

Innovaciones en Almacenamiento de Energía



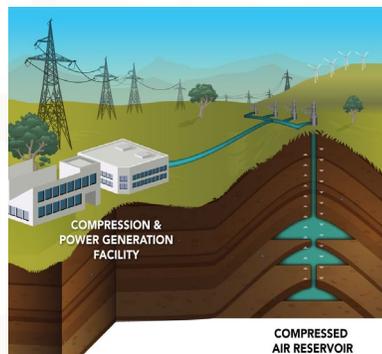
Dra. Tatiana Romero Castañón
Gerencia de Energías Renovables
Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias



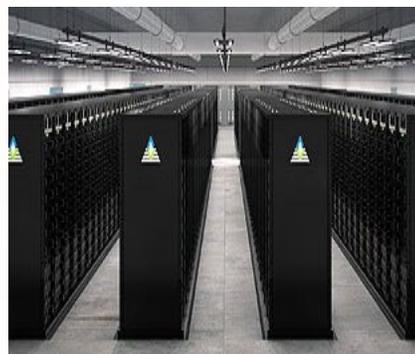
☐ Soluciones de Almacenamiento de Energía de Gran Escala



Hidro



Aire Comprimido



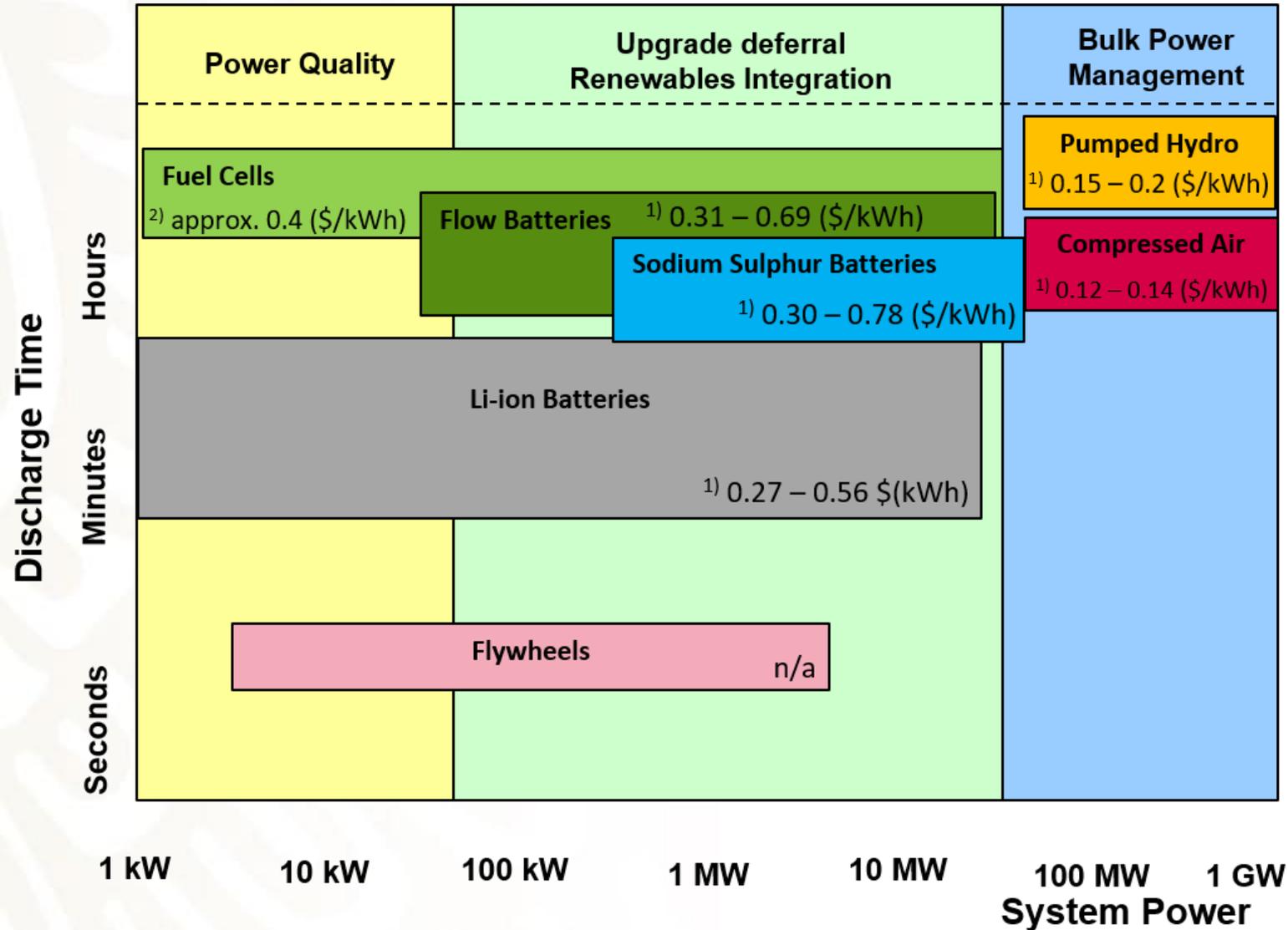
Baterías
(ejemplo, ión-litio)



Baterías de Flujo

“Power-to-Gas”
“Gas-to-Power”
(hidrógeno)

Estado del arte en Tecnologías de Almacenamiento de Energía

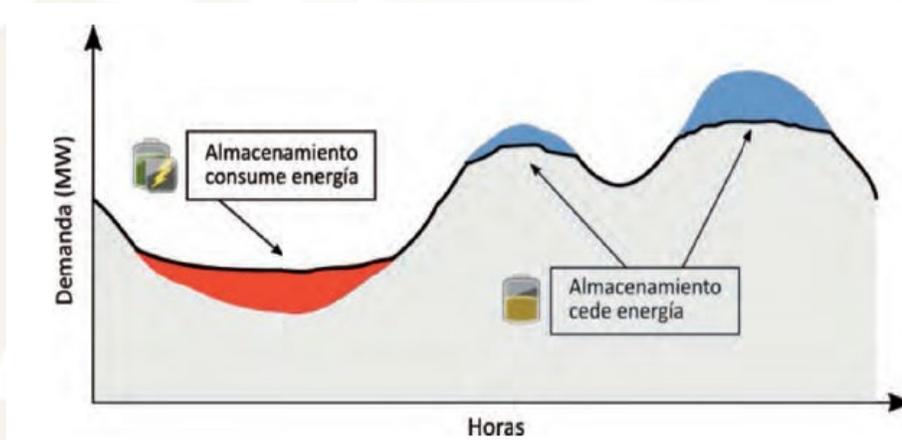


Retos ante la integración de generación renovable

- Regulación de la frecuencia.
- Regulación de voltaje.
- Control de las transferencias de potencia.
- Desbalances de voltajes nodales en la red de distribución.
- Calidad de la energía.
- Confiabilidad y seguridad operativa.
- Restablecimiento ante colapsos.

