

SINTESIS DEL LITIO Y SU HORIZONTE TEMPORAL DE LA FABRICACION DE BATERIAS EN BOLIVIA



ENERO 2021



LITIO EN LA NATURALEZA

- Contenido de Litio de la corteza terrestre 20 ppm (Vine 1980)
- Se encuentra en muchas rocas y sustancias pero generalmente en BAJA CONCENTRACION.
- No se encuentra libre en la naturaleza

Agua superficial	0,001 a 0,02 mg/L
Agua subterránea	5 a 19 mg/L, variable 500 mg/L
Agua de mar	0,14 a 0,2 mg/L
Suelos	10 a 40 ppm
Granitos	40 ppm
Arcillas marinas	57 ppm
Lutitas	66 ppm
Arseniscas	15 ppm
Calizas	5 ppm
Basaltos	17 ppm
Agua de formación	50 a 500 ppm

LITIO EN LA NATURALEZA

Parte de la Estructura cristalina de minerales

- Aluminosilicatos / Fosfatos
- Arcillas

145 Especies

Mayoría con $> 0,002 \% \text{Li}_2\text{O} > 2\% \text{Li}_2\text{O}$

- Espodumeno LiAlSiO_6
- Petalita $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$
- Eucryptita LiAlSiO_4

8 % Li_2O (3,7 % Li)



Ion Litio en Agua

- Salmueras continentales
- Salmueras asociadas a hidrocarburos
- Aguas geotermales
- Agua de mar

- Lepidolita $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3 (\text{Si},\text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{F},\text{OH})_2$
- Ambligonita $(\text{Li},\text{Na}) \text{AlPO}_4 (\text{F},\text{OH})$
- Hectorita $\text{Na}_{0,33} (\text{Mg},\text{Li})_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{F},\text{OH})_2$

10 % Li_2O (4,7 % Li)



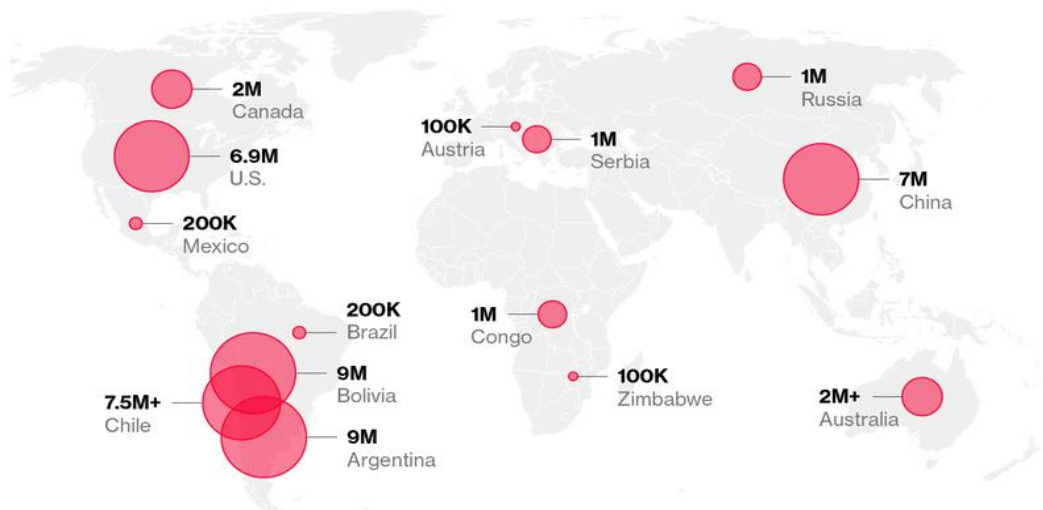
5 % Li_2O (2,3 % Li)



World Lithium Resources

Over half the identified resources of the mineral are found in South America

Tons of lithium



Source: U.S. Geological Survey

Bloomberg

Top 5 Lithium Producing Countries & Lithium-mining Companies

#5 United States

2019 Production: **5,000MT (est)**
 Lithium Reserves: **~0.63 million MT**
 • Silver Peak (Albemarle)

#2 Chile

2019 Production: **18,000 MT**
 Lithium Reserves: **~8.6 million MT**
 • Salar de Atacama (Albemarle, SQM)

#4 Argentina

2019 Production: **6,400 MT**
 Lithium Reserves: **~1.7 million MT**
 • Salar del Hombre Muerto (Livent)
 • Cauchari-Olaroz (Ganfeng 51%, Lithium Americas 49%)
 • Mariana (Ganfeng 86.3%, International Lithium 13.7%)

#3 China

2019 Production: **7,500 MT**
 Lithium Reserves: **~1 million MT**
 • Zhabuye (Tianqi 20%, Tibet Shigatse Zhabuye Lithium High-Tech 80%)
 • Yajiang Cuola (Tianqi)
 • Ningdu Heyuan (Ganfeng)

#1 Australia

2019 Production: **42,000 MT**
 Lithium Reserves: **~2.8 million MT**
 • Greenbushes (Tianqi 51%, Albemarle 49%)
 • Wodgina (Albemarle 60%)
 • Mt Marion (Ganfeng 50%, Mineral Resources 50%)
 • Mt Holland (SQM 50%, Westfarmers 50%)
 • Pilgangoora (Ganfeng 6.86%)

	2019 kT LCE
1. Albemarle	85
2. Tianqi	68
3. Ganfeng	54
4. SQM*	49
5. Livent	21

*Tianqi owns 24%

YACIMIENTOS DE LITIO



MINERAL	FORMULA QUIMICA	CONTENIDO DE LITIO (Teo. Max)	
ESPODUMENO	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	3,73	1,4 a 3,6
LEPIDOLITA	$\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})_2 \cdot \text{F,OH})_4$	3,6	1,4 a 1,9
PELALITA	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	2,28	1,4 a 1,9
AMBLIGONITA	$\text{Li}_3\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F,OH})$	4,76	3,5 a 4,2
EUCRIPTITA	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	5,5	3,2 a 3,3



PAIS	SALAR (OPERADOR)	Área (Km2)	DETALLE
BOLIVIA	SALAR DE UYUNI (YLB)	10.582	Altiplano, Magnesio y Sulfatos
CHILE	ATACAMA (SQM, FMC)	3.051	Desierto, Cloruros, Boro
ARGENTINA	HOMBRE MUERTO (FMC)	600	Puna Calcio, Sulfatos, Boro
CHINA	Qrahan Salt Lake	5.856	Desierto, magnesio Potasio

TIPOS DE SALARES

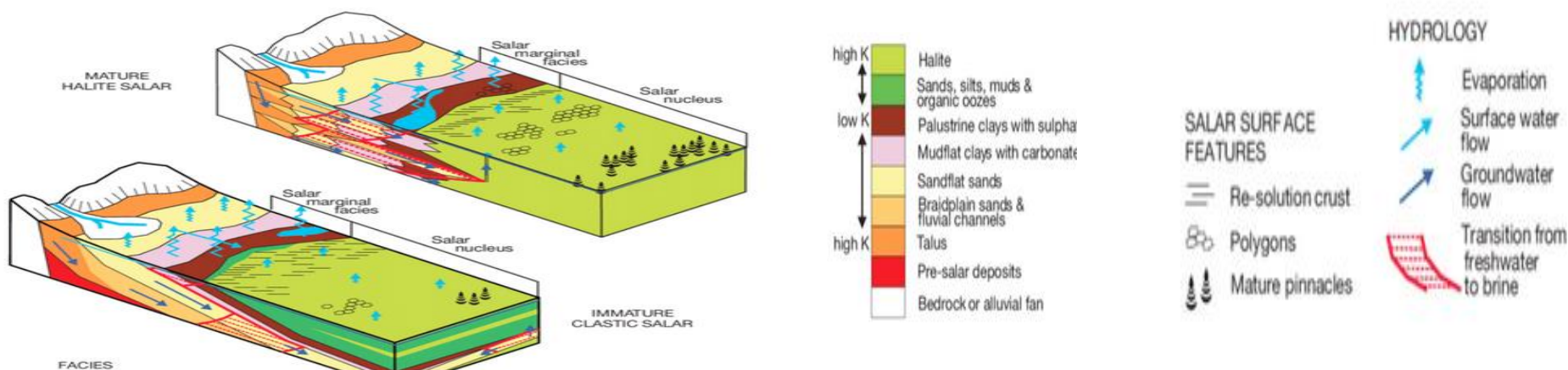
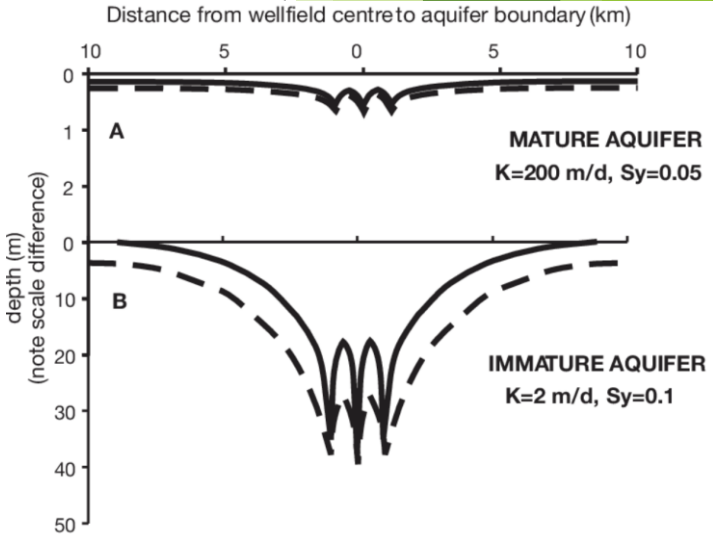


TABLE 1. Selected Salar Types and Brine Chemistry in the Altiplano-Puna Region

Salar	Area (km ²)	Elevation (masl)	MAP (mm)	Salar type	Brine type	Cl	Li (typical values in g/l)	K	B
Uyuni	10,000	3,653	150	Immature	Na-Cl-SO ₄	190	0.42	8.7	0.24
Atacama	2,900	2,300	25	Mature	Na-Cl-Ca/SO ₄	210	2.55	27.4	0.82
Olaroz-Cauchari	550	3,900	130	Immature	Na-Cl-SO ₄	180	0.71	5.9	1.09
Huayatayoc-Salinas Grande	2,500	3,400	180	Immature	Na-Cl-Ca/SO ₄	190	0.78	9.8	0.23
Rincon	280	3,740	63	Largely mature	Na-Cl-SO ₄	195	0.40	7.5	0.33
Arizaro	1,600	3,500	50	Immature	Na-Cl-SO ₄	190	0.08	4.0	0.12
Pocitos	435	3,660	60	Immature	Na-Cl-SO ₄	170	0.09	4.8	1.32
Antofalla	540	3,580	-	Immature	Na-Cl-SO ₄	166	0.32	4.7	10.80
Hombre Muerto W	350	3,750	77	Mature	Na-Cl-SO ₄	195	0.68	6.3	2.06
Hombre Muerto E	280	3,750	77	Immature	Na-Cl-SO ₄	140	0.78	8.9	0.62
Maricunga	90	3,760	35	Mixed	Na-Cl-Ca/SO ₄	204	1.05	8.9	0.79

