

Desarrollo de Sistemas de Almacenamiento Específicos

Manuel Cendagorta-Galarza (ITER)

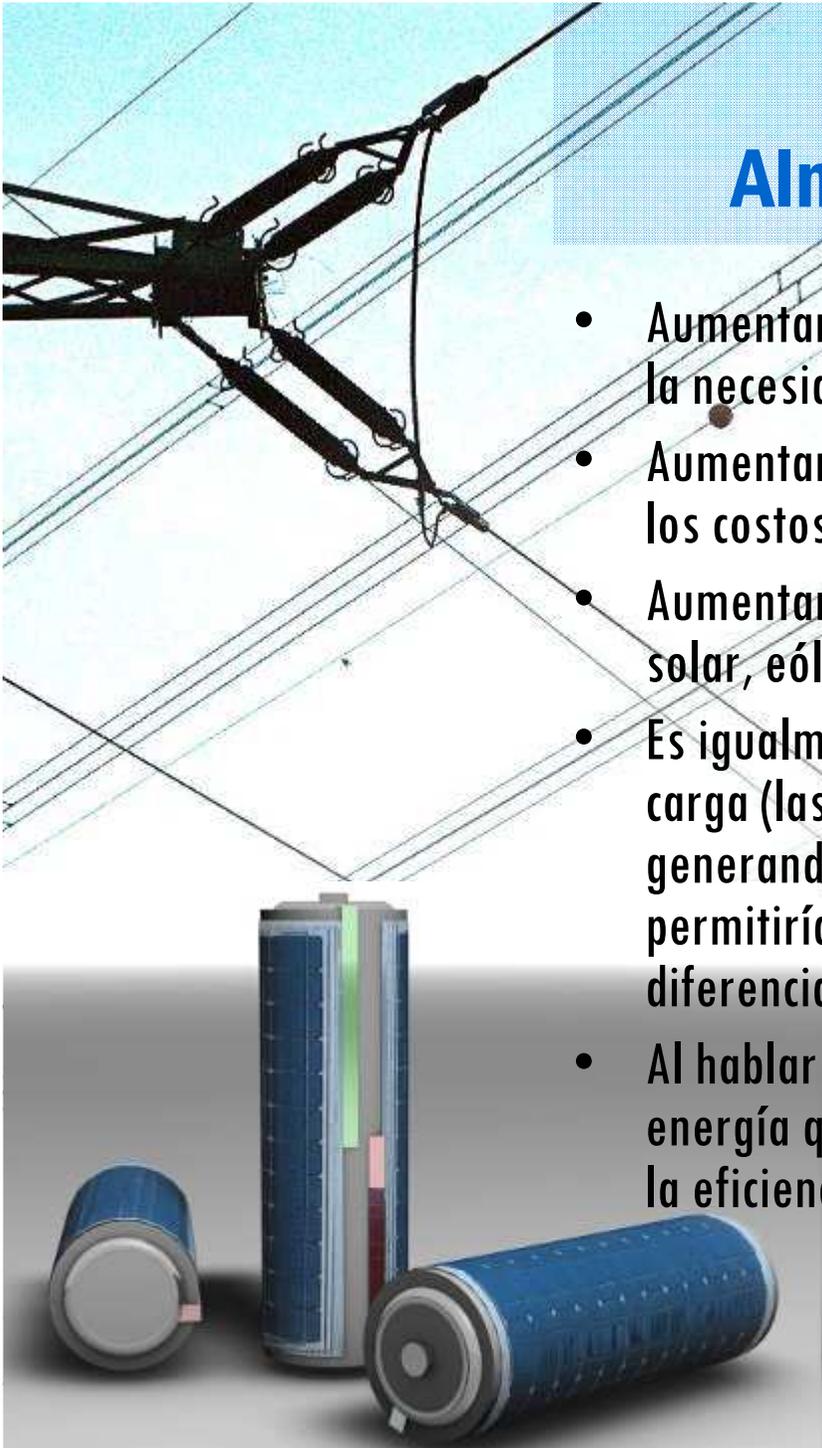


Integración en red:
Soluciones para altas penetraciones eólicas en sistemas insulares

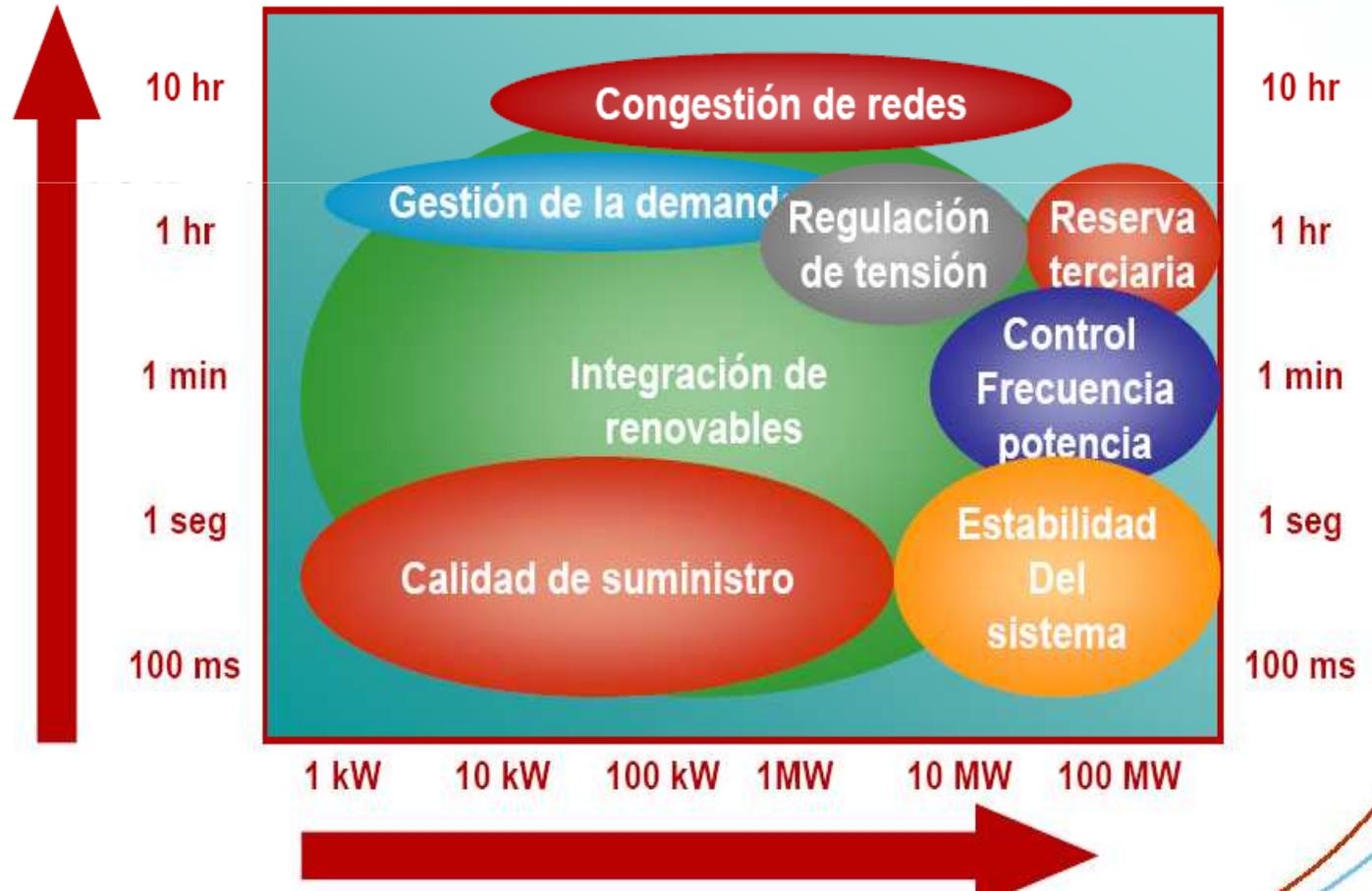
Gran Canaria, 08.11.2010

Importancia del Almacenamiento Energético

- Aumentar la eficiencia de los sistemas eléctricos, al reducir la necesidad de centrales de generación de respaldo.
- Aumentar la fiabilidad de los sistemas eléctricos, al evitar los costos de interrupción del suministro.
- Aumentar la disponibilidad de fuentes renovables (e.g. solar, eólica).
- Es igualmente importante para la nivelación de la curva de carga (las plantas tradicionales son más eficientes generando energía de forma constantes, el almacenamiento permitiría nivelar pequeñas variaciones y reducir la diferencia entre horas pico y valle).
- Al hablar de almacenamiento debemos considerar tanto la energía que podemos almacenar (densidad energética) como la eficiencia con la que puede recuperarse.



Aplicaciones de Almacenamiento en Sistemas Eléctricos

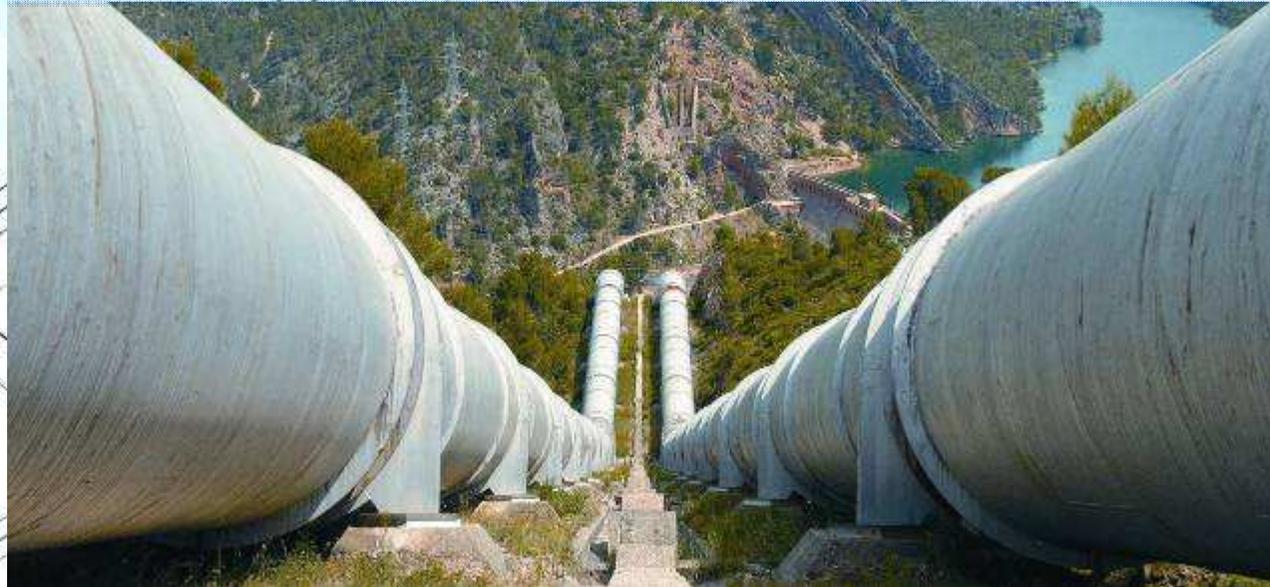


Tipos de almacenamiento

- **Potenciales:** Almacenamiento hidráulico (centrales de bombeo)
- **Mecánicos:** Volantes de inercia, aire comprimido,
- **Electroquímicos:** Baterías, pilas de combustible, baterías de flujo.
- **Eléctricos:** Imanes superconductores, condensadores
- **Térmicos**



