LA INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

Ignacio Cruz Cruz. CIEMAT

Sesión Técnica 5: ENERGIA, EFICIENCIA y CAMBIO CLIMATICO

Mesa 2. Tecnología de almacenamiento. Gestión de materias primas y residuos

#CONAMA2022

Índice

1 Necesidad del almacenamiento de energía

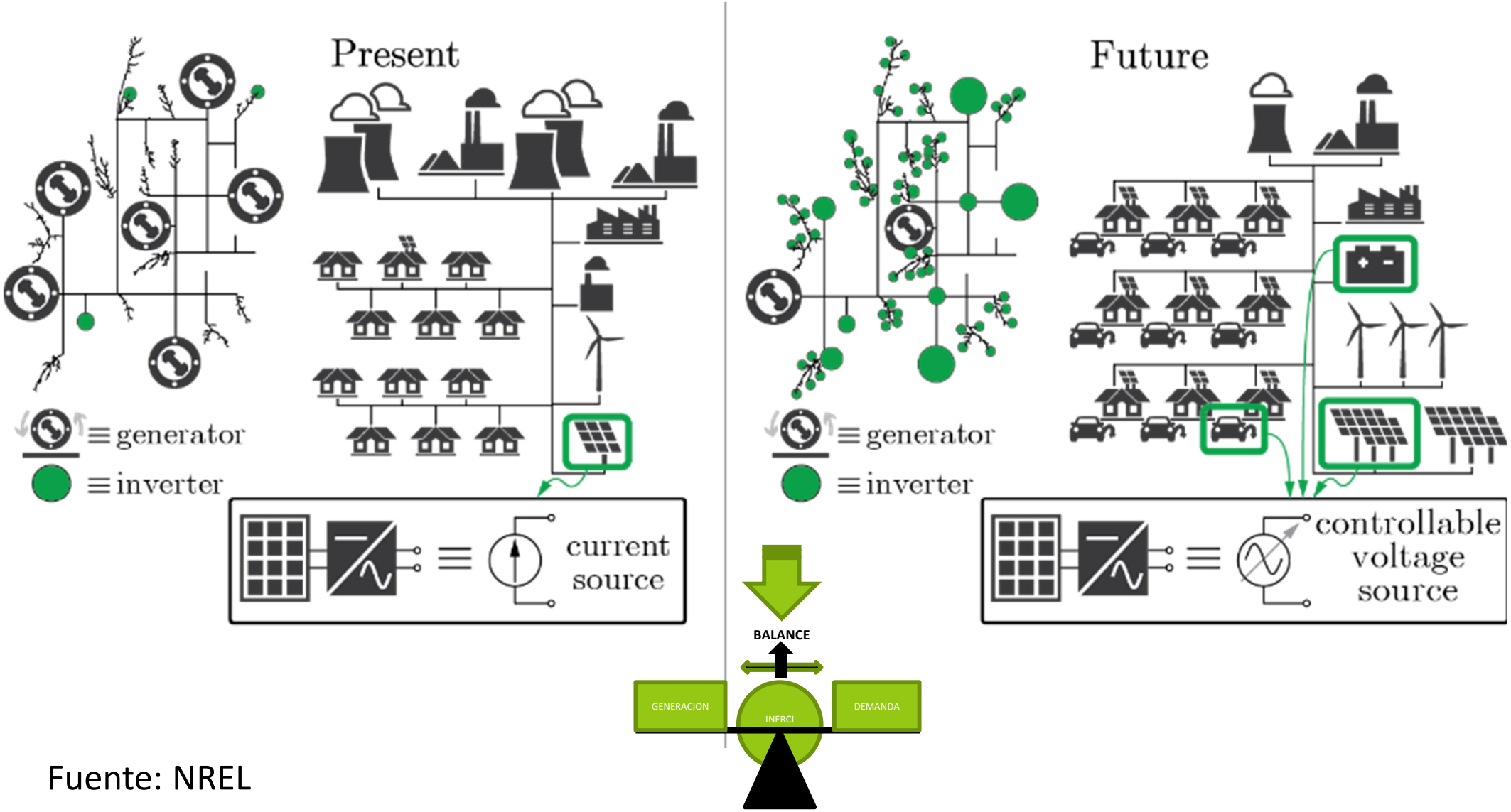
2 Tecnologías de almacenamiento de energía

3 Innovación en tecnologías de almacenamiento de energía

4 Conclusiones

01 NECESIDAD DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

Transición del sistema eléctrico



Fuente: NREL

Situación actual en España

- **Capacidad de generación renovable en España**

  2020: 59,4 GW (44%) **2030:** 116 GW (74%) **2050:** (100%)
- La **Estrategia de Almacenamiento de Energía** prevé que España cuente en **2030** con **20 GW** frente a los **8,3 GW actuales** (Bombeo hidráulico reversible **6 GW**, Térmico **0,9 GW** y Baterías **0,05 GW**), y con **30 GW** en 2050.
- Objetivo en almacenamiento estacional en bombeo hidráulico reversible: en 2030: **9,5 GW** (Aumentar en **3,5 GW**)
- Objetivo de almacenamiento diario en baterías en 2030: aumentar en **2,5 GW.**
- El almacenamiento térmico aumentara en 5,92 GW en 2030 asociado a las centrales termosolares.
- Se contempla un almacenamiento distribuido (residencial mas vehículo eléctrico)
- Hablamos en potencia pero lo importante es cuanta energía somos capaces de almacenar ahora y cuanta tendremos que ser capaces de almacenar en 2050?
- Se han celebrado dos subastas de **capacidad renovable** a las que se podían presentar proyectos de almacenamiento, siempre que fueran para almacenar la energía producida en una determinada instalación verde.

Que ocurre si no se despliega suficiente almacenamiento?