Abbreviations: MAP = mean annual precipitation, masl = meters above sea level

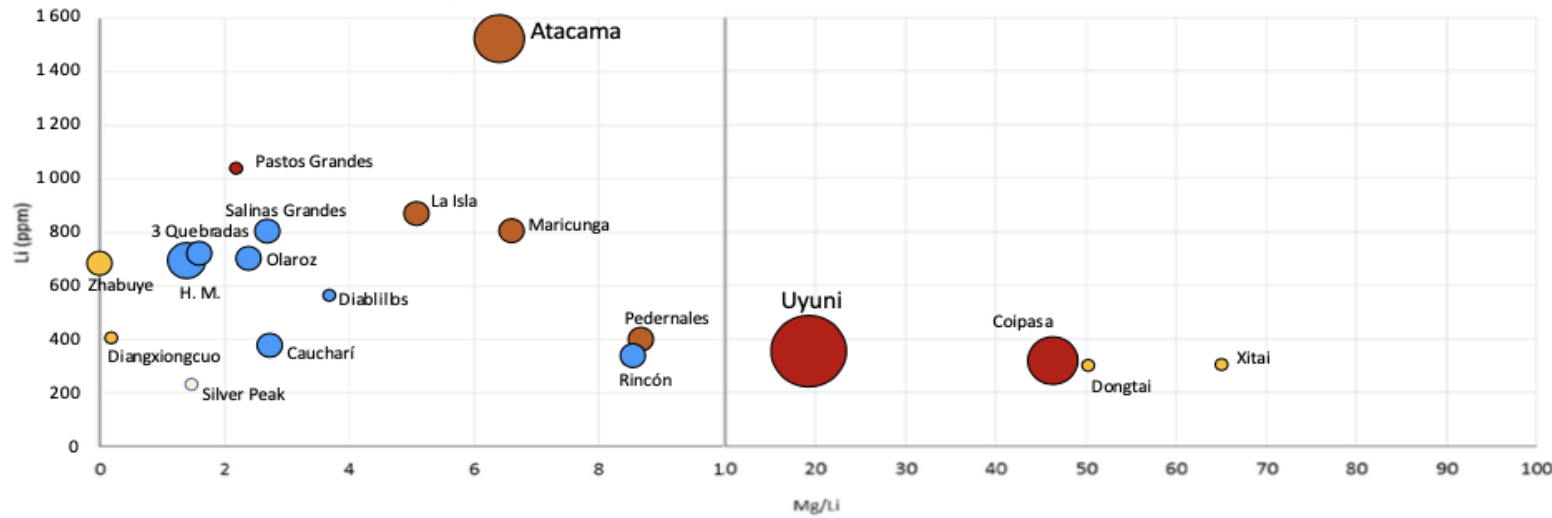


DIFERENCIAS

Diagrama 2

Composición química de los salares: concentración de litio versus relación magnesio litio

Argentina Bolivia (Est. Plur. de) Chile China Estados Unidos



Superficie del Salar: > 10.000 km² 1.000-10.000 km² 500-1.000 km² 100-500 km² < 100 km²

Fuente: MINEM (2018).

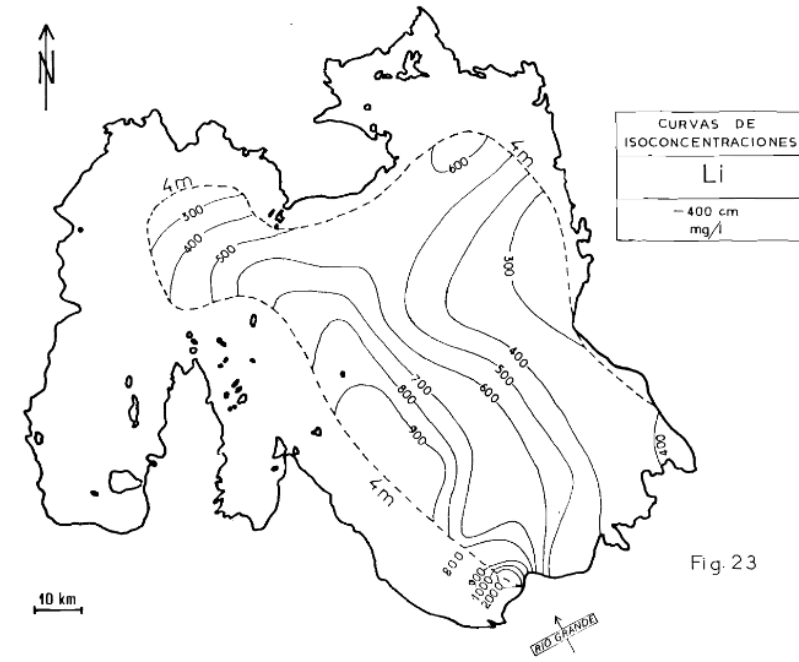
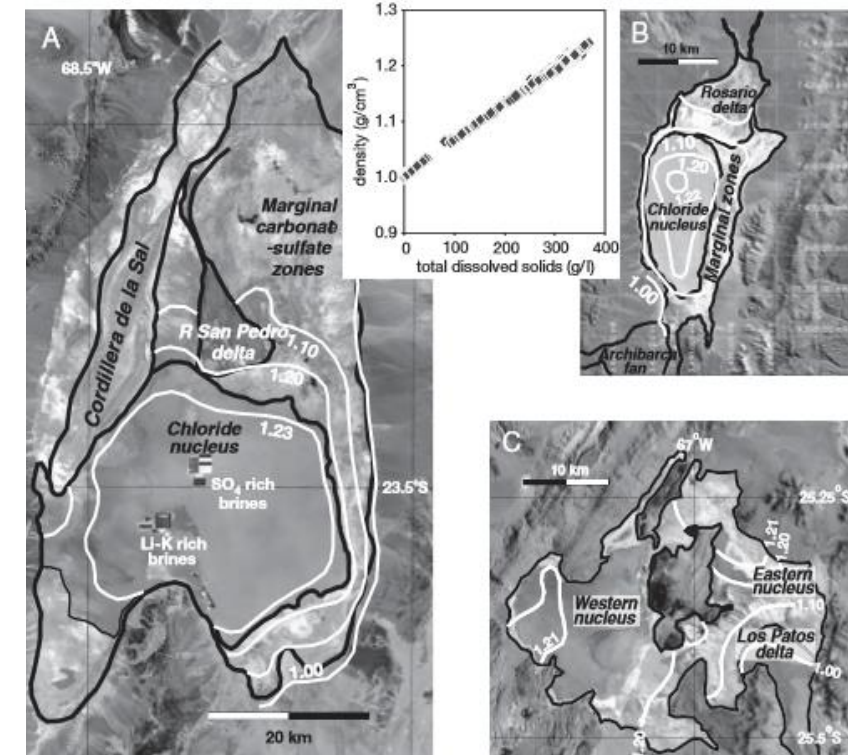


Fig. 23



PARA QUE SIRVE EL LITIO

¿QUÉ ES EL LITIO?

Es el metal más liviano que existe

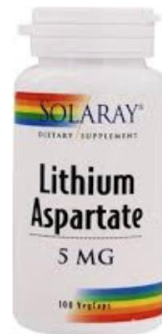
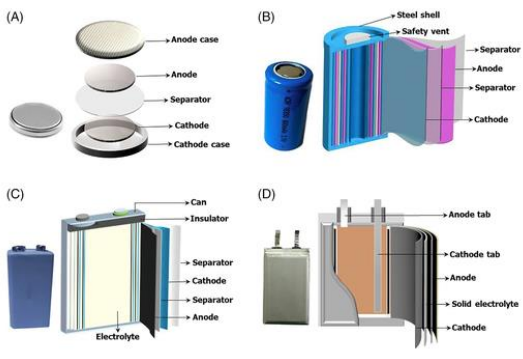
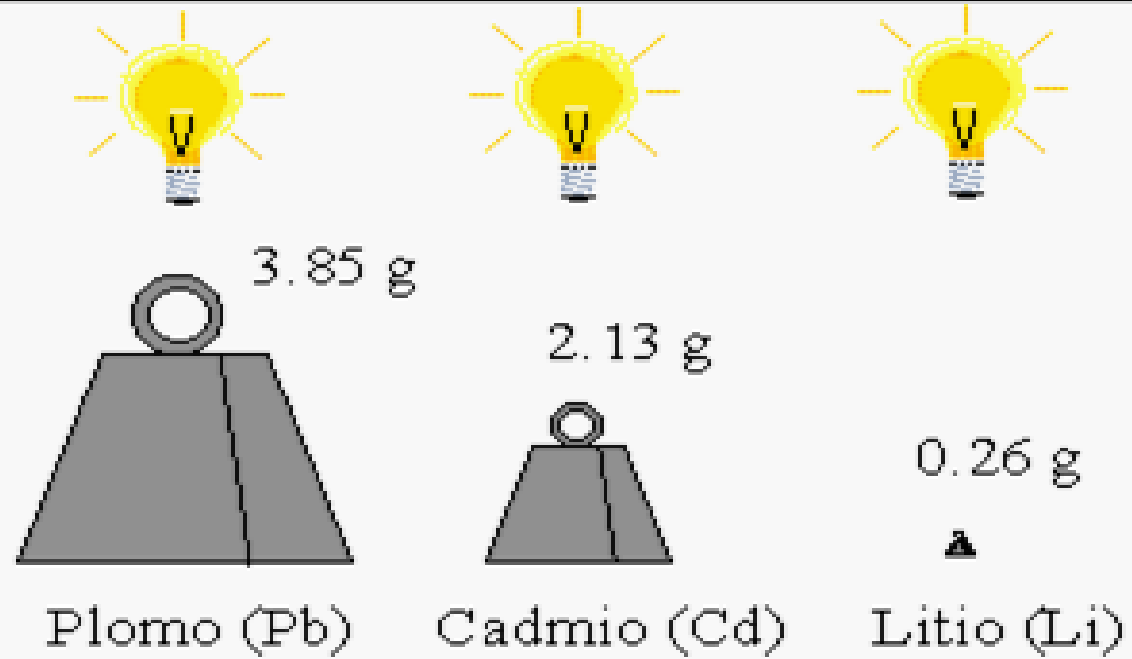
Densidad= 535Kg/m³

Capacidad Energética Teórica

3860 Ah/Kg

¿DÓNDE SE UTILIZA EL LITIO?

Masa necesaria para producir 1 Amperio durante 1 hora





CALIDADES DE Li₂CO₃

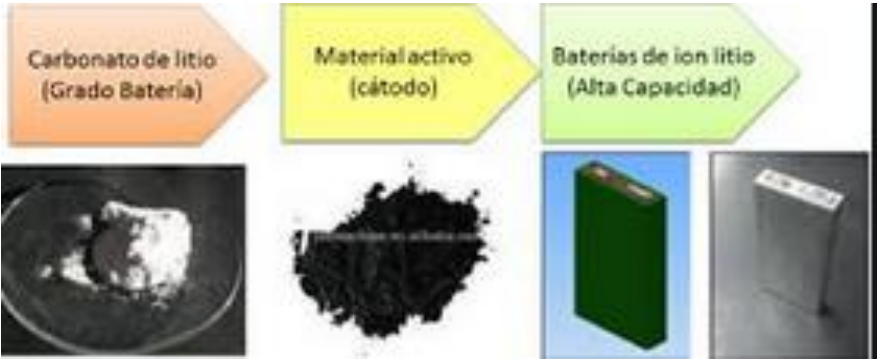
GRADO BATERIA

Li ₂ CO ₃ content	Impurity content, no more than													
	Na	Mg	Ca	K	Fe	Zn	Cu	Pb	Si	Al	Mn	Ni	so ₂	Cl ⁻
≥99.5	0.025	0.008	0.005	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.0003	0.003	0.001	0.0003	0.001	0.08	0.003

Impurezas magnéticas < 0,0003 %

Humedad < 0,25 %

Tamaño de partículas $d_{10} \geq 1\mu\text{m}$, $3\mu\text{m} \leq d_{50} \leq 8\mu\text{m}$, $9\mu\text{m} \leq d_{90} \leq 15\mu\text{m}$.