Centrales de bombeo

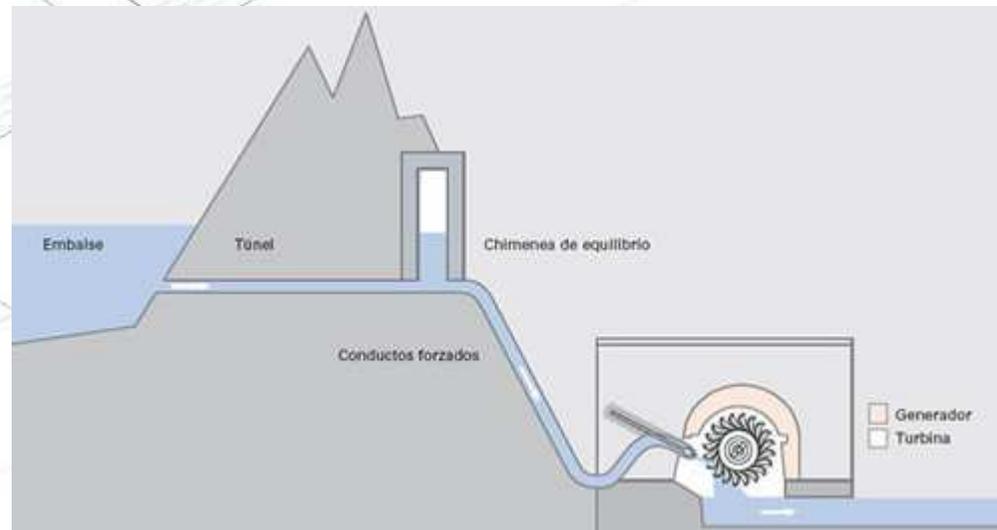


- El sistema de hidroelectricidad bombeada consiste en bombear agua hasta un depósito ubicado a una cierta altura para almacenarla como energía potencial, que puede ser aprovechada a medida que el agua baja en el campo gravitacional de la Tierra accionando una turbina, que acoplada a un generador, permite obtener electricidad.
- Se utiliza para suavizar la carga de generación diaria, bombeando agua al depósito durante horas valle (i.e. de baja demanda), usando los excedentes disponibles en el sistema eléctrico. Durante las horas punta (i.e. de alta demanda), el agua almacenada se puede utilizar para generación de hidroelectricidad, constituyéndose así en una reserva de alto valor por su capacidad de respuesta rápida para cubrir peaks transitorios de demanda.
- La eficiencia global de los sistemas de hidroelectricidad bombeada bien diseñados está en el rango de 72 a 81%. Actualmente es la forma más rentable de almacenamiento de energía. El principal problema es que requiere generalmente dos depósitos ubicados en cotas diferentes y a menudo tiene asociados considerables costos de capital.

Centrales de bombeo

La central hidroeléctrica reversible está formada por:

- Un embalse situado al pie de la central.
- Un embalse situado a mayor altura que será al que se bombeará el agua.
- Una central hidroeléctrica reversible que será la encargada de turbinar/bompear el agua entre los dos embalses. La central estará formada por un conjunto de turbinas (normalmente turbinas Francis) y generadores (normalmente síncronos), para producir la energía eléctrica.



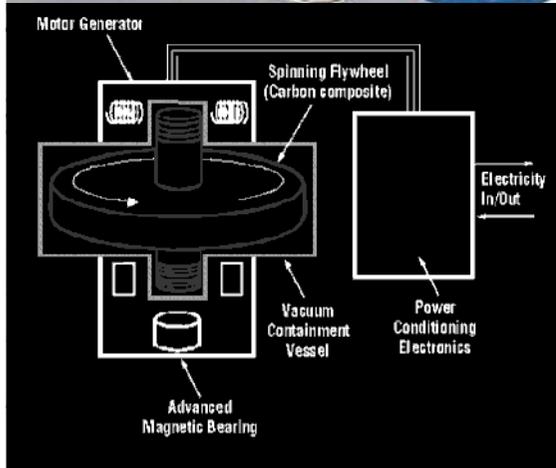
Centrales de bombeo

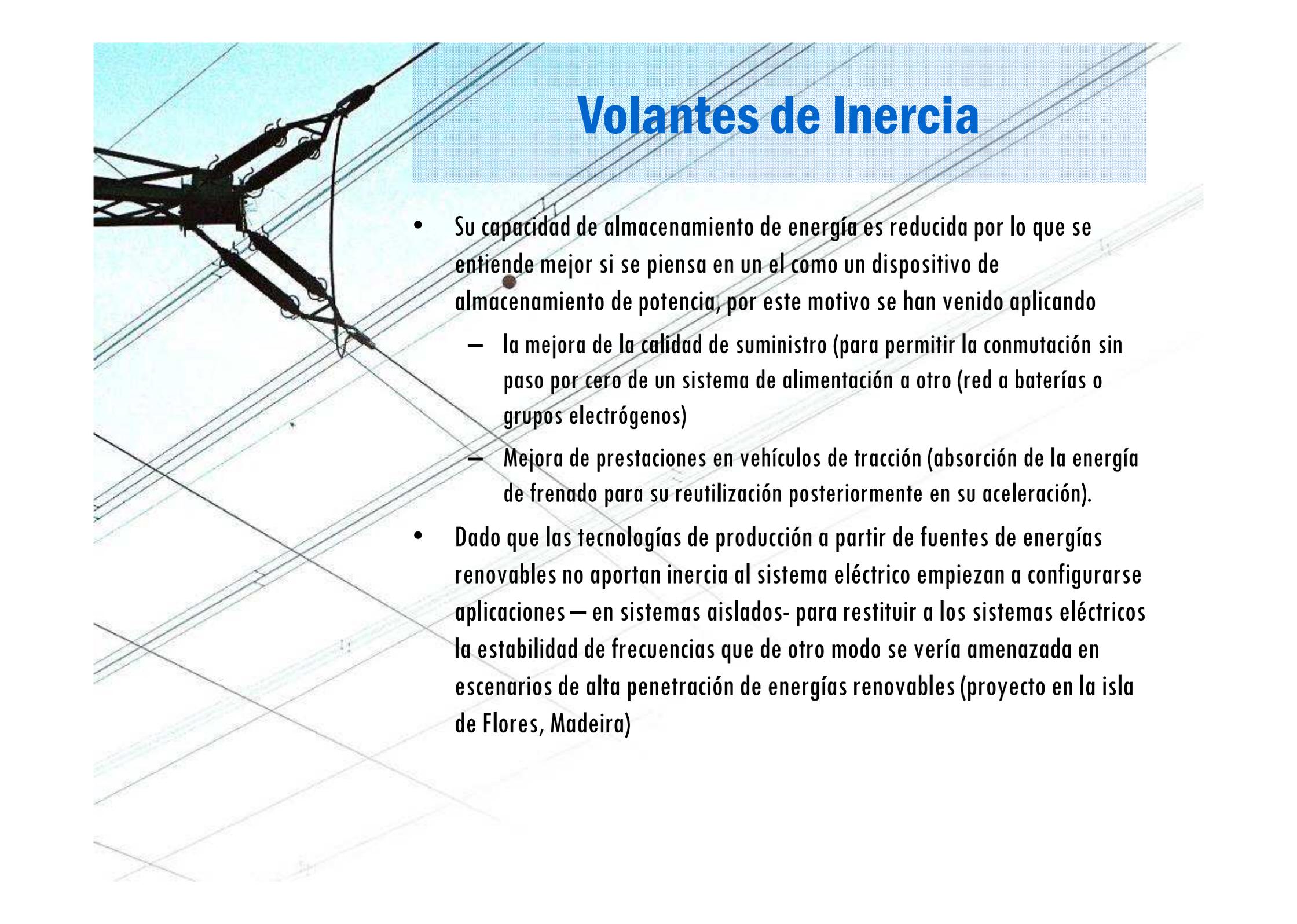
- ITER ha elaborado para Red Eléctrica de España un inventario de posibles emplazamientos para la ubicación de sistemas hidráulicos de turbinación-bombeo en el sistema eléctrico insular de Tenerife.



Volantes de Inercia

- Los volantes giratorios o flywheels son ruedas hechas de un material muy resistente a la tensión y con una distribución de materia que ayuda a soportar grandes velocidades (por ejemplo, un tipo de rueda es más delgada en el borde y aumenta de espesor conforme nos acercamos al centro). En los volantes giratorios se almacena energía cinética que es directamente proporcional a la tensión del material e inversamente proporcional a la densidad del mismo. Conforme aumenta la velocidad de giro del volante, aumenta la energía almacenada.
- Hay distintas formas de volantes giratorios: anillos concéntricos unidos por resinas, miles de pequeñas fibras unidas en el centro como si se tratara de un manojo de espagueti, ruedas con grosor decreciente y anillos suspendidos magnéticamente.
- Para generar electricidad los volantes giratorios se colocan en una unidad sellada al vacío, para evitar las pérdidas por fricción con el aire y se conectan a un motor-generador.
- Para entender mejor este sistema, en San Francisco se pusieron a operar unos tranvías con volantes giratorios. Durante las bajadas, el movimiento de las ruedas del tranvía hacía que se generase electricidad, la cual se almacenaba como energía cinética del volante giratorio y durante las subidas la energía almacenada en el volante se empleaba para mover el motor eléctrico del tranvía.



