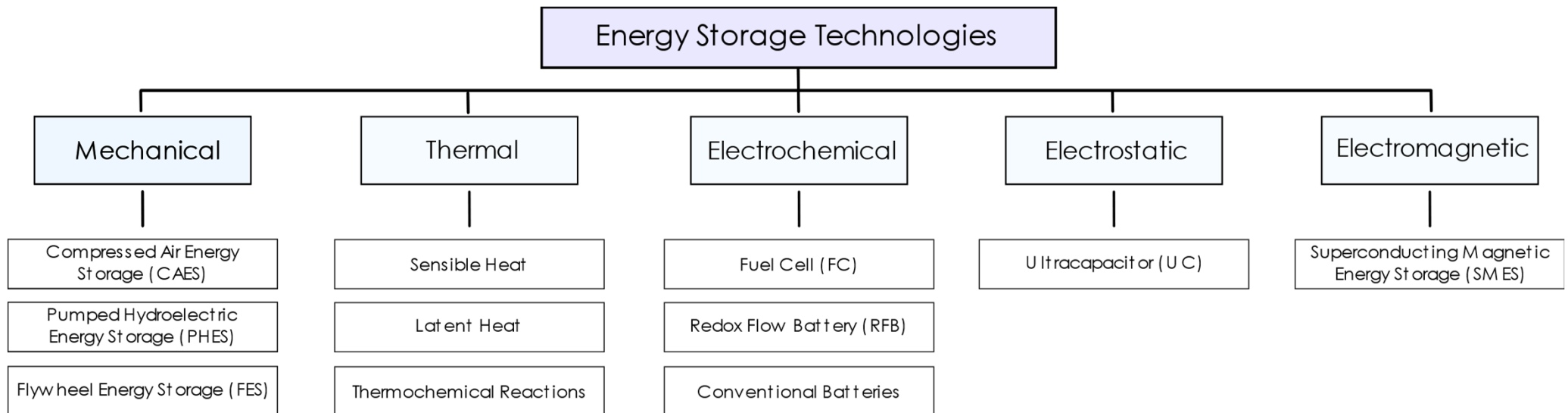


Almacenamiento de energía mecánica

Tecnologías de almacenamiento de energía.



E. Garayalde, *Sistemas híbridos de almacenamiento de energía mediante convertidores electrónicos de potencia*

Almacenamiento de energía mecánica

El almacenamiento mecánico domina el mercado del almacenamiento de energía debido al almacenamiento hidroeléctrico por bombeo, 99%

Diferentes formas de energía: la energía mecánica utiliza energía potencial y formas de energía cinética para almacenar energía.

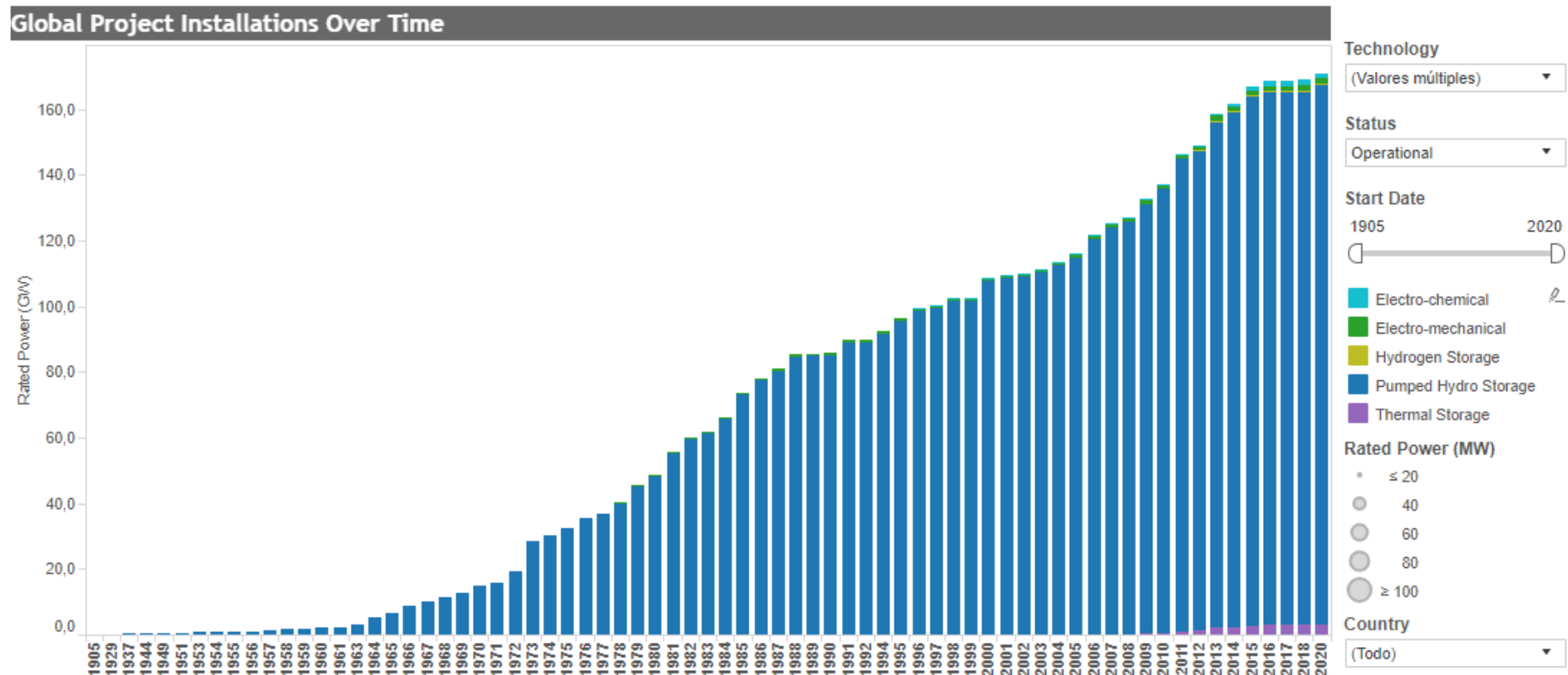
- La energía potencial es la energía de un objeto en un campo de fuerza debido a su posición y masa, típicamente en nuestro planeta, debido a su altura, es la energía potencial gravitacional.
- La energía cinética es la energía de un objeto debido a su movimiento. Un objeto se acelera y mantiene esta energía hasta que otra energía lo detiene.