PISCINAS DE EVAPORACION + PLANTA QUIMICA

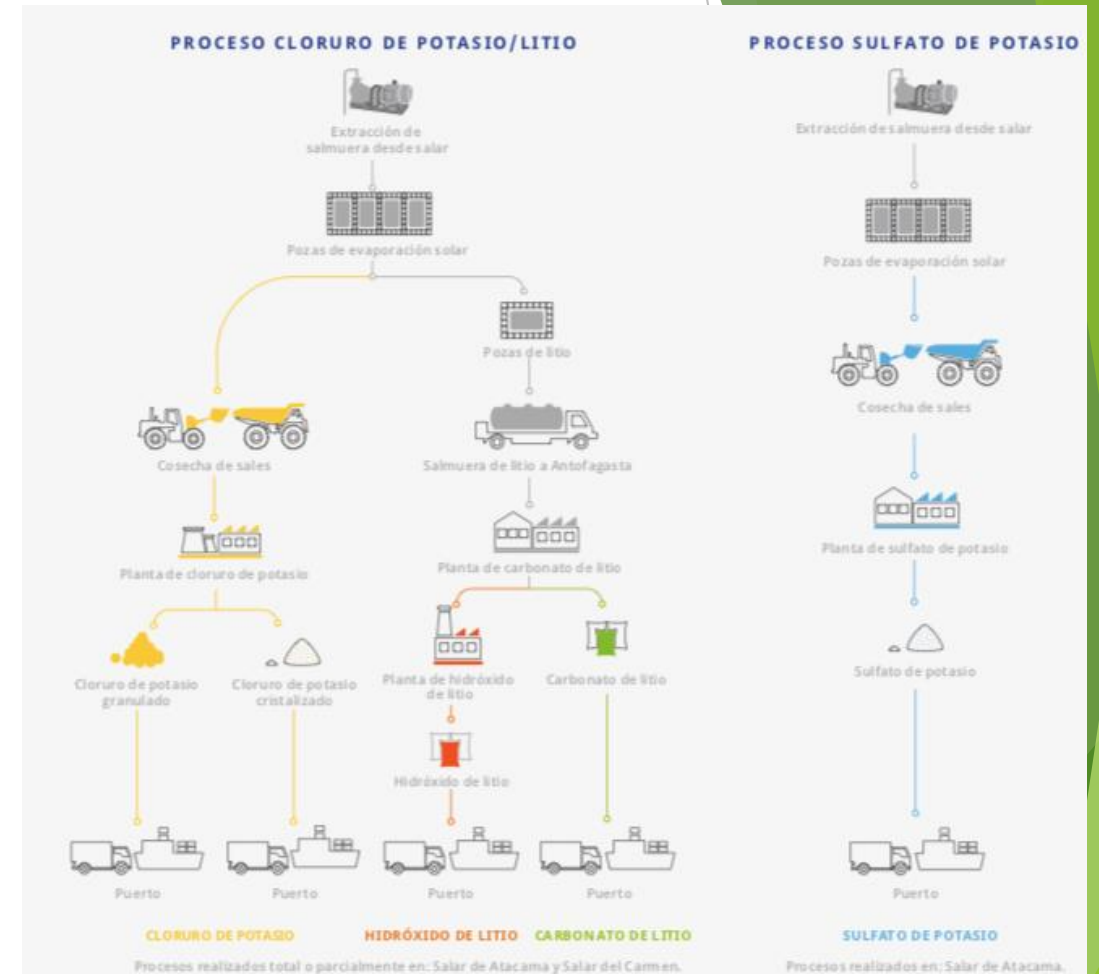
Pais: CHILE (Atacama)

Empresa: SQM

Inicio de produccion de Li_2CO_3 : 1997

Inicio de produccion de LiOH : 2005

Capacidad: 40.000 TPA Li_2CO_3



PISCINAS DE EVAPORACION + PLANTA QUIMICA

Pais: CHILE (Atacama y Antofagasta)

Empresa: ALBERMARLE

Inicio de produccion de Li_2CO_3 : 1984

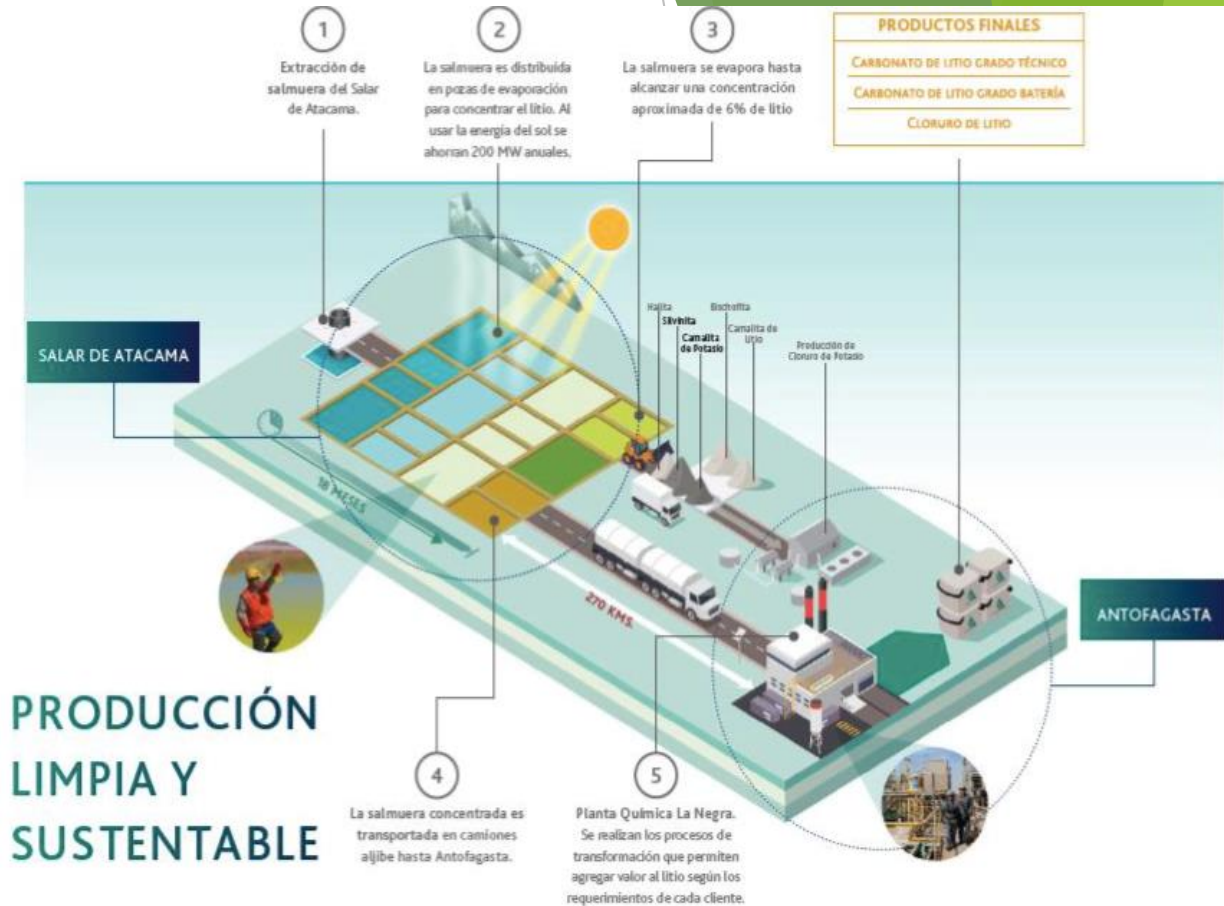
Inicio de produccion Li_2Co_3 GB: 2017

Capacidad: 44.000 TPA Li_2CO_3



ALBEMARLE

PRODUCCIÓN LIMPIA Y SUSTENTABLE



PISCINAS DE EVAPORACION + PLANTA QUIMICA

País: Bolivia (Salar de Uyuni)

Empresa: Yacimientos de Litio Bolivianos

Capacidad: 15.000 TPA Li_2CO_3 GB

Recurso: 22 Millones de TM LCE

Li: 0,05 % wt

Actualmente:

Planta Piloto Li_2CO_3 1.000 TPA GT



**EMSAMBLAJE DE
BATERÍAS DE
ION LITIO**



**SISNTESIS
DE MATERIALES
CATÓDICOS**



**PLANTA PILOTO
CARBONATO
DE LITIO**



**PLANTA INDUSTRIAL
CLORURO
DE POTASIO**



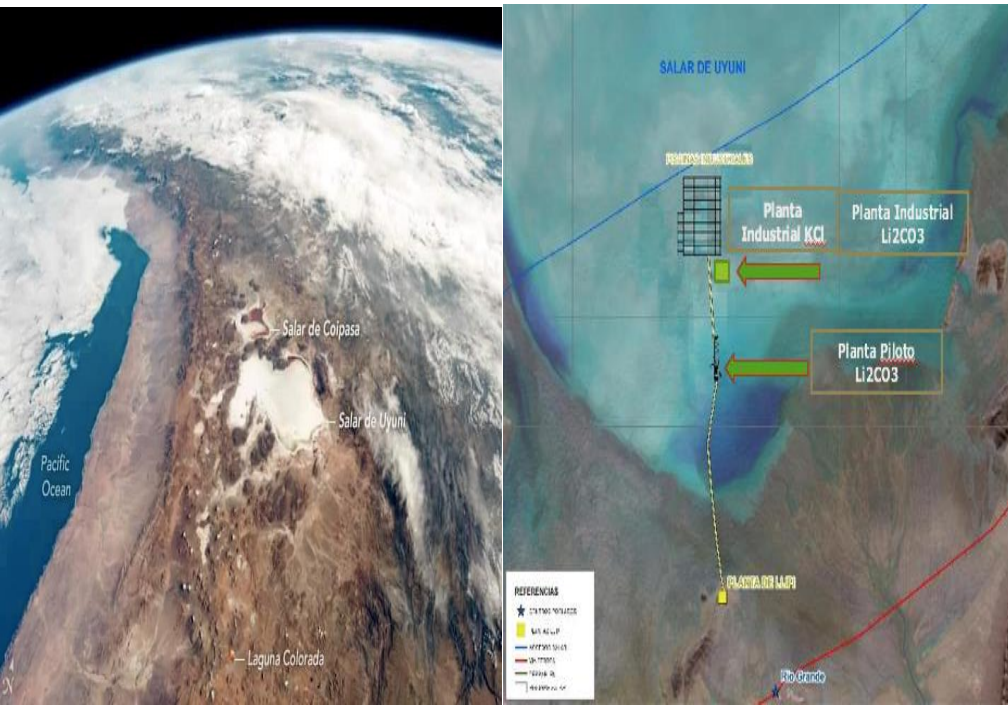
**PLANTA INDUSTRIAL
CARBONATO
DE LITIO**



**PISCINAS DE
EVAPORACIÓN**



POZOS



PISCINAS DE EVAPORACION + PLANTA QUIMICA

Pais: Argentina (Olaroz)

