, inclusive del orden de minutos
- $C_1 < C_3 < C_5 < C_{10}$
- En general para valores de régimen mayores a 8 horas no se espera este tipo de variaciones, o suele ser muy poca, esto es que  $C_8 = C_{10} = C_{20} = C_{100}$ . Para consumos bajos no hay pérdida perceptible de eficiencia en la entrega.

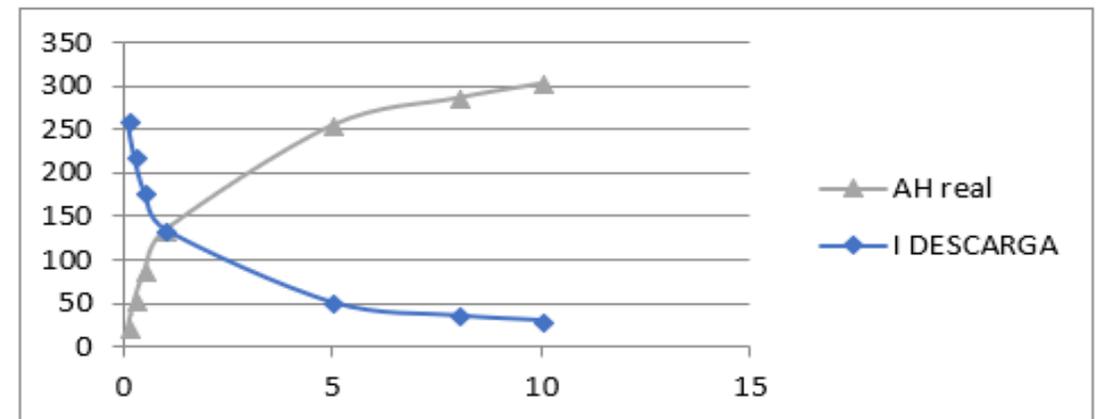
# EJEMPLO

- ▶ A continuación se presenta una tabla típica de un fabricante X.
  - ▶ Tabla 1 “Datos típicos de descarga de batería”

Type	Part number	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h	10 h
6V 4 OPzS 200 LA	NVZS060200WC0FB	205	178	160	130	92.0	61.3	47.5	38.5	34.9	30.4	25.0	20.3
6V 5 OPzS 250 LA	NVZS060250WC0FB	240	212	190	150	110	74.5	59.2	49.0	42.8	37.8	31.2	25.5
6V 6 OPzS 300 LA	NVZS060300WC0FB	260	240	218	177	135	89.3	70.4	59.5	51.0	44.5	35.8	30.3
12V 1 OPzS 50 LA	NVZS120050WC0FB	57.0	49.0	44.0	34.0	25.2	17.1	13.5	11.0	9.50	8.20	6.90	5.90
12V 2 OPzS 100 LA	NVZS120100WC0FB	110	96.0	85.0	66.0	49.0	32.3	24.1	19.6	17.1	15.4	12.5	10.1
12V 3 OPzS 150 LA	NVZS120150WC0FB	160	135	120	95.0	70.4	47.1	36.0	29.8	25.7	22.7	18.6	15.0

Tomemos como ejemplo la tercera batería “6V – 6 OPzS 300”, esta batería es una batería tipo monobloque de 3 celdas para una entrega de 6 voltios con una capacidad nominal de 300 AH.