- Habrá que aumentar la capacidad renovable instalada.
- Crecerán los vertidos de energía (Curtailment) debidos especialmente a los **altos índices de apuntamiento** de algunas fuentes, pero tambien al desacople entre la generación y la demanda.
- Dificultad para garantizar la seguridad de suministro de energía en todo momento.
- Si la generación de energía no es gestionable, habrá que maximizar las técnicas de gestión del lado de la demanda.
- Mantener una gran capacidad de respaldo basado en generación fósil (gas natural) con sistemas de secuestro, almacenamiento y uso de las emisiones.

Son los sistemas de almacenamiento sostenibles?

- Dependiendo del objetivo del sistema del almacenamiento (corto, medio o largo plazo), las tecnologías disponibles son diversas.
- Cada tecnología depende de materias primas determinadas, mas o menos costosas, con mayor o menor disponibilidad.
- La mayoría de los materiales utilizados e pueden reciclar pero en algunos casos los procesos son excesivamente costosos o no hay suficiente volumen para hacerlo rentables.
- La diversidad de aplicaciones (estacionarias, móviles) permite que se puedan utilizar de forma viable sistemas de almacenamiento de aplicaciones móviles en una segunda vida en aplicaciones estacionarias.

02 TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

Tecnologías de almacenamiento de energía

Químico

- Amoniaco
- Combustibles
- Hidrógeno
- Metanol
- Combustibles sintéticos
- Gas natural sintético

Electroquímico

Baterías clásicas

- Plomo-ácido
- Ion de litio
- Li-S
- Metal-aire
- Litio-polímero
- Ion de Sodio
- Ni-Cd
- Na-$NiCl_2$
- Na-S
- Ni-MH

Baterías de flujo

- Vanadio
- Zn-Br
- Zn-Fe

- Supercondensadores híbridos

Eléctrico

- Supercondensadores

Magnético

- Bobinas superconductoras (SMES)

Mecánico

- Aire comprimido Adiabático CAES
- Aire Comprimido Diabático CAES
- Aire líquido LAES
- Volantes de inercia
- Bombeo hidráulico

Térmico

- Calor latente
- Calor sensible
- Termo químico

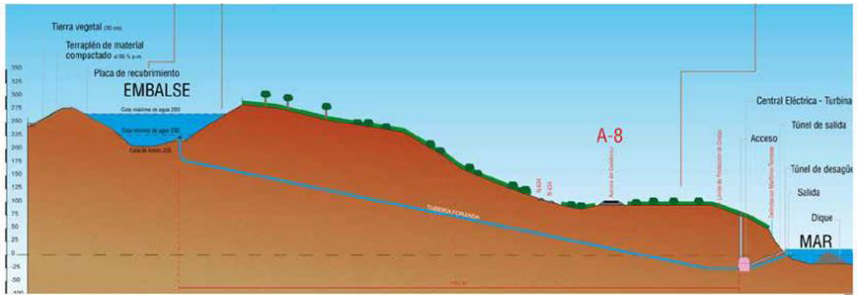
Fuente: EASE

03 INNOVACION EN TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO MECANICO HIDRAULICO REVERSIBLE

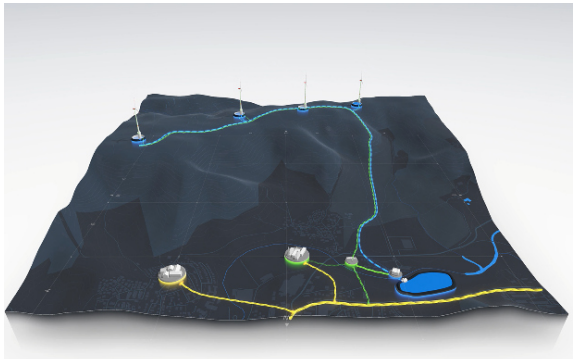
- Operación de turbinas a velocidad variable.
  - GS con convertidor de plena potencia
  - GA doblemente alimentado. (Grandes potencias)
- Bombeo de agua de mar, subterráneo, submarino o distribuido.

Bombeo hidráulico reversible con agua de mar.



Proyecto HIDROCALERAS (Cantabria)

Bombeo hidráulico reversible distribuido.



Proyecto en Gaildorf, Alemania

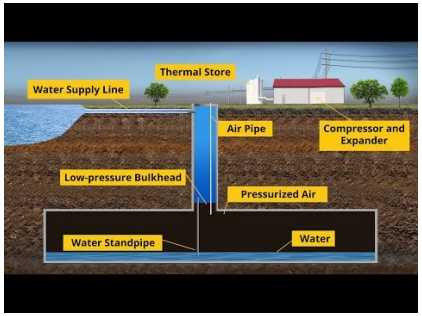
Bombeo hidráulico reversible centralizado

Proyecto Chira-Soria Gran Canaria

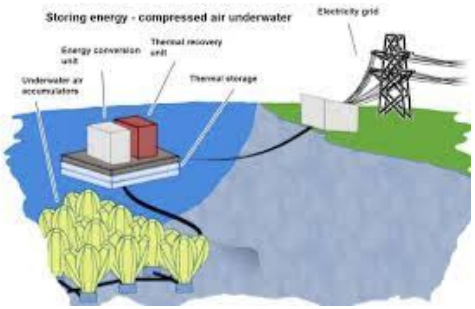
Proyecto isla de Hierro

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO MECANICO AIRE COMPRIMIDO

- CAES subterráneo adiabático
  - Sistemas híbridos: BIOCAES
- CAES submarino adiabático
  - HYDROSTOR https://www.hydrostor.ca/
- CAES Subterráneo isotermo
  - AIRBATTERY



Hydrostore Terra

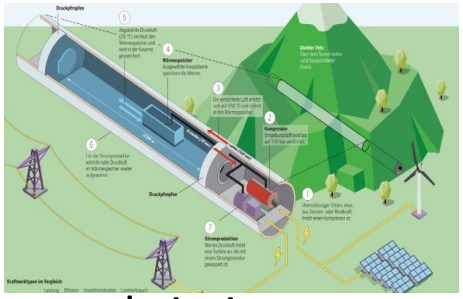


Revolution-green.com

ADELE-ING (Staβfurt, Alemania)