• Modulación de la Demanda

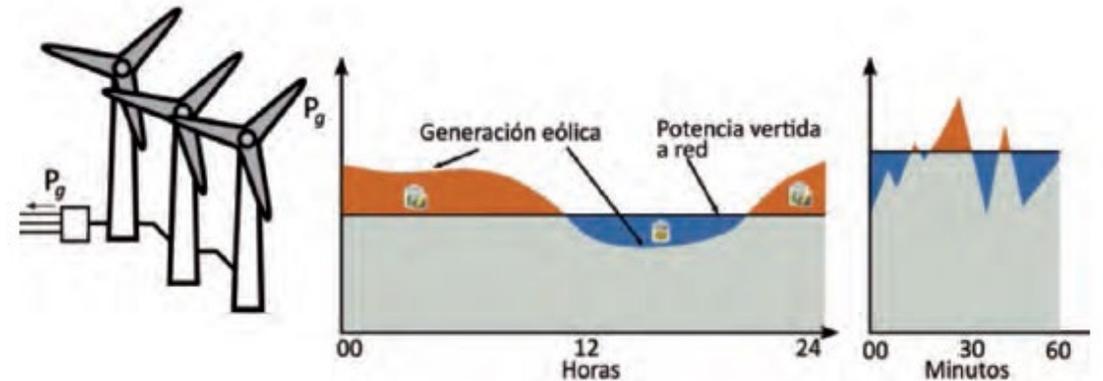
- durante horas de bajo consumo (almacenamiento)
- durante horas de demanda pico (generación)



El almacenamiento de energía en la distribución eléctrica del futuro. Real academia de ingeniería. Endesa. España 2017.

• Gestión de la Generación Renovable

- Evitar la saturación de la línea o transformadores
- Evitar fluctuaciones intrahorarias
- Reducción de pérdidas por curtailment



Laboratorio de Almacenamiento de Energía. Líneas de I + DT



Baterías de Flujo

- Compuestos Orgánicos
- Electrodiálisis



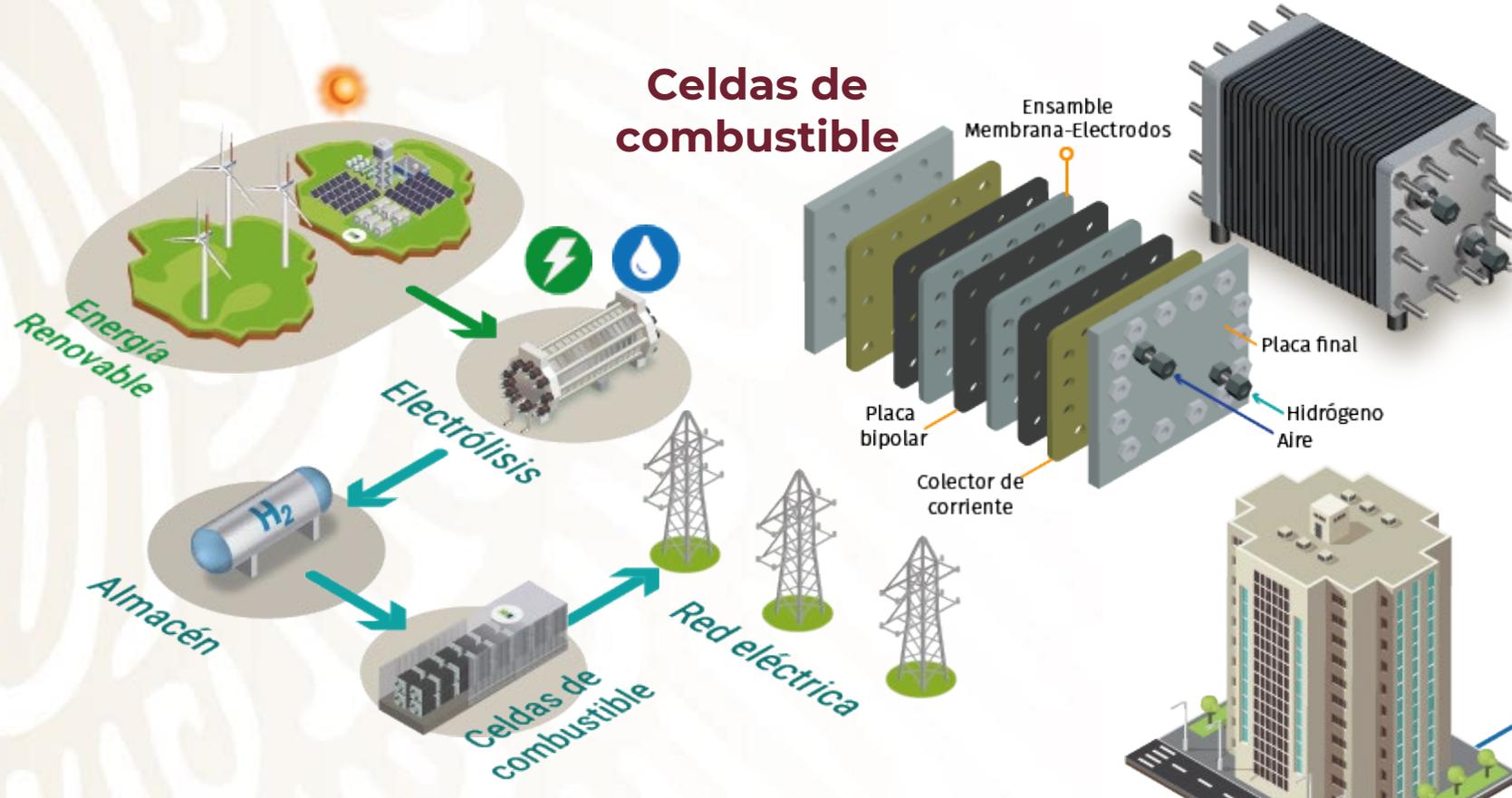
Electrólisis y Celdas de Combustible



Sistemas, Análisis y Mercados

Almacenamiento de energía

Desarrollo de prototipos para almacenamiento de energía de larga duración, mediante tecnologías electroquímicas de bajo costo, para integración de energía renovable en la Red Eléctrica Nacional.