Empresa: Sales de Jujuy

Inicio de producción Li_2CO_3 GB: 2015

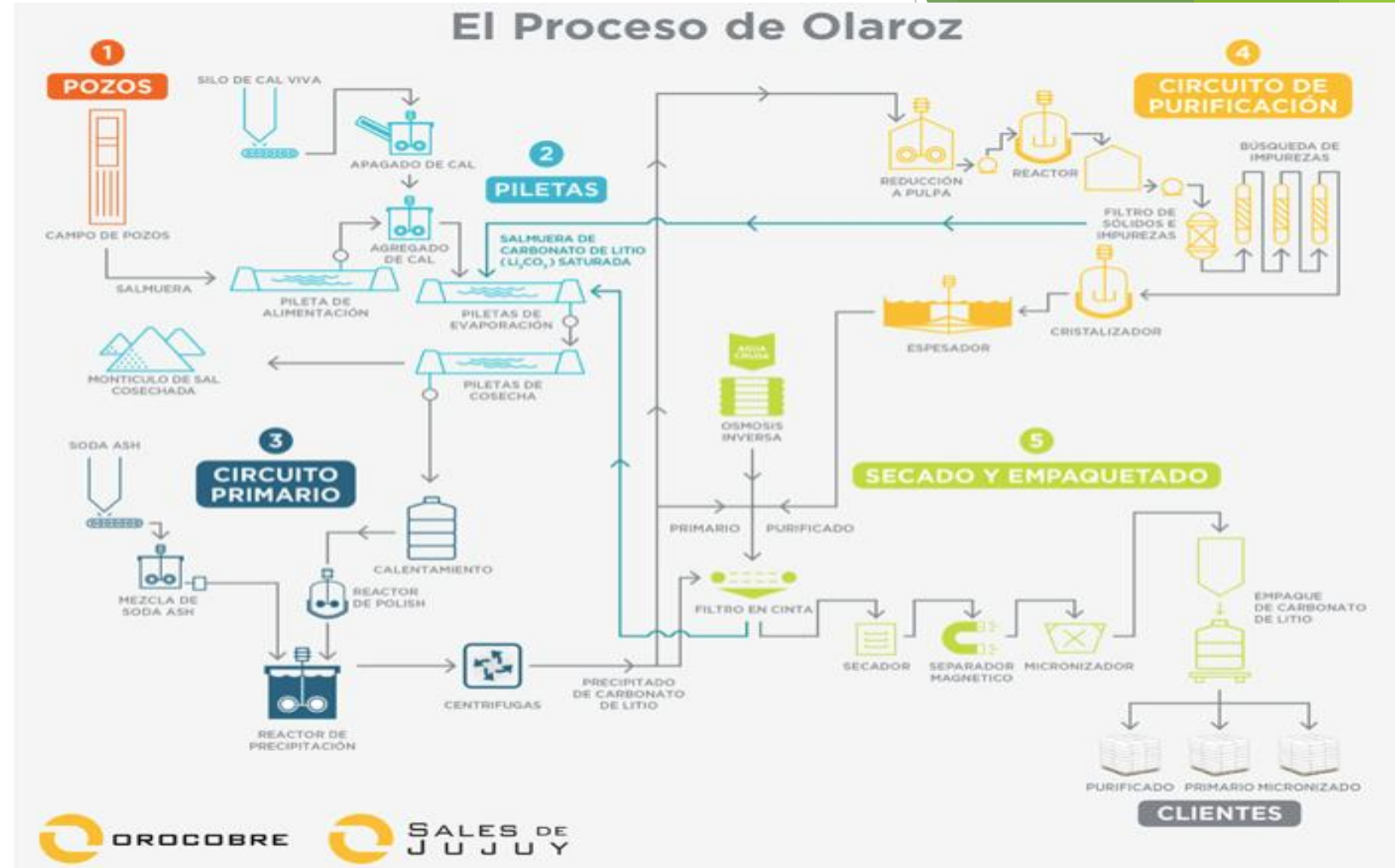
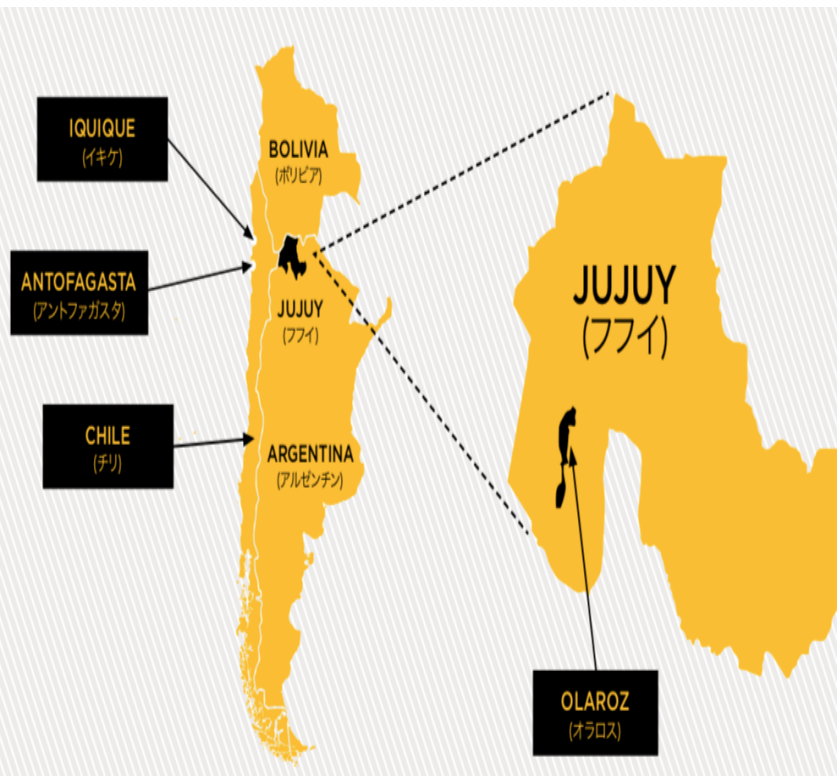
Capacidad: 15.000 TPA Li_2CO_3

Costo de producción: 4.302 \$us/TM

Recurso: 6.4 Millones de TM LCE

Li: 473 mg/L

Vida del proyecto: 40 años



PISCINAS DE EVAPORACION + PLANTA QUIMICA

Pais: ARGENTINA

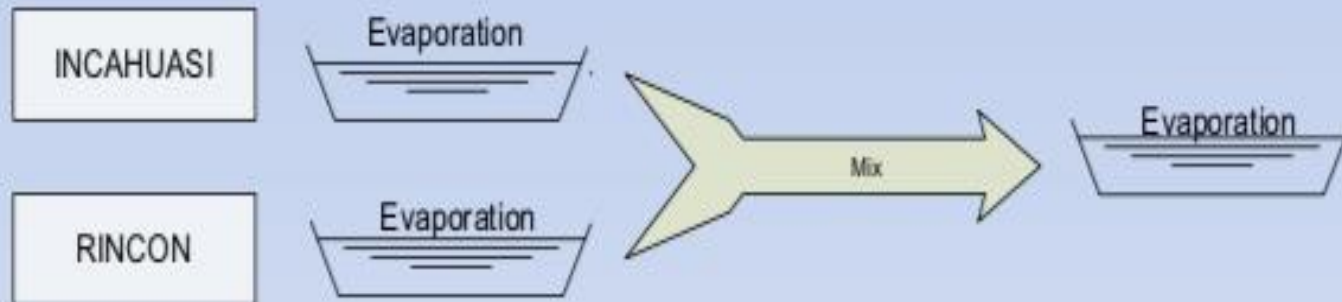
Costo de Produccion: 4.500 \$us/TM

Empresa: Pepinnini Lithium Limited

Capacidad: 15.000 TPA

Li: 313 mg/L

Recurso: 239.000 TM Li (63%)



PLANTA DE ADSORCION DE LITIO + PLANTA QUIMICA

Pais: ARGENTINA (Salar el Rincon)

Sup. Salar: 435 Km²

Empresa: RINCON Lithium

Capacidad: 25.000 TPA

Li: 400 mg/L

Recurso: 4.3 Millones TM LCE

Vida de proyecto: 30 años

Actualmente: Planta piloto

Simplified process overview

Raw brine
Directly pumped from salar



Adsorption process recovers >90% of Li
with high selectivity over impurities



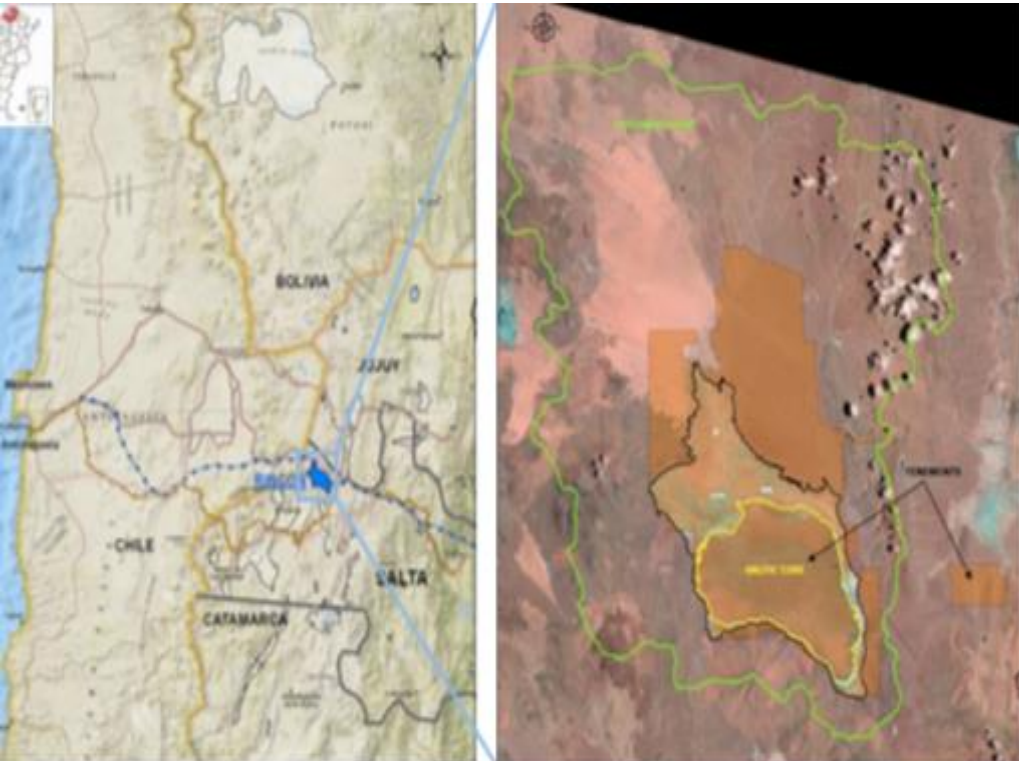
Concentration and water recovery.
Final impurity removal



Carbonation Circuit
Produces Battery Grade
Lithium Carbonate



Adsorption columns for Pilot Plant



PLANTA METALURGIA + PLANTA QUIMICA

Pais: PERU

Costo de Produccion: 3.958 \$us/TM

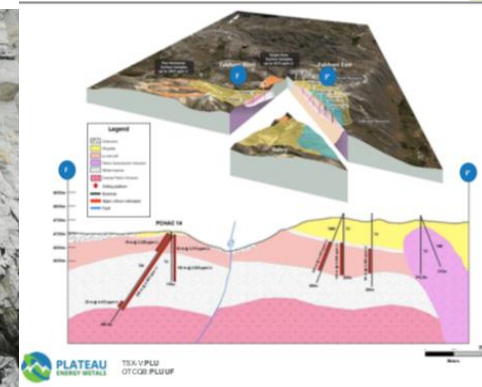
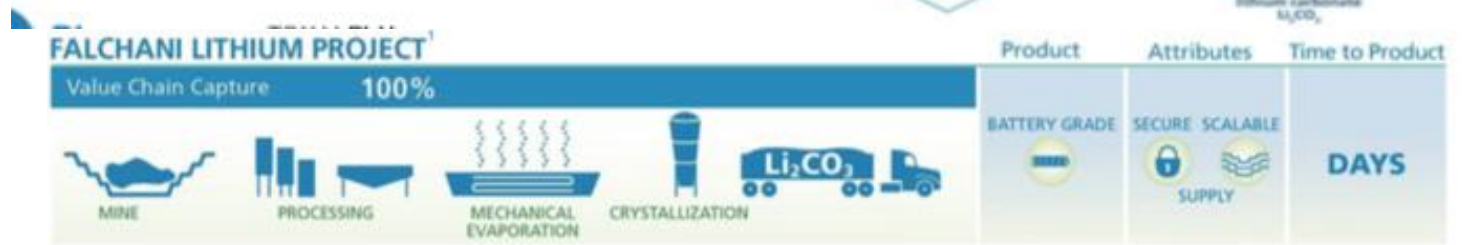
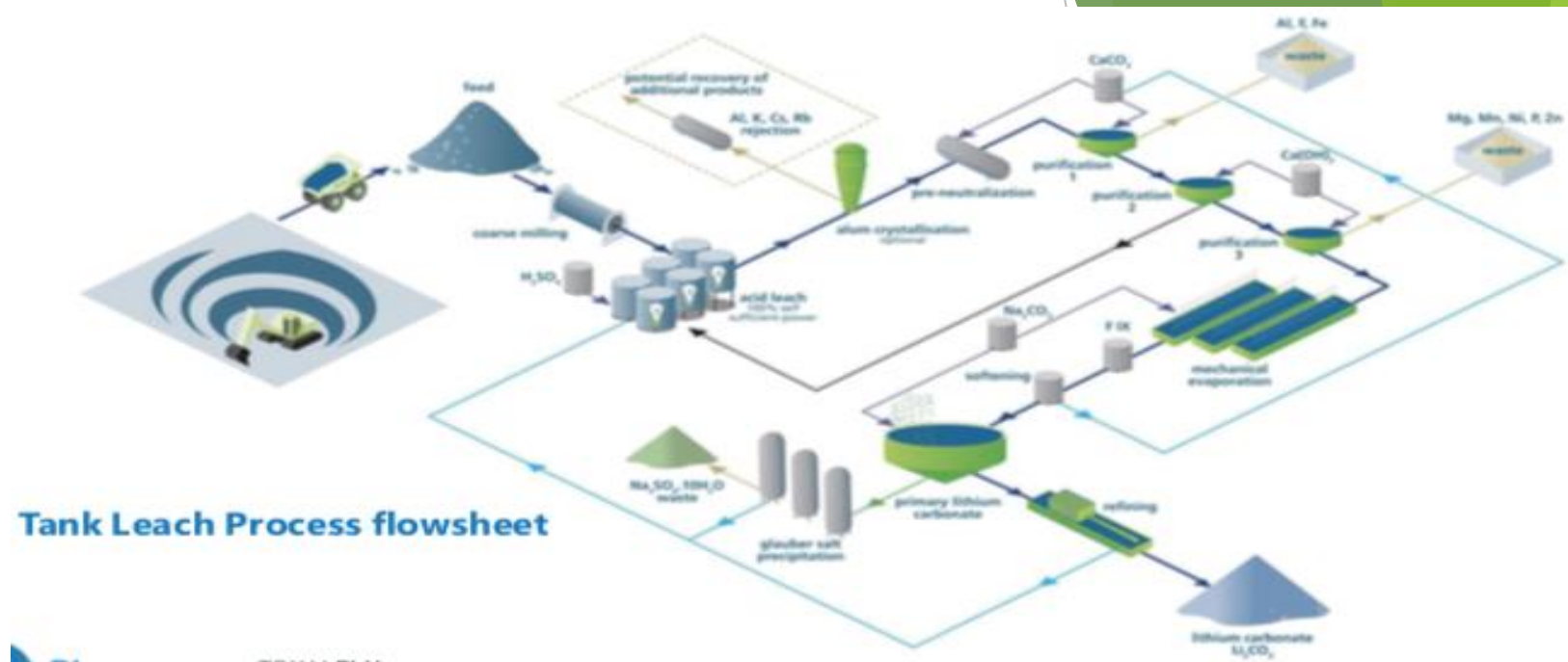
Empresa: Falchani Lithium Project

