

**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.

# HABLEMOS DE BATERÍAS

- CHARLA 1: Principios Básicos de Acumuladores de Energía
- Charla 2: Baterías De Plomo Y Baterías De Niquel Cadmio
- **CHARLA 3: BATERÍAS DE LITIO Y NUEVAS TECNOLOGÍAS**
- CHARLA 4: Cargadores de Baterías y nuevas aplicaciones





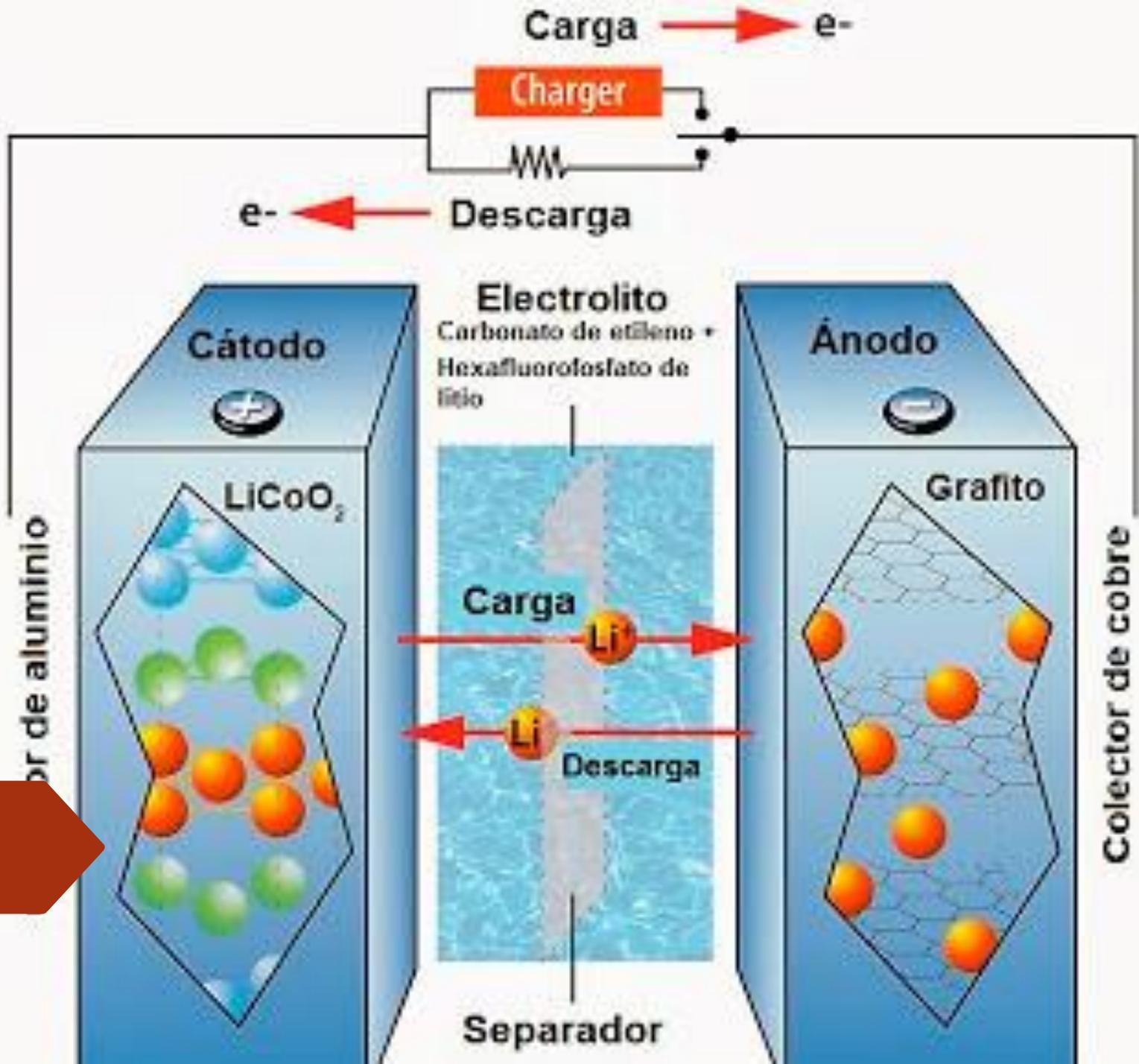
# cecacier



## BATERÍAS DE LITIO Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

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

# BATERIAS DE LITIO





# GENERALIDADES DE BATERIAS DE LITIO

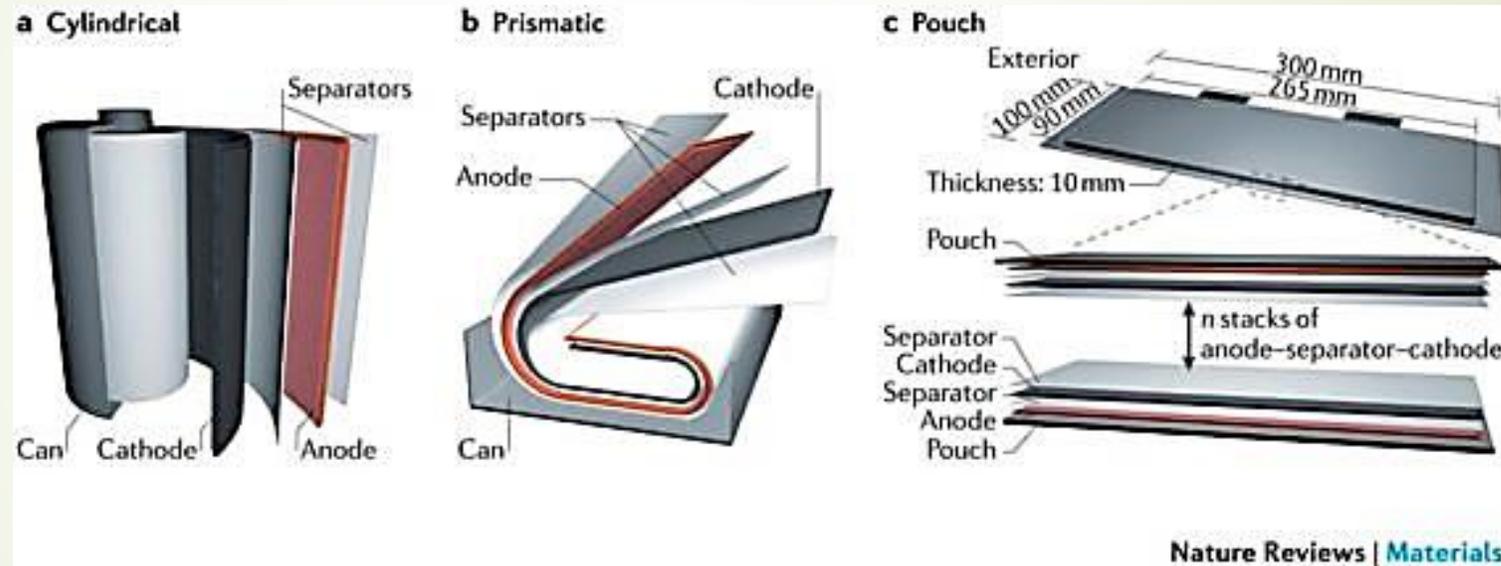
- ▶ Las baterías de litio se empiezan a concebir por el año de 1912, pero como baterías primaria, es decir no recargable.
- ▶ Viendo que la ventaja principal del Litio era que al ser el metal más liviano se tendrían baterías muy pequeñas y livianas se trata de desarrollar las baterías secundarias o simplemente baterías recargables.
- ▶ A principio de los 70's aparecen los primeros modelos pero por su inestabilidad constructiva y el riesgo de explosión no se comercializan sino hasta los años 90's.