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)

Con diferencia, la tecnología ESS más instalada en todo el mundo

DOE Global Energy Storage Database

Last Updated 16/8/2016 20:25:38 ()



http://www.energystorageexchange.org/projects/data_visualization

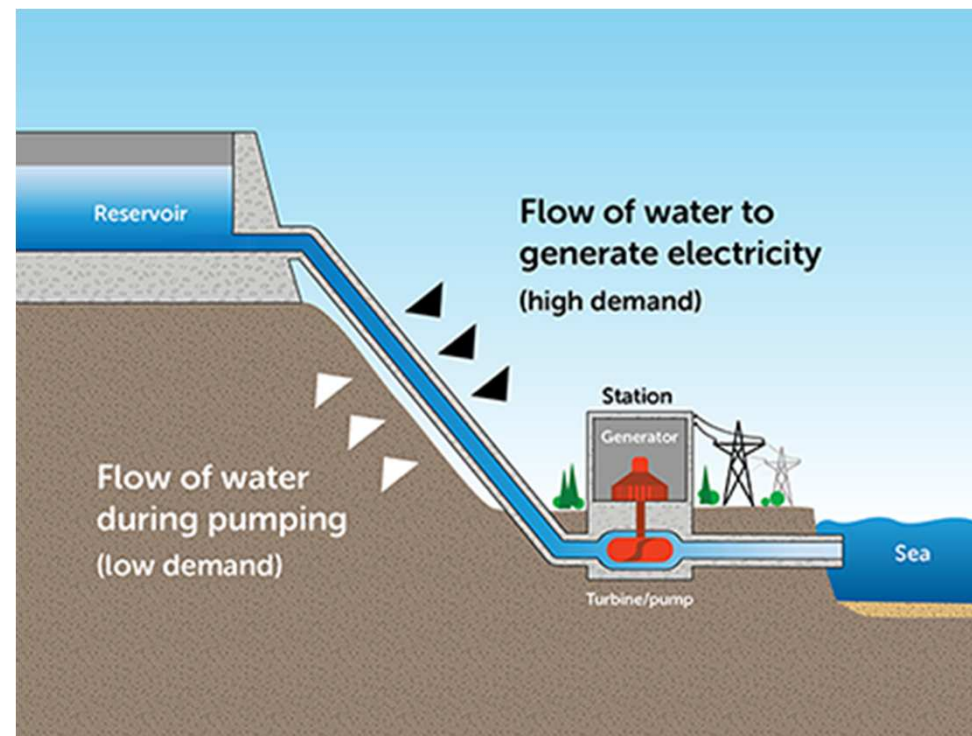
Hidroeléctrica de bombeo (PHES)

Instalación compuesta por depósito superior e inferior

Dos tipos principales: terrestres y subterráneos.

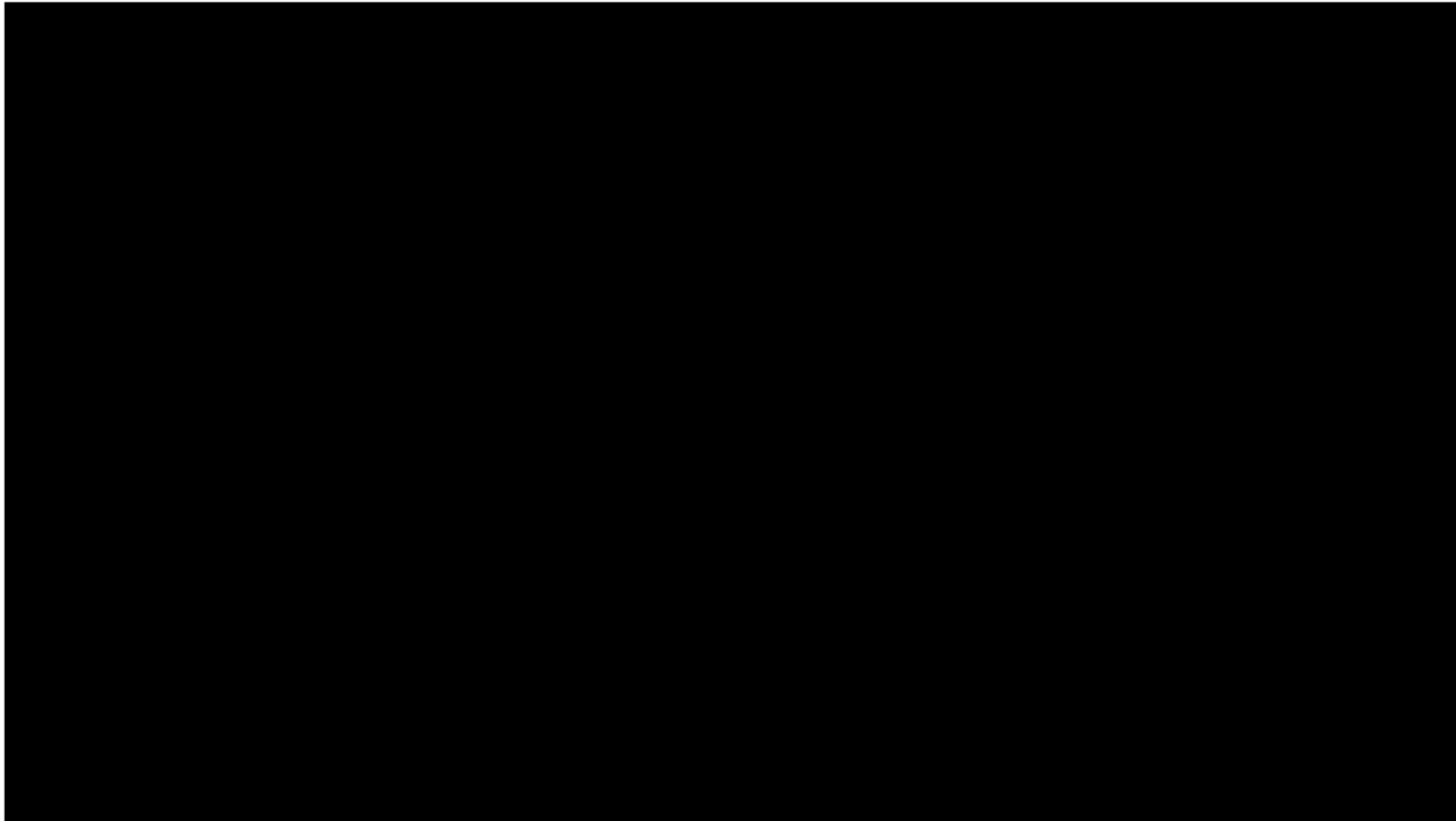
El agua se bombea al depósito superior y la energía se almacena como energía potencial.