Baterías de flujo

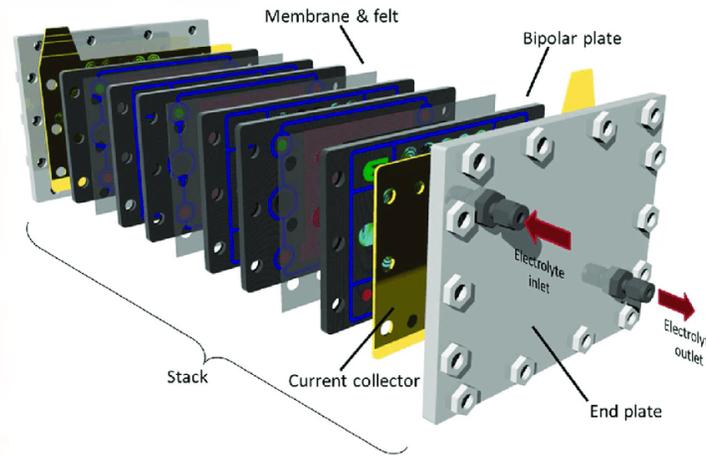
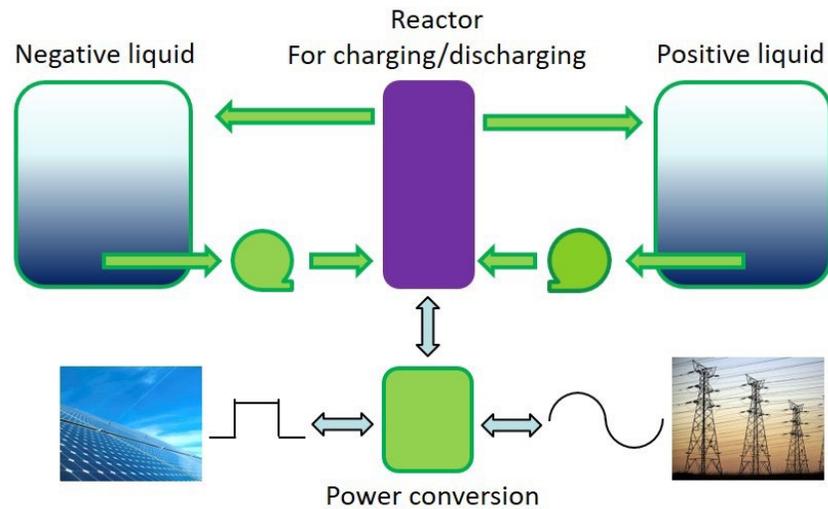
Se desarrollan dos tecnologías nacionales con potencial de almacenar hasta 24 horas de energía a bajo costo operativo y de inversión. Meta: 0.2 USD/kWh



Hidrógeno

Generación de hidrógeno verde mediante electrólisis del agua. Se aprovechan excedentes de fuentes renovables para almacenar energía hasta por meses y resuelve el problema de su intermitencia.

Baterías de Flujo

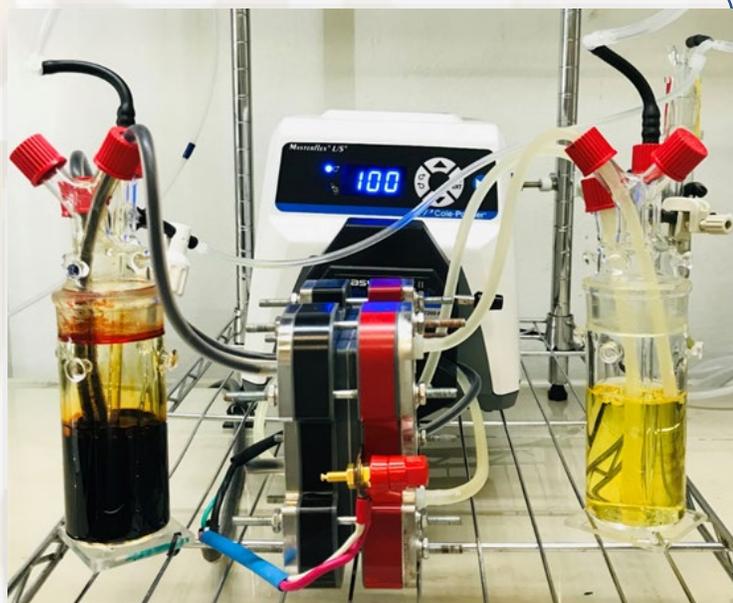


Características claves:

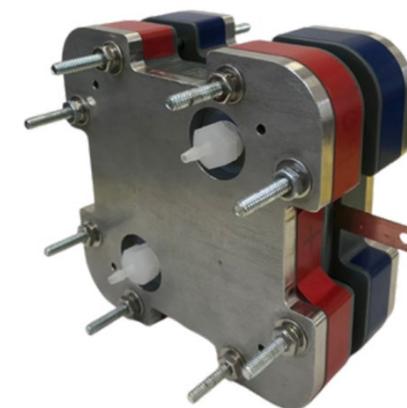
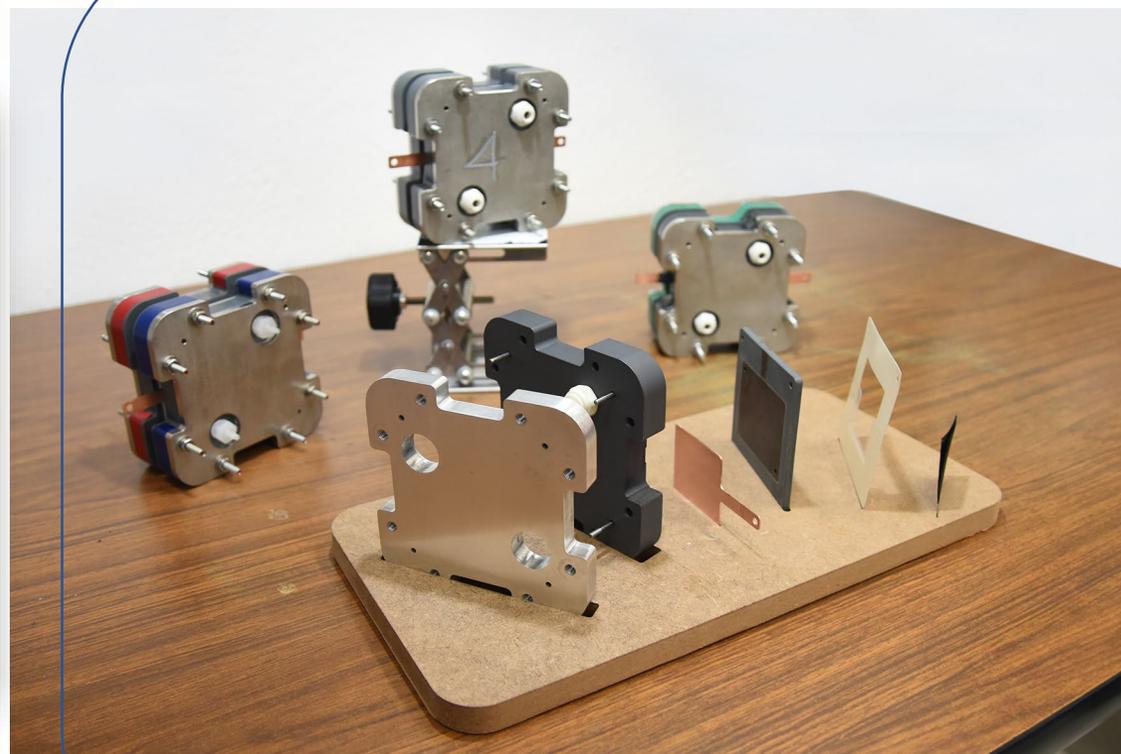
- Electrolitos líquidos (no inflamables): capacidad energética definida por el volumen de los electrolitos
- Reactor electroquímico (“stack”) para facilitar los procesos de carga/descarga: potencia definida por el área electroquímica en el reactor
- Escalamiento hacia larga duración es fácil: solo incrementar el volumen de los electrolitos