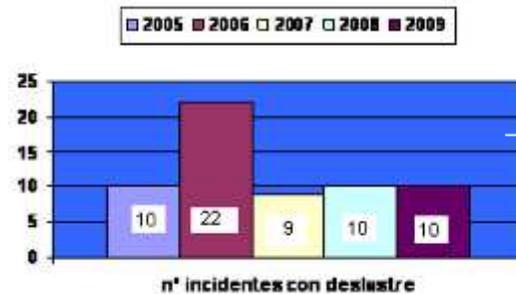


Volantes de Inercia

- Su capacidad de almacenamiento de energía es reducida por lo que se entiende mejor si se piensa en un el como un dispositivo de almacenamiento de potencia, por este motivo se han venido aplicando
 - la mejora de la calidad de suministro (para permitir la conmutación sin paso por cero de un sistema de alimentación a otro (red a baterías o grupos electrógenos)
 - Mejora de prestaciones en vehículos de tracción (absorción de la energía de frenado para su reutilización posteriormente en su aceleración).
- Dado que las tecnologías de producción a partir de fuentes de energías renovables no aportan inercia al sistema eléctrico empiezan a configurarse aplicaciones — en sistemas aislados- para restituir a los sistemas eléctricos la estabilidad de frecuencias que de otro modo se vería amenazada en escenarios de alta penetración de energías renovables (proyecto en la isla de Flores, Madeira)

Aplicación de Volantes de Inercia en el SEI de La Palma

Fuente: Red Eléctrica de España



SEI de La Palma (fuente: REE)

Elevado número de desastres por subfrecuencia -> el SEI no dispone de inercia suficiente para soportar el disparo de los grupos de mayor tamaño (6 de 11 grupos)

Alternativas

Acoplar más grupos no es posible en el valle de la noche (mínimos técnicos del parque generador ordinario).

Mantener permanentemente acoplada la turbina de gas no es posible (limitación impuesta por la AAI de la CT de no acoplar más de 500h/año dicha turbina)

Despegar nuevas soluciones que aporten capacidad de respuesta ante disparos de grupo
Es técnicamente factible (instalación de sistemas de almacenamiento y, en particular, instalación de volantes de inercia)

Planta Piloto de Volantes de Inercia en el SEI de La Palma

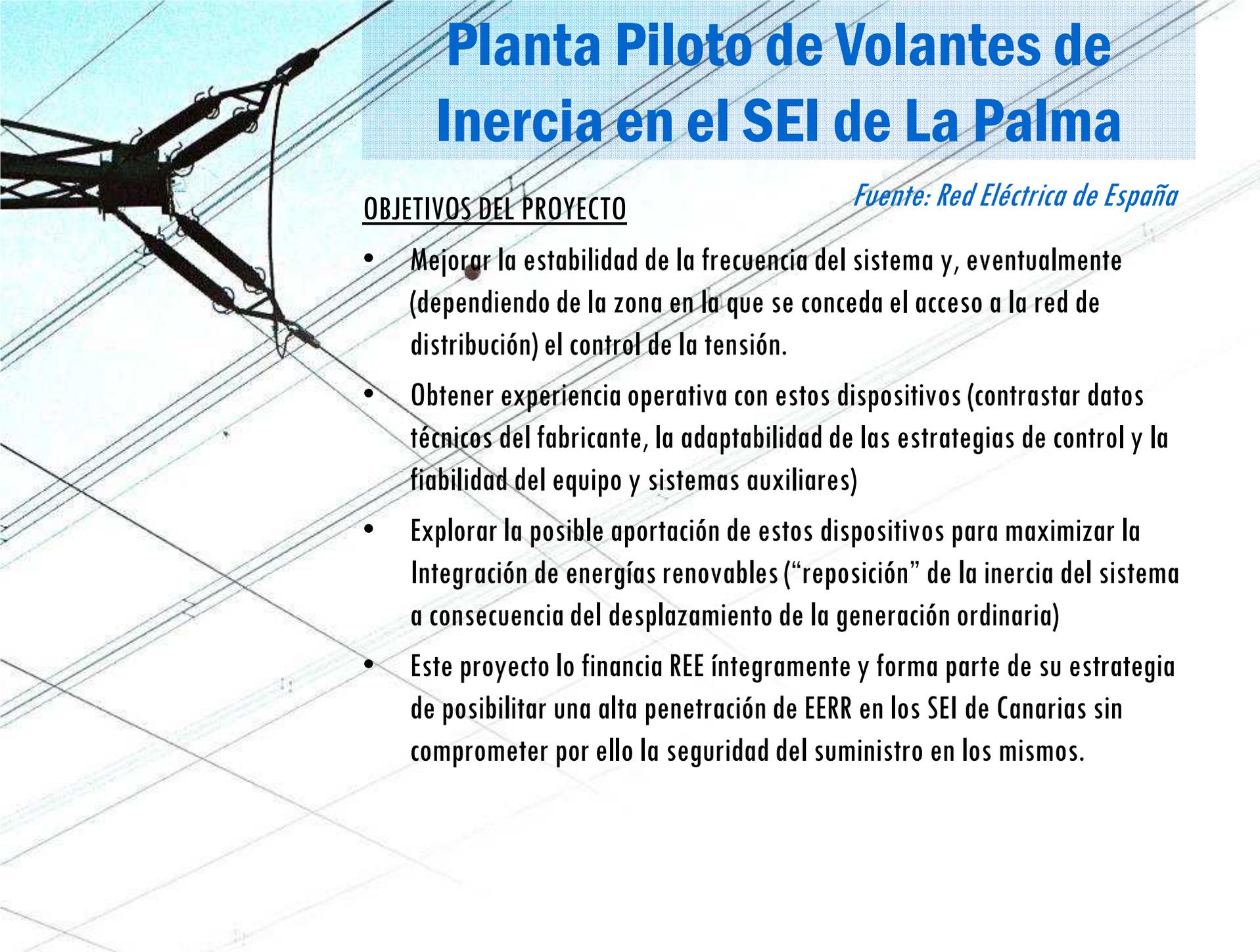
■ CARACTERÍSTICAS:

Fuente: Red Eléctrica de España

Contrato con el fabricante	Llave en mano
● Capacidad (MVA)	1670
Capacidad (MW)	1336
Dimensión (m)	10,5x3,1x2,8
Peso (toneladas)	33 (Peso total)
Vida útil (años)	20
Control	Derivada de frecuencia
Pérdidas	Eficiencia 95 .5 % pérdidas 63 kW
Inversión de un equipo proyecto I+D	≈ 600000 €
Número de equipos necesarios para solventar el problema de falta de inercia	4

- Principales **ventajas del volante de inercia** frente a las baterías (para la aplicación planteada e mejora de la calidad de suministro)
 - **Muy alta eficiencia** (reducción del coste variable —pérdidas- del sistema que produce un ahorro considerable en instalaciones que trabajan las 24 h del día.
 - **Vida útil** (20 años aproximadamente, tres veces el de las baterías).
 - **Tiempo de carga** (el volante de inercia se carga de forma completa en 4 minutos, al contrario que las baterías que necesitan varias horas para su carga).





Planta Piloto de Volantes de Inercia en el SEI de La Palma

Fuente: Red Eléctrica de España

OBJETIVOS DEL PROYECTO

- Mejorar la estabilidad de la frecuencia del sistema y, eventualmente (dependiendo de la zona en la que se conceda el acceso a la red de distribución) el control de la tensión.
- Obtener experiencia operativa con estos dispositivos (contrastar datos técnicos del fabricante, la adaptabilidad de las estrategias de control y la fiabilidad del equipo y sistemas auxiliares)
- Explorar la posible aportación de estos dispositivos para maximizar la Integración de energías renovables (“reposición” de la inercia del sistema a consecuencia del desplazamiento de la generación ordinaria)
- Este proyecto lo financia REE íntegramente y forma parte de su estrategia de posibilitar una alta penetración de EERR en los SEI de Canarias sin comprometer por ello la seguridad del suministro en los mismos.

Baterías

- Las baterías o pilas son dispositivos electroquímicos que convierten la energía eléctrica (en forma de corriente directa o constante) en energía química durante la carga de la batería, y durante la descarga, convierten la energía química en energía eléctrica. En los sistemas de almacenamiento de energía sólo se pueden emplear las baterías recargables. De ellas, la más conocida es la batería de automóvil, que es una batería que funciona con la reacción química que se produce cuando se combina plomo con un ácido. Sin embargo, existen otras que son apropiadas para el almacenamiento, como las de cloruro de zinc y agua ($ZnCl_2 \cdot H_2O$), las de litio, con una aleación de sulfuro ferroso (Li-FeS) y las de sulfuro de sodio (NaS). El costo, la duración, la eficiencia, la vida útil de la batería, así como la energía que puede proporcionar por unidad de volumen son algunas de las características más importantes que deben considerarse antes de seleccionar algún tipo de pila.



Tamaño orientativo de un sistema de acumulación NaS de 8 MW y 57,6 MWh.



Baterías

BATERÍAS DE SODIO-AZUFRE (NaS)

- Alta densidad de energía y potencia.
- Alta eficiencia.
- Funcionan a alta temperatura (350°).
- Naturaleza corrosiva del sodio → exige aislamiento.
- Capacidad de apoyar a las redes durante las puntas de demanda.
- Ciclos de vida: 5.000 - 20.000
- Coste alto.

BATERÍAS DE PLOMO (Pb)

- Tipo de baterías más comunes.
- Costes bajos.
- Ciclo de vida limitado cuando se descarga profundamente.
- Muy pesadas.
- Gran volumen.

Tamaño orientativo de un sistema de acumulación NaS de 8 MW y 57,6 MWh.



Baterías

Batería redox (reducción-oxidación) de Vanadio (VRB)

- Capacidad ilimitada de almacenamiento (depende del tamaño de los tanques).
- Independencia de dimensionado de capacidades de potencia y energía.
- Baja densidad de energía.
- Permite muchas cargas y descargas. Más de 10.000 (3.500 - 20.000) ciclos de descarga profunda.
- Buena eficiencia: $> 75\%$.
- Larga vida útil: más de 10 años.
- Coste alto.

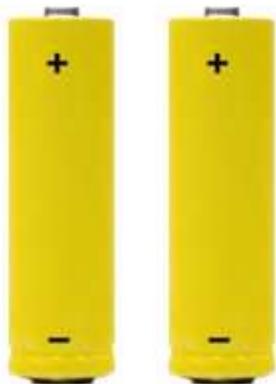
BATERÍAS DE IÓN-LITIO (Ion-Li)

- Alternativa a las baterías de Pb.
- Reduce el coste
- Aumenta la densidad de energía
- Requiere menor mantenimiento
- Mejora las prestaciones
- Alta densidad de energía (300-400kWh/m³) y de potencia.
- Ausencia de efecto memoria.
- Rango de T^a de operación: -40°C — 60°C.
- Coste de producción alto.
- Menos tóxicas que las de NiCd y Pb-ácido.

Baterías

BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO (Ni-Cd)

- Gran fiabilidad y robustez.
- Buen rendimiento, predecible a lo largo de la vida útil.
- Alta densidad de energía y potencia.
- Gran resistencia frente a abusos eléctricos (descarga total, cortocircuitos, etc)
- Larga vida útil.
- Bajo coste de vida-ciclo.
- Poco mantenimiento.
- Rango de T^a de operación: -20°C – 60°C.