PHES se utiliza normalmente para regulación primaria (voltaje/frecuencia)



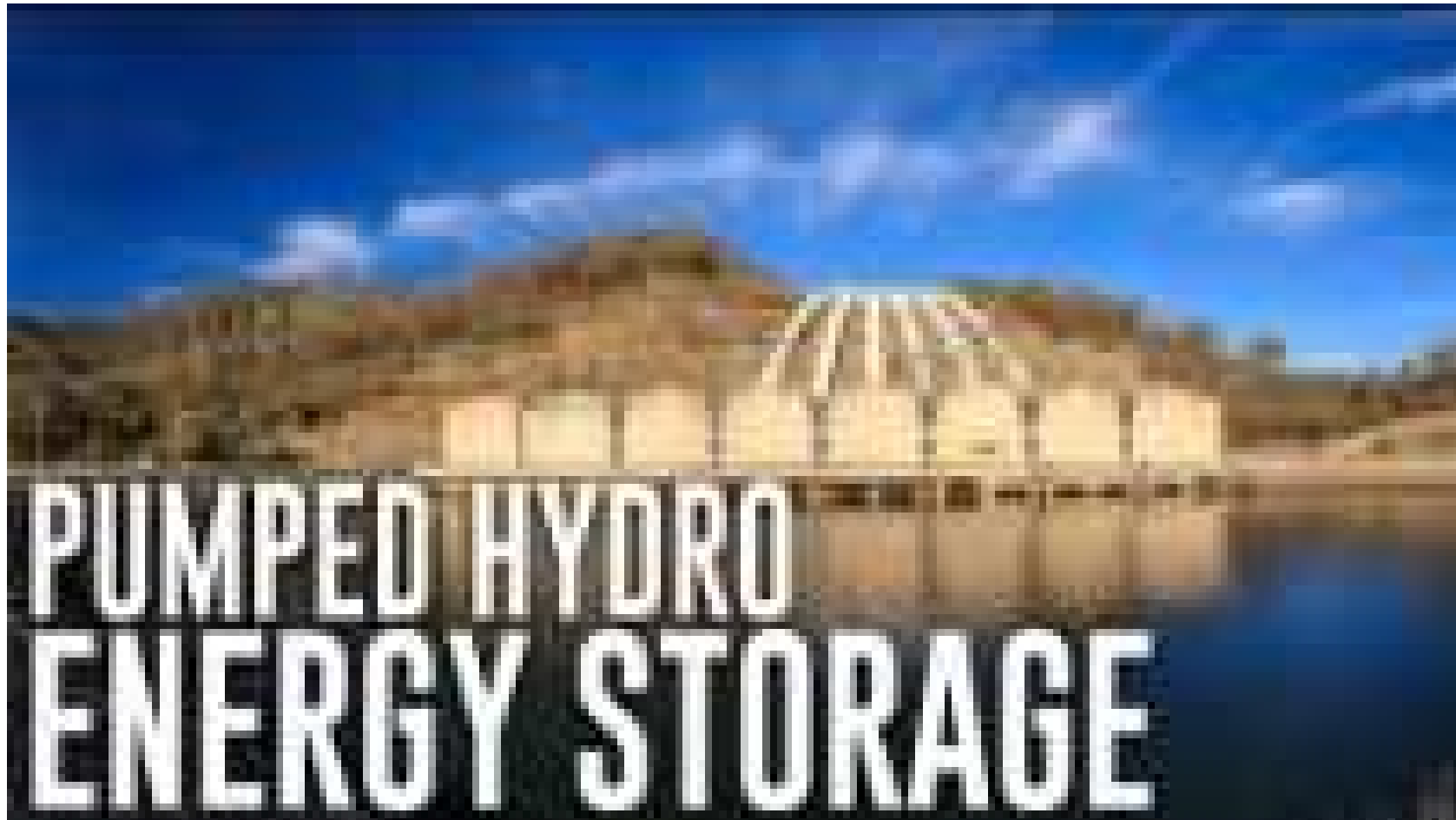
<https://www.energyaustralia.com.au/about-us/media/news/consortium-assessing-pumped-hidro-storage-plant-south-australia>

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



<https://www.youtube.com/watch?v=IsSUPpwtqhQ>

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



<https://www.youtube.com/watch?v=RVCL0iJPI8I>

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



Fiabilidad y larga vida



Costes de mantenimiento y operación bajos



Baja autodescarga

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



Altos costes iniciales (terrenos, obras civiles, estructuras, maquinaria, etc.)