Figura 8 “Gráfico Energía/Corriente vs Tiempo”



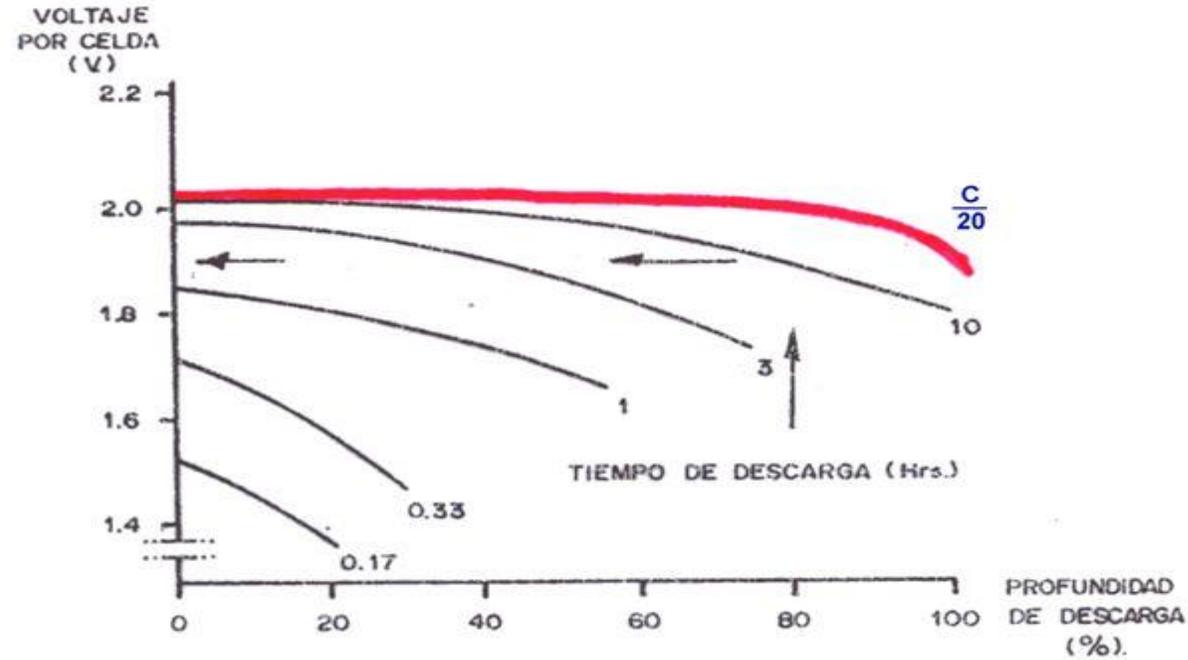
Type	Part number	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h	10 h
6V 4 OPzS 200 LA	NVZS060200WC0FB	205	178	160	130	92.0	61.3	47.5	38.5	34.9	30.4	25.0	20.3
6V 5 OPzS 250 LA	NVZS060250WC0FB	240	212	190	150	110	74.5	59.2	49.0	42.8	37.8	31.2	25.5
6V 6 OPzS 300 LA	NVZS060300WC0FB	260	240	218	177	135	89.3	70.4	59.5	51.0	44.5	35.8	30.3
12V 1 OPzS 50 LA	NVZS120050WC0FB	57.0	49.0	44.0	34.0	25.2	17.1	13.5	11.0	9.50	8.20	6.90	5.90
12V 2 OPzS 100 LA	NVZS120100WC0FB	110	96.0	85.0	66.0	49.0	32.3	24.1	19.6	17.1	15.4	12.5	10.1
12V 3 OPzS 150 LA	NVZS120150WC0FB	160	135	120	95.0	70.4	47.1	36.0	29.8	25.7	22.7	18.6	15.0

“Comportamiento de una celda 6 OPzS 300”

Tiempo de Descarga	Corriente de descarga	Energía entregada	Eficiencia basada en 300 AH
10 horas ( C <sub>10</sub> )	30.3 A	303 AH	101%
8 horas (C <sub>8</sub> )	35.8 A	286 AH	95%
5 horas ( C <sub>5</sub> )	51 A	255 AH	85%
1 Hora (C <sub>1</sub> )	135 A	135 AH	45%
30 minutos (C <sub>0.5</sub> )	177 A	89 AH	30%
15 minutos (C <sub>0.25</sub> )	218 A	55 AH	18%
5 minutos (C <sub>0.1</sub> )	260 A	25 AH	8%