INEEL: Baterías de Flujo Escalables

Prototipo Laboratorio 26 cm²



- Compuestos Comerciales
- Compuestos orgánicos sugeridos por estudios teóricos



Escalamiento: Baterías de Flujo Escala Intermedia

Prototipo Laboratorio 1064 cm²

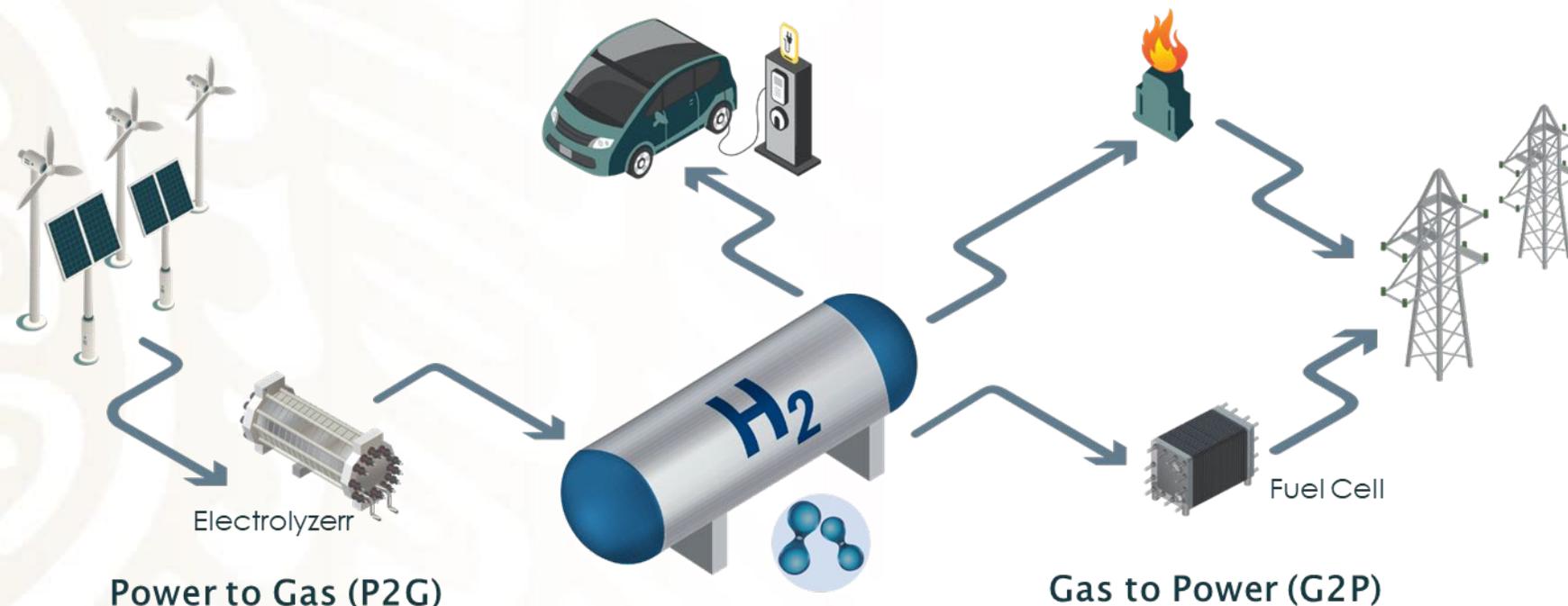


Estación de pruebas de baterías de flujo

1. Celda (reactor electroquímico)
2. Contenedor para almacenar electrolitos
3. Bombas de recirculación
4. Sensor de velocidad de flujo y temperatura
5. Sensor de estado de carga
6. Sistema de control electrónico
7. Campana de protección



Tecnologías de Hidrógeno



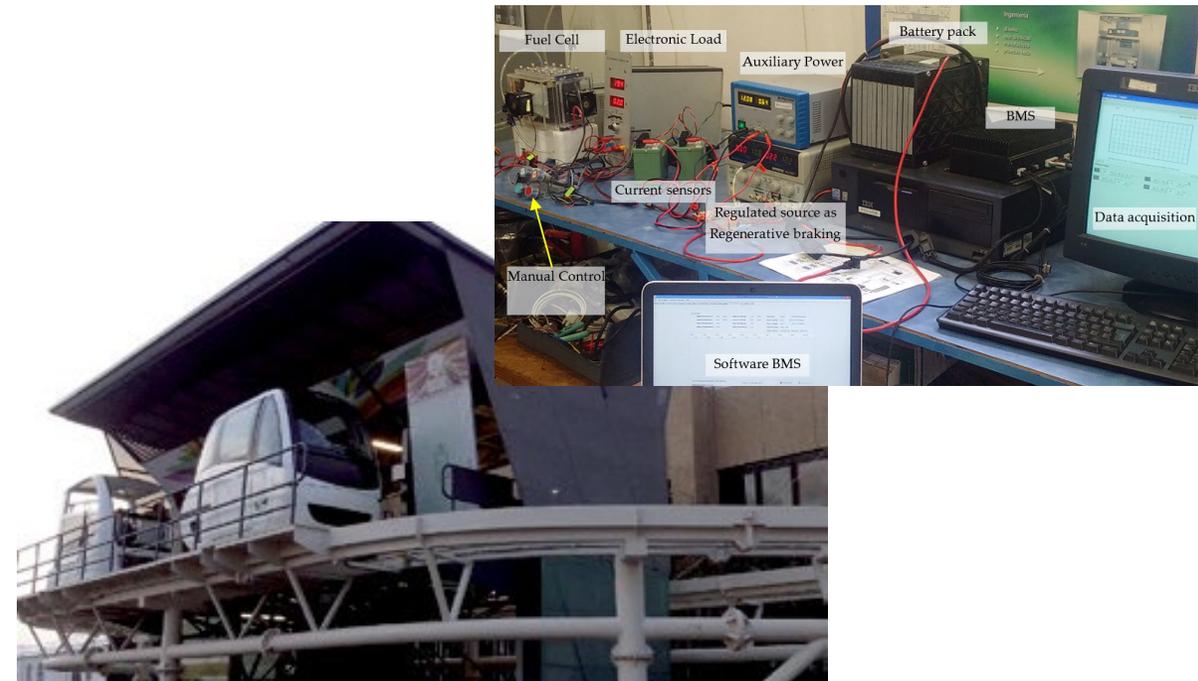
- En un sistema “Power-to-Gas-to-Power” se usa un electrolizador para convertir agua en hidrógeno (usando electricidad) y una celda de combustible para convertir el hidrógeno otra vez en electricidad
- El electrolizador y la celda de combustible son reactores electroquímicos que utilizan catalizadores a base de platino
- La potencia del reactor depende del área y es escalable (módulos) y la energía depende del volumen del tanque de hidrógeno

Vehículo a hidrógeno - 2019



INEEL desarrolló un vehículo eléctrico a hidrógeno para aplicaciones en el Sector Turismo. El proyecto es un desarrollo para una empresa mexicana e incluyó un sistema de almacenamiento de hidrógeno y su alimentación a una celda de combustible PEM

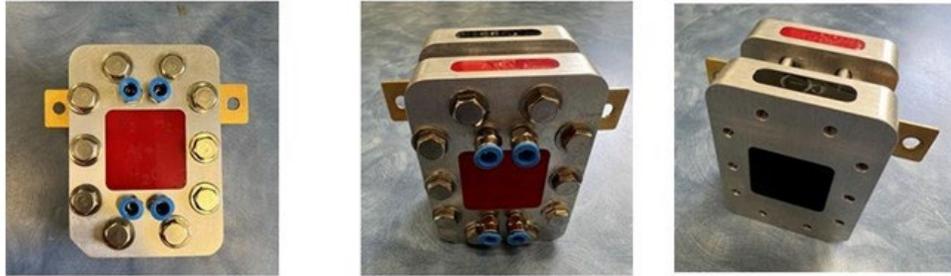
INEEL desarrolló un proyecto para explorar el uso de Celdas de combustible en un sistema de transporte eléctrico rápido grupal (RGT), para una empresa mexicana