Proyecto ITER de baterías

Financiado por el MITYC (Ministerio de Industria Turismo y Comercio) - VI Plan Nacional de I+D+i, 2008-2011

Objetivos:

- Adquirir un sólido conocimiento acerca de las tecnologías de almacenamiento:
- Estudio del estado del arte
- Estudio comparativo de las diferentes tecnologías
- Elección posterior de aprox. 1MW de conexión a red — combinación de tecnologías de Plomo (Pb-ácido) y baterías de Litio (LiFePO₄).
- Desarrollo del sistema Inversor/Cargador necesario para inyectar a red.
- Este proyecto constituye un primer paso para evaluar las capacidades y costes de este tipo de sistemas de almacenamiento para su posterior implementación a mayor escala, especialmente con vistas a estabilizar la red eléctrica de sistemas aislados como los de las Islas Canarias.



Proyecto ENDESA de baterías

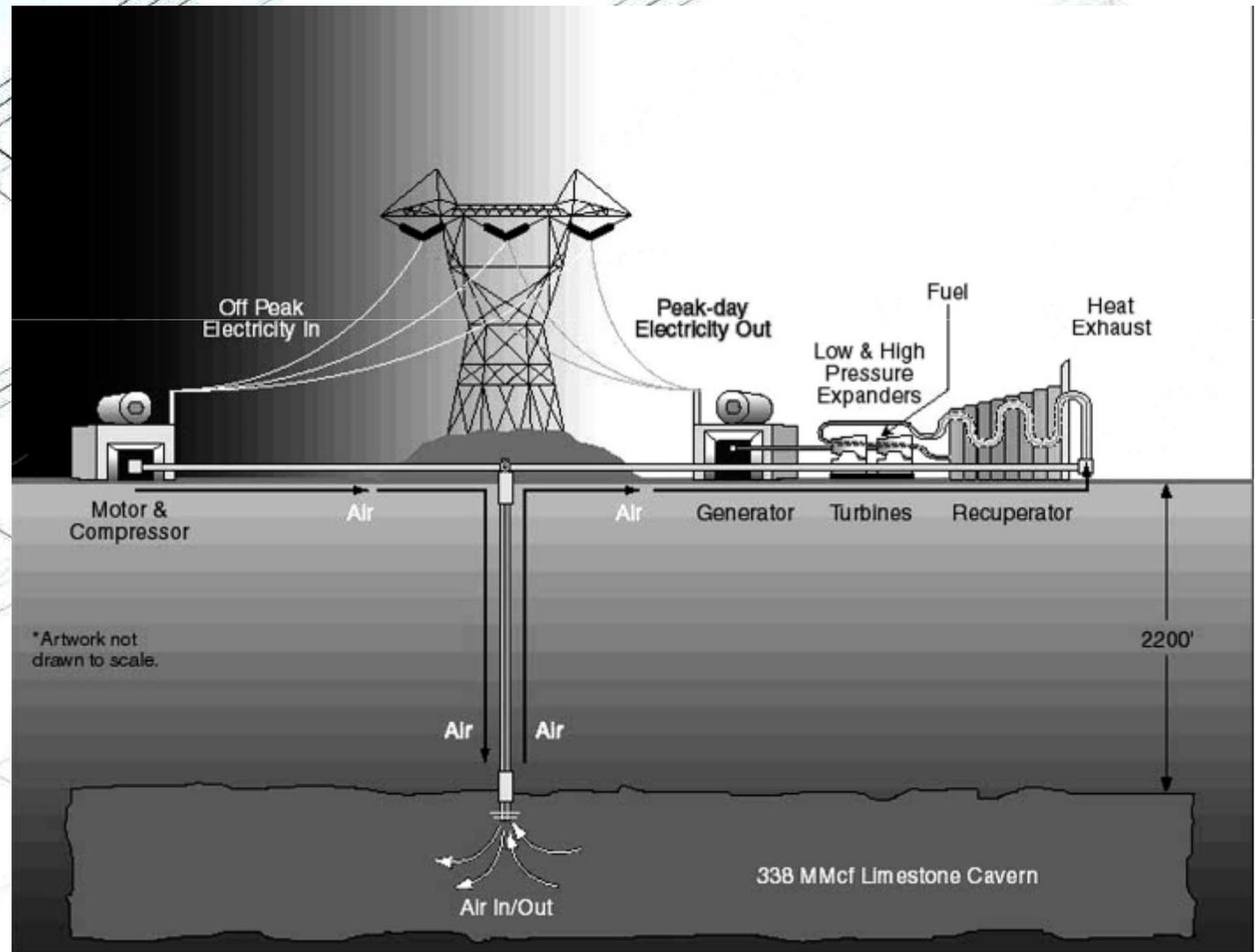
- ENDESA ha puesto en marcha el Proyecto Store. Con un presupuesto de más de 14 millones de euros, financiados por fondos europeos, el Proyecto Store permite el almacenamiento de energía en baterías de 4 metros de alto por 8 de ancho, que servirán de depósito energético disponible ante posibles eventualidades, y también permitirán almacenar excedentes (como en épocas de mucho viento). Con estas baterías se busca sustituir a medio plazo todos los grupos de respaldo existentes en el Archipiélago, por criterios de seguridad y economía, así como conseguir una mayor integración de las energías renovables.
- En el proyecto participan 7 empresas y otros tantos centros de investigación, entre los que se encuentra la Universidad de Las Palmas. Se van a instalar tres tipos de baterías en tres puntos de las Islas: La Aldea (Gran Canaria), San Sebastián (La Gomera) y Los Guinchos (La Palma).



Aire comprimido

- Las instalaciones de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES) funcionan como grandes baterías. Unos potentes motores eléctricos manejan los compresores que comprimen el aire en una formación geológica subterránea (minas abandonadas, cavidades rellenas con soluciones minerales o acuíferos) durante los períodos de tiempo en que el uso de la electricidad es menor, como por ejemplo por las noches. Entonces, cuando se necesita el máximo de electricidad durante los períodos de alta demanda, el aire precomprimido se utiliza en turbinas de combustión modificadas para generar electricidad. Todavía se necesita gas natural u otros combustibles fósiles para hacer funcionar las turbinas, pero el proceso es más eficiente. Este método utiliza hasta un 50 por ciento menos de gas natural que el sistema de producción normal de electricidad.
- Aunque el concepto del almacenamiento energético por aire comprimido tiene más de 30 años, sólo existen dos de tales plantas: una de 30 años de antigüedad en Alemania, y una de 17 años en McIntosh, Alabama, ambas en cavernas. Una tercera está desarrollándose en un acuífero cerca de Des Moines, Iowa.
- La central eléctrica de Iowa tendrá una potencia nominal de unos 268 megavatios, con aproximadamente 50 horas de almacenamiento CAES. Utilizará la abundante generación eólica existente en Iowa para cargarla. Cuando esta nueva central esté en marcha, podrá suministrar el 20 por ciento de la energía eléctrica utilizada en un año en una central eléctrica municipal típica como las que operan en la zona, y podría ahorrar a las ciudades tanto como 5 millones de dólares cada año en la energía comprada.

Aire comprimido



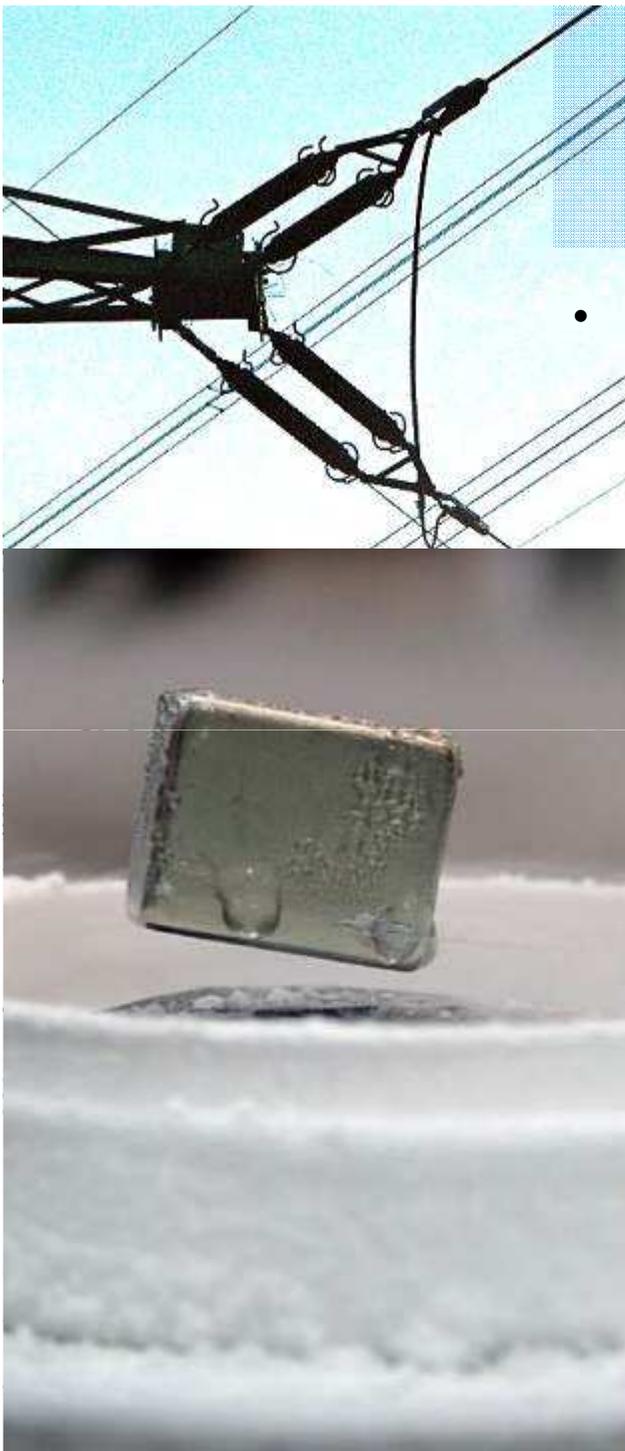
Imanes Superconductores

- El fenómeno de la superconductividad consiste en que, al bajar la temperatura de algunos materiales como el mercurio, el niobio, el plomo o el tantalio o aleaciones como el estaño, llega una temperatura crítica en que la resistencia al paso de la corriente se hace igual a cero. Otra propiedad es la presencia del efecto Meissner, que consiste en que éstos no permiten la presencia de un campo magnético, propiedad que posibilita que un superconductor flote en el aire si se coloca abajo de un imán.

Un imán superconductor es una bobina hecha de un material superconductor (un alambre enrollado en un núcleo) por la que se hace pasar una corriente elevada, produciéndose un campo magnético que induce una corriente eléctrica (la energía almacenada es proporcional al cuadrado del campo magnético producido).

Se ha propuesto almacenar energía mediante grandes bobinas enterradas bajo tierra, hechas de materiales superconductores, pues en estas condiciones las corrientes serían elevadas y los campos magnéticos que se producirían serían intensos. Dichas bobinas deben estar provistas de un sistema de enfriamiento para alcanzar las condiciones de superconductividad.