- Primer prototipo de ciclo adiabático AA-CAES (Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage) en un domo salino
- Potencia instalada: 90 MW
- Capacidad de almacenamiento: 360 MWh
- Rendimiento: 70 %.
- La puesta en marcha está prevista para 2020 **(Pospuesto)**

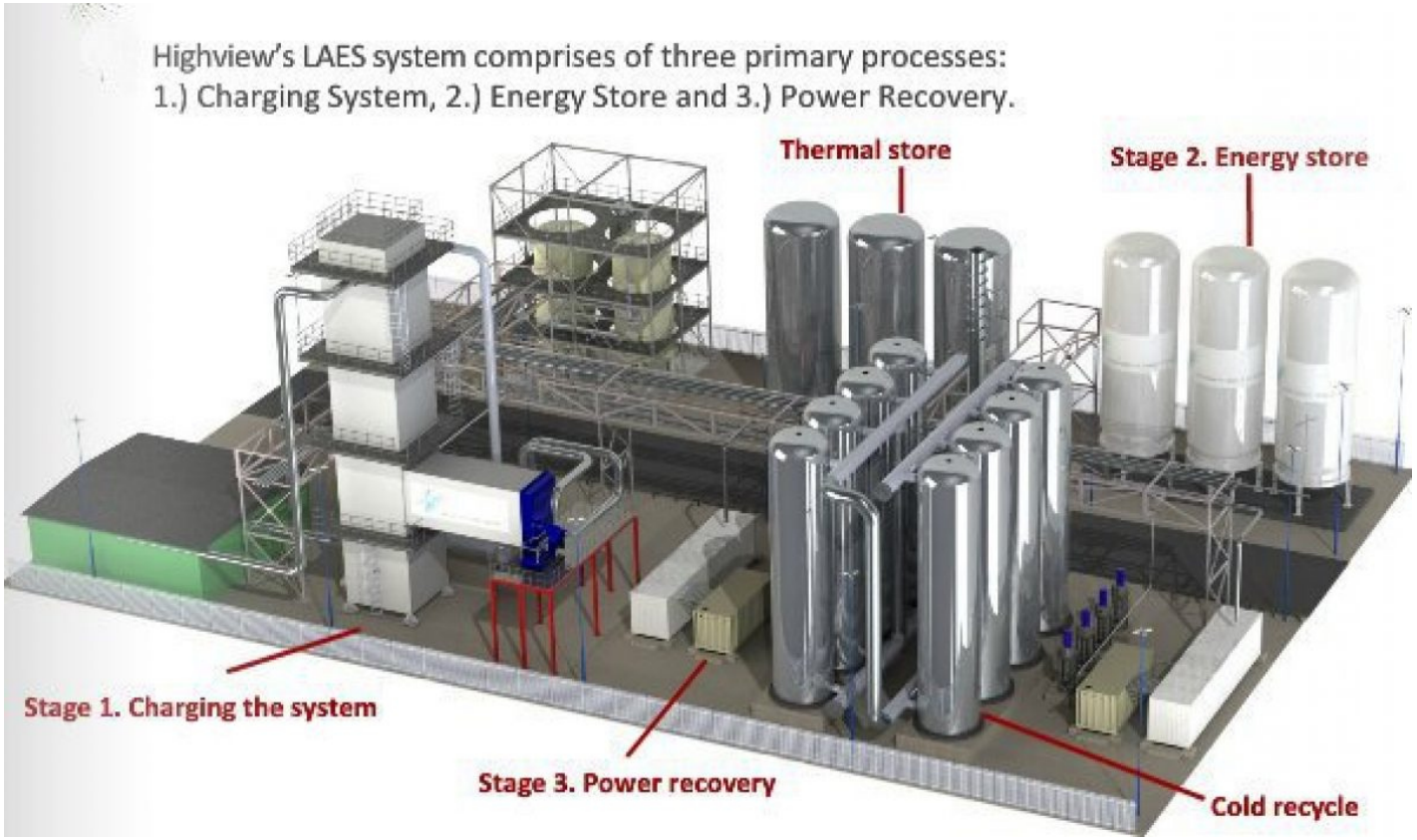
ALACAES (Sur de Suiza)



- Primera planta piloto AA-CAES del mundo.
- Pretende demostrar la capacidad de cavernas excavadas en roca dura para soportar cargas de presión cíclicas.
- Evaluar la estanqueidad de dichas cavernas sin ningún tipo de recubrimiento.
- Investigar el desempeño de un TES (Thermal Energy Storage) sensible de lecho de rocas.

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO MECANICO AIRE LIQUIDO

Planta de almacenamiento LAES de Trafford Energy Park Manchester (Reino Unido)
Potencia de salida: 50 MW
Capacidad: 250 MWh (5 horas a potencia nominal)
Coste: 85 M£
Puesta en marcha: 2022



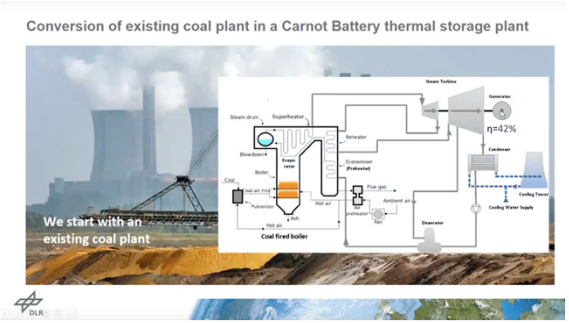
Fuente: Highview Power

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO TERMICO MEDIANTE SALES FUNDIDAS (Y ANTICONGELANTE)

- Para la aplicación de energía eléctrica se prevé el desarrollo de sistemas de almacenamiento térmico a mayor temperatura mediante nuevos materiales:
  - para T> 600ºC para permitir la implementación de ciclos Rankine de vapor supercrítico
  - para T> 750ºC es necesario para plantas torre con ciclos de CO2 o Brayton
- Para promover el uso industrial del calor solar industrial se prevé el desarrollo de sistemas de almacenamiento térmico a temperaturas medias (200-.300ºC) basados en calor latente (materiales de cambio de fase, PCM) o la entalpía de reacciones químicas reversibles (almacenamiento de energía termoquímica, TCS) .