Largo tiempo de desarrollo.



Impacto ambiental alto.



Disponibilidad del sitio: se considera un daño para el medio ambiente, el uso de pozos de minas abandonados o sistemas de agua subterránea para almacenar los tubos y la maquinaria.

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)

Una fórmula sencilla para aproximar la producción de energía eléctrica en una central hidroeléctrica.

$$P = \rho \text{ hrgk}$$

Donde P es la potencia en [W], ρ es el densidad del agua [kg/m³], h es altura en [m], r es el flujo tasa en [m³/s], g es aceleración debido a la gravedad en [m/s²], y k es un coeficiente de eficiencia rango de 0 a 1.

La eficiencia es muy alta hoy en día con turbinas modernas .

La producción anual de energía eléctrica depende en el agua disponible. En algunas instalaciones el caudal de agua puede variar en un factor de 10:1 a lo largo del año.

***PREGUNTAS* sobre hidroelectricidad de bombeo (PHES)**

Pregunta 1

La estación de almacenamiento por bombeo de Dinorwig en Gales tiene una capacidad de agua de almacenar agua de $7 \times 10^6 \text{ m}^3$, que puede liberarse para generar electricidad durante un período de 5 horas. Si la altura efectiva es de 500 m y la eficiencia del generador es del 90%, calcule la potencia de salida promedio y la energía eléctrica total producida en 5 horas.

SOLUCIÓN:

Potencia = 1,71 GW y Energía = 8,575 GWh

Pregunta 2

Se necesitan 6,5 horas para rellenar el depósito. Debido al arrastre por fricción, la altura efectiva al bombear es de 530 m. Para bombas que tienen una eficiencia energética del 90%, calcule la potencia de entrada a las bombas, la energía eléctrica total requerida para el bombeo y la eficiencia energética general de la planta de almacenamiento por bombeo.

SOLUCIÓN:

Potencia = 1,73 GW, Energía = 11,2 GWh y Eficiencia = 77%

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)

¿Puedes diseñar este sistema para tu hogar?

<https://www.youtube.com/watch?v=CMR9z9Xr8GM>



Masa = 207 kg
Altura = 7 metros

EJERCICIO hidroeléctrico bombeado (PHES)

Una casa en el campo tiene 20 m² de paneles solares instalados en el tejado. Este sistema tiene que abastecer la vivienda pero también puede aportar energía a la red cuando el consumo es igual a cero en la vivienda y hay generación positiva.

Sin embargo, el excedente de energía quiere almacenarse en casa para un uso posterior en lugar de aportarlo a la red. Como la casa está en la cima de una pequeña colina, la idea es instalar un pequeño sistema hidráulico de bombeo utilizando un tanque de agua al lado de la casa como almacenamiento.

La diferencia de altura entre la casa y el estanque es de 30 m, la bomba consume el 10% del total de energía aportada. Suponemos que la energía total generada corresponde exactamente a la energía total necesaria en el periodo de tiempo indicado en el ejercicio. ($\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$).

- Almacenamiento diario: De media, las células solares proporcionan 0,3 kWh/m² al día. Durante el día se consume directamente una media de 2 kWh. El resto de la energía la necesitarás durante la noche. ¿Qué volumen necesita el depósito para poder almacenar la energía producida en un día, incluido un margen adicional del 50 % para equilibrar los días excepcionalmente soleados y los nublados?
- Almacenamiento anual: para simplificar el ejercicio asumimos que durante 122 días del año se consume toda la energía generada durante el período solar, no hay almacenamiento, por lo que toda la energía excedente se tiene que recolectar durante los 243 días residuales. Durante este tiempo se ahorra 1 kWh de almacenamiento diario para el período invernal. ¿Qué tamaño debe tener el tanque de almacenamiento para almacenar toda la energía recolectada durante el período estival?)
- ¿Animaría o disuadiría al propietario de esta idea? ¿Qué otra tecnología de almacenamiento de energía sugeriría?

SOLUCIÓN: diario = 66 m³ y anual = 2975 m³

Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



<https://www.youtube.com/watch?v=EHEqQsv8AGw>

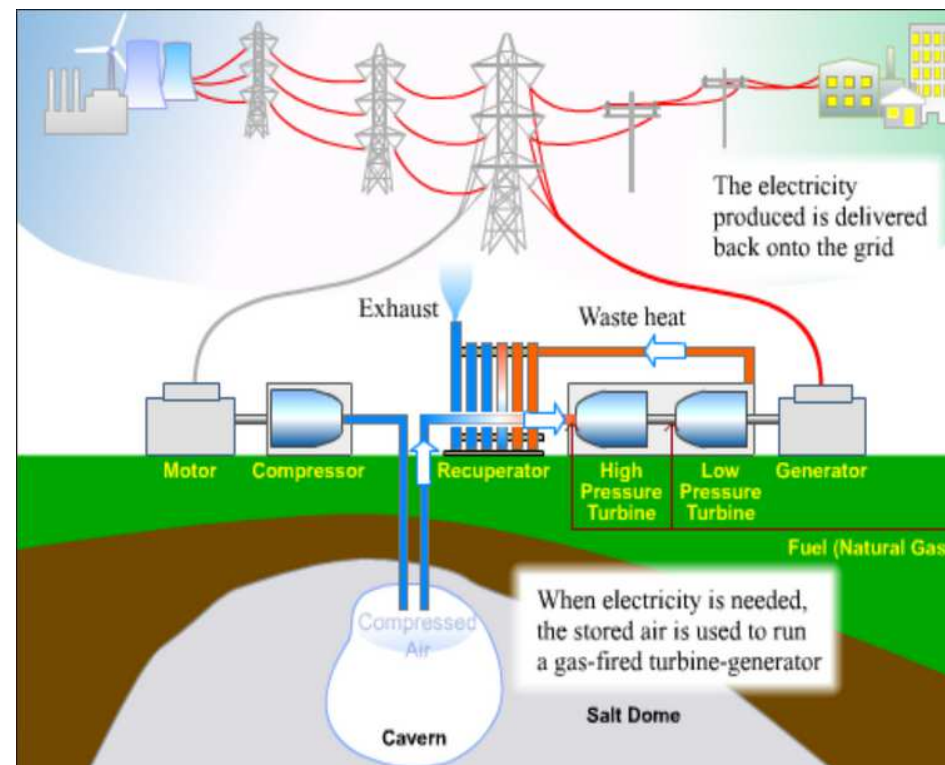
Hidroeléctrica de bombeo (PHES)