La gran ventaja de los imanes superconductores es su elevada eficiencia, así como el almacenamiento directo que se logra de la energía eléctrica.



Imanes Superconductores

- Los imanes superconductores constituyen la forma más eficiente de almacenamiento de fuentes intermitentes de energía; sin embargo, hasta ahora eran sumamente costosos, ya que requerían de un sistema de refrigeración muy complejo y helio líquido para alcanzar temperaturas cercanas al cero absoluto (-273°C).
- Con el descubrimiento reciente de los nuevos materiales superconductores (superconductores de alta temperatura o calientes, hechos a base de óxidos de cobre con elementos de las tierras raras como lantano e itrio) esta desventaja desaparece. Con los novedosos materiales la superconductividad puede lograrse a temperaturas mucho más altas que las obtenidas anteriormente (-175°C), lo que permite utilizar nitrógeno líquido como refrigerante.



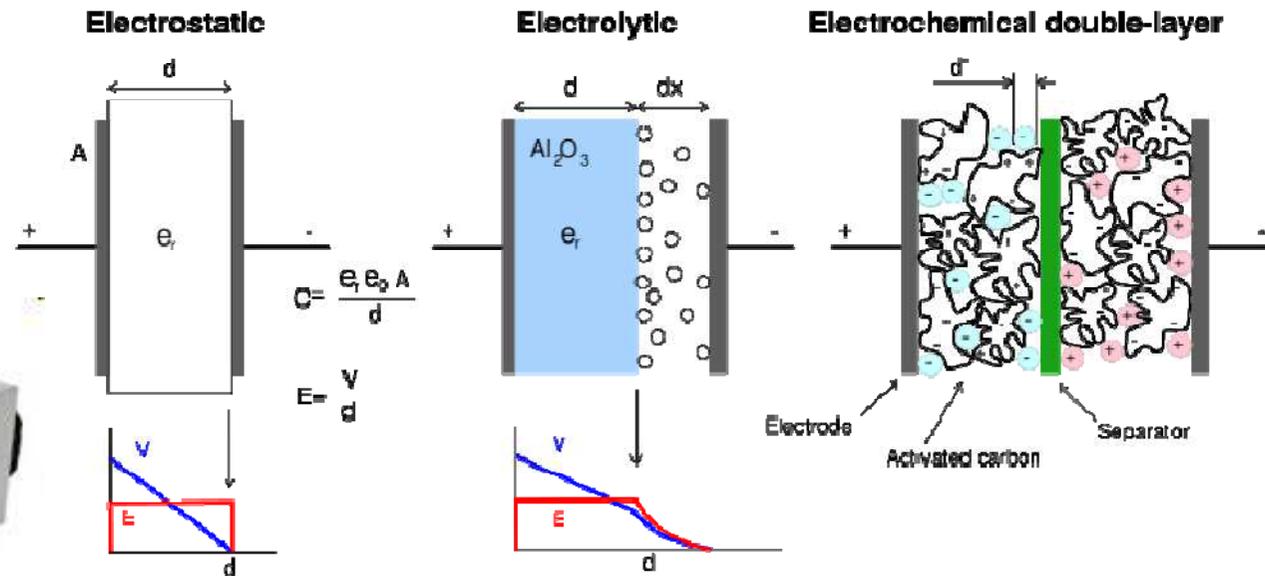


Imanes Superconductores

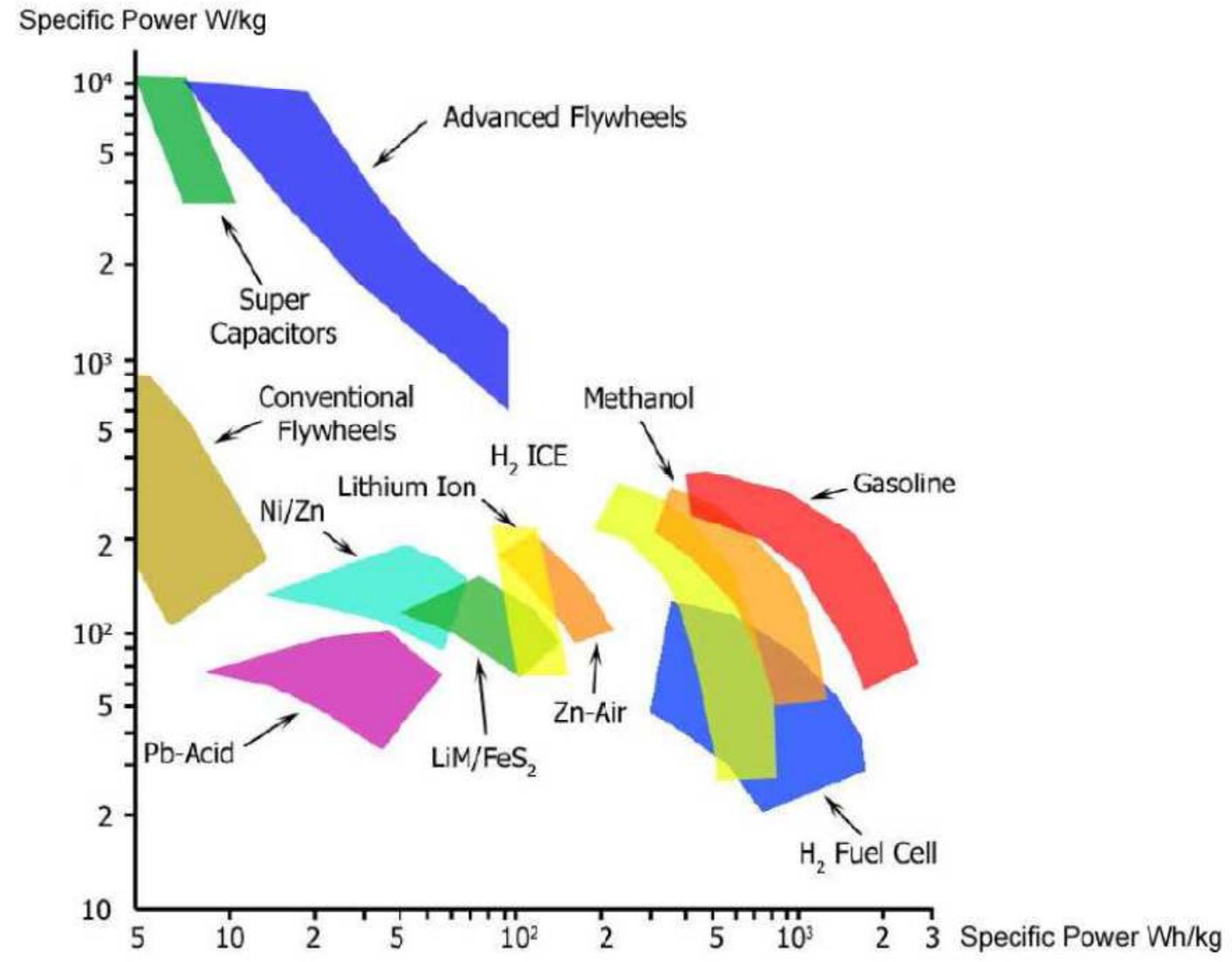
- Los sistemas SMES almacenan energía electromagnética con pérdidas insignificantes mediante la circulación de corriente continua a través de bobinas superconductoras, enfriadas criogénicamente. La energía almacenada se puede lanzar de nuevo a la red descargando la bobina. El sistema utiliza un inversor/rectificador para transformar energía de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC) o vice versa. El inversor/rectificador presenta pérdidas de energía cercanas al 2-3% en cada dirección. Los SMES presentan menores pérdidas de electricidad en comparación a otros métodos de almacenamiento de energía. El alto costo de los superconductores es la limitación principal para el uso comercial de este método de almacenamiento de energía.
- Debido a las necesidades energéticas de refrigeración y a los límites en la energía total capaz de ser almacenada, los SMES se utilizan actualmente para el almacenamiento de energía por breves periodos de tiempo.

Supercondensadores

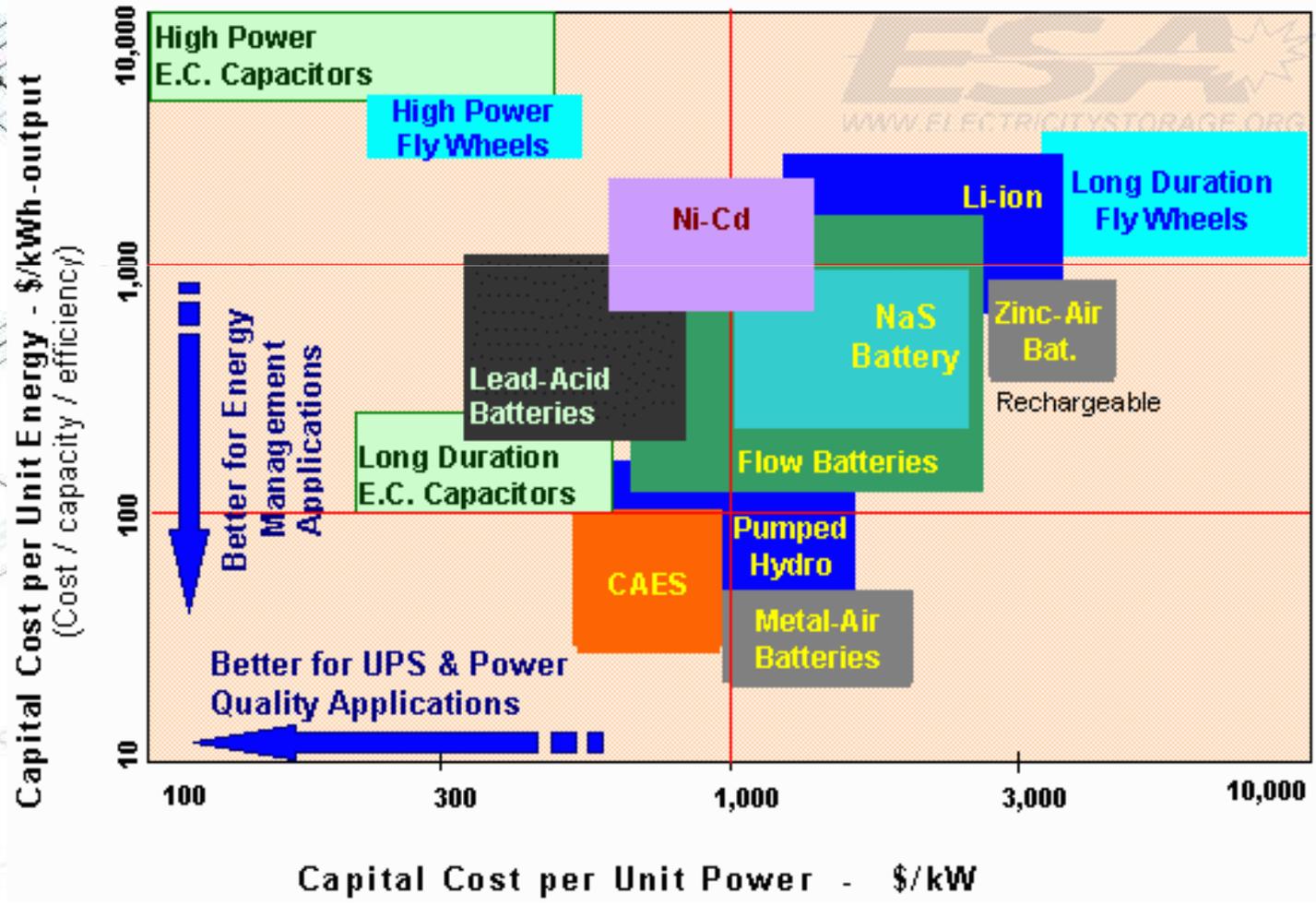
- Los supercondensadores almacenan energía eléctrica en forma de cargas electrostáticas confinadas en pequeños dispositivos, formados por pares de placas conductoras separadas por un medio dieléctrico. Los supercondensadores tiene la capacidad de ser cargados y descargados en brevísimos periodos de tiempo, del orden de segundos o menos, lo cual los hace especialmente apropiados para responder ante interrupciones de suministro de poca duración.