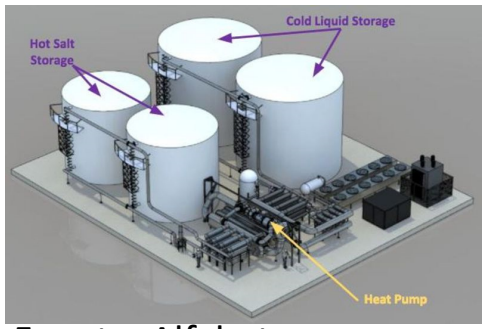
Batería de Carnot

- Se pretende utilizar las centrales térmicas de carbón en desuso como sistema de almacenamiento de energía
- Se retira la caldera y se sustituye por una bomba de calor de alta temperatura.
- Se instalan tanques de sales con capacidad para 5 a 12 horas.
- La energía se convierte en calor a una temperatura entre 90 °C y 500 °C usando la bomba de calor.
- Cuando se requiere la energía se genera vapor a partir del calor de las sales y se turbina en la antigua turbina de vapor de la central.



Proyecto MALTA

- La energía eléctrica a almacenar acciona una bomba de calor que convierte esta energía en energía térmica a distinta temperatura
- El sistema dispone de **cuatro tanques** conectados mediante tuberías a la bomba de calor.
- Dos de estos tanques están llenos de **sal,** mientras que los dos restantes tienen **anticongelante o líquido hidrocarbonatado**.
- El calor generado por la bomba de calor se almacena en la **sal fundida** y el frío en el **anticongelante.**
- Cuando se requiere hacer uso de la energía almacenada, la diferencia de temperatura entre la sal y el líquido anticongelante generan energía eléctrica mediante un motor térmico,



Fuente: Alfabet.

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO TERMICO MEDIANTE ROCA

Proyecto FES de SIEMENS

Charging cycle
(resistive heating)

Resistive heating → Heat storage

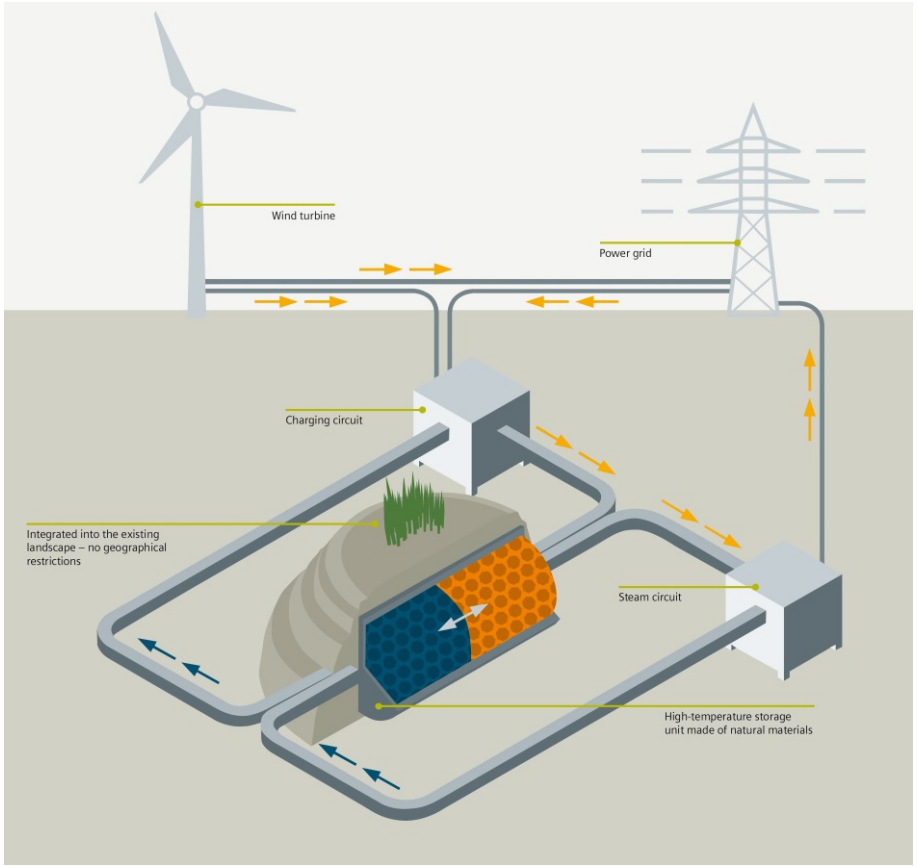
Discharging cycle
(steam power plant)

Heat storage → G → Steam turbine

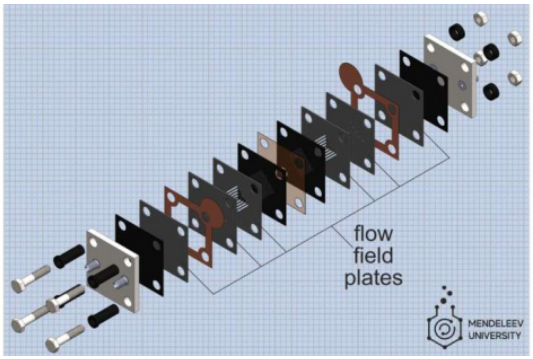
Development steps

- High temperature storage: proof of concept ✓
- Demonstrator (2018): 1.2 MW / 1 d* / η ~ 25%
- Pilot plant (2020): ~30 MW / 1-3 d* / η ~ 35%
- Large scale storage (202X): 100 MW / 2-7 d* / η ~ 50%