# VOLTAJE FINAL POR CELDA

- ▶ Este voltaje por celda empieza a variar desde el valor nominal en el caso de una celda bien cargada a un valor dado en el 85% y el 90% de este valor nominal
- ▶ Lo anterior según la profundidad de descarga que se le quiera dar
- ▶ los valores reales específicos deben ser consultados a cada fabricante
- ▶ Una celda se puede descargar, y en el proceso de descarga el voltaje permanece constante por un largo período, pero al final de este empieza a caer.
- ▶ El punto hasta el cual este voltaje se le va a permitir caer es lo que llamamos “ VFPC o voltaje final por celda”



**Voltaje a la descarga de un celda plo-ácido en función del estado de carga a diferentes razones de descarga.**

- ⇒ Por ejemplo, una celda que está iniciando su descarga a 10 horas (C/10), tiene un voltaje de 2.03 volts y cuando alcanza el 80 % de descarga su voltaje baja únicamente a 1. Volts.
- ⇒ En un sistema fotovoltaico, identificar la curva de descarga de las baterías es importante, pues de ella se deriva el voltaje al cual se debe desconectar el suministro cuando la descarga ha alcanzado una cierta profundidad, para proteger a la batería de sulfatación irreversible.

Veamos un ejemplo:

Analicemos la misma batería del ejemplo anterior la 6 OPzS 300.

Vamos a revisar para un régimen de  $C_{10}$  y para  $C_1$  las variaciones de capacidad como producto del grado de descarga.

### 1.90 Vpc – Discharge in A at 20 °C

En Resumen

“Tabla comparativo por nivel de descarga”

Volt Final por Celda VPC	$C_1$ - AH	$C_{10}$ - AH
1.9	91	245
1.8	135	303
1.65	165	313

6V 4 OPzS 200 LA	NVZS060200WC0FB	307	298	226	163	113	69.0	52.9	42.0	36.2	32.2	26.2	21.0
6V 5 OPzS 250 LA	NVZS060250WC0FB	380	320	278	189	135	85.0	64.1	52.8	46.0	40.8	33.4	26.6
6V 6 OPzS 300 LA	NVZS060300WC0FB	435	369	326	237	165	106	78.5	64.4	54.2	46.8	37.6	31.3