<https://www.youtube.com/watch?v=xQWL3vUNjS8>

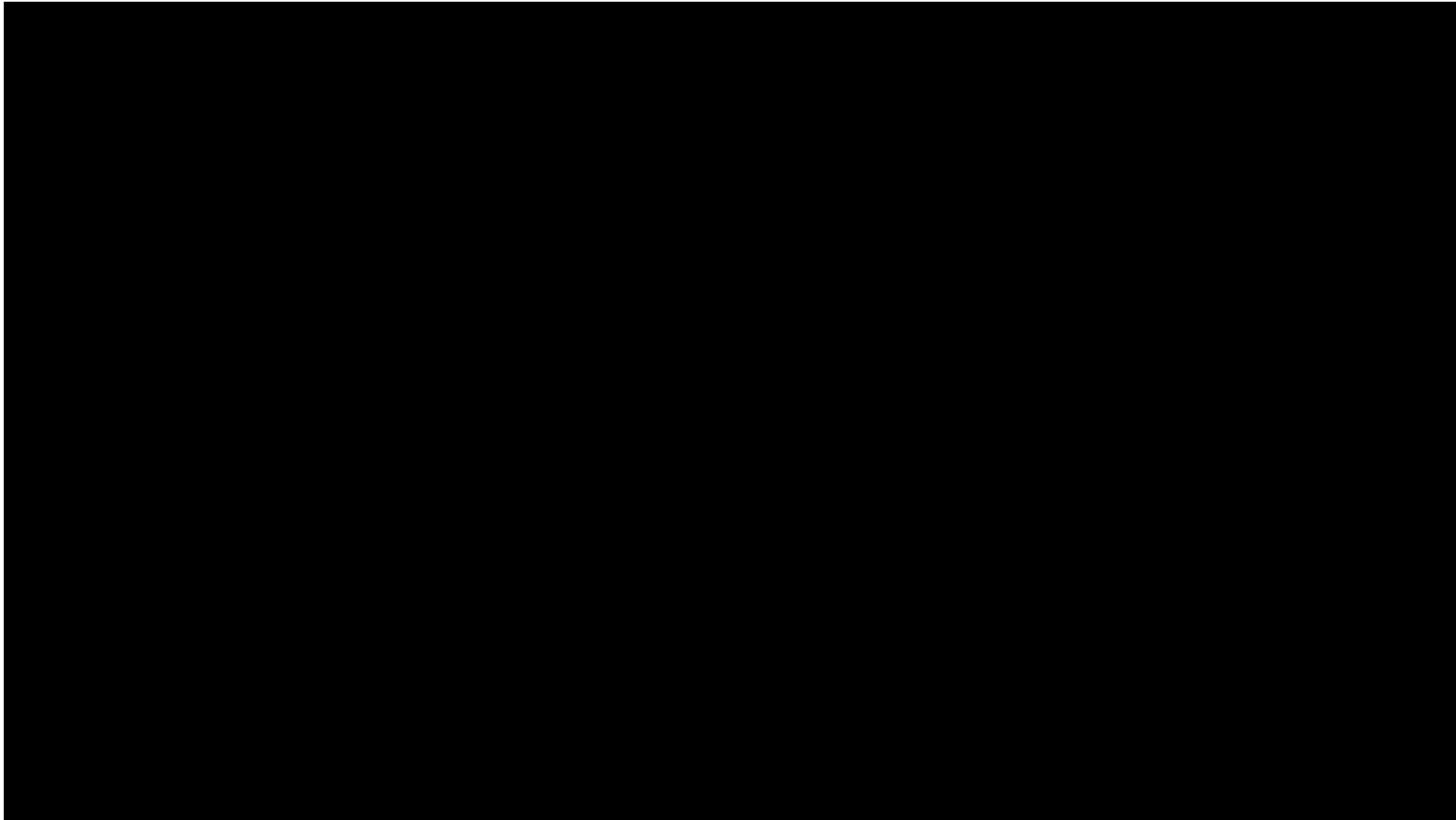
Aire comprimido (CAES)

Comprimir aire con excedente de energía para generar energía más tarde liberando el aire.