Capacidad: 23.000 TPA

Li: 3.300 ppm Li

Recurso: 4.7 Millones TM LCE (90%)

Vida de proyecto: 33 años



PROCESOS DE PRODUCCION DE LITIO DE SALMUERAS



PROCESO DE Li_2CO_3

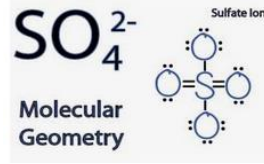


REMOCION DE IMPUREZAS

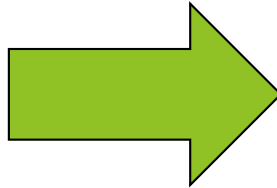
QUE IMPUREZAS HAY?

Según al tipo yacimiento

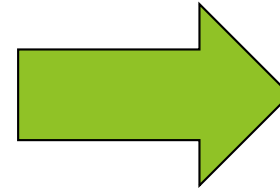
- Magnesio ?
- Sulfato ?
- Boro ?



- ✓ Que cantidad?
- ✓ Opciones ?
- ✓ Es aplicable ?
- ✓ Cuanto cuesta ?



PROCESOS DE
REMOCION DE
IMPUREZAS



LITIO + MUCHAS IMPUREZAS

LITIO + MENOS IMPUREZAS

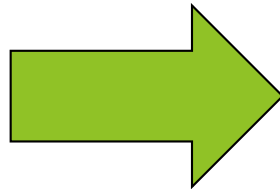
- ✓ Generado impurezas?

CARBONATACION

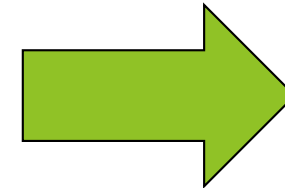
La salmuera esta lista

- ✓ Cantidad de impurezas ?
- ✓ Cuanto Litio hay ?
- ✓ Necesita tratamiento previo ?

- ✓ Variables de operación?
- ✓ Tamaño de partícula ?
- ✓ Calidad de producto ?

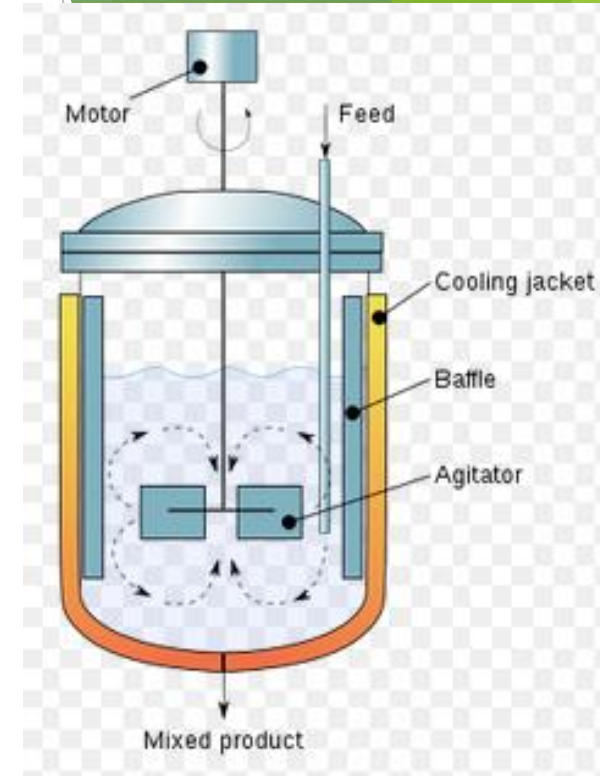


CARBONATACION



- ✓ Op. Transferencia de Calor
- ✓ Op. Cristalización

- ✓ Op. Lavado
- ✓ Op. Filtración

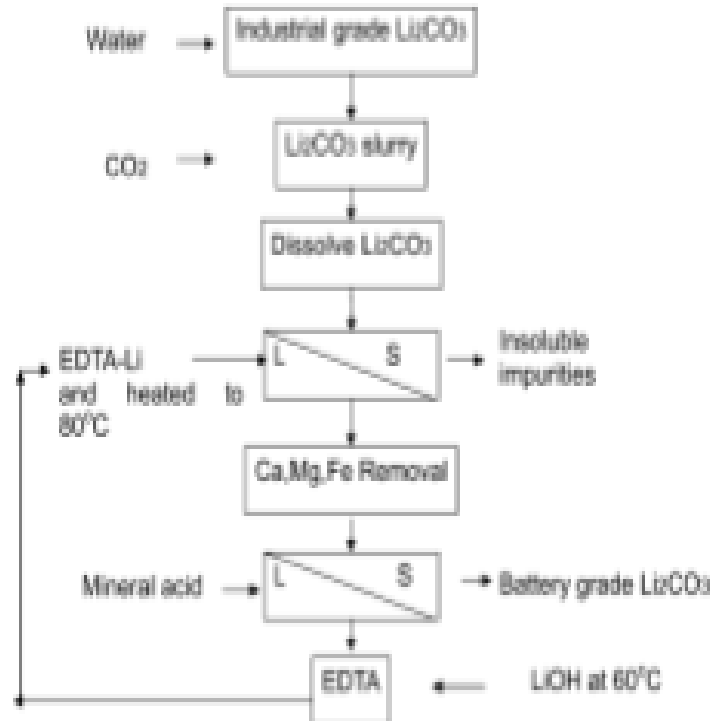
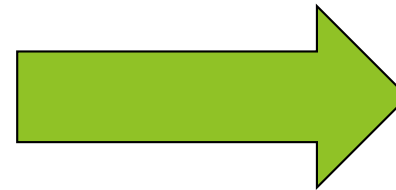
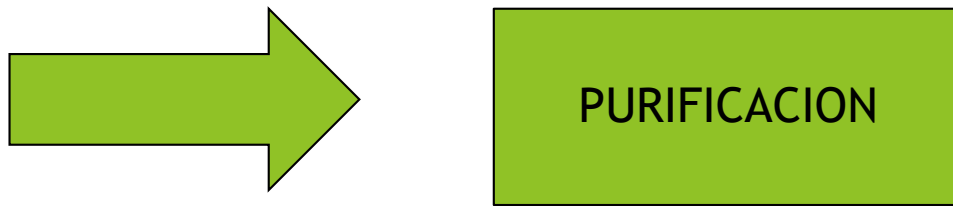


PURIFICACION

A que calidad quiero llegar

- ✓ Trazas de impurezas ?

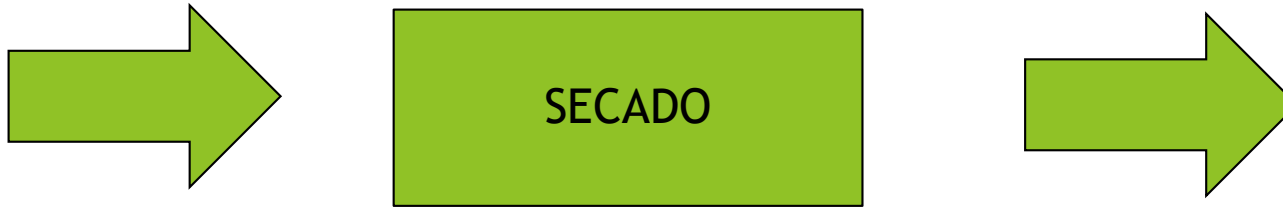
- ✓ Selección de proceso ?
- ✓ Cuanto litio se pierde ?
- ✓ Cuanto cuesta?



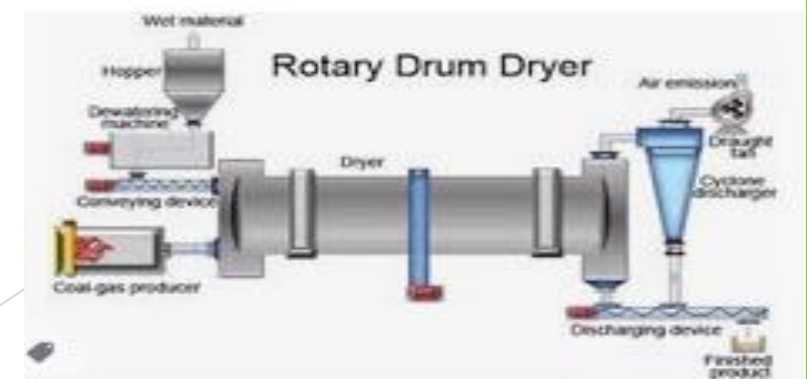
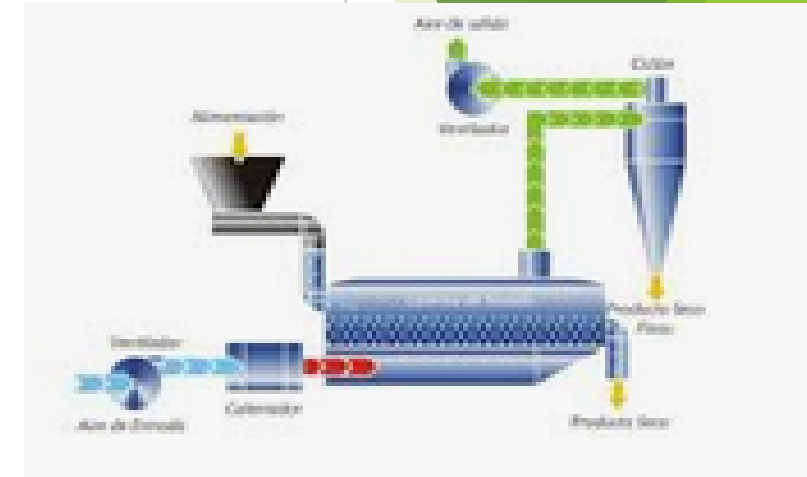
SECADO

- ✓ Tipo de secador ?
- ✓ Tipo de combustible a usar?

- ✓ Selección de proceso ?
- ✓ Cuanto litio se pierde ?
- ✓ Cuanto cuesta?