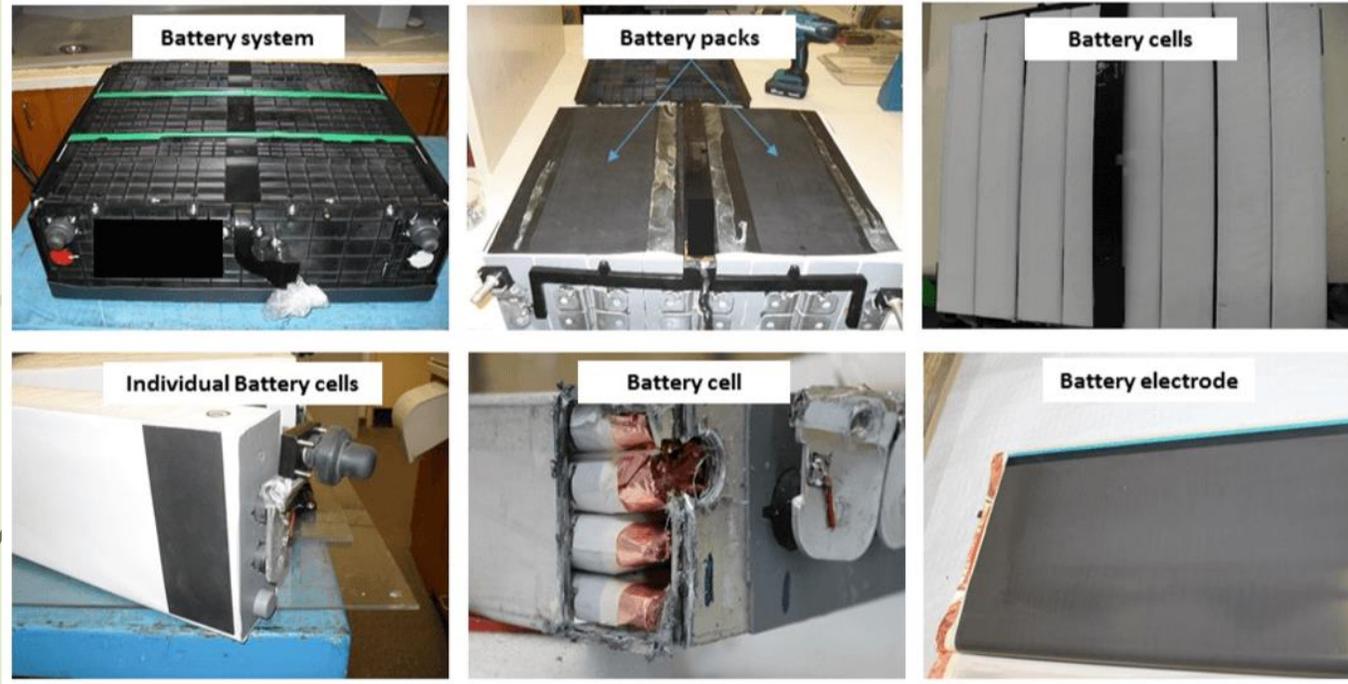
# BATERIAS DE LITIO

- ▶ Las primeras baterías de litio explotaban principalmente porque el electrodo negativo era de un compuesto de litio que durante la carga provocaba explosiones.
- ▶ Las primeras baterías de litio usaron Carbón simple como electrodo negativo.
- ▶ Hoy día la construcción más generalizada de las baterías de litio incluye el uso de Grafito en el electrodo negativo (Carbón cristalino).
- ▶ El electrodo positivo sigue siendo una combinación de litio con algún elemento iónico. Este puede ser una mezcla metálica, iones no metálicos o elementos poliméricos de creación industrial.

# CONSTRUCCIÓN DE LAS BATERIAS DE LITIO



# CONSTRUCCIÓN DE LAS BATERIAS DE LITIO



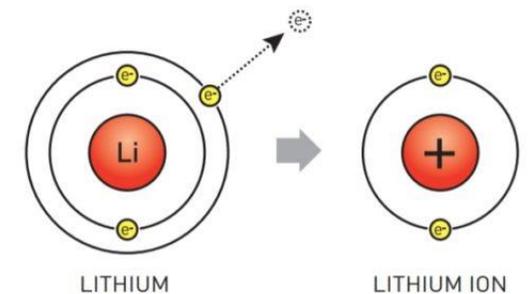
- BATERÍAS SELLADAS EN CELDAS O MONOBLOQUES



# COMO FUNCIONA LA BATERIA DE LITIO?

- ▶ La batería de litio consta de un recipiente de muy diversas formas, puede ser rígido o simplemente un empaquetamiento flexible, pero hermético.
- ▶ El electrodo negativo suele ser de grafito
- ▶ El Electrodo positivo es el que le da el nombre a la tecnología y es de litio con una aleación iónica.
- ▶ Tipos más comunes de Baterías de litio:
  - **Li-CoO<sub>2</sub> (1990)**
  - **LiNiMnCo (Niquel Manganeso Cobalto)**
  - **Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>**
  - **Li<sub>2</sub>NiO<sub>3</sub>**
  - **Li<sub>2</sub>CoO<sub>3</sub>**
  - **LiFePO<sub>4</sub> (Fosfato de Hierro)**