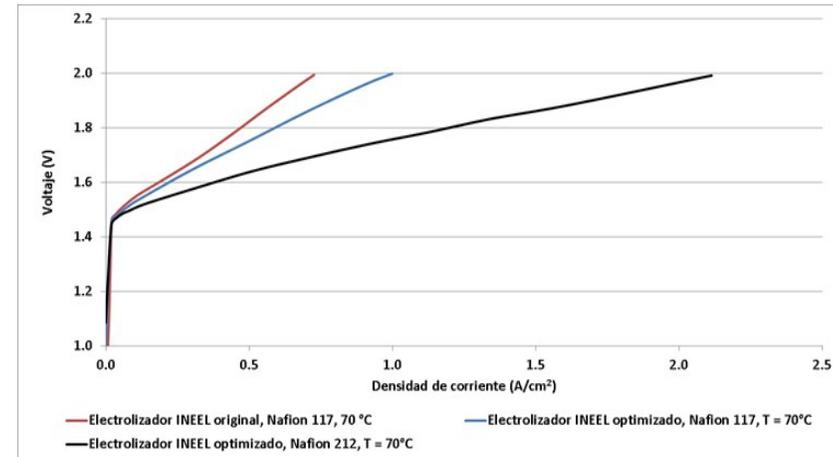
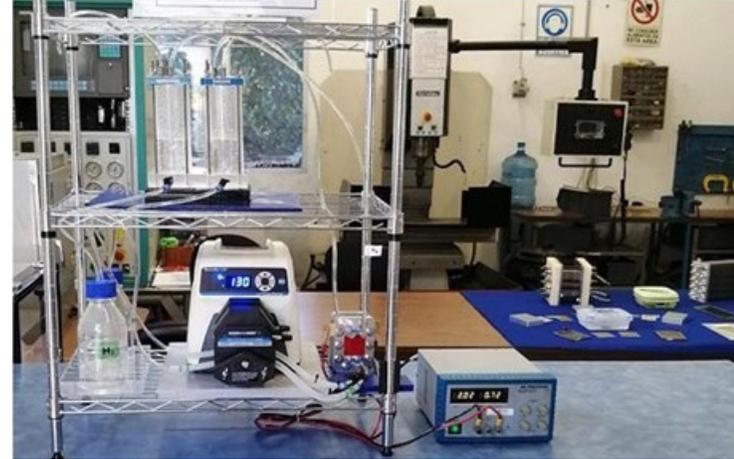
Las configuración exploradas incluyeron como extensor de autonomía y como potencia auxiliar para atender la carga en forma híbrida

INEEL: Electrolizador tipo PEM

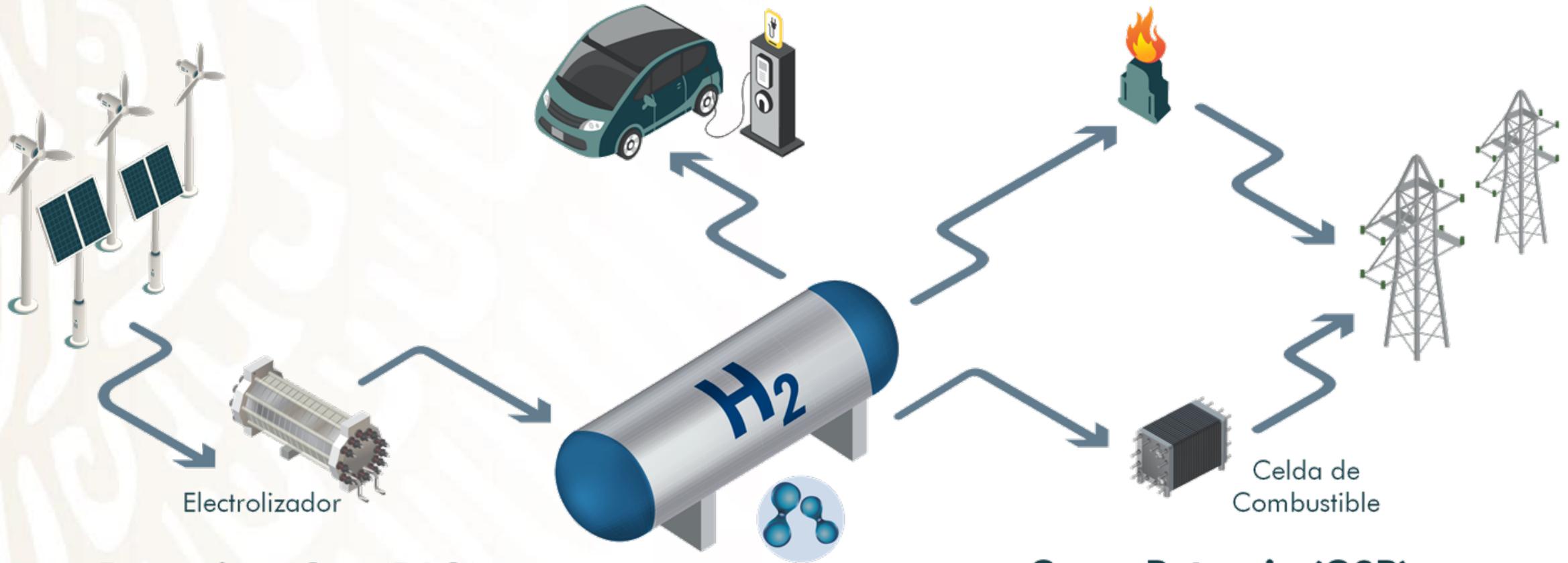
Electrolizador monocelda de 9 cm² de área activa (18 W de potencia nominal)



Stack de electrolizador de 50 cm² de área activa (1000 W de potencia nominal)



Modelamiento de Aplicaciones: Power to Gas



Potencia a Gas (P2G)