Densidad Energética según el sistema de almacenamiento



Valoración de costes según el sistema de almacenamiento



Tecnologías de almacenamiento de energía

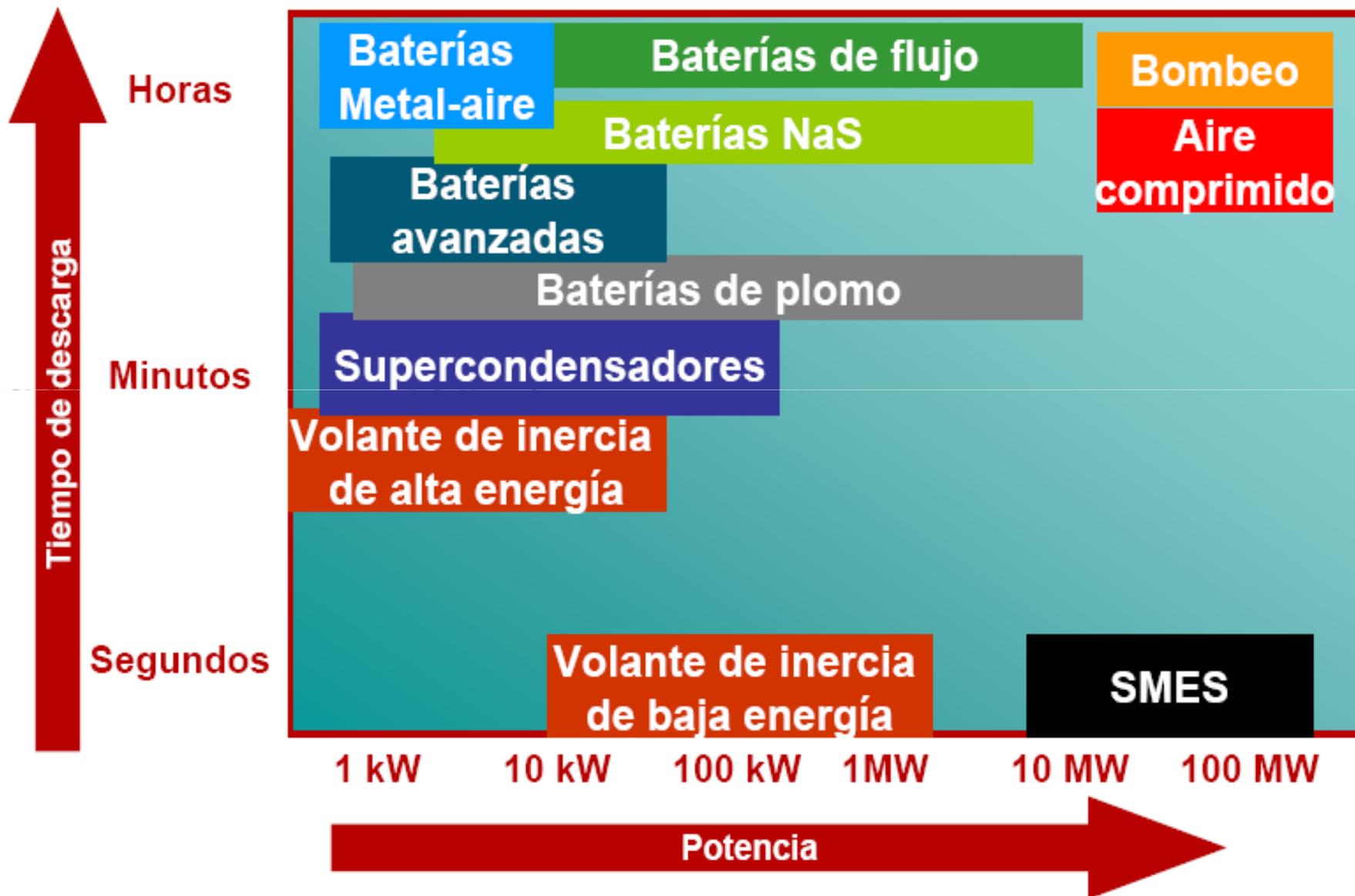
Mode	Primary Energy Type	Characteristic Energy Density kJ/kg	Primary Application Sector
Pumped Hydropower	Potential	1 (100 m head)	Electric
Compressed Air Energy Storage (CAES)	Potential/Enthalpy	15.000 in kJ/m ³	Electric
Flywheels	Kinetic	30-360	Transport
Batteries	Electrochemical	Lead acid – 60-180 Nickel Metal hydride – 370 Li-ion – 400-600 Li-polymer ~ 1.400	Transport, Buildings
Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)	Electromagnetic	100-10.000	Electric
Supercapacitors	Electrostatic	18-36	Transport
Thermal	Enthalpy (sensible + latent)	Water (100-40°C) – 250 Rock (250-50°C) – 180 Salt (latent) – 300	Buildings
Fossil Fuels	Reaction Enthalpy	Gas – 47.000 Oil – 42.000 Coal – 32.000	Transport, Electric, Industrial, Buildings
Biomass	Reaction Enthalpy	Drywood – 15.000	Transport, Electric, Industrial, Buildings



Características de Tecnologías de Almacenamiento de Energía

Characteristic	Pumped Hydropower	CAES	Flywheels	Batteries	SMES	Supercapacitors	Thermal
Energy Range MJ	$1,8 \times 10^6 - 36 \times 10^6$	$18 \times 10^4 - 18 \times 10^6$	1-18.000	1.800-180.000	$1.800 - 5,4 \times 10^6$	1-10	1-100
Power Range MWe	100-1.000	50-1.000	1-10	Lead acid – 60-180 Nickel Metal hydride – 370 Li-ion – 400-600	10 – 1.000	0,1-10	0,1-10
Overall Cycle Efficiency	64-80%	60-70%	~90%	~75%	~95%	~90%	~80-90%
Charge/Discharge Time	Hours	Hours	Minutes	Hours	Minutes to Hours	Seconds	Hours
Cycle Life	≥ 10.000	≥ 10.000	≤ 10.000	≤ 2.000	≥ 10.000	> 100.000	> 10.000
Footprint/Unit Size	Large if above ground	Moderate if under ground	Small	Small	Large	Small	Moderate
Siting Ease	Difficult	Difficult to moderate	N/A	N/A	Unknown	N/A	Easy
Maturity	Mature	Early development	Early development	Lead acid mature, others under development	Early R&D stage, under development	Available	Mature

Soluciones de almacenamiento de energía





Experiencia ISLA 100

- ITER ha implementado un modelo matemático, basado en datos horarios reales de consumo y recurso renovable (viento y horas de sol). El modelo permite ver la dinámica del abastecimiento insular introduciendo consumos anuales, así como horas equivalentes de viento y sol.
- Asimismo dicho modelo incorpora un perfil de evolución del consumo para evaluar escenarios a varios años vista.
- También contempla un almacenamiento hidráulico del que se introducen las variables de potencia de bombeo y turbinado, así como capacidad.
- Se ha considerado un mínimo técnico de equipos convencionales del 20% de la demanda energética horaria.

Experiencia ISLA 100

- Escenario Actual

DATOS DEL ESCENARIO	
ISLA	TENERIFE
AÑO	2010
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO		
	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7.50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)		
Eólica (MW)	Fotovoltaica (kW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
30	0	0
0	0	0
0	70	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
Capacidad (kWh)	0

DATOS DE PARTIDA	
Potencia Eólica Instalada (MW)	30
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	70
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	0

ENERGÍA PERDIDA	
Eólica	0
% perdido	0,00%
ENERGÍA A CARGA	
Eólica	0
Fuente Cont.	0

He sin perdidas	2.467
He con perdidas	2.467
Porcentaje pérdida ingreso	0,00%

BALANCE ENERGÉTICO		
	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	74.018.528	1,88
Aporte Fotovoltaico	112.040.920	2,84
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	0	0,00
Consumo No Abastecido	3.758.577.293	95,28
Total Abastecido	4,72	

Experiencia ISLA 100

- Escenario hipotético del año 2025

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7.50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (kW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
656	0	0
0	390	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	3.310.000
Potencia turbinado (kW)	550.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	656
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	390
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	3.310.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	52.888.498	He sin perdidas	2.644
% perdido	3,05%	He con perdidas	2.563