1	H				
3	Li	4	Be		
11	Na	12	Mg		
19	K	20	Ca	21	Sc
37	Rb	38	Sr	39	Y



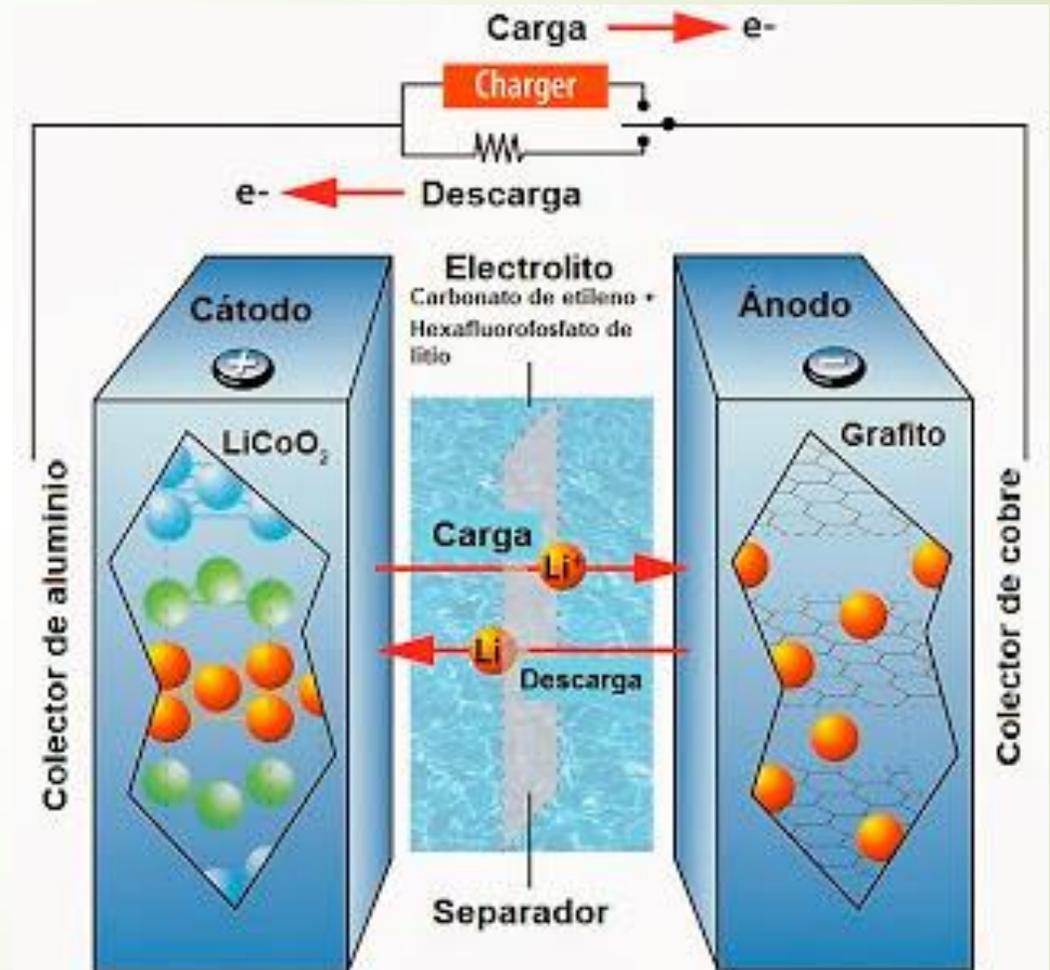
©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

# COMO FUNCIONA LA BATERIA DE LITIO?

- ➔ El electrolito puede ser líquido o empastado.
- ➔ Se suele usar electrolitos empastados para aprovechar sus capacidades comerciales tales como :
  - Etileno-Carbonato + Hexafluorofosfato de litio (LiPF<sub>6</sub>)
  - Dimetil-Carbonato+ Hexafluorofosfato de litio (LiPF<sub>6</sub>)
  - Propileno-Carbonato+ Hexafluorofosfato de litio (LiPF<sub>6</sub>)
  - Solvente orgánico + Sal de litio

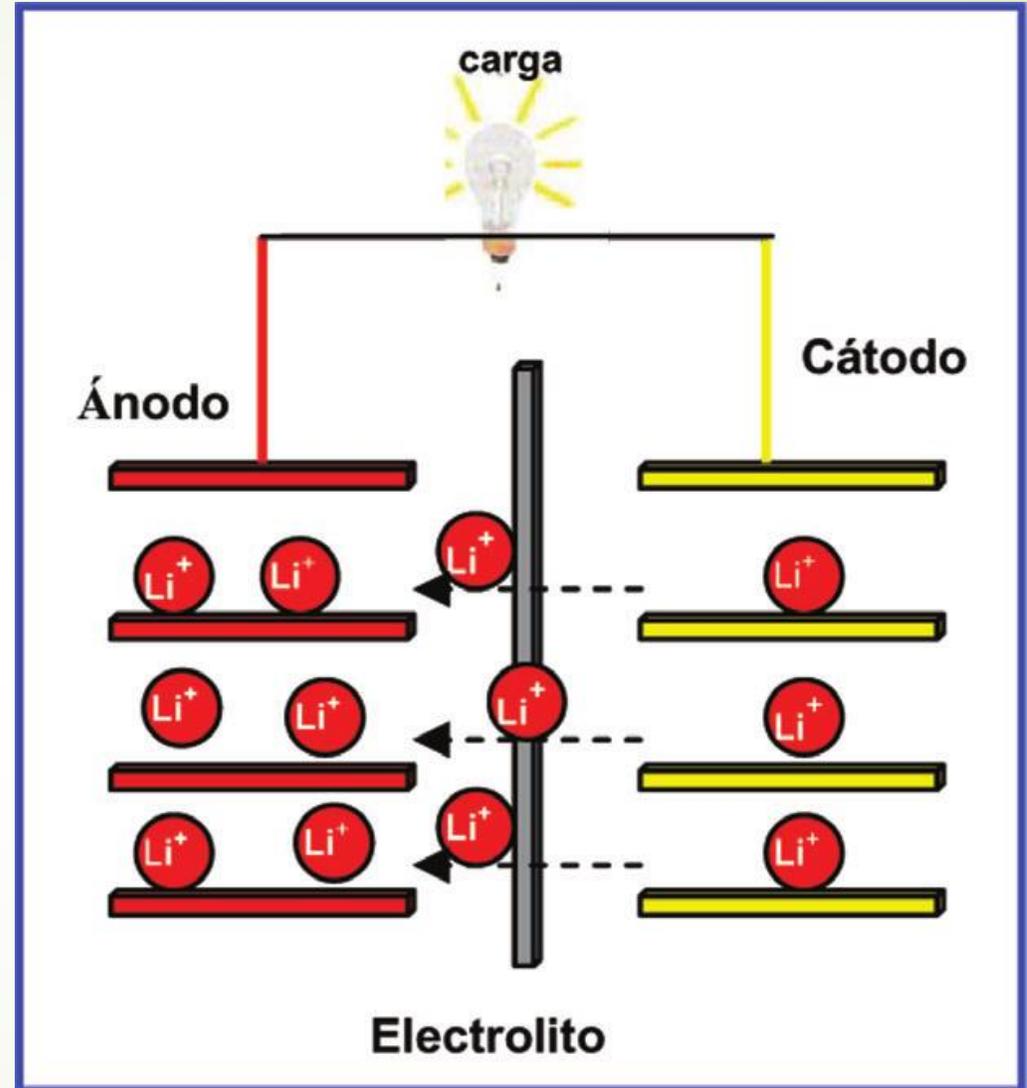
# COMO FUNCIONA LA BATERIA DE LITIO?