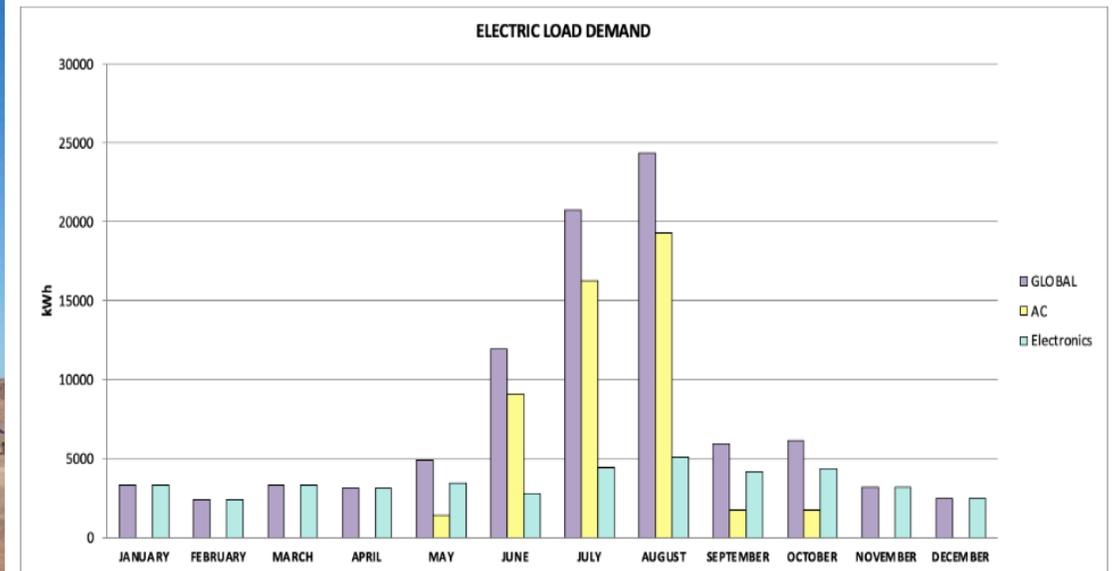
Gas a Potencia (G2P)

Aplicaciones de H2 en comunidades aisladas

México, Almacenamiento de energía interestacional con H2
Microrred en BC, México



Demanda anual de la micro red

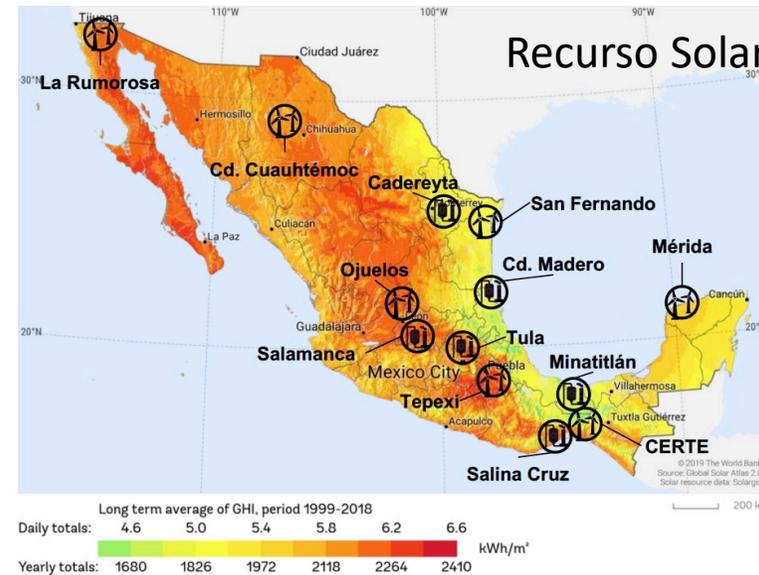
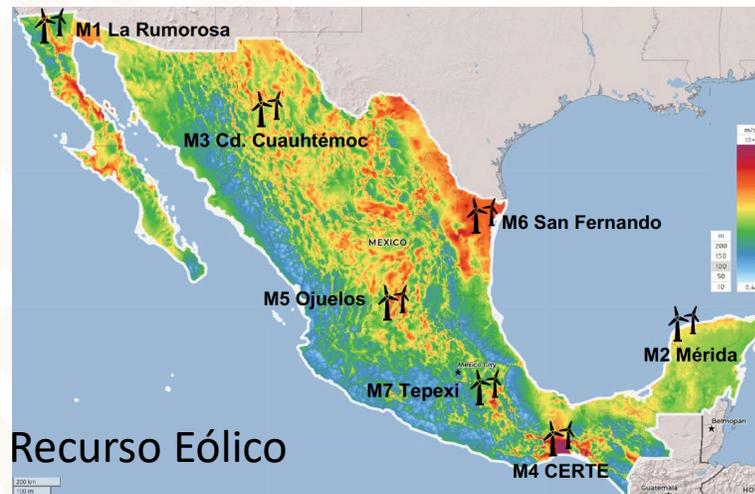
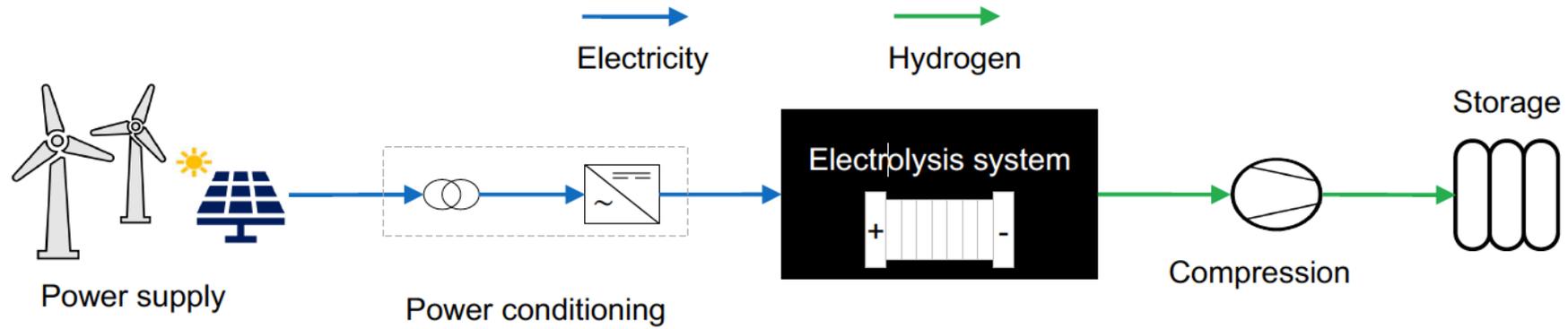


El almacenamiento de H₂ interestacional reduce el consumo de Diesel y emisiones de CO₂.

“A techno-economic study for a hydrogen storage system in a microgrid located in Baja California, Mexico. Levelized cost of energy for power to gas to power scenarios” Int. Journal Hydrogen Energy, 47, 70, 2022.

Modelo de producción de H₂ verde para PEMEX

*LCOH: \$2 USD/kg H₂ a \$0.8USD/kg H₂





Gracias!