H. Chen, X. Zhang, J. Liu y C. Tan. (2013). "Almacenamiento de energía en aire comprimido, almacenamiento de energía: tecnologías y aplicaciones". Dr. A. Zobaa (Ed.) DOI: 10.5772/52221

Aire comprimido (CAES)



<https://www.youtube.com/watch?v=K4yJx5yTzO4>

Aire comprimido (CAES)

- ✓ Fiabilidad y larga vida
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Costes de mantenimiento y operación bajos
- ✓ Bajo nivel de autodescarga
- ✓ Alta densidad de energía y potencia tanto volumétrica como gravimétrica

Aire comprimido (CAES)



Ubicación de la ESS



Costes de la instalación

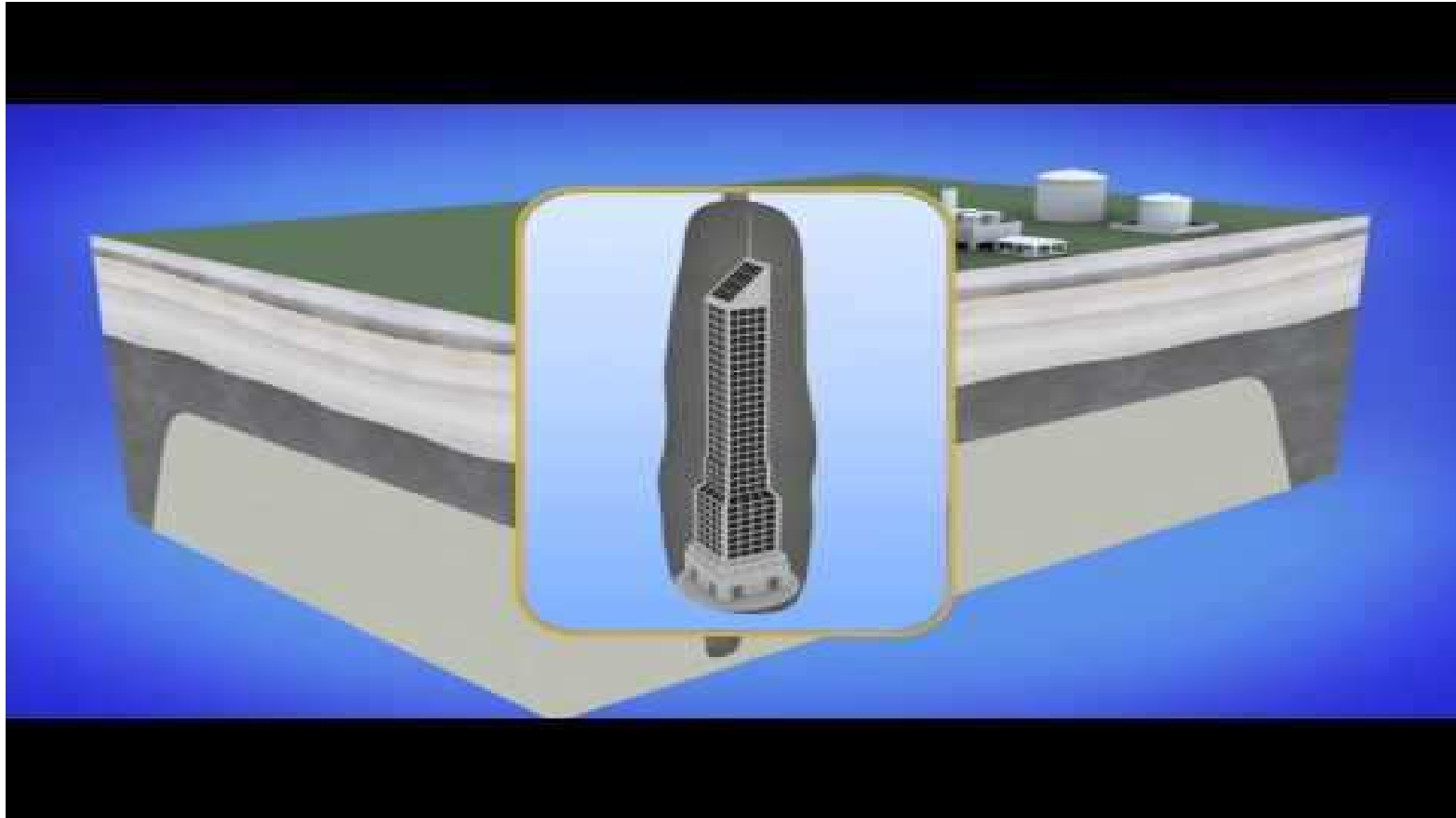


Difícil operar con gas en estas ubicaciones



Compresión de aire rápida → calor → pérdida de eficiencia

Aire comprimido (CAES)