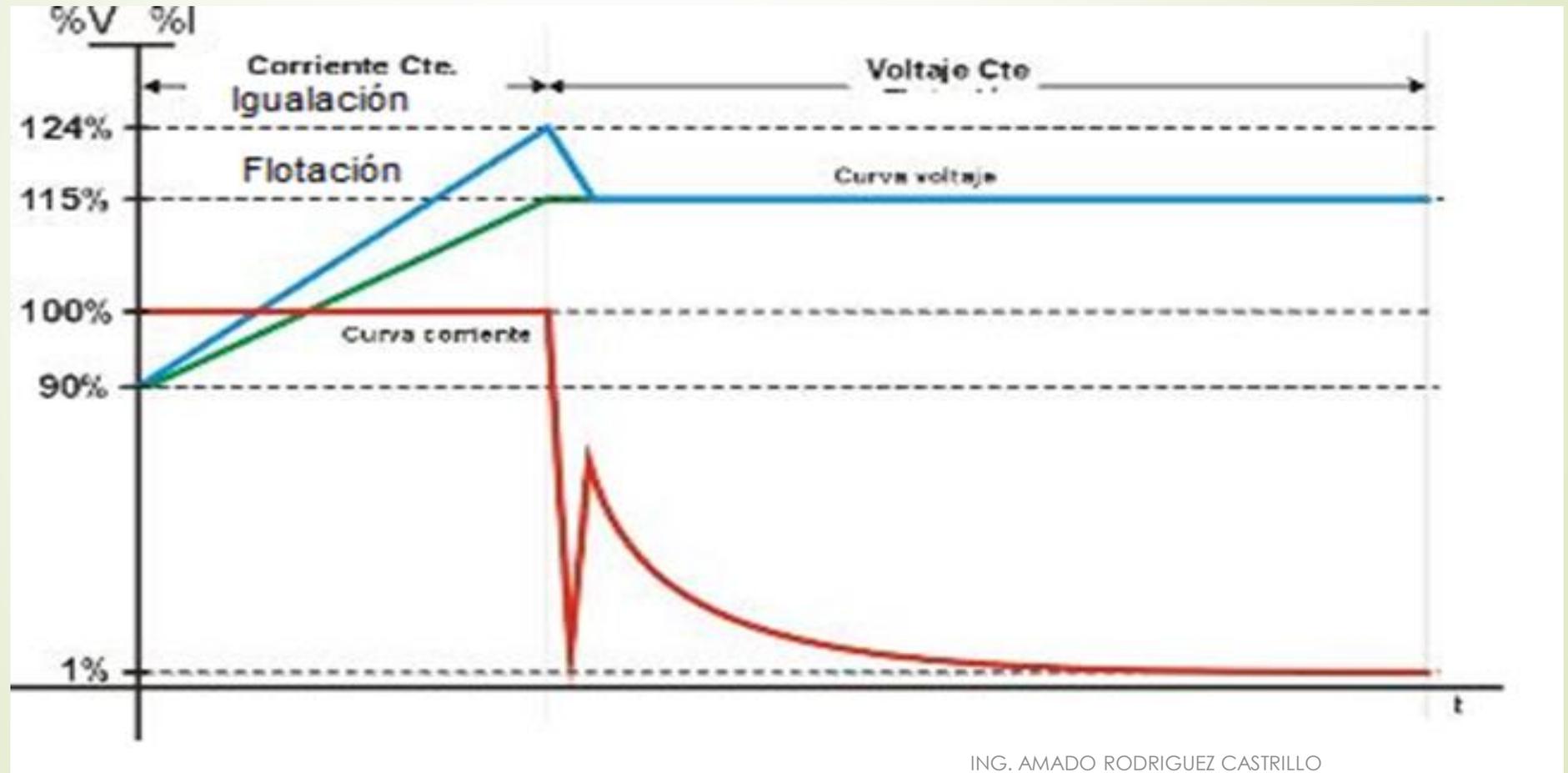
# CARGA DE BATERÍAS

- ▶ Llamaremos carga al proceso de regeneración química de las celdas o dicho de otra manera a la introducción de energía dentro de las celdas que forman las baterías y Bancos de Baterías para su almacenamiento.
- ▶ La carga de la Batería se puede hacer de tres formas básicamente:
  - ▶ a voltaje constante,
  - ▶ a corriente constante
  - ▶ o una combinación de ambas.
- ▶ En cada paso se debe cuidar de no sobrepasar los valores críticos de voltaje y/o corriente que puedan provocar algún daño a la batería

# CONCEPTOS DURANTE LA CARGA

- **Voltaje de Flotación:** Este voltaje debe no solo cargar la celda, sino también, una vez cargada, compensar las pérdidas internas, de modo que al pasar conectada de forma permanente a este voltaje permanezca totalmente cargada sin por ello causar daño a la celda o deteriorarla. Este es el voltaje más bajo que se debe aplicara a cada celda para restituir y mantener su estado de carga total.
- **Voltaje de Igualación o Carga Rápida:** En el caso de las celdas húmedas se requiere que durante el proceso de carga se homogenice las densidades del electrolito líquido dentro de la celda, principalmente luego de descargas profundas. Para ello se aplica un voltaje mayor que el de flotación que garantice la producción de gasificaciones o burbujas dentro del electrolito, para promover la homogenización de este mientras se le suministra la energía para la carga de la celda.

# MÉTODO COMBINADO DE CARGA





*That's all Folks!*