*Continuous discharge time



INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN BATERIAS



- Nuevos materiales
  - Cátodos avanzados
  - Nuevos electrolitos
- Tecnologías nuevas y emergentes.
  - **Baterías de flujo** de gran capacidad (Nuevas MEA)(hasta 800 MWh)
  - Litio-Azufre
  - Lítio-Sodio
  - Metal-Aire
  - **Estado sólido**
- Diseño y fabricación **eco-eficiente.**
- Carga rápida (transporte)
- **Segundo uso de la batería (transporte)**
- **Uso de materiales sostenibles. (Procesado, extracción,..)**
- **Reciclado de baterías.**
- Baterías inteligentes

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN BATERIAS

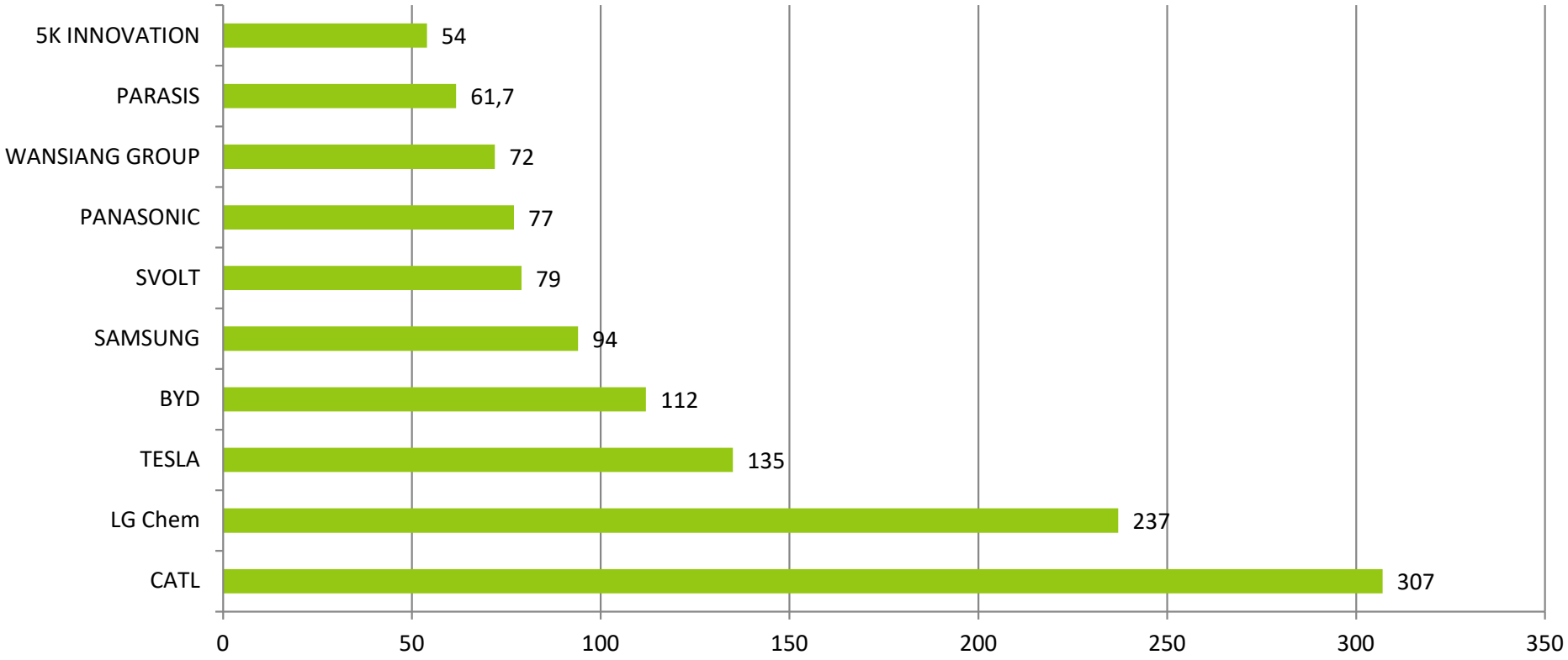
	ION-LITIO (ENERGÍA)	ION-LITIO (POTENCIA)	FLUJO DE VANADIO	FLUJO DE ZINC-BROMO	METAL-AIRE	SODIO-ION (NA-ION)	LITIO-AZUFRE (LI-S)
Capacidad: Energía específica (Wh/kg) o Potencia específica (kW/kg)							
2019	<240 Wh/kg	3 kW/Kg	10 - 20 Wh/kg	50 - 60 Wh/kg	700 Wh/kg	90 Wh/kg	350 Wh/kg
2030	180 - 350 Wh/kg	>5 kW/Kg	20 - 40 Wh/kg	>60 Wh/kg	700 - 1.000 Wh/kg	120 - 140 Wh/kg	>500 Wh/kg
Número de ciclos							
2019	2.000	10.000	>10.000	>2.000	150	>5.000	60 - 100
2030	>10.000	>15 años	>10.000	>10.000	>3.000	>10.000	>3.000
Temperatura (ºC)							
2019	–20ºC a +60ºC	–10ºC a +60ºC	–30ºC a 60ºC	+10ºC a +40ºC	–	–	–
2030	–20ºC a +70ºC	–20ºC a +70ºC	> 100ºC	>100ºC	–	–	–

Fuente: Naturgy, PwC, Ciemat

https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/el-papel-del-almacenamiento-en-la-transicion-energetica/

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN BATERIAS

Estimación de la capacidad acumulada de producción de baterías de Iónes de litio en 2028 por fabricantes
(En GWh)