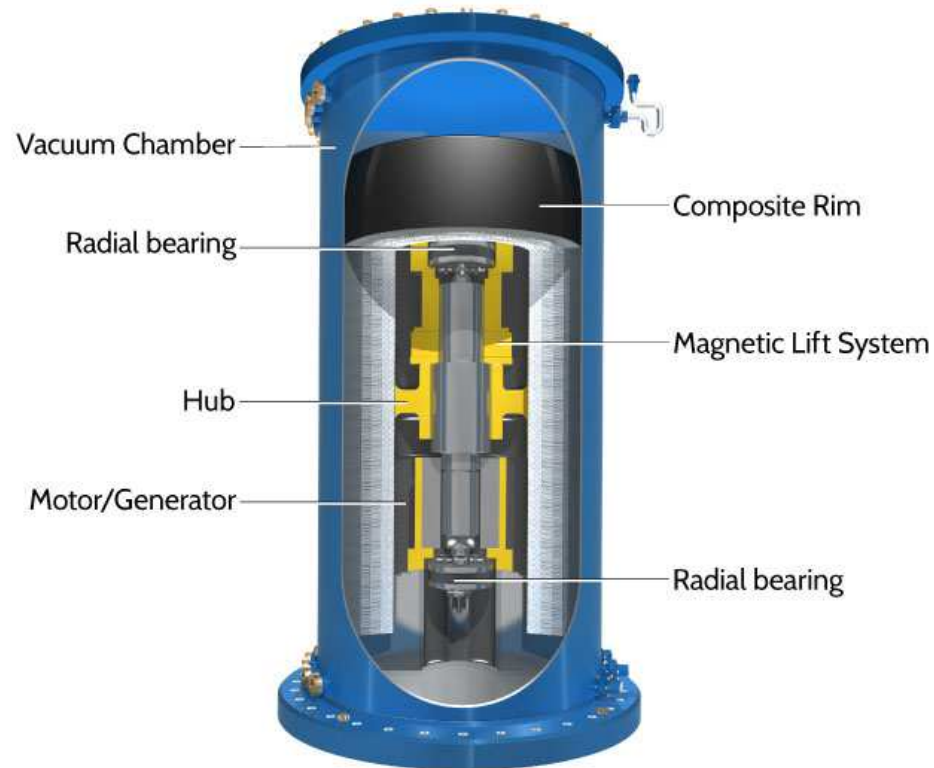


https://www.youtube.com/watch?v=sVDh_4ymcyY

Volante de inercia (FES)

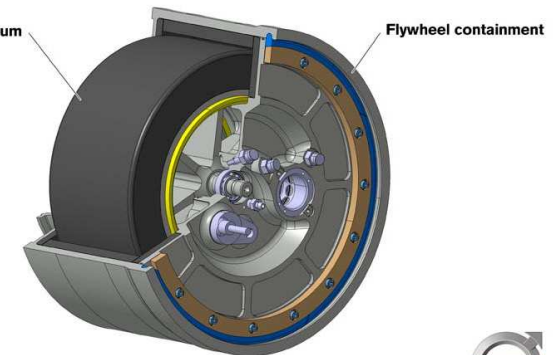
Almacenar energía cinética en una masa en rotación.

Cinco partes principales: volante (disco de alta inercia), rodamientos, máquina eléctrica, convertidor de potencia y cámara de contención.



FLYWHEEL KERS FLYWHEEL MODULE

Flywheel in vacuum
Carbon fibre rim
on a steel hub



<http://beaconpower.com/carbon-fiber-flywheels/>

Volante de inercia (FES)



<https://www.youtube.com/watch?v=u6I2IKtflQ>

Volante de inercia (FES)

- ✓ Bajo impacto ambiental en comparación con PHES y CAES
- ✓ Tiempos de respuesta rápidos
- ✓ Degradación baja → larga vida
- ✓ Alta escalabilidad
- ✓ Alta densidad de energía y potencia tanto volumétrica como gravimétrica
- ✓ Muy poco mantenimiento

Volante de inercia (FES)