ENERGÍA A CARGA

Eólica	166.716.079	Porcentaje pérdida ingreso	3,05%
Fuente Cont.	0		

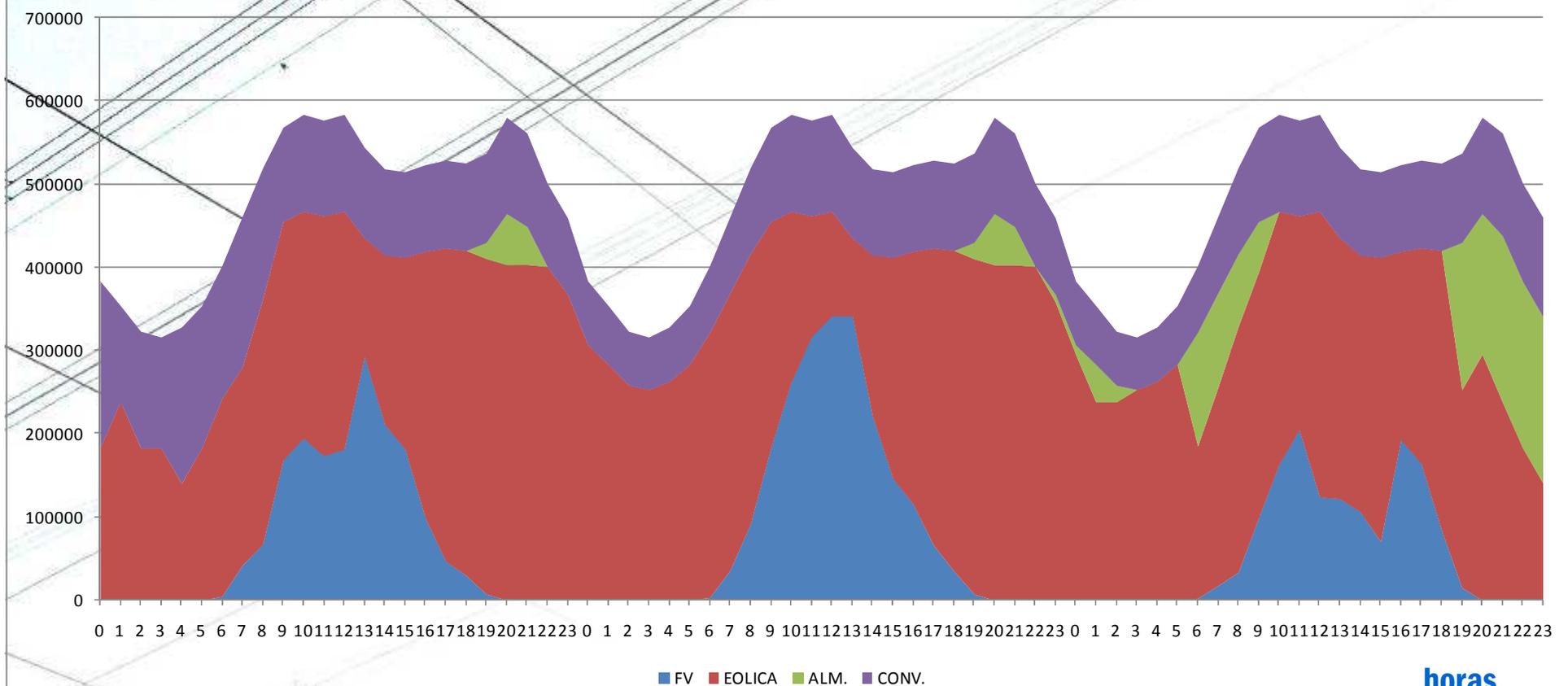
BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.514.543.801	26,99
Aporte Fotovoltaico	624.227.985	11,12
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	170.026.079	3,03
Consumo No Abastecido	3.303.601.239	58,86
Total Abastecido	41,14	