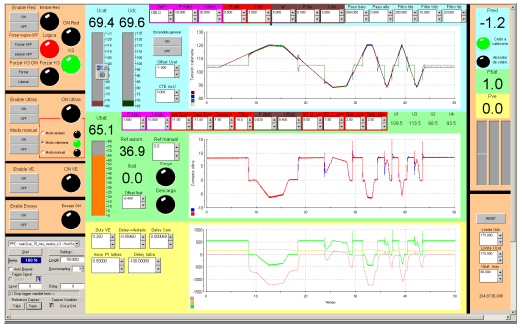


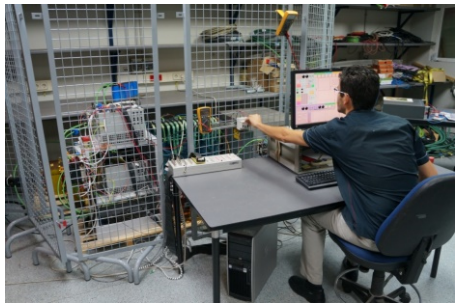
Fuente: Lithium ion battery production capacity by company 2028
Published by Statista Research Department, Aug 2, 2021

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN SUPERCONDENSADORES

Proyecto TRAIN2CAR

- “Sistema de aprovechamiento de la energía eléctrica regenerada por un tren o disponible en catenaria, por parte de un vehículo eléctrico y, procedimiento asociado”.



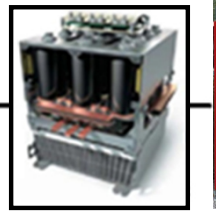


Catenary connection

Supercapacitors
1MW, 2.5kWh

Conexión c

Energy Management



DC/AC converter

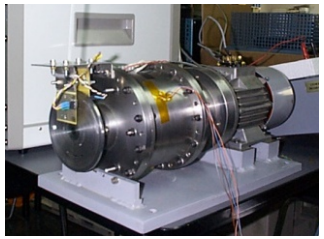
Electric vehicles

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN | Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

- Nuevos supercondensadores de carbono esponjoso /electrodo de grafeno con poros

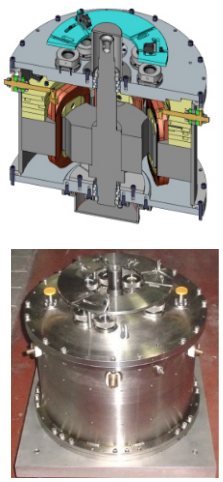
INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN VOLANTES DE INERCIA

Evolución del I+D en volantes de inercia en CIEMAT

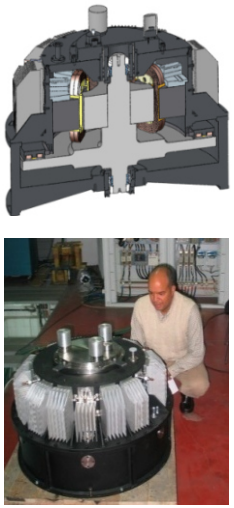


1999 First prototype of high speed electric machine **2kW**, 10.000rpm

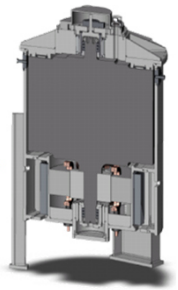
2001 SEDUCTOR Wind-Diesel isolate systems **50kW** 30.000rpm



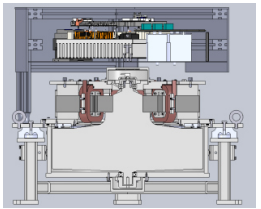
2004 OMEGA-M Electric machine **120 kW**, 9.600 rpm



2007 OMEGA Electric machine **120 kW, 4MJ**,(1,4 kWh) 9.600 rpm 1,2 min



2010 SA2VE: Railway substation. **200kW, 50MJ**,(13,8 kWh) 6500rpm 6 min



2012 ACEBO Renewables and SmartGrids **25kW, 10MJ**, (2,78 kWh) 13.000rpm 11 min

Foso de seguridad y máquina de aceleración para ensayo de volantes de inercia a alta velocidad de rotación (60,000 rpm)

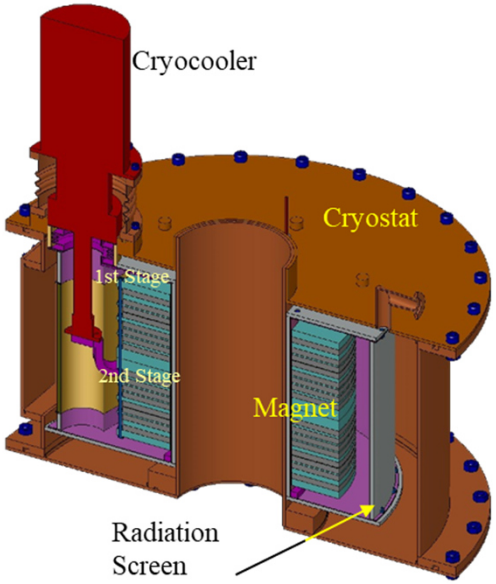
GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN · Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN BOBINAS SUPERCONDUCTORAS

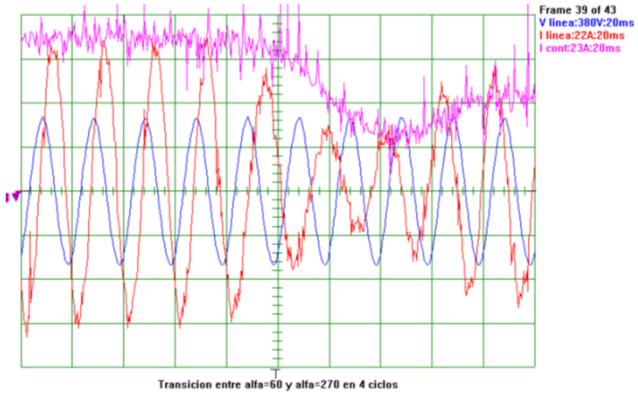
Desarrollo de un SMES en proyecto AMAS 500 –(1997)