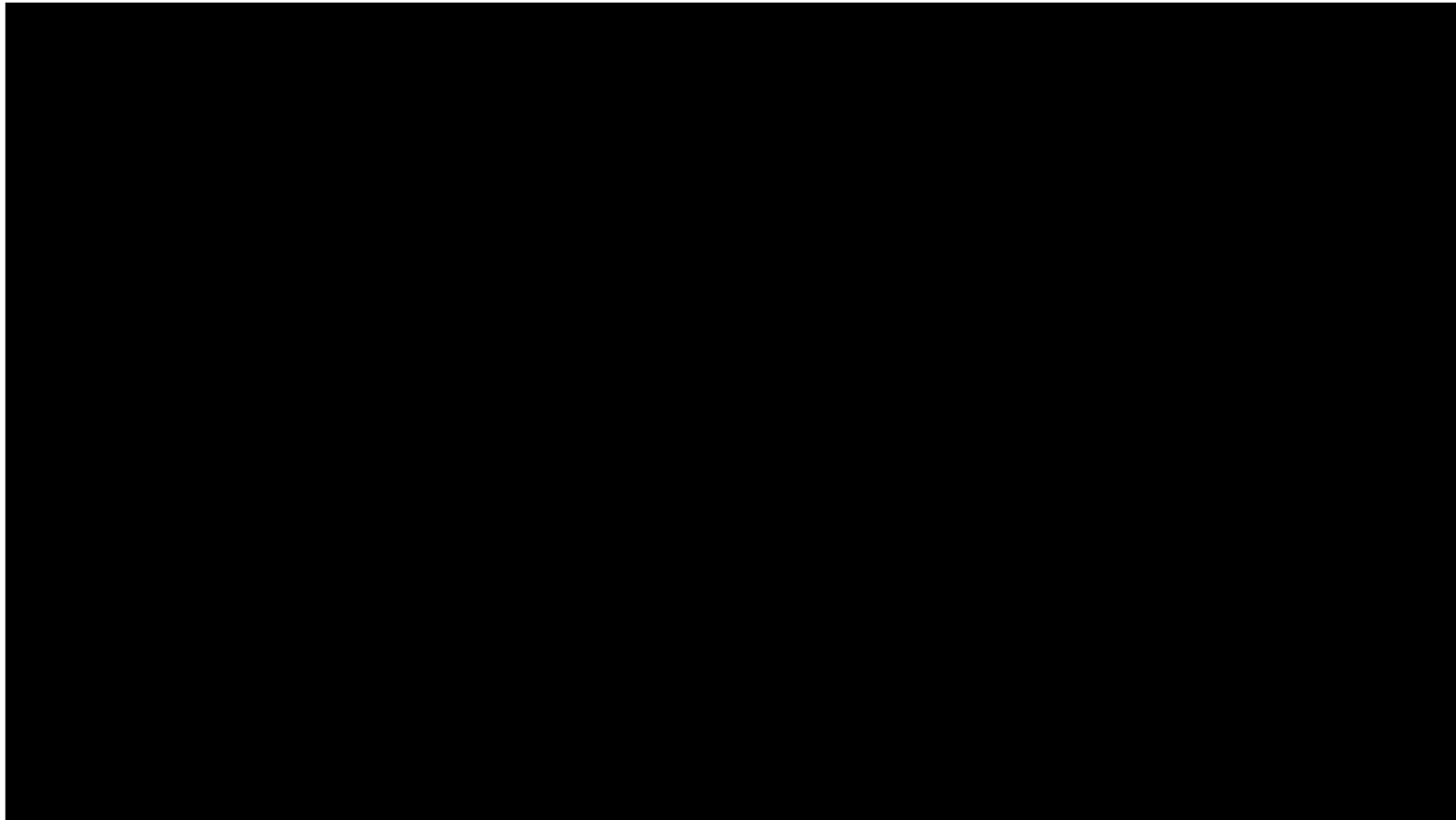
Altas tasas de autodescarga



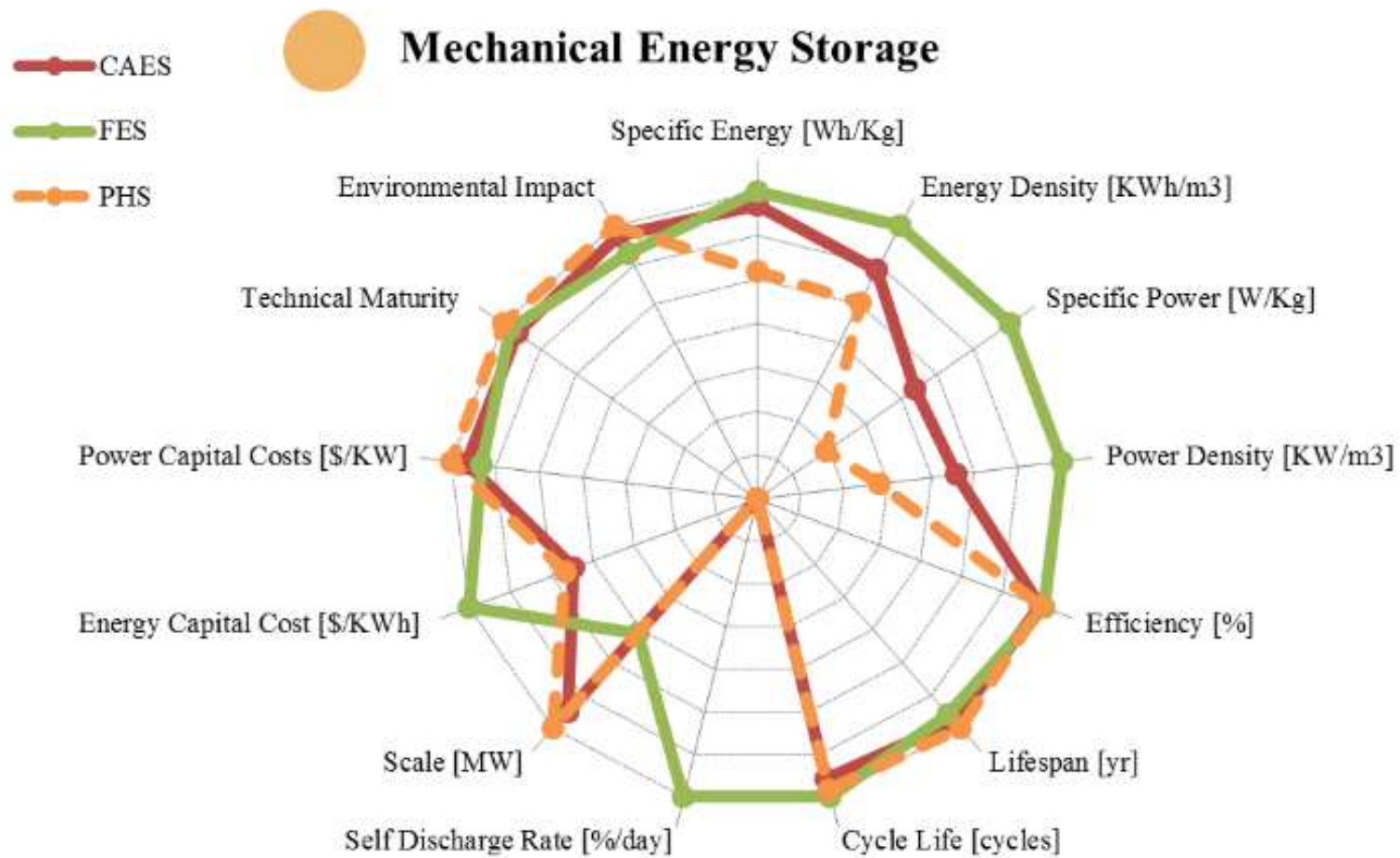
Seguridad

Diferentes velocidades de estos volantes: volantes de acero que van a 6000 rpm hasta volantes con composites que van hasta los 10000 a 110000 rpm
En velocidades altas los rodamientos mecánicos no son adecuados debido a las pérdidas por fricción, por lo tanto, se utilizan electromagnéticos.

Volante de inercia (FES)



<https://www.youtube.com/watch?v=xAvexjr2ax0>



S. Sabihuddin , AE Kiprakis y M. Mueller, "A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies", *Energies* , no. Figura 1, págs. 172-216, 2015.

Comparativa

Dependiendo del tiempo de almacenamiento requerido

- Periodos largos
 - PHES
 - CAES
- Periodos cortos
 - Volante

Dependiendo de la escala requerida

- Gran escala
 - PHES
 - CAES
- Pequeña escala
 - Volante



**Mondragon
Unibertsitatea**

Faculty of
Engineering

Eskerrik asko
Muchas gracias
Thank you

Unai Iraola

uiraola@mondragon.edu