Experiencia ISLA 100

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

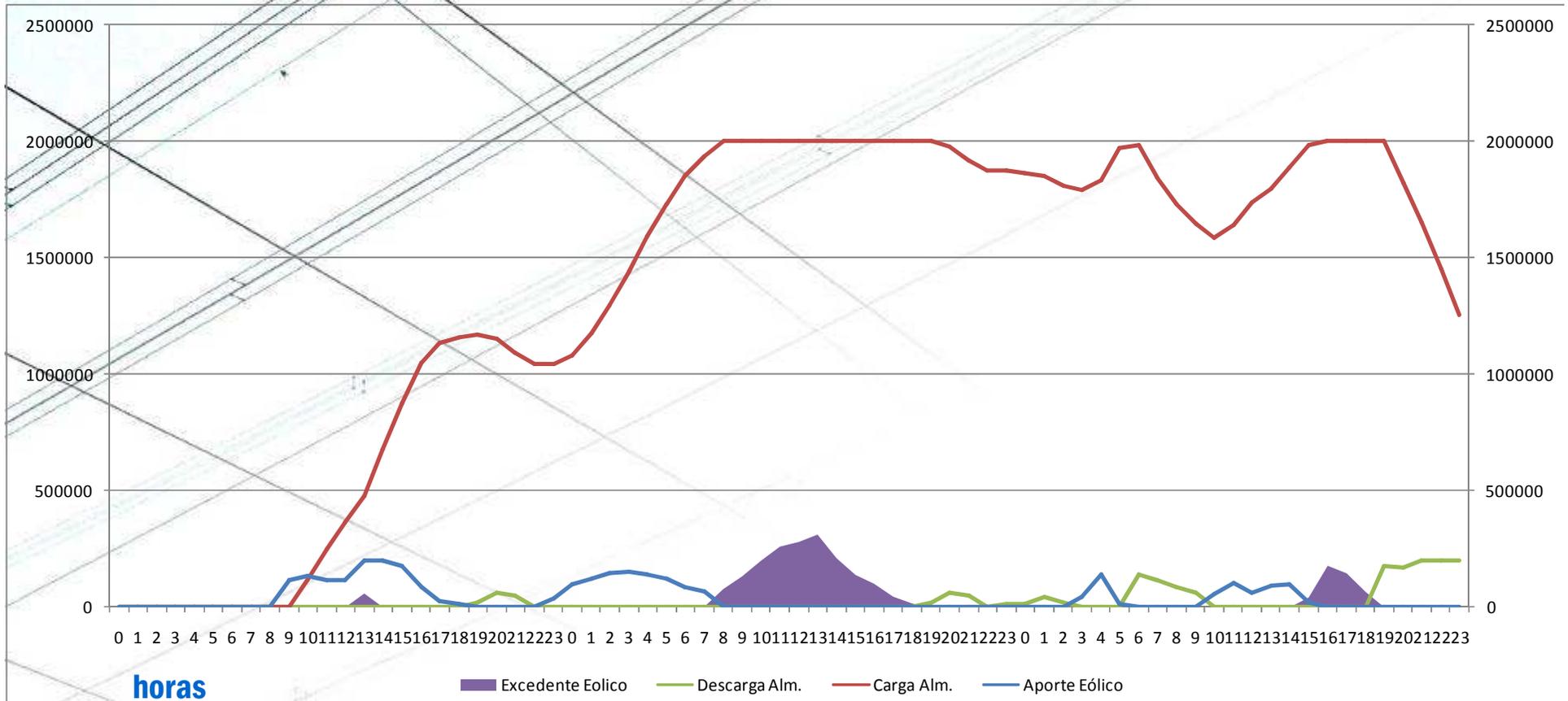
kWh



Experiencia ISLA 100

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

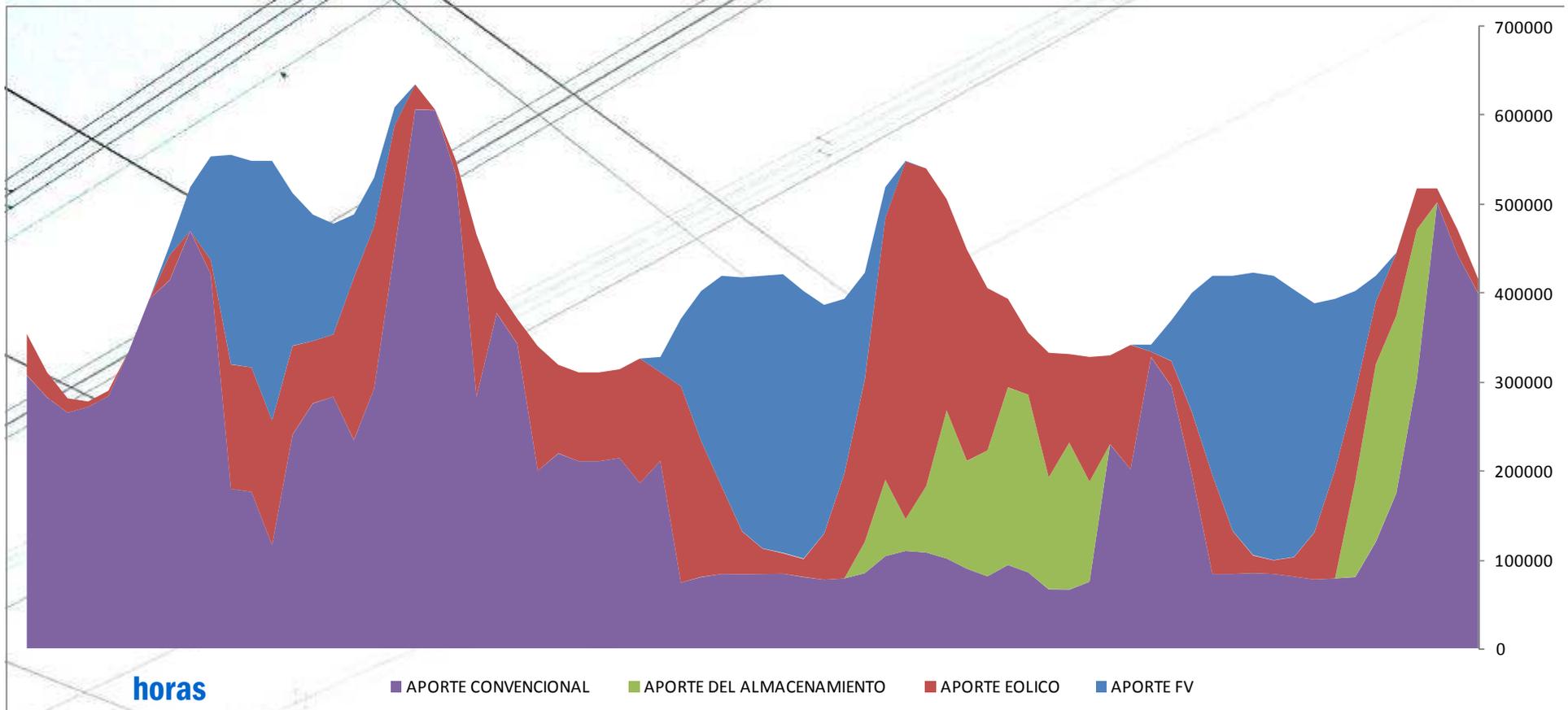
kWh



Experiencia ISLA 100

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

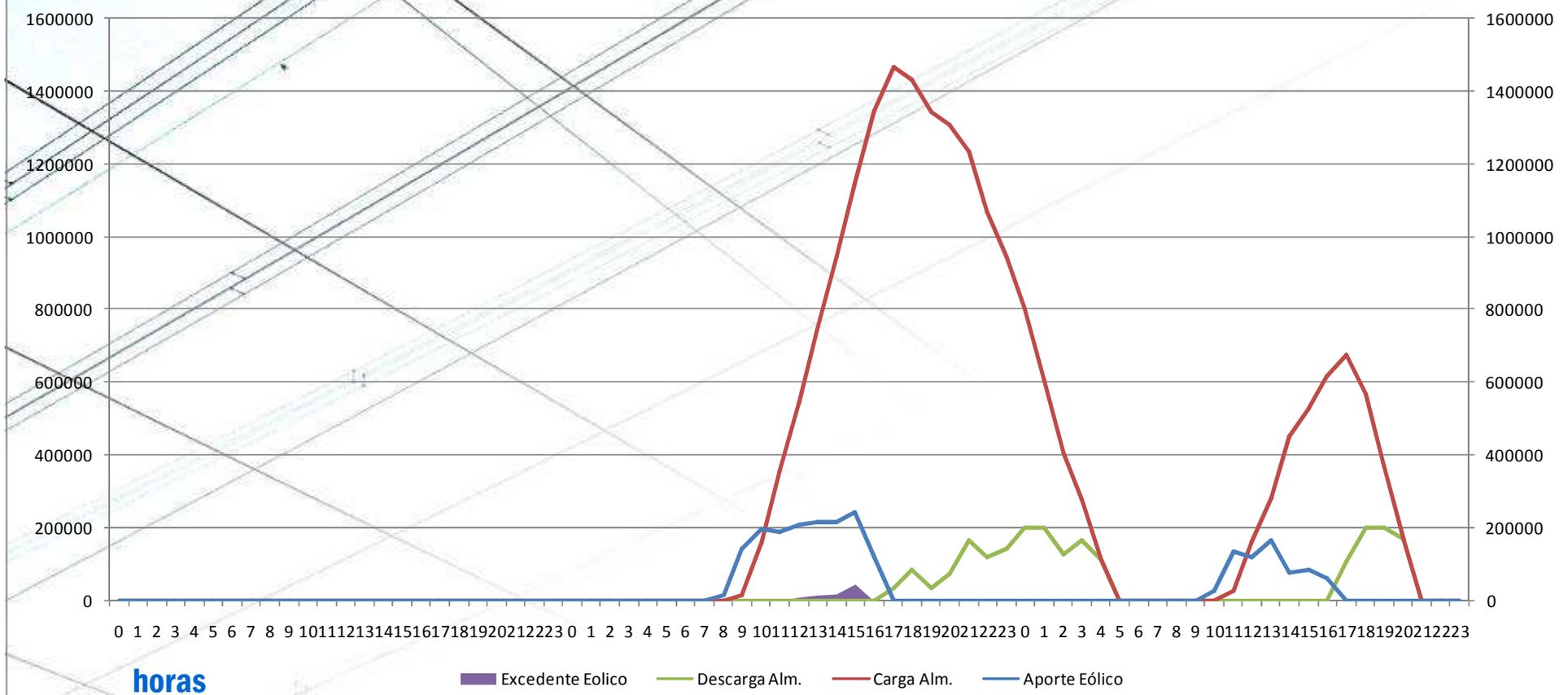
kWh



Experiencia ISLA 100

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

kWh



Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
400	400	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	1.180.339	He sin perdidas	2.820
% perdido	0,10%	He con perdidas	2.817

ENERGÍA A CARGA

Eólica	40.061.393	Porcentaje pérdida ingresos	0,10%
Fuente Cont.	0		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.086.659.652	19,36
Aporte Fotovoltaico	640.233.831	11,41
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	42.061.393	0,75
Consumo No Abastecido	3.843.444.228	68,48
Total Abastecido	31,52	

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
600	600	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	600
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	600
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	146.771.237	He sin perdidas	2.820
% perdido	8,68%	He con perdidas	2.575
		Porcentaje pérdida ingresos	8,68%

ENERGÍA A CARGA

Eólica	190.538.743
Fuente Cont.	0

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.354.542.095	24,13
Aporte Fotovoltaico	958.639.229	17,08
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	192.506.342	3,43
Consumo No Abastecido	3.106.711.438	55,35
Total Abastecido	44,65	

Aumentando ambas Renovables

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO	
ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DE PARTIDA	
Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO		
	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

ENERGÍA PERDIDA	
Eólica	1.017.484.782
% perdido	36,08%

ENERGÍA A CARGA	
Eólica	328.292.959
Fuente Cont.	15.094

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)		
Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	1.000	0
0	0	0

BALANCE ENERGÉTICO		
	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.473.975.718	26,26
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	328.497.315	5,85
Consumo No Abastecido	2.376.834.077	42,35
Total Abastecido	57,65	

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

Aumentando ambas Renovables

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
600	400	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	600
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	73.957.148	He sin perdidas	2.820
% perdido	4,37%	He con perdidas	2.696

ENERGÍA A CARGA

Eólica	133.313.797	Porcentaje pérdida ingresos	4,37%
Fuente Cont.	0		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.484.581.131	26,45
Aporte Fotovoltaico	640.233.831	11,41
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	135.313.797	2,41
Consumo No Abastecido	3.352.270.345	59,73
Total Abastecido	40,27	

Aumentando Eólica

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	400	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	400
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	638.630.560	He sin perdidas	2.820
% perdido	22,65%	He con perdidas	2.181

ENERGÍA A CARGA

Eólica	223.539.092	Porcentaje pérdida ingresos	22,65%
Fuente Cont.	0		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.957.583.807	34,88
Aporte Fotovoltaico	640.233.831	11,41
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	223.947.903	3,99
Consumo No Abastecido	2.790.633.563	49,72
Total Abastecido	50,28	

Aumentando Eólica

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
400	600	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	600
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	17.967.259	He sin perdidas	2.820
% perdido	1,59%	He con perdidas	2.775

ENERGÍA A CARGA

Eólica	106.453.384	Porcentaje pérdida ingresos	1,59%
Fuente Cont.	0		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.003.480.741	17,88
Aporte Fotovoltaico	958.639.229	17,08
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	108.453.384	1,93
Consumo No Abastecido	3.541.825.750	63,11
Total Abastecido	36,89	

Aumentando FV

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
400	1.000	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	400
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	79.315.007	He sin perdidas	2.820
% perdido	7,03%	He con perdidas	2.621

ENERGÍA A CARGA

Eólica	237.593.186	Porcentaje pérdida ingresos	7,03%
Fuente Cont.	6.038		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	810.993.190	14,45
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	239.599.224	4,27
Consumo No Abastecido	3.128.714.696	55,75
Total Abastecido	44,25	

Aumentando Potencia de turbinado

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	1.000	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	400.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	951.339.188	He sin perdidas	2.820
% perdido	33,74%	He con perdidas	1.868

ENERGÍA A CARGA

Eólica	394.438.553	Porcentaje pérdida ingresos	33,74%
Fuente Cont.	15.094		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.473.975.718	26,26
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	394.642.909	7,03
Consumo No Abastecido	2.310.688.482	41,17
Total Abastecido	58,83	

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO

ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	1.000	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Capacidad (kWh)	2.000.000
Potencia turbinado (kW)	600.000

DATOS DE PARTIDA

Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	2.000.000

ENERGÍA PERDIDA

Eólica	947.013.174	He sin perdidas	2.820
% perdido	33,58%	He con perdidas	1.873

ENERGÍA A CARGA

Eólica	398.764.567	Porcentaje pérdida ingresos	33,58%
Fuente Cont.	15.094		

BALANCE ENERGÉTICO

	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.473.975.718	26,26
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	398.968.923	7,11
Consumo No Abastecido	2.306.362.469	41,09
Total Abastecido	58,91	

Aumentando Potencia de turbinado

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO	
ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DE PARTIDA	
Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	#####

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO		
	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

ENERGÍA PERDIDA	
Eólica	807.130.569
% perdido	28,62%

ENERGÍA A CARGA	
Eólica	538.647.172
Fuente Cont.	15.094

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)		
Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	1.000	0
0	0	0

BALANCE ENERGÉTICO		
	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.473.975.718	26,26
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	555.490.786	9,90
Consumo No Abastecido	2.149.840.606	38,31
Total Abastecido	61,69	

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
Capacidad (kWh)	20.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

Aumentando Capacidad de Almacenamiento

Experiencia ISLA 100

DATOS DEL ESCENARIO	
ISLA	TENERIFE
AÑO	2025
AHORRO ENERGÉTICO (%)	0

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO		
	Horas de Sol Equiv.	Velocidad Media (m/s)
Zona 1	1.200	6,50
Zona 2	1.400	7,00
Zona 3	1.500	7,50
Zona 4	1.600	8,00
Zona 5	1.700	8,50

POTENCIA INSTALADA POR ZONAS (MW)		
Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Fuente Continua (MW)
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1.000	1.000	0
0	0	0

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
Capacidad (kWh)	40.000.000
Potencia turbinado (kW)	200.000

DATOS DE PARTIDA	
Potencia Eólica Instalada (MW)	1.000
Potencia Fotovoltaica Instalada (kW)	1.000
Fuente de Producción Continua (MW)	0
Capacidad del Almacenamiento (MWh)	#####

ENERGÍA PERDIDA	
Eólica	781.208.678
% perdido	27,70%

ENERGÍA A CARGA	
Eólica	564.569.064
Fuente Cont.	15.094

He sin perdidas	2.820
He con perdidas	2.039
Porcentaje pérdida ingresos	27,70%

BALANCE ENERGÉTICO		
	Energía (kWh)	Pentr. %
Aporte Eólico	1.473.975.718	26,26
Aporte Fotovoltaico	1.433.091.994	25,53
Aporte Produccion Continua	0	0,00
Aporte Almacenamiento	601.412.677	10,72
Consumo No Abastecido	2.103.918.715	37,49
Total Abastecido	62,51	

Aumentando Capacidad de Almacenamiento

Experiencia ISLA 100

Ordenados por penetración

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Potencia Alm. (MW)	Capacidad Alm. (MWh)	Penetración (%)	Pérdida Ingresos Eólica(%)
1.000	1.000	200	40.000	62,51	27,7
1.000	1.000	200	20.000	61,69	28,32
1.000	1.000	600	2.000	58,91	33,58
1.000	1.000	400	2.000	58,83	33,74
1.000	1.000	200	2.000	57,65	36,08
1.000	400	200	2.000	50,28	22,65
600	600	200	2.000	44,65	8,68
400	1.000	200	2.000	44,25	7,03
600	400	200	2.000	40,27	4,37
400	600	200	2.000	36,89	1,59
400	400	200	2.000	31,52	0,1

Ordenador por pérdida de ingresos

Eólica (MW)	Fotovoltaica (MW)	Potencia Alm. (MW)	Capacidad Alm. (MWh)	Penetración (%)	Pérdida Ingresos Eólica(%)
400	400	200	2.000	31,52	0,1
400	600	200	2.000	36,89	1,59
600	400	200	2.000	40,27	4,37
400	1.000	200	2.000	44,25	7,03
600	600	200	2.000	44,65	8,68
1.000	400	200	2.000	50,28	22,65
1.000	1.000	200	40.000	62,51	27,7
1.000	1.000	200	20.000	61,69	28,32
1.000	1.000	600	2.000	58,91	33,58
1.000	1.000	400	2.000	58,83	33,74
1.000	1.000	200	2.000	57,65	36,08



Manuel Cendagorta-Galarza

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables S.A. (ITER)

(34) 922 747 700 iter@iter.es

www.iter.es

Integración en red:

Soluciones para altas penetraciones eólicas en sistemas insulares

Gran Canaria, 08.11.2010