- ▶ La reacción química de las baterías de litio es muy variada , pero en general se basa en la transferencia del litio del electrodo positivo al negativo durante la descarga y la reposición del litio durante la carga.
- ▶ El electrolito puede o no participar en la reacción.
- ▶ La conexión del Negativo se hace por medio de una placa de cobre.
- ▶ La conexión del positivo se efectúa por medio de una placa de aluminio



# COMO FUNCIONA LA BATERIA DE LITIO?

- Hay una separación física entre electrodos que en general es muy delgada y es uno de los puntos débiles de este tipo de baterías, hablando de seguridad.
- Sin embargo, esta separación también contribuye a que esta batería pueda dar grandes cantidades de corriente en poco volumen y que la carga sea también muy rápida.



# CARACTERISITICAS ...

- La baterías de litio en general tiene un voltaje natural que puede ir de los 3.2 a los 3.8 voltios. Lo común es 3.6 voltios.
- Su estado natural es semicargada. Es decir, para dejarla en reposo o guardarla lo mejor es que se encuentre a media carga (30% - 60%).
- Presenta un alto factor de autodescarga
- No conviene descargarlas más allá del 20% en forma continua.



# CARACTERISITICAS

...

- ▶ Las baterías actuales con ánodo de grafito pueden ser aprovechadas hasta un voltaje de 3.0 voltios. Por debajo de ese valor hay riesgo de daño.
- ▶ Las baterías más simples con ánodo a base de carbono no cristalino se aprovechan hasta un voltaje final por celda de 2.5 voltios.



# CONFIGURACIONES Y ARREGLOS...

- Las Baterías de Litio por su muy baja resistencia interna permiten realizar conexiones Serie-Paralelo para maximizar su uso.
- La Batería de TESLA por ejemplo está compuesta de cientos de pequeñas baterías en paralelo/serie.

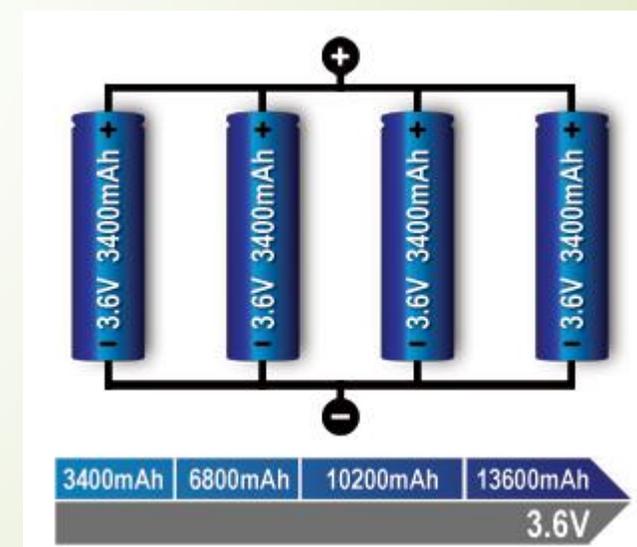


# CONFIGURACIONES Y ARREGLOS...



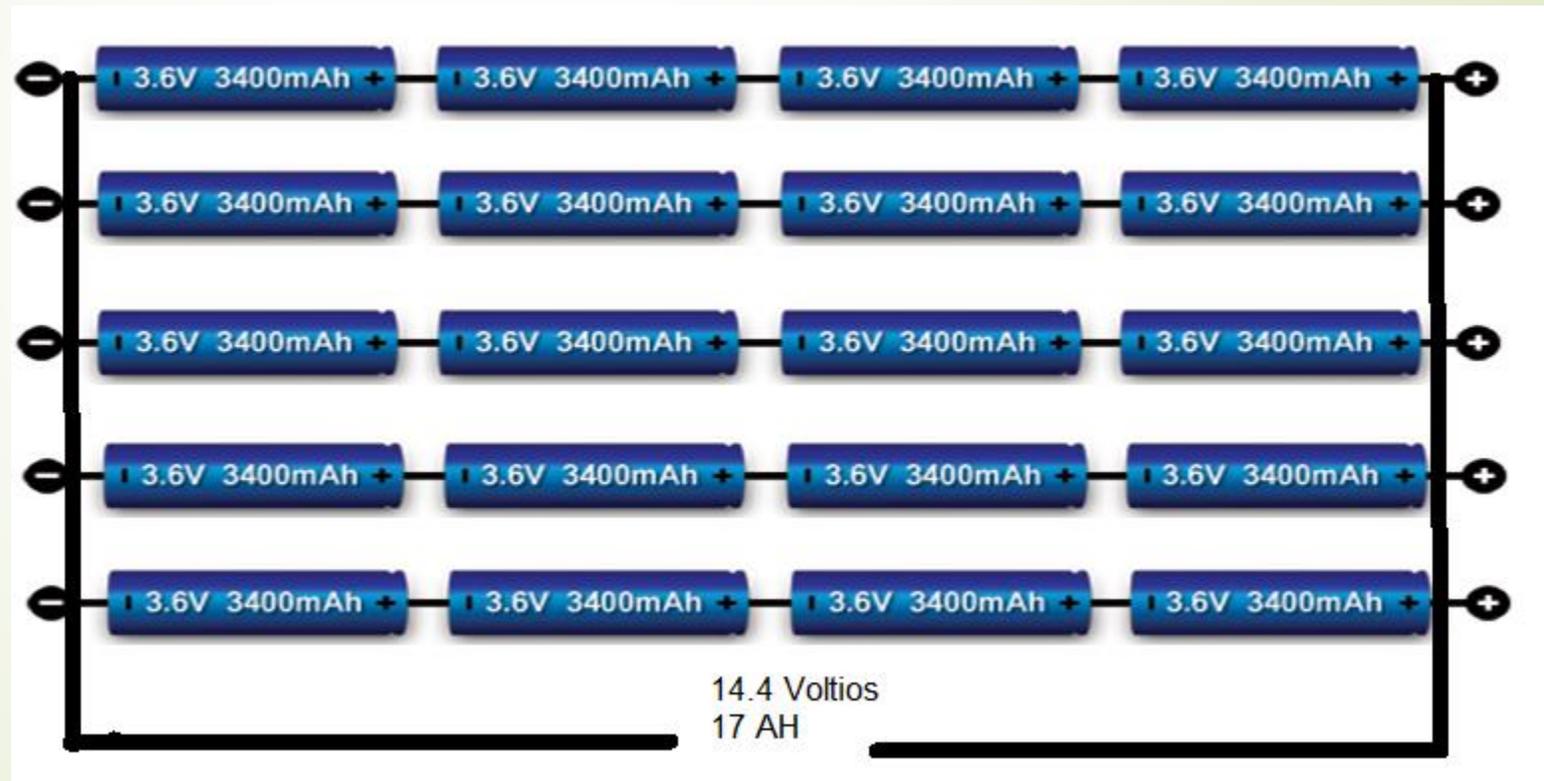
-Las conexiones de las baterías reciben el nombre según su composición, al gráfico de arriba le llamaríamos 4S, por ser 4 baterías conectadas en Serie.

- - A este otro arreglo se le denomina 4P por ser cuatro baterías conectadas en paralelo.