- Diseño electromagnético de la bobina superconductora
- Diseño de electrónica de potencia (CSI)
- Simulación completa del sistema
- Estrategia avanzada de control para convertidor (SVM-CSI)
- Desarrollo experimental de las pruebas en laboratorio

Stored Energy	1MJ
Self-Inductance	2 H
Rated Power	500 kVA
Rated Current	1000 A
Rated Voltage	500 Vdc



Instalación SMES 1 MJ



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN HIDROGENO

- **Electrolizadores: Energía eléctrica necesaria por Kg de Hidrógeno:**

ALCALINO		PEM	
2017	**2025**	**2017**	**2025**
51	**49**	**59**	**52**

Fuente: IRENA

- **Mayores electrolizadores desarrollados actualmente:**
  - 6 MW HP PEM Siemens Silyzer.
  - 2 MW PEM ITM Power Hgas XMW.
  - 4 MW HP ALK MacPhy McLyzer.
- Electrolizadores en desarrollo: **20 MW** (4 módulos de 5 MW)
- Escenario europeo futuro: entre **400 y 511 GW** EZ en 2050
- Objetivo del Pacto Verde: Desarrollar electrolizadores de mayor potencia. (> 100 MW)
- Proyecto para producir hidrógeno verde a gran escala en Holanda
  - Electrolizador de 100 MW para producción de amoniaco para fertilizantes.
  - Fuente: Energía eólica marina
  - Promotores:
    - Empresa química: Yara Internacional (Noruega)
    - Empresa eléctrica: Orsted (Dinamarca)

INNOVACION EN ALMACENAMIENTO EN HIDROGENO

Almacenamiento de Hidrógeno en grafeno

Se están identificando de forma precisa los parámetros que influyen en la capacidad de almacenamiento de hidrógeno en muestras de grafeno

Almacenamiento electro-químico de energía en forma de combustibles:

Transformación del excedente de electricidad renovable en compuestos químicos vía **co-electrolisis** de CO_2 y H_2O:

La **electrolisis de H_2O** en el **ánodo genera H^+** que atraviesan el **electrolito sólido** y **reaccionan con CO_2 en el cátodo** para producir **CO, CH_4, metanol, DME o hidrocarburos**, dependiendo de temperatura de operación del electrolito.

La energía requerida para la **electrolisis de H_2O** (endotérmica) es proporcionada por la **hidrogenación de CO_2** (exotérmica)

Almacenamiento electro-químico de energía en forma de combustibles: (Green Gas)

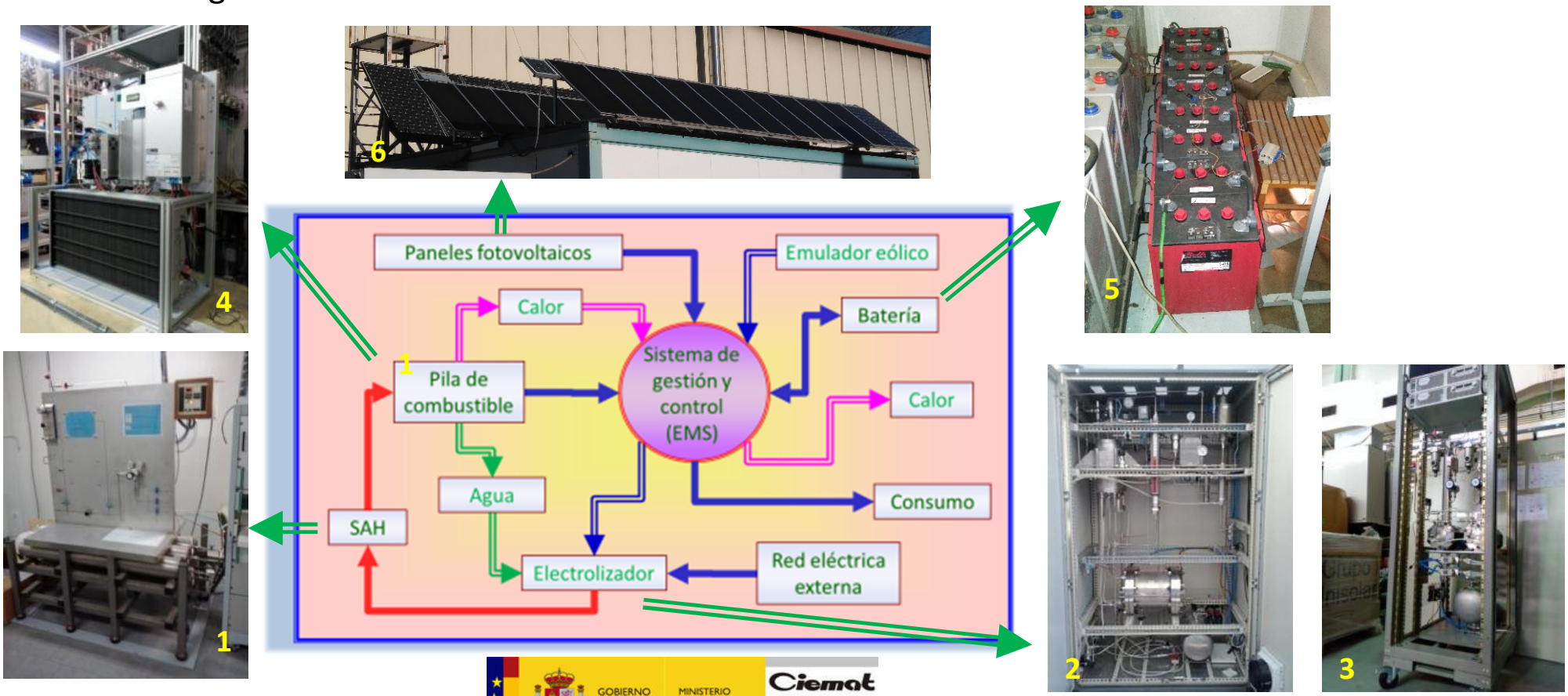
Hidrogenación de CO_2 a hidrocarburos combustibles (CH_4 o SNG, metanol, DME, gasolinas) de mayor densidad energética que el H_2 con infraestructuras de transporte, almacenamiento y aprovechamiento energético disponibles. Power to Gas (CH_4), Power to Liquid (CH_3OH, DME, gasolinas, combustible de aviación).