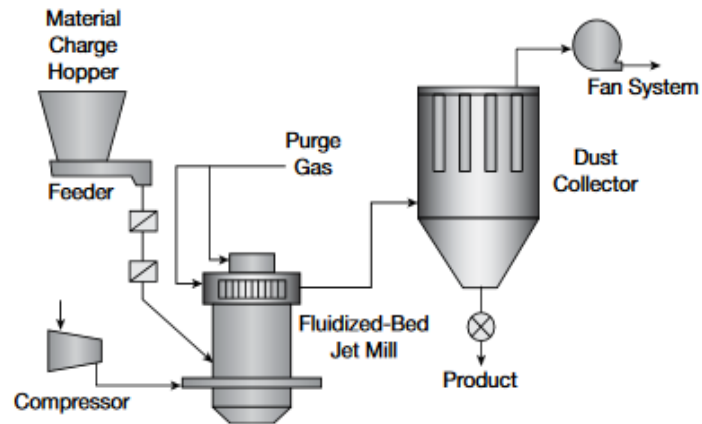
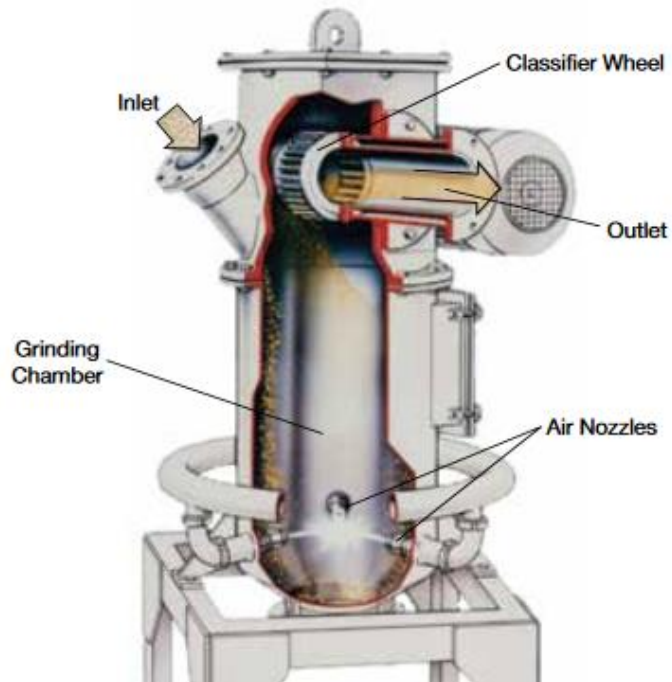


SECADO A 100 °C			SECADO A 80 °C		
tiempo de secado 1,2 hora			tiempo de secado 1 hora		
tiempo	temp °C	Humedad %H2O	tiempo	temp °C	Humedad %H2O
0	12	19,94	0	15	19,94
10	82	20,27	10	77	0,19
20	97	20,48	20	78	0,15
30	97	0,15	30	62	0,14
40	98	0,12	40	83	0,09
50	104	0,12	50	80	0,09
60	95	0,22	60	78	0,09
70	98	0,06			



MOLIENDA Y EMBALAJE

- ✓ Tipo de molino ?
- ✓ DTC ?

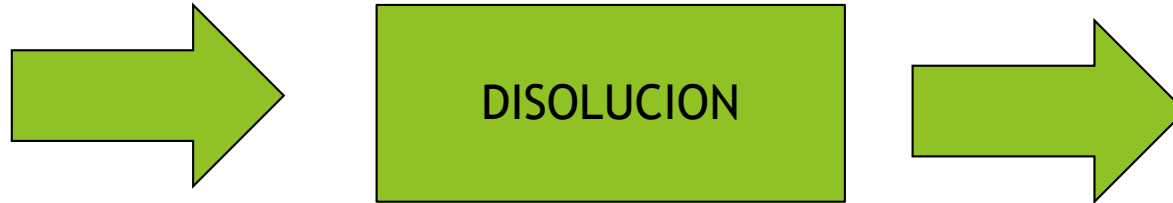


- ✓ Diferentes tamaños diferentes precios.
- ✓ Contaminantes magnéticos ?

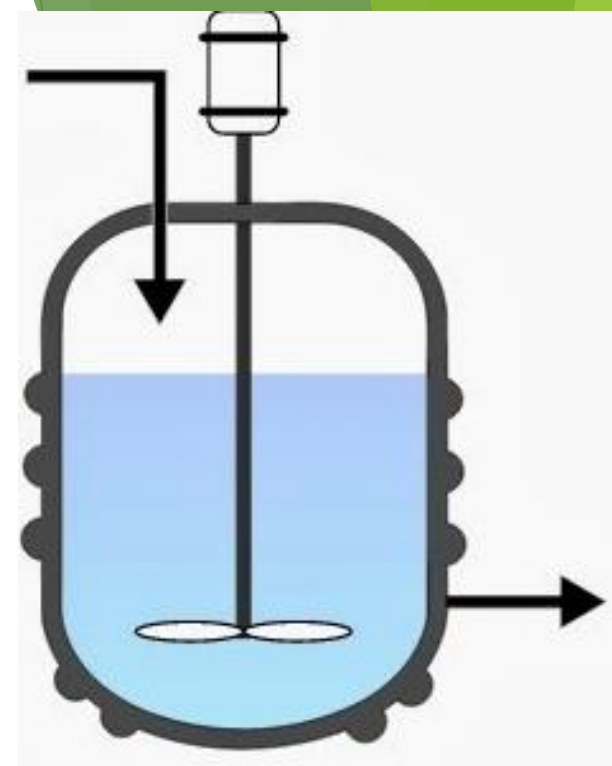
DISOLUCION DE CARBONATO DE LITIO

Solución de Li_2CO_3

- ✓ Cuanto Li_2CO_3 puedo disolver?
- ✓ Calidad de Li_2CO_3 ?

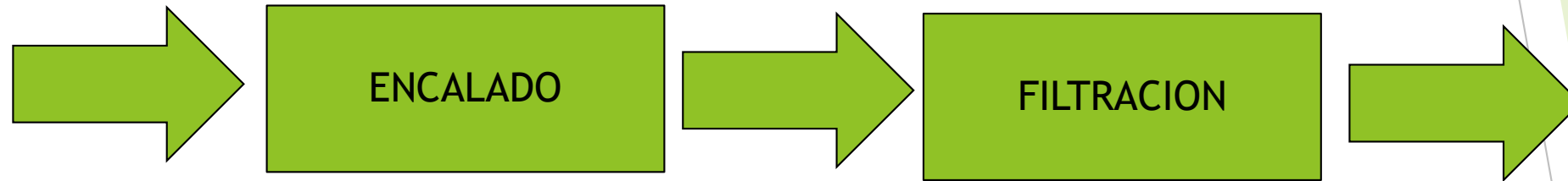


- ✓ Calidad del agua
- ✓ Forma del cristal
- ✓ Temperatura y presión
- ✓ Insolubles



ENCALADO

Balance de población en cristalizadores



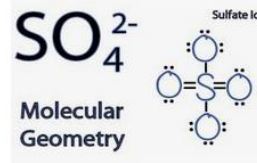
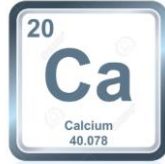
- ✓ Calidad de la Cal
- ✓ Reacción de Encalado
- ✓ Filtración
- ✓ Controlar Calcio

REMOCION DE IMPUREZAS

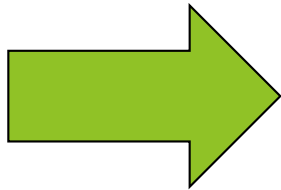
QUE IMPUREZAS HAY?

Li_2CO_3 y H_2O

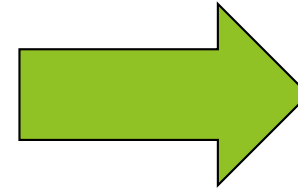
- Calcio ?
- Sulfato ?
- Magnesio ?



- ✓ Que cantidad?
- ✓ Opciones ?
- ✓ Es aplicable ?
- ✓ Cuanto cuesta ?



PROCESOS DE
REMOCION DE
IMPUREZAS



LITIO + Ca y Mg

LITIO + MENOS Ca y Mg

- ✓ Generado impurezas?

Evaporación y Cristalización



PROCESS DESIGN FOR DROWNING-OUT CRYSTALLIZATION OF LITHIUM HYDROXIDE MONOHYDRATE

M. E. Taboada^{1,*}, T. A. Graber¹, L. A. Cisternas¹, Y. S. Cheng² and K. M. Ng²

¹Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antofagasta, Antofagasta, Chile.

²Department of Chemical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong.

- ✓ Cuanto afecta el costo de producción?
- ✓ Como afecta la obtención de LiOH?

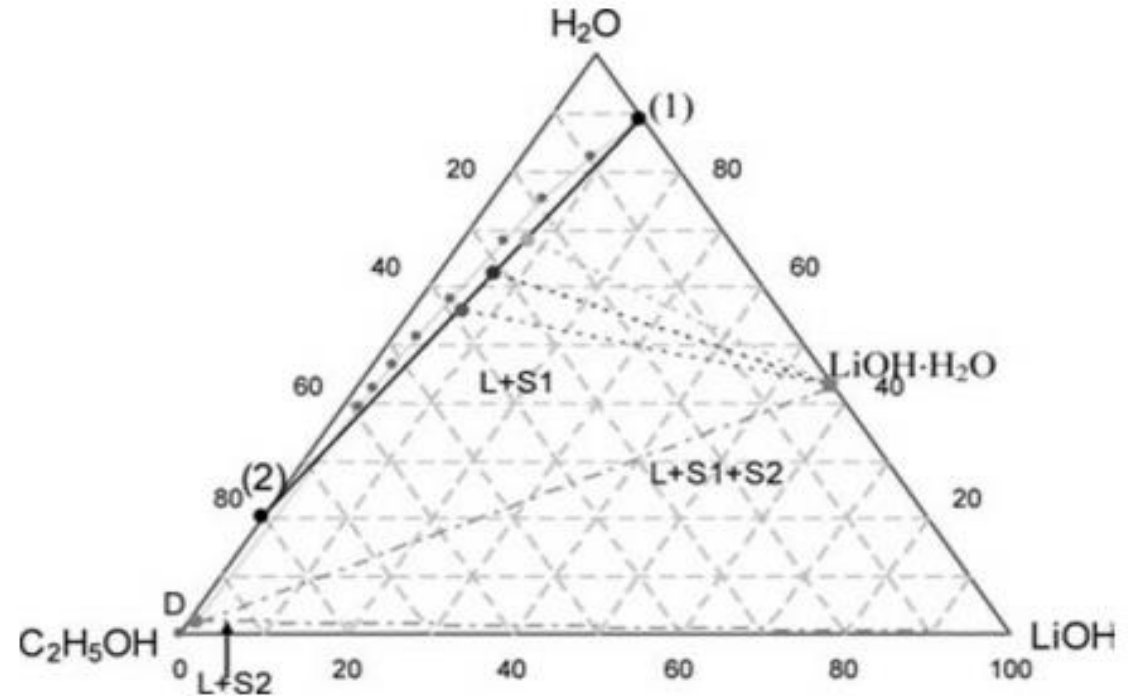
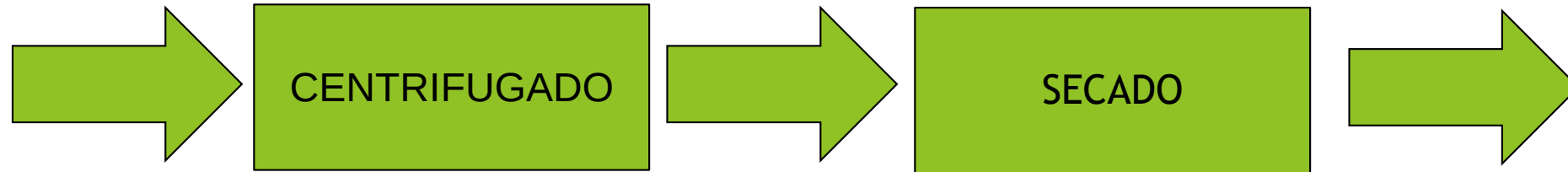


Figure 1. Ternary isothermal phase diagram of LiOH + ethanol + H₂O system at $T = 298.15 \text{ K}$.