# CONFIGURACIONES Y ARREGLOS...

- De este modo arreglos más complejos se nombran de forma similar, así una batería 4S-5P son 5 grupos de 4 celdas en serie conectados en paralelo entre sí.



# La Batería Comercial...

- Debido a que la batería de Litio es siempre potencialmente muy explosivo y no por la formación de hidrógeno sino por deterioro interno y la reactividad propia del Litio. Los fabricantes procuran controlar los procesos de carga y descarga por cada celda. Incluso miden la temperatura interna por celda.



# La Batería Comercial...

- Además la diferencias de resistencia interna entre celdas es tan grande porcentualmente que para cargarlas de forma homogénea es necesario cargar por aparte cada hilera serie cuando menos.
- Igualmente en ocasiones se controla también el proceso de descarga para mantener voltaje constante y repartir el flujo de carga entre las celdas.





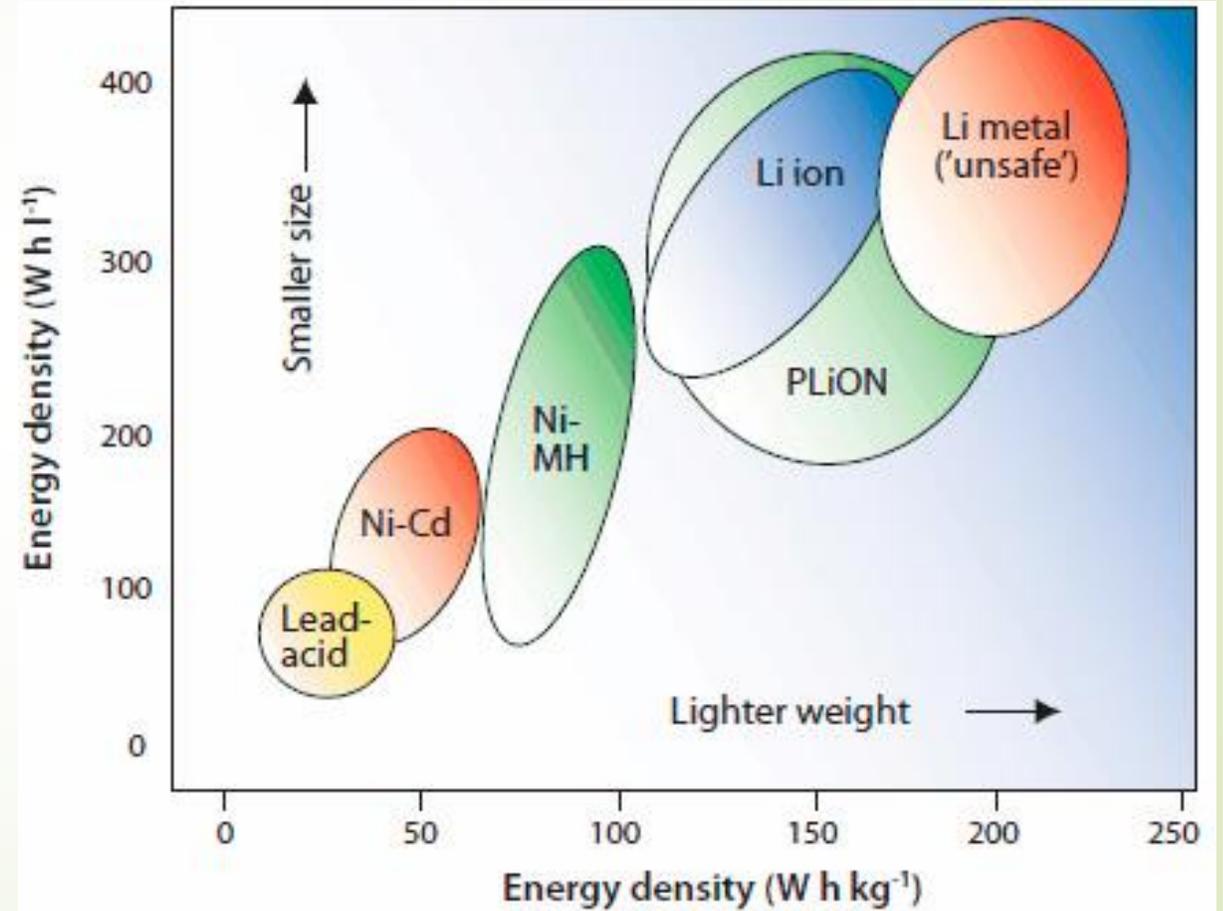
# La Batería Comercial...

- La baterías de uso comercial para aplicaciones de alto volumen estacionario es hoy la de Litio-Fosfato de Hierro (LiFePO<sub>4</sub>).
- Capacidad mayor a 100AH
- Mas de 2000 ciclos de uso (80%)
- Vida útil mayor a 2 años (5 a 8 años)
- Resistencia interna menor a 0.05 Oh.
- Temperatura nominal de 25°C
- Temperaturas altas son dañinas
- Almacenaje con 50% de carga
- Recargas al menos cada 6 meses.



# COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS

- ▶ Las baterías de litio tienen mejor desempeño por volumen y peso que otras tecnologías.
- ▶ Aún se considera que Li-Metal es una tecnología inestable
- ▶ La Batería de litio más usual es la de litio Polimero, pero es muy variable en su desempeño y casi todas están protegidas por derecho de patente.



# COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS DE BATERIAS ESTACIONARIAS DE ALTO RENDIMIENTO

TIPO DE BATERIA	VOLT NOM	VOLT MIN	VOLT MAX	WH/KG	Temp	VIDA UTIL	CICLOS DE VIDA	RESIST INTERN.	AREAS DE USO
PB PLANA	2.00V	1.80V	2.55V	30 a 50	Bajo 30°C	15 años	500 a 1000	baja	Altas corrientes
PB TUBULAR	2.00	1.70V	2.60V	30 a 50	Bajo 30°	20 años	1000	media	Corrientes medias y bajas tiempos largos
NICD – L	1.20V	0.0	1.70V	50 a 80	Bajo 40°C	20 años	2000	media	Corrientes medias y bajas tiempos largos
NICD – H	1.20V	0.0	1.70V	50 a 80	Bajo 40°C	20 años	2000	media	Altas corrientes tiempos medios.
NiMH	1.20V	0.7V	1.5V	60 a 120	Bajo 40°C	10 años	2000	baja	Móviles y de alto consumo
Li-Ion	3.15 a 3.75	2.75V	4 V	80-120	Bajo 55°C	15 años	4000	Muy baja	Uso general
Li-Po	3.3V a 3.75 V	2.50V	4.2V	150 a 200	Bajo 55°C	15 años	4000	Muy Baja	Uso General
Li-S	3.7 V.	2.70V	4.2V	500 a 1000	Bajo 55°C	15 Años	5000	Muy Baja	Uso General

# APLICACIONES DE ALTO IMPACTO...

- ▶ Debido a su baja resistencia interna, su forma compacta, poco peso y volumen por densidad de energía las baterías de litio se están aprovechando en aquellos campos donde antes era impensable...
- ▶ Ej1: para el arranque de un automóvil es necesario suministrar 500 amperios por al menos 3 segundos. Esto es  $500\text{Amp} * (3/3600)\text{HR} = 0.4 \text{ AH}$ .
- ▶ Así una pequeña Bateria de litio de 4 AH (4000 mAH) puede dar arranque a 10 vehículos sin problema...