Hidrogenación de un compuesto orgánico insaturado como almacenador de hidrógeno (LOHC, "*Portadores de Hidrógeno Orgánicos Líquidos*"), fácilmente transportable, que por posterior des-hidrogenación produce H_2 en el punto de utilización. Ciclo Tolueno-Metil-ciclohexano como transportador de H_2.

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

Almacenamiento en hidrógeno + baterías:

- Baterías Rolls: Capacidad 430 Ah a 48 Vdc
  - Se alimentan de un bus de corriente continua a 48 Vdc alimentado por **paneles solares** (6 kWp) (6), **emulador eólico** (6 kW) y **pila de combustible** (5 kW).
  - Alimenta **al electrolizador** que esté conectado (Acta o Claind) y un consumo simulado mediante una carga electrónica o el consumo eléctrico del laboratorio mediante un inversor de corriente.

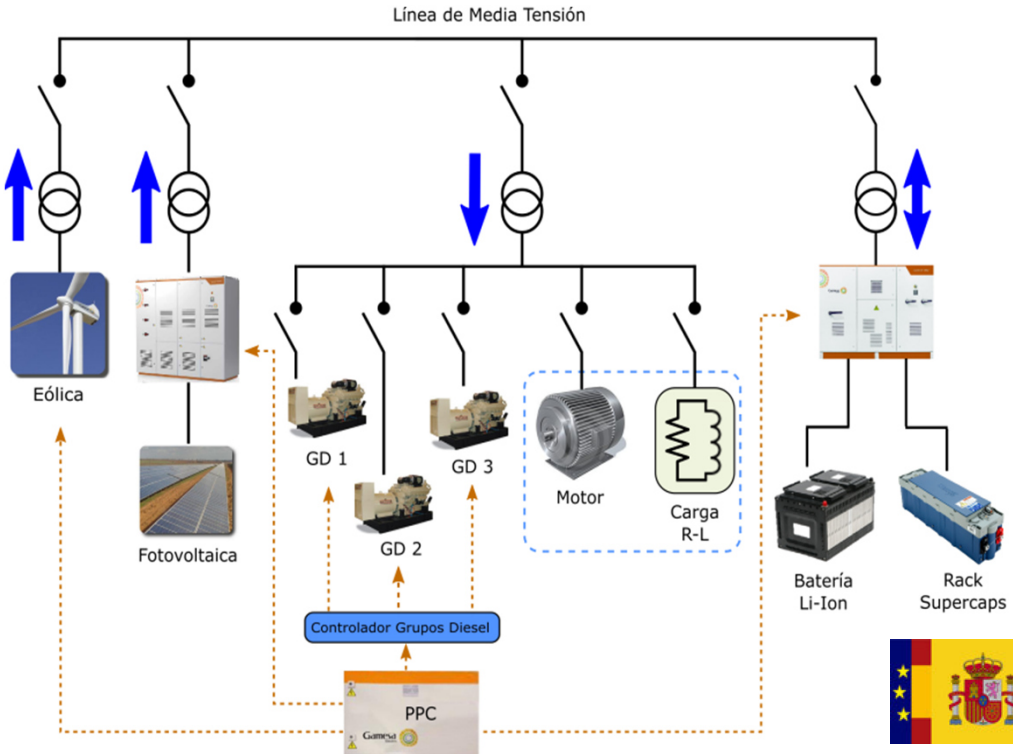


INNOVACION EN ALMACENAMIENTO HIBRIDO

Almacenamiento en baterías + supercondensadores:

El proyecto **SH2**

Se desarrolló un convertidor cargador/descargador de un sistema híbrido de almacenamiento (baterías + supercondensadores) con adecuada capacidad de filtrado activo.



Almacenamiento en Hidrógeno + Bobina superconductora:

Sistema LIQHYSMES

- Nuevo concepto de almacenamiento de energía híbrido multifuncional. Combina el uso de hidrógeno líquido como portador de energía masivo con un almacenamiento de energía magnética en una bobina superconductora (SMES) mucho más rápido y eficiente.
- La Unidad de Almacenamiento LIQHYSMES LSU integra licuefacción y almacenamiento de H2 así como el SMES refrigerado con LH2

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN · Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

03 CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Existen múltiples tecnologías de almacenamiento de energía con distintas características útiles para las distintas problemáticas identificadas en la transición del sistema energético.
- Las necesidades del sistema energético requieren de sistemas con distintas escalas de tiempo de respuesta, potencias y capacidades.
- El I+D+i en tecnologías de almacenamiento es prioritario para lograr el objetivo de descarbonización de la energía.
- Se prevé que las soluciones de almacenamiento hibridas se vayan imponiendo progresivamente.
- La sostenibilidad se considera en el el diseño de los sistemas de almacenamiento cada día mas por razones medioambientales y económicas (Escasez de materias primas)
- La técnicas de segundo uso de los sistemas de almacenamiento (baterías) permitirán aumentar su viabilidad y sostenibilidad.
- Es necesaria una reducción de costes que se lograra a través de una regulación clara y estable que facilite el desarrollo de un mercado predecible.

¡Gracias!

Ignacio Cruz
ignacio.cruz@ciemat.es