SECADO

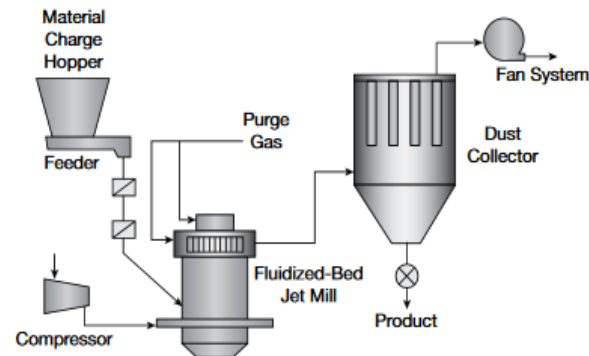
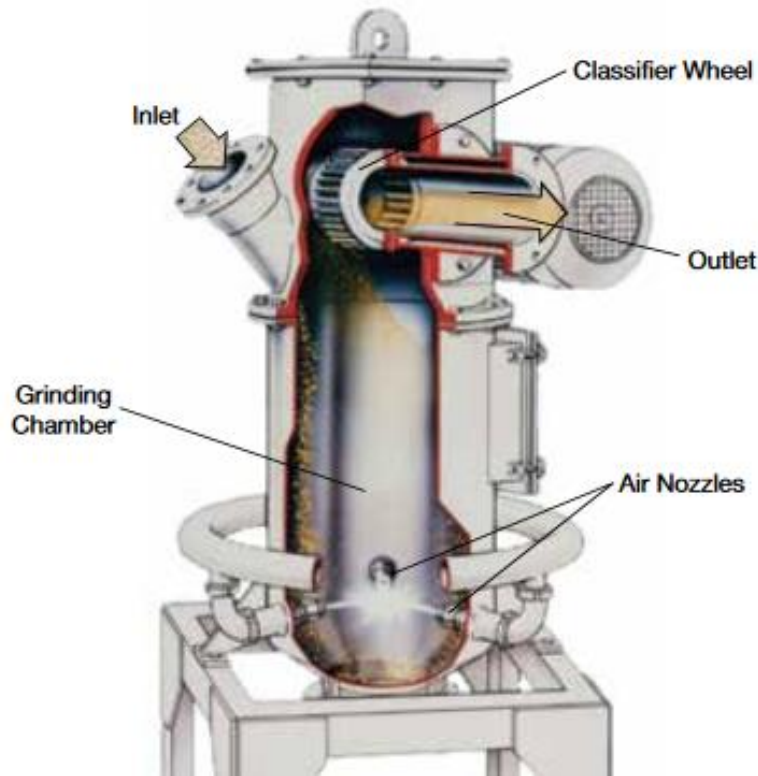
- ✓ Tipo de secador ?
- ✓ Tipo de combustible a usar?
- ✓ Atmosfera modificada?
- ✓ Encostramiento?

- ✓ Selección de proceso ?
- ✓ Cuanto LiOH se pierde ?
- ✓ Cuanto cuesta?



MOLIENDA

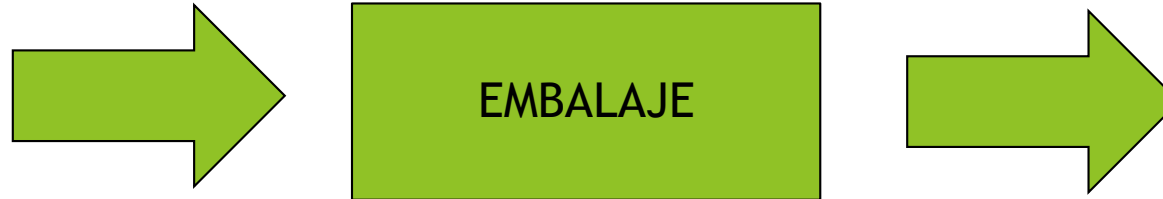
- ✓ Tipo de molino ?
- ✓ DTC ?



- ✓ Diferentes tamaños diferentes precios.
- ✓ Contaminantes magnéticos ?

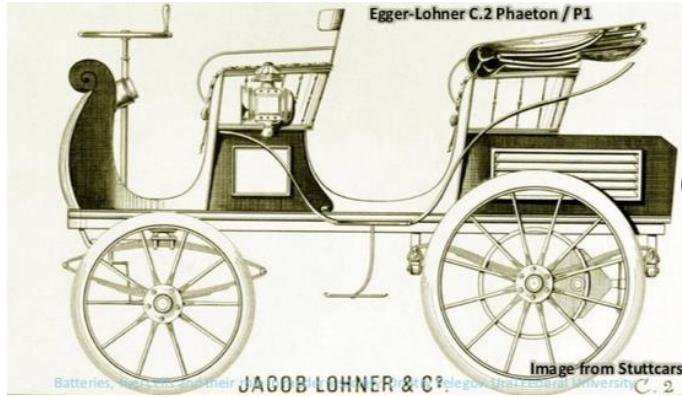
EMBALAJE

- ✓ Embalaje al vacío?
- ✓ Transporte ?
- ✓ Normas ?





AUTOS ELECTRICOS HISTORIA



1898 PRIMER AUTO ELECTRICO (F. PORSCHE)

BATERIA DE PLOMO ACIDO 0,6 kW*h (44 celdas, 80 V)
PRECIO DE AUTO 1914
 600 \$us Auto Gasolina
 1750 \$us Auto Electrico



AUTO ELECTRICO

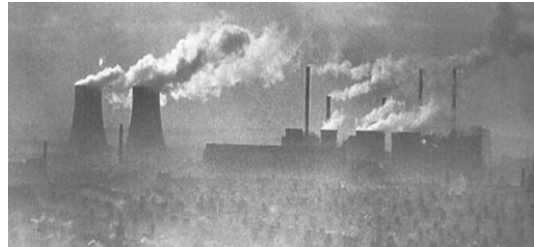
Bateria Grande

10 horas de calentador

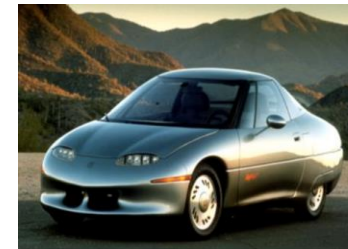
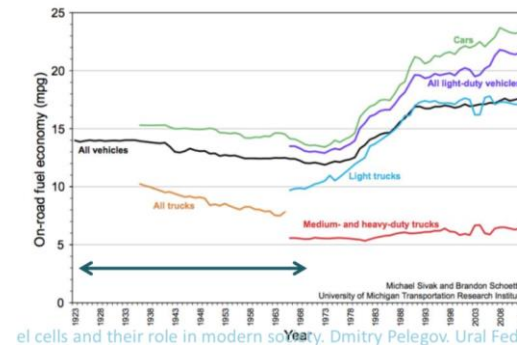
AUTO GASOLINA

Bateria Pequeña
 Motor gasolina
 Mas horas de calentador

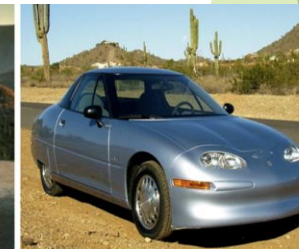
Mas eficiencia en la
 tranafrencia de calor



Air pollution in USA, 1960th



1990 GM Impact – a concept car



1996 GM EV1 – sales

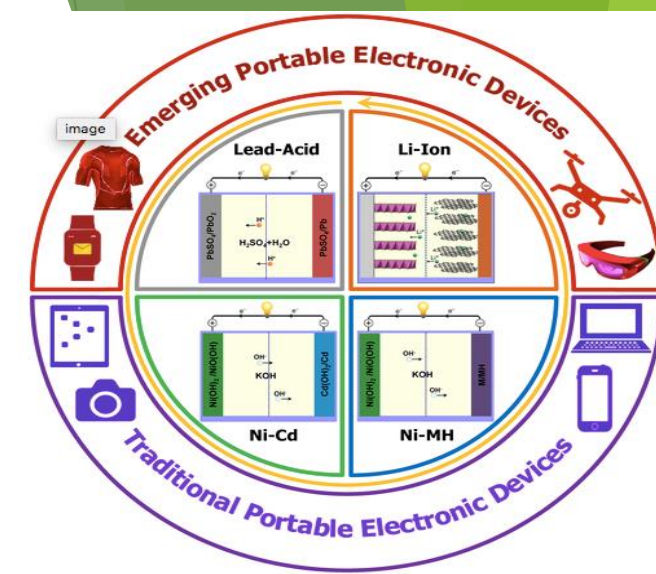


PRINCIPIOS BASICOS

BATERIAS PRIMARIAS (NO RECARGABLE)

BATERIAS SECUNDARIAS (RECARGABLE)

CELDAS COMBUSTIBLES (GENERA ENERGIA ELECTRICA)



PLOMO ACIDO

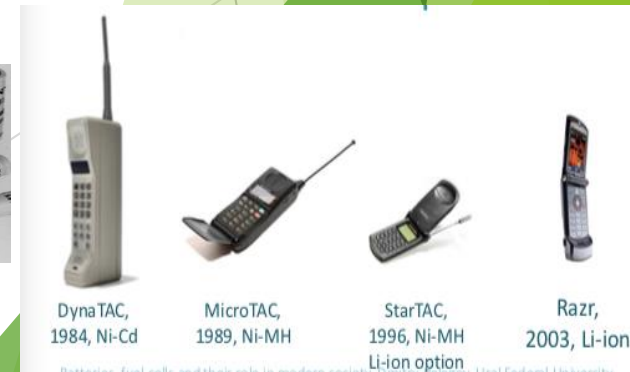
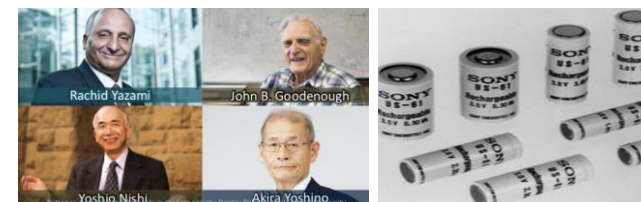
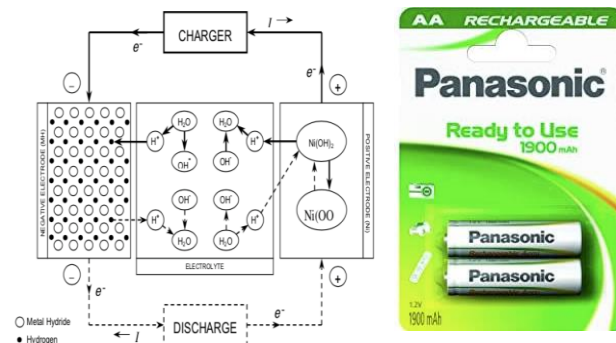
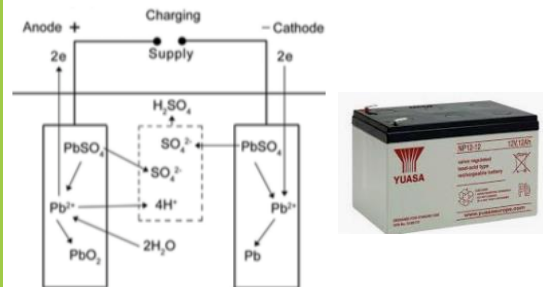
Pb 1859
Energia Especifica 45 W*h/Kg
Ciclos: 200 ciclos
Sobre carga: 2,4 V
Eficiencia: 50 a 95%
Descarga: 1% por dia

NIQUEL

Ni Cd 1899 Ni Fe 1901 Ni MH 1967
Ni Cd Energia Especifica 80 W*h/Kg
Voltaje: 1,2 V
Descarga Ni Cd: 10% por dia
Descarga Ni Fe: 30% por dia
Descarga Ni MH: 50% por dia
Descarga LSD Ni MH: 3% por dia
Toxicidad Cd: alta
Efecto memoria