# DATOS DEL FABRICANTE...

## 2. Specification (@Battery initial Temp $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ )

NO.	Items	Description
1	Rated Capacity	300Ah
	Minimum Capacity	285Ah
2	Energy	3.84KWh
3	Nominal Voltage	12.8V
4	Outgoing Voltage	$\geq 12.8\text{V}$
5	Internal resistance	$\leq 15\text{m}\Omega$
6	Series parallel application	Series connection is prohibited
7	Limited charge voltage	$14.6\pm 0.2\text{V}$
8	Floating charge voltage	$13.8\pm 0.2\text{V}$
9	Standard charge current	60A
10	Maximum charge current	80A

# DATOS DEL FABRICANTE...

NO.	Items	Description
11	Standard discharge current	80A
12	Maximum discharge current	100A/ withstand 30min @Battery initial Temp 25±5°C
13	Pulse discharge current	Withstand the 350A/3s
14	Discharge cut-off voltage	9.2V
15	Dimension	Length: 520±3mm
		Width: 269±3mm
		Height: 220±3mm
16	Weight	Approx: 37.7±1Kg
17	Operating Temperature	Charging: 0~45°C
		Discharging: -20~60°C
		Recommended operating temperature: 15°C~35°C
18	Self-discharge rate	Residual capacity: ≤3%/month; ≤15%/years
		Reversible capacity: ≤1.5%/month; ≤8%/years
19	Storage Temperature & Humidity Range	Less than 1 month: -20°C~35°C, 45% RH~75% RH
		Less than 3 months: -10°C~35°C, 45% RH~75% RH
		Recommended storage environment: 15°C~35°C, 45% RH~75% RH

# DATOS DEL FABRICANTE...

Long time storage:

If the battery need be stored for a long time, the voltage should be 13.2V (50% SOC), and stored in the condition as storage proposal. It need at least one charge & discharge cycle every six months

## 4. Product Performance

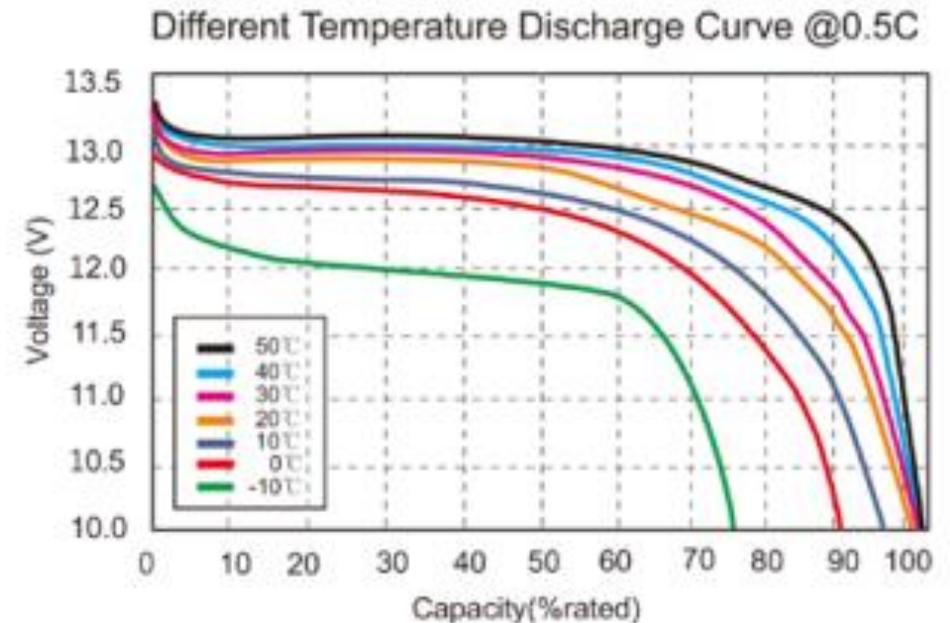
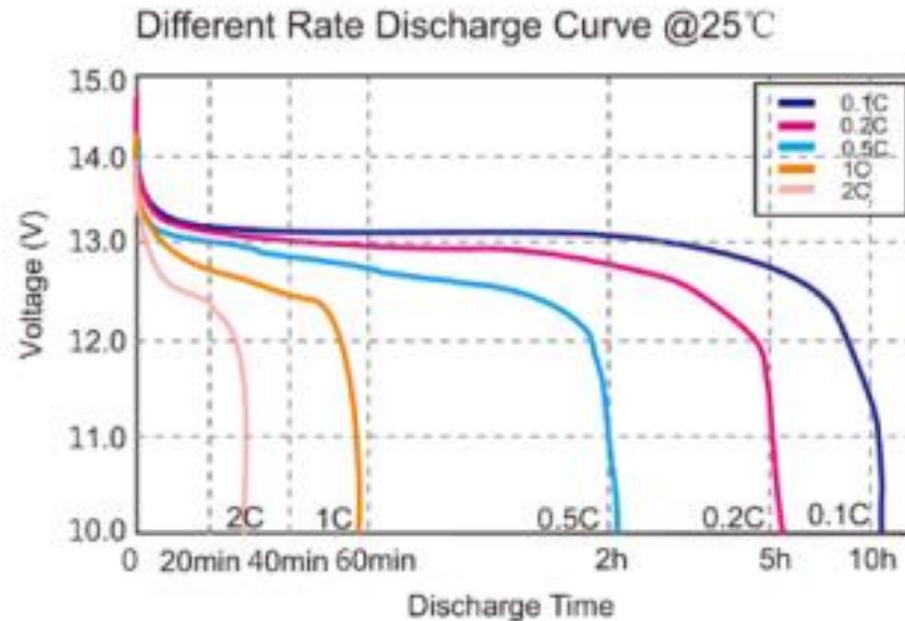
NO.	Items	Criteria	Testing Method	
1	Internal resistance	$\leq 15\text{m}\Omega$	50% battery SOC state frequency of 1 KHZ ac resistance tester.	
2	Cycle life (DOD%100)	$\geq 2500$ cycles	Discharge with the current of 0.33C until it can't discharge, and then rest it for 1h. Charge the battery following CC (0.33C)/CV (14.6V) mode to full capacity, and then rest it for 1h. Repeat above process until full charged capacity is no more than 80% of normal value. Accumulated times is defined as cycle life.	
3	Discharge Temperature Characteristics	-20°C	$\geq 70\%$	At $25\pm 5^\circ\text{C}$ discharge the battery with the current of 0.33C to the cut-off voltage and record charge capacity. Store the battery at various temperatures for 2h and discharge the battery with 0.33C to the cut-off voltage.
		0°C	$\geq 80\%$	
		25°C	$\geq 100\%$	
		55°C	$\geq 95\%$	