tromero@ineel.mx



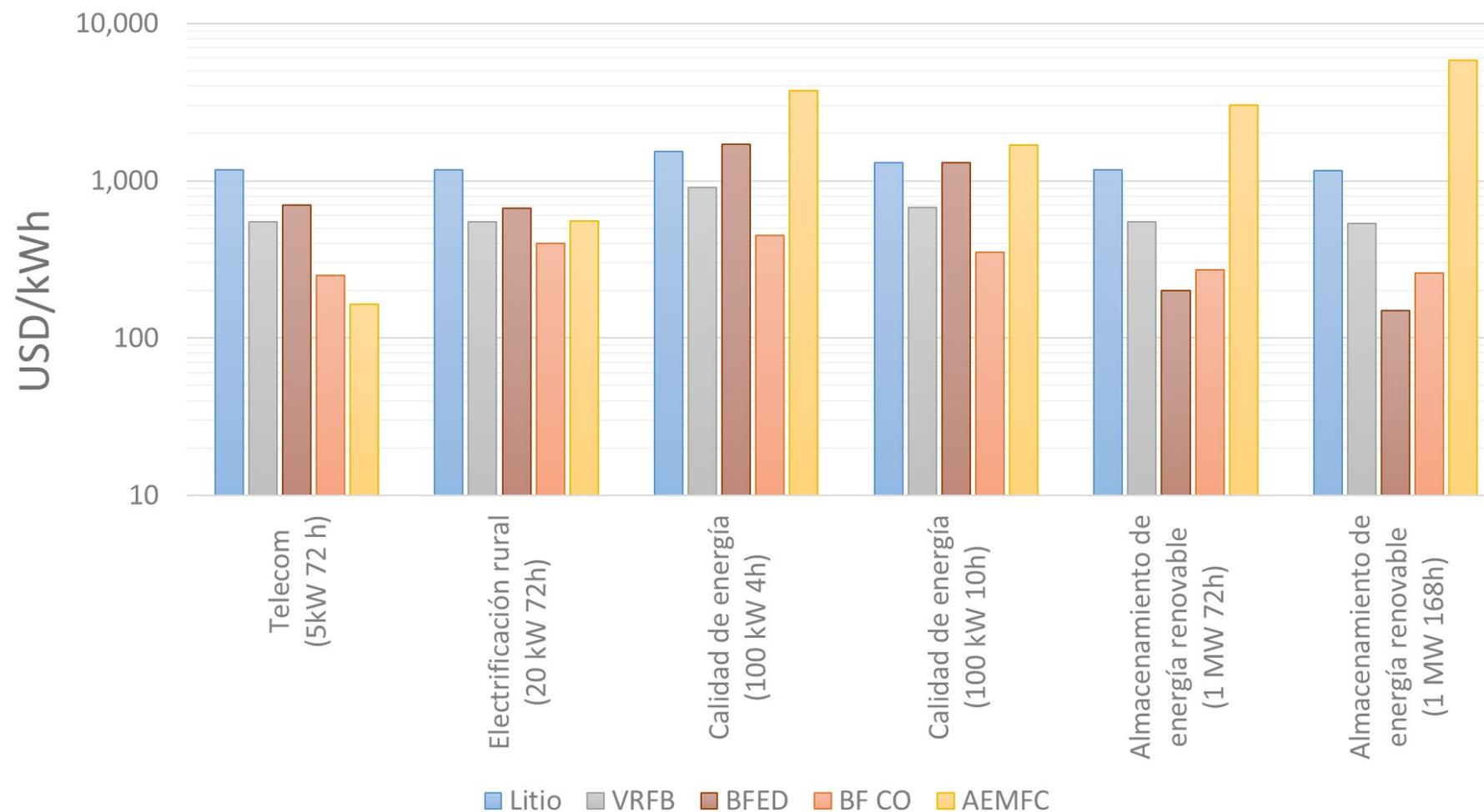
SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



INEEL
INSTITUTO NACIONAL
DE ELECTRICIDAD Y
ENERGÍAS LIMPIAS

Comparativo de costos promedio

Costo Promedio (USD/kWh)



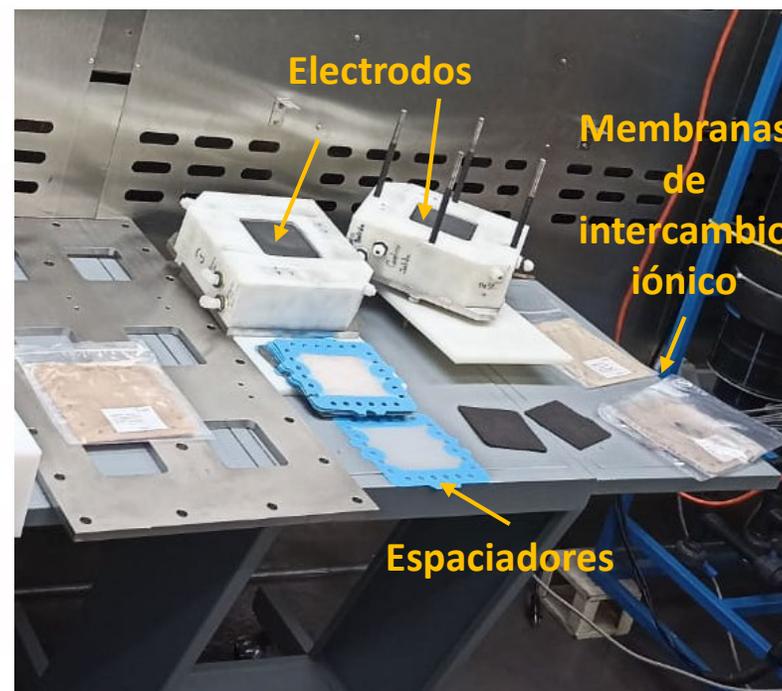
Comparación Nuevas Tecnologías con Estado de Arte

Tecnología	Benchmark			Baterías de Flujo de Electrodiálisis	Baterías de Flujo de Compuestos Orgánicos	H2 Power to Gas Alcalina
	Ion-litio	Estado de arte BF: Vanadio	Estado de Arte P2G - PEM			
Óptima Duración de descarga	1 – 4 horas	4 – 15 horas	>> 10 horas	4 – 15 horas	4 – 15 horas	>> 10 horas
Eficiencia “ida y vuelta” (AC-AC)	90 - 92%	70 – 75%	~ 40 - 45 %	55 – 60 %	70 – 75%	~ 40 - 45 %
CAPEX (USD/kWh)*	244	300	492	100	200	345
Densidad Energética (Wh/kg)	80-200	~ 20	~14,000 ¹	~ 10	~ 20	~14,000 ¹
O&M ²	2.0 % CAPEX	2.5 % CAPEX	2.75 % CAPEX	2.5 % CAPEX	2.5 % CAPEX	2.5 % CAPEX
Costo de “aumento”	4.6 % ESS ⁺	2.5 % ESS	2.5 % ESS	2.5 % ESS	2.5 % ESS	2.5 % ESS
LCOS (USD/kWh)	0.260	0.297	0.4739	0.177	0.226	0.3671

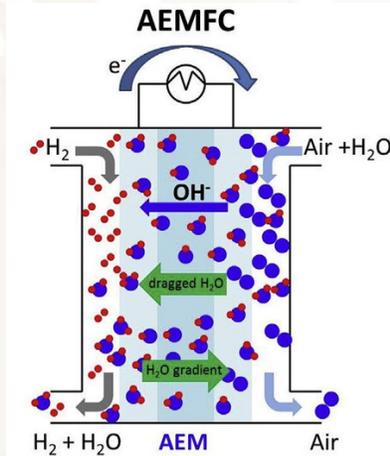


INEEL: Desarrollo de Baterías de Flujo Electrodiálisis

- Placas de fin y de compresión
- Electrodo
- Espaciadores
- Membranas de intercambio iónico (aniónica, catiónica y bipolar)