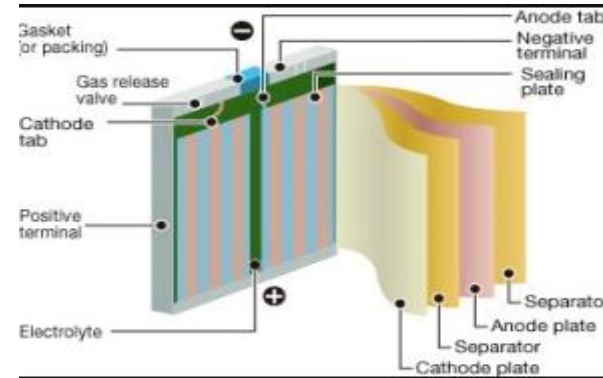
LITIO

Li ion 1980
MIZUSHIMA, JONES, WISEMAN, GOODENOUGH
PRIMERA BATERIA DE LITIO 1985
AKIRA (ASAHI KASEI Corp.)
VENTA DE BATERIAS DE LITIO 1991
SONY
LCO
Voltaje: 3,6 V
Capacidad Especifica: 200 W*h/kg
Efecto memoria: NO

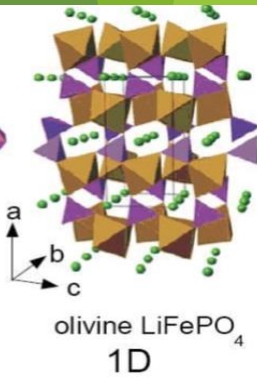
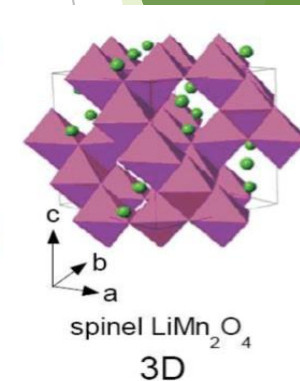
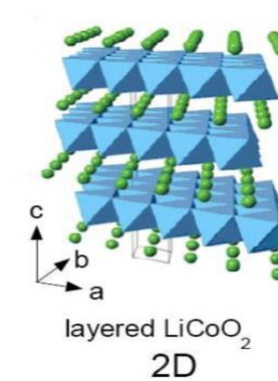


BATERIAS SECUNDARIAS DE ION LITIO

PARTES DE UNA BATERIA

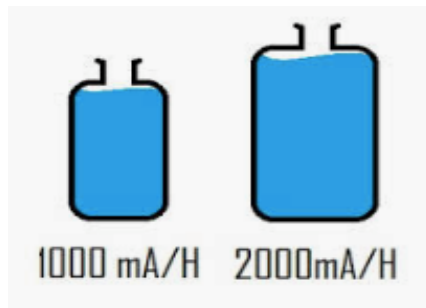


LCO	140 mAh/g	4,2 V
LMO	120 mAh/g	4,1 V
LFP	160 mAh/g	3,45 V

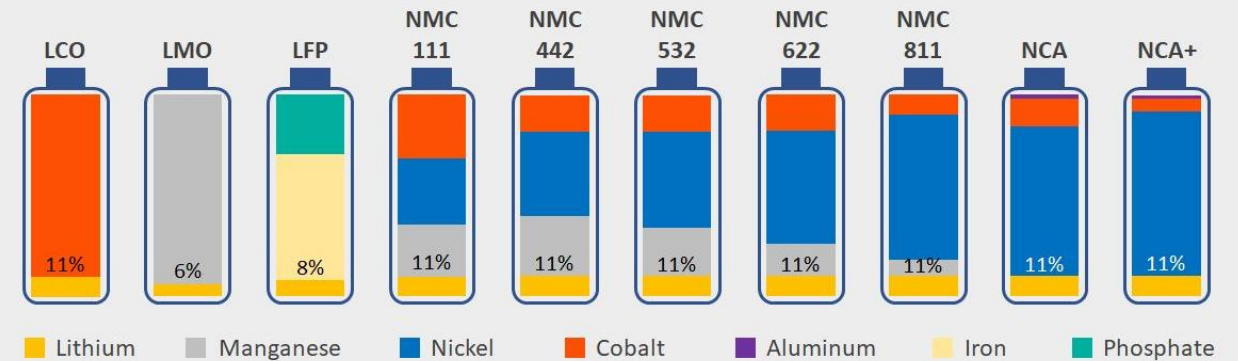


PARAMETROS DE COMPARACION DE UNA BATERIA

Energia Especifica
Precio/Toxicidad
Ciclabilidad
Carga
Voltaje
Seguridad



Lithium Weightage in Different Lithium-ion Batteries Chemistry Type

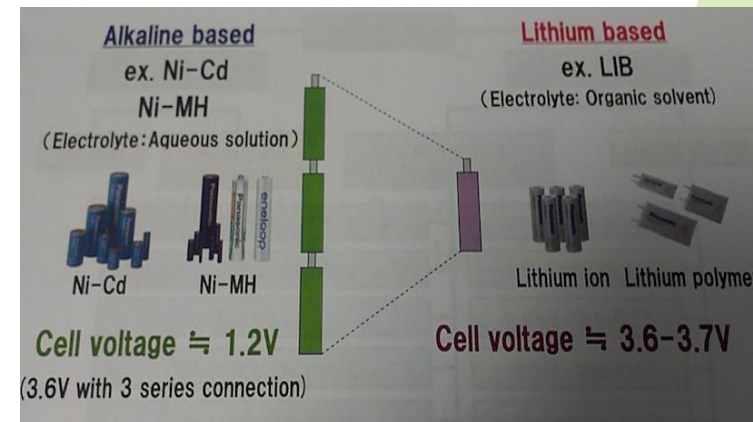
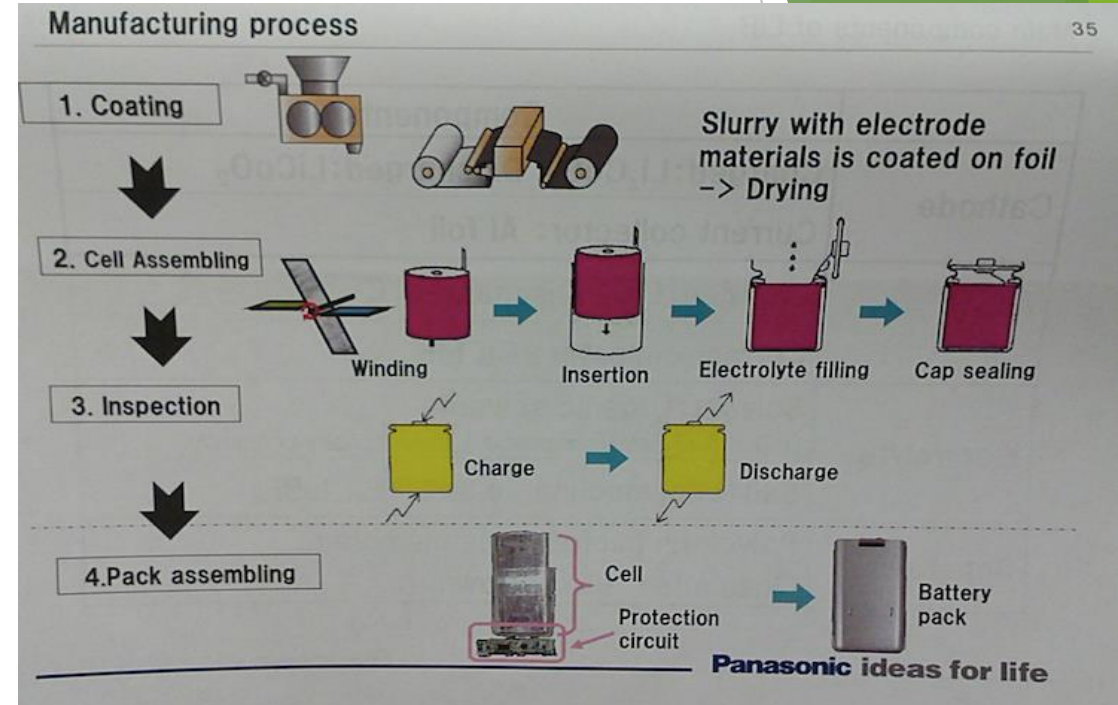


Not All Lithium Are the Same

PLANTA DE ENSAMBLAJE DE BATERIAS

Empresa: PANASONIC
SANYO Green Technology
Capacidad de la planta: 1,5 MW
310.000 Celdas

Tipo de celda: 18650
Inicio de operaciones: 2010



DIMENSIONES DE BATERIAS PARA AUTOBUSES EN EL MERCADO

América del Norte



215 kWh (9m)
266 kWh (10m)
352 kWh (12m)
446 kWh (18m)



76 kWh (12m)



Xclesior 35ft (10m)

- 100, 150, 200, 394 and 492 kWh

Xclesior 40ft (12m)

- 100, 150, 200, 394, 492 and 590 kWh

Xclesior 60ft (18m)

- 250, 689 and 885 kWh



Catalyst 35ft (10m)

- 220 kWh (XR)
- 440 kWh (E2)

Catalyst 40ft (12m)

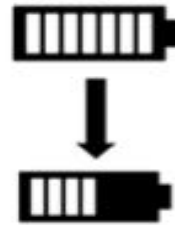
- 220 kWh (XR)
- 440 kWh (E2)
- 660 kWh (E2 max)



Estacion de carga con conector Tipo enchufe vs Carga en ruta



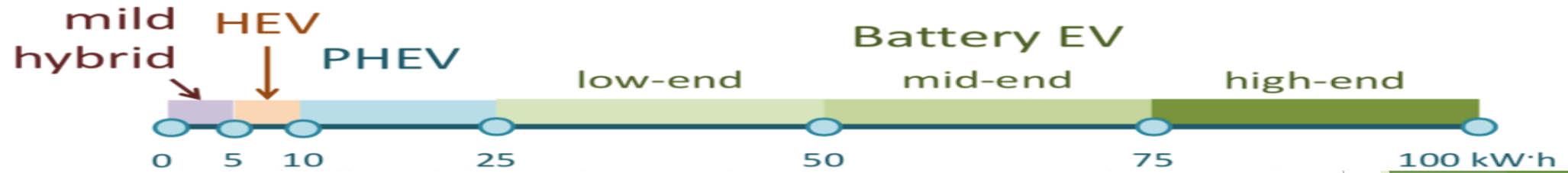
Estación de carga con conector tipo enchufe



Carga rápida en ruta con pantógrafo

- La carga rápida expone las celdas de la batería a un voltaje (V) y amperaje (A) más altos para reducir el tiempo de carga:
 - Celdas de batería expuestas a temperaturas más altas
 - Aumento de la carga parasítica para la gestión térmica
 - Mayor tasa de deterioro cíclico
- La carga rápida acelera la degradación de la batería
 - 1 a 1.5% por año (carga lenta)
 - 3 a 5% por año (carga rápida)
- NREL y otros modelos en desarrollo para predecir la degradación de la batería

AUTOS ELECTRICOS



1 kW·h ≈ 5 km

\$100/kW·h

Panasonic battery
for Tesla Model S:

>\$180 / kW·h

LG Chem cell
for GM Bolt:

\$145 / kW·h

Dr. Peter Mertens
Audi AG Board of
Management:

≈ \$112 / kW·h



Battery Degradation Warranties

Model	Period	Capacity
BMW i3	8yr/100K miles	70%
Chevrolet Bolt EV	8yr/100K miles	60%
Fiat 500e	None - degradation specifically excluded	
Ford Focus Electric	None - degradation specifically excluded	
Kia Soul EV	10yr/100K miles	70%
Mercedes B250e	8yr/100K miles	70% **
Mitsubishi i-MiEV	None - degradation specifically excluded	
Nissan Leaf (24 kW)	5yr/60K miles	9 bars *
Nissan Leaf (30 kW)	8yr/100K miles	9 bars *
Tesla (all)	None - degradation specifically excluded	
smart fortwo electric	unknown or not specified ***	
Volkswagon e-Golf	8yr/100K miles	70%



BYD Song



BYD e5



BYD Qin



BYD Tang

Gracias por su Atención