# DATOS DEL FABRICANTE...

Items	Content	Specification
Over discharge	Over-discharge protection for each cell	$2.3 \pm 0.05V$
	Over-discharge release for each cell	$2.8 \pm 0.05V$
	Over-discharge release method	Charge to recovery
Over current	Discharge over current protection	300A~500A
	Protection delay time	0.5s~2s
	Over current release method	Delay about 8S after recovery
Short circuit	Do not short-circuit the electrodes	Designed For 600A /500us
Battery temperature	Charge over temperature	Protection @ $65 \pm 5^{\circ}C$
		Release @ $50 \pm 5^{\circ}C$
	Discharge over temperature	Protection @ $65 \pm 5^{\circ}C$
		Release @ $50 \pm 5^{\circ}C$
	Charge low temperature protection	Protection @ $-10 \pm 5^{\circ}C$
		Release @ $0 \pm 5^{\circ}C$
MOSFET over temperature protection	Protection @ $103 \pm 10^{\circ}C$	
	Release @ $75 \pm 10^{\circ}C$	

# DATOS DEL FABRICANTE...

## Charts and curves



Por ejemplo se puede apreciar que a 2C una corriente igual a  $2 \cdot AH$  se tiene un tiempo de 30 minutos, es decir a a C0.5 el rendimiento es de  $2C \cdot 0.5H = C$ . Prácticamente mantiene la capacidad a pesar del régimen de descarga.

# DATOS DEL FABRICANTE...

Advertencias comunes del catalogo...

- The battery should be stored in 50% SOC during transportation.
- The battery need to be charged every 6 months if out of use.
- The battery must be far away from heat source, high voltage, and avoid to be exposed in sunshine for long time.
- Never throw the battery into water.
- Keep the battery against high temperature. Otherwise it will cause battery heat, get into fire or lose some function and reduce the life.
- The battery pack supports up to 4 series-connected applications.
- Parallel connection of this battery pack is allowed under condition that voltage difference  $\leq 0.2V$ , parallel numbers  $\leq 4$  groups, and operated by professionals.

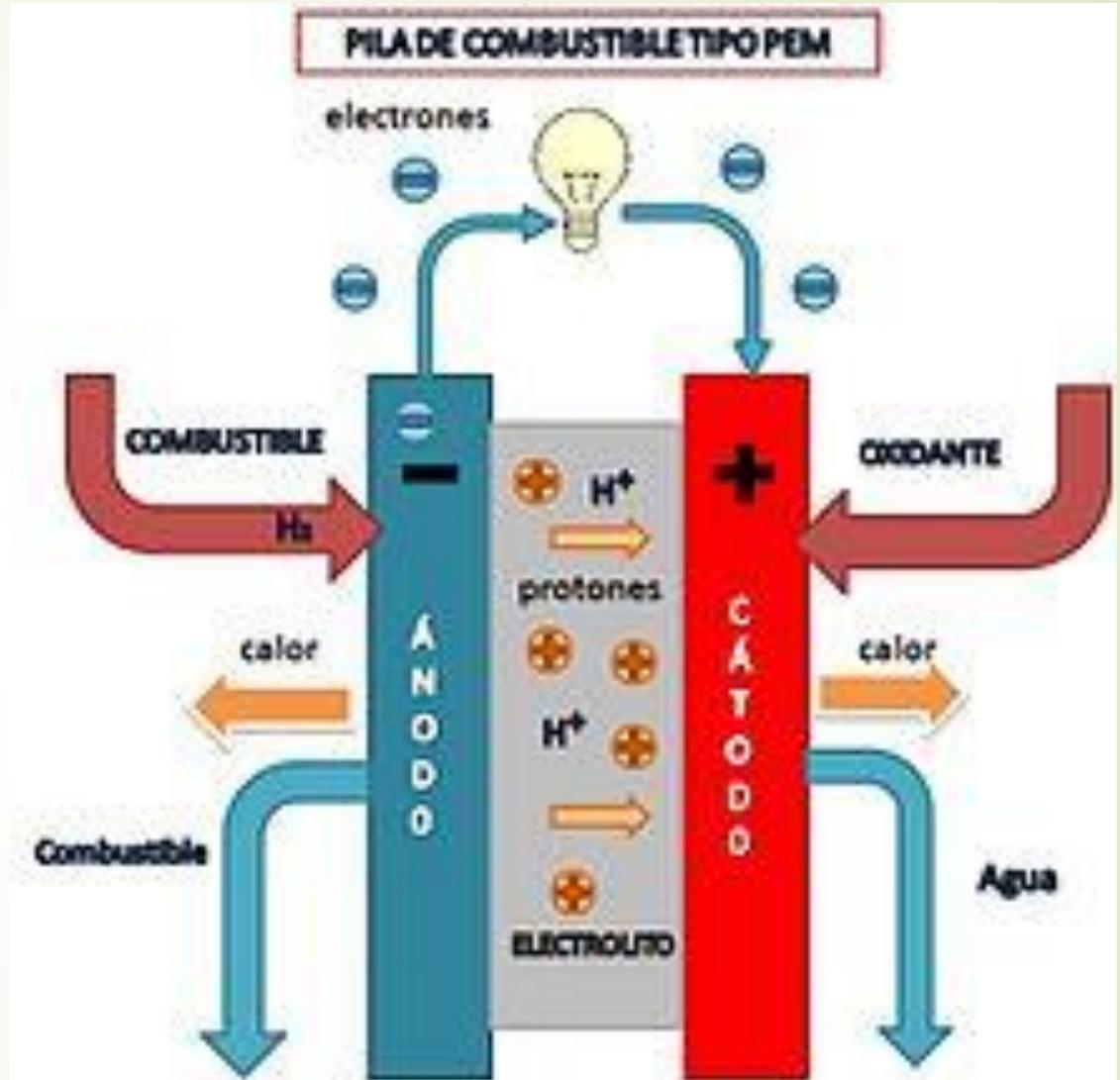


# NUEVAS TECNOLOGIAS...

- ▶ El mercado siempre busca la baterías ideal a un costo razonable.
- ▶ Hoy día el costo de energía en baterías de Litio ronda \$1200 /KWH.
- ▶ Nuevas tecnologías ofrecen otras alternativas:
  - ▶ Baterías de Ni-Fe
  - ▶ Baterías de Zinc-Aire
  - ▶ Baterías de Plomo-Alta densidad.
  - ▶ Baterías de Litio Aire
  - ▶ Baterías Litio-Silicio para alta velocidad de carga
  - ▶ Incorporación del Grafeno a Baterías de litio para mejorar su estabilidad mecánica.