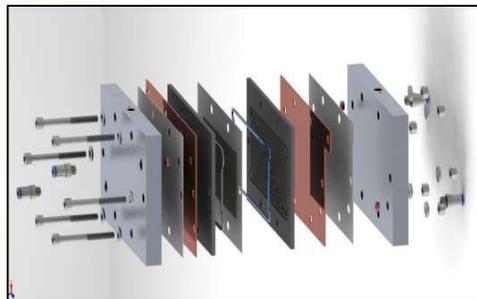
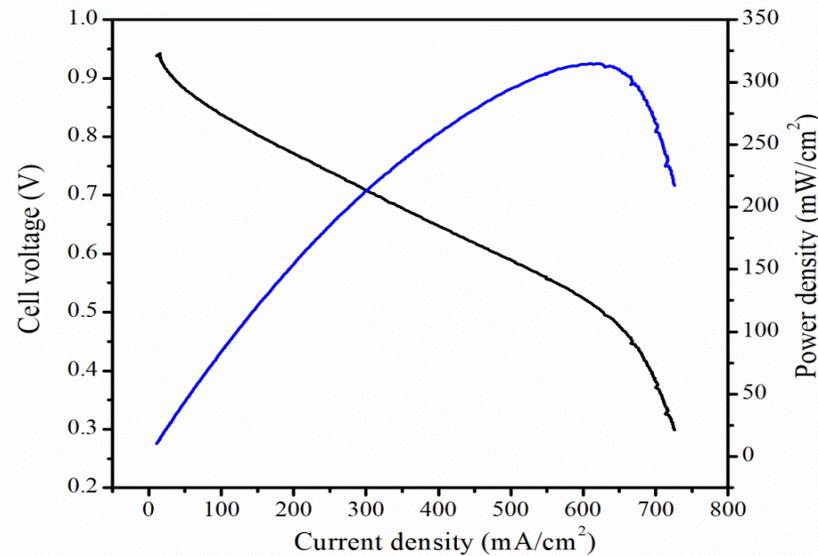
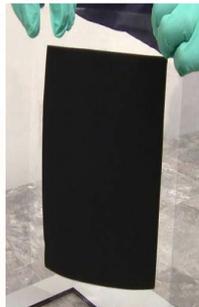
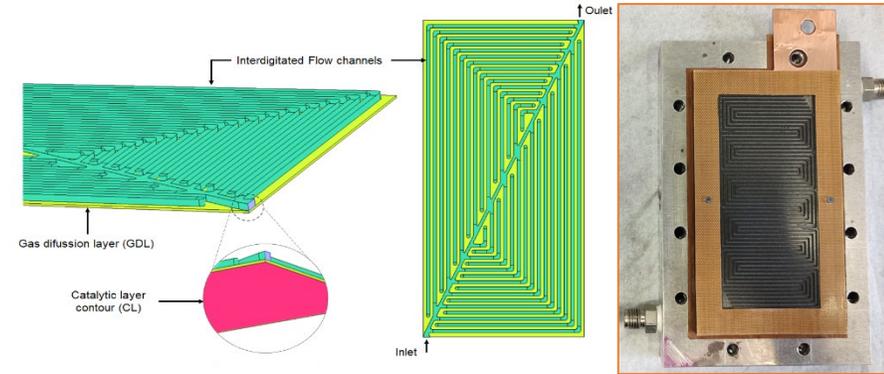


INEEL: Celdas de combustible Avanzadas Alcalinas tipo AEM



El proyecto busca incorporar materiales de bajo costo

- Libres de Platino: **Ag, Cu, Ni**, etc.
- Membranas libres de Flúor: AEM
- Diseños de campos de flujo
- BOP y control



□ Aplicaciones

Tecnología	Baterías de Flujo de Electrodiálisis	Baterías de Flujo de Compuestos Orgánicos	Hidrógeno
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aplicaciones aisladas (~12 horas):</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Comunidades (~ 1.3 Millones)</i> ✓ <i>Hospitales comunitarios</i> ✓ <i>Minas</i> ✓ <i>Tecnificación del campo</i> • <i>Mantener la calidad y continuidad del suministro eléctrico durante la integración de renovables</i> • <i>Transmisión & Distribución:</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Aliviar congestión</i> ✓ <i>Diferir inversiones</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aplicaciones aisladas (~12 horas):</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Comunidades (~ 1.3 Millones)</i> ✓ <i>Hospitales comunitarios</i> ✓ <i>Minas</i> ✓ <i>Tecnificación del campo</i> • <i>Mantener la calidad y continuidad del suministro eléctrico durante la integración de renovables</i> • <i>Transmisión & Distribución:</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Aliviar congestión</i> ✓ <i>Diferir inversiones</i> <p>**usan la mitad de ocupación de espacio que las BF ED</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Enfoque en aplicaciones aisladas (~12 horas):</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Comunidades (~ 1.3 Millones)</i> ✓ <i>Hospitales comunitarios</i> ✓ <i>Minas</i> ✓ <i>Tecnificación del campo</i> ✓ <i>Almacenamiento inter-estacional en comunidades</i> • <i>Transmisión & Distribución:</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Diferir inversiones</i>

Potencial del H₂ verde ante los retos del sector eléctrico

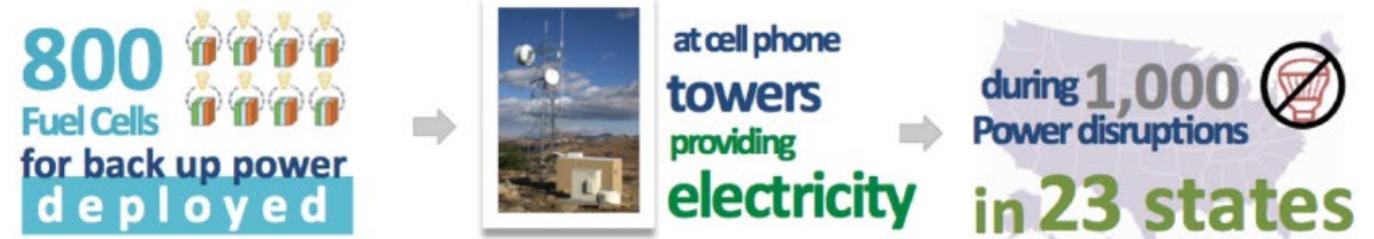
Retos	Papel potencial del hidrógeno verde
Descarbonización	Facilita la viabilidad para una mayor penetración de energías renovables
Independencia energética	Desplaza el uso de combustibles fósiles importados
Seguridad energética	Mejora la disponibilidad energética manteniendo precios asequibles
Eficiencia energética	Mayor eficiencia de conversión con Celdas de Combustible
Resiliencia	Proporciona soporte energético de horas a meses, aportando una solución ante eventos catastróficos climáticos y técnicos
Estabilidad de la red y mercado eléctrico	Complementa el uso de otras opciones de almacenamiento de energía para el balance y calidad de la energía eléctrica que se entrega al usuario, con servicios a la red, tales como:

Tecnologías de H₂: Restablecimiento ante colapsos

Servicios con H₂:

- Telecomunicaciones
- Hospitales
- Tiendas de Servicio y Alimentos
- Refugios
- Estaciones de Bomberos y Policía
- Estaciones de Gas
- Centros de Datos
- Respaldo de la Red (MW FC)
- Residencial (MCHP+FC)

Fuel Cells Provide Resiliency to the Grid



Source: "Hydrogen Fuel Cell Performance as Telecommunications Backup Power in the United States" NREL/TP-5400-60730

98.8% de arranques exitosos de las celdas de combustible para energía de respaldo