# NUEVAS TECNOLOGIAS...

- ▶ Celdas de combustible o convertidores electro-químicos
- ▶ Se están tratando sistemas que usan elementos baratos y comunes para su uso en aplicaciones tanto móviles como estacionarias.
- ▶ Es un sistema donde se carga la energía a partir de la renovación de los elementos químicos y no de la reposición de la energía eléctrica misma.
- ▶ Tipos de celdas recientes:
  - ▶ MCFC ( Carbonato fundido sin platino)
  - ▶ SOFC (oxido metálico sin platino)
  - ▶ AFC (solución de KOH a altas temperaturas)





# DESECHO DE BATERIAS DE LITIO...

- ▶ Según se dice, la batería de litio al carecer de metales pesados, como el plomo, cadmio o mercurio su disposición es más favorable.
- ▶ En algunas legislaciones el productor de pilas y baterías está obligado a hacerse cargo de la recogida y gestión de la misma cantidad, en peso, y tipo de pilas, acumuladores y baterías usados que haya puesto en el mercado mediante alguna de las siguientes modalidades: Contribuyendo económicamente a los sistemas públicos de gestión. Estableciendo su propio sistema de gestión individual.
- ▶ El primer punto consiste en asegurar las baterías para ser tratadas mecánicamente. Posteriormente **el plástico, el aluminio y el cobre se separan y se destinan a las cadenas de reciclaje.**

# DESECHO DE BATERIAS DE LITIO...

- Los componentes químicos son tratados mediante un proceso de precipitación química. El litio, manganeso, cobalto y níquel se separan y pueden ser entregados como **materia prima a los productores.**
- Al ser una batería empastada no presenta derrames lo que facilita el transporte
- Se puede reciclar hasta el 95% de sus componentes.



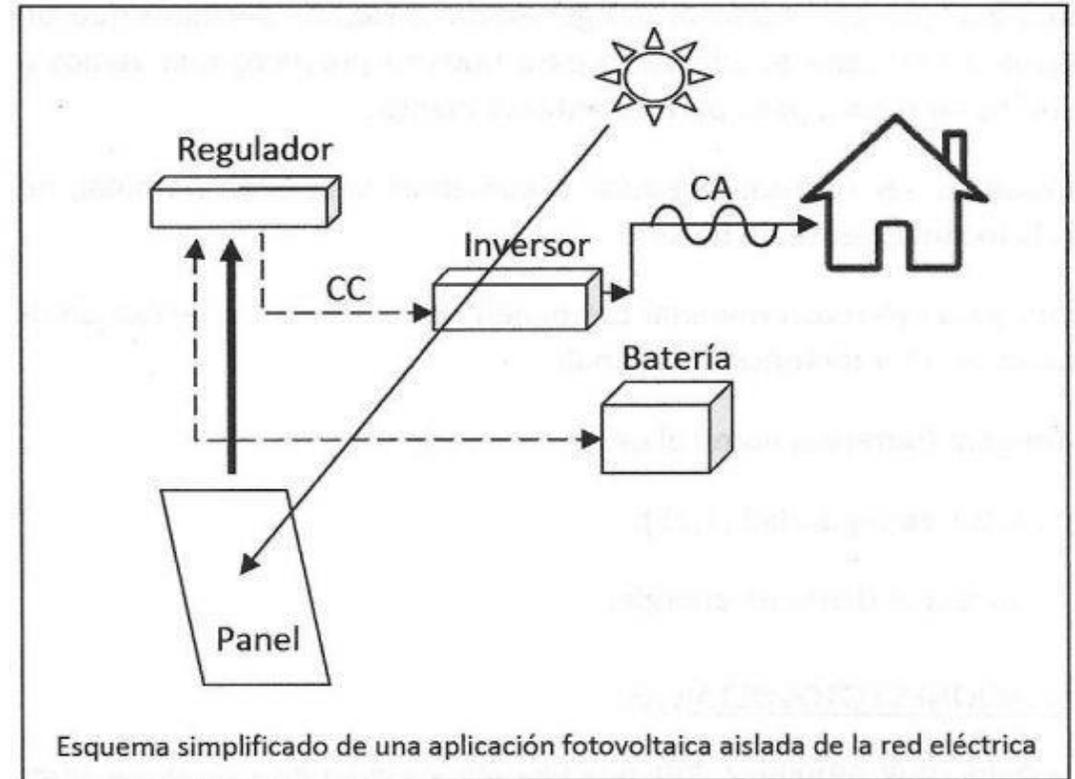


# DESECHO DE BATERIAS DE LITIO...

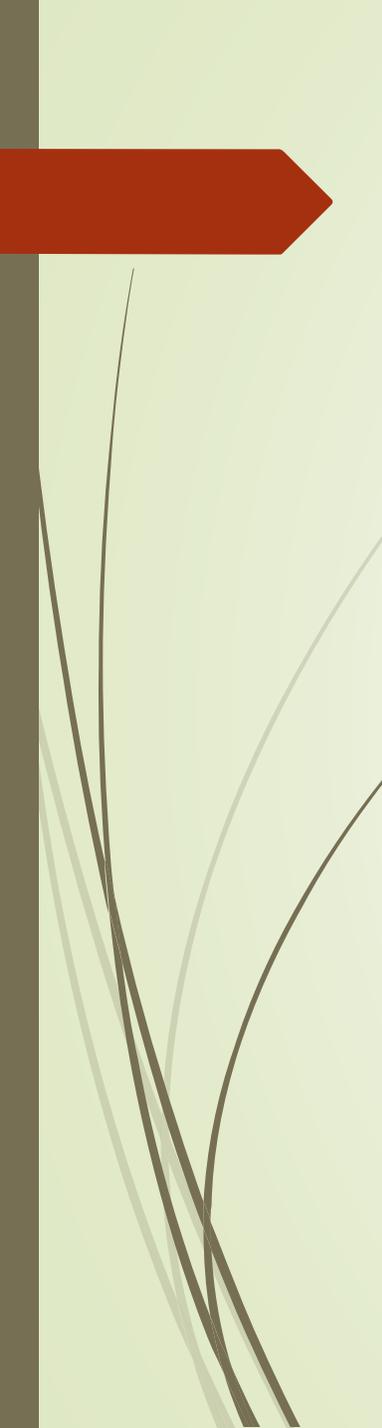
- ▶ Debido al bajo precio del litio, que se espera se mantenga estable gracias a los nuevos yacimientos encontrados en Bolivia, su recuperación de las baterías usadas no supone un aliciente empresarial, dejándolo como **un simple relleno para el hormigón**, imposibilitando de esta manera su futura recuperación y utilización.
- ▶ Las baterías de litio se utilizan desde móviles a coches, y su uso no hace más que aumentar.
- ▶ EL aumento esperado en el uso de litio puede llevar a futuro a un aumento de precio del mismo y su probable escasez. Por lo que el reciclaje de Litio debe irse implementando hoy día.

# PROXIMA CHARLA 16 DE JULIO 2020

- Cargadores, inversores y aplicaciones en sistemas de potencia
- Soluciones a problemas de sistemas de potencia con baterías



Esquema simplificado de una aplicación fotovoltaica aislada de la red eléctrica



*That's all Folks!*