



Almacenamiento de energía



VIII Congreso Bienal Internacional

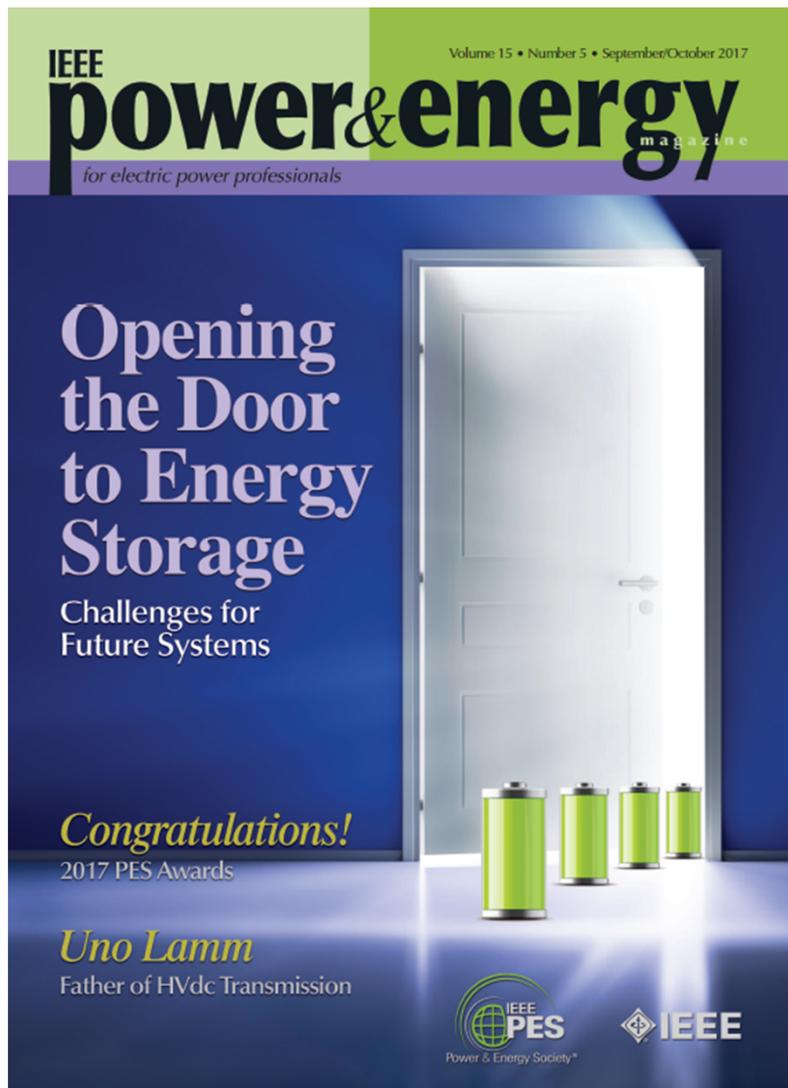
16 de octubre de 2017



Los sistemas eléctricos enfrentan una penetración cada vez mayor de **generación eólica y solar a bajo costo**, lo que requerirá una **flexibilidad creciente**, indispensable para mantener una operación estable. Los agentes existentes tienen capacidades técnicas limitadas para proporcionar la flexibilidad necesaria y se requieren nuevas alternativas.

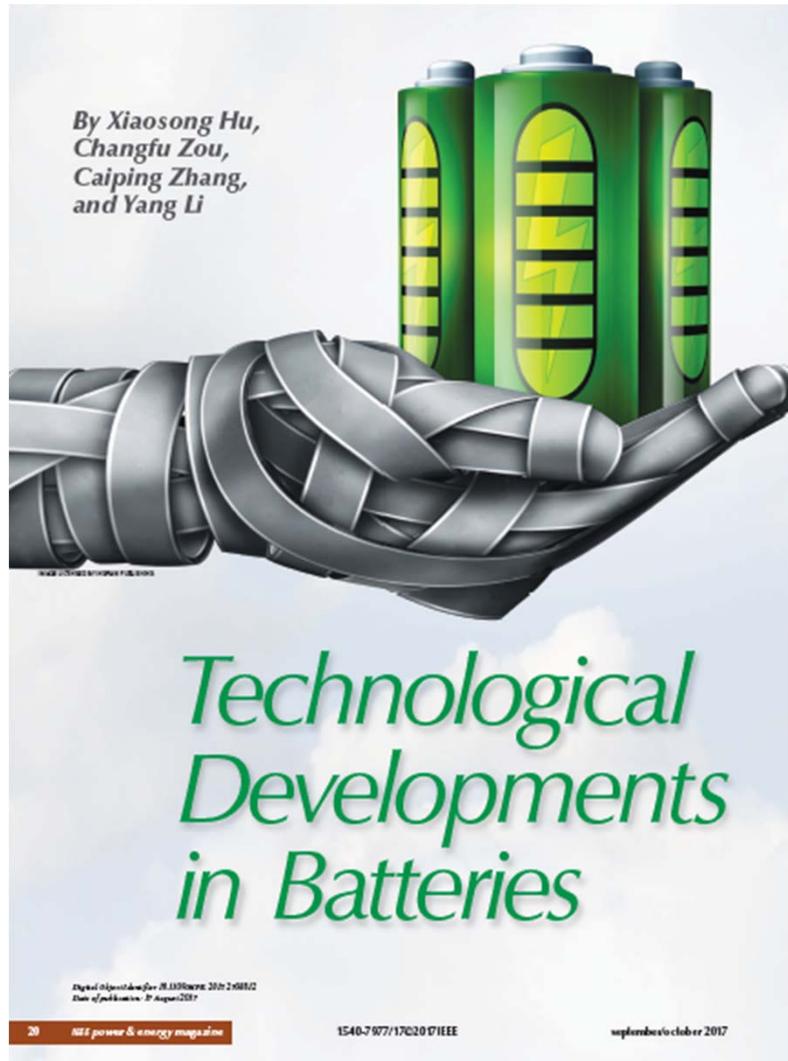
Soluciones avanzadas de almacenamiento basadas en baterías están haciéndose esenciales para una solución global. Ofrecen importantes beneficios técnicos y económicos, incluida reducción de inversión en infraestructura de generación, transmisión y distribución, así como reducción de costos de operación.

No sorprende que el almacenamiento de energía se destaque como el "**santo grial**" de la tecnología energética.



- Desarrollos tecnológicos en baterías
- Beneficios del sistema y oportunidades de negocio para el almacenamiento de energía
- Estado del arte y el debate regulador sobre sistemas de almacenamiento de energía
- Almacenamiento y uso de energía eléctrica en los Estados Unidos y China
- Integración de almacenamiento de energía en PJM
- El papel de la generación hidroeléctrica para facilitar la integración de las energías renovables en América Latina
- Almacenamiento de energía en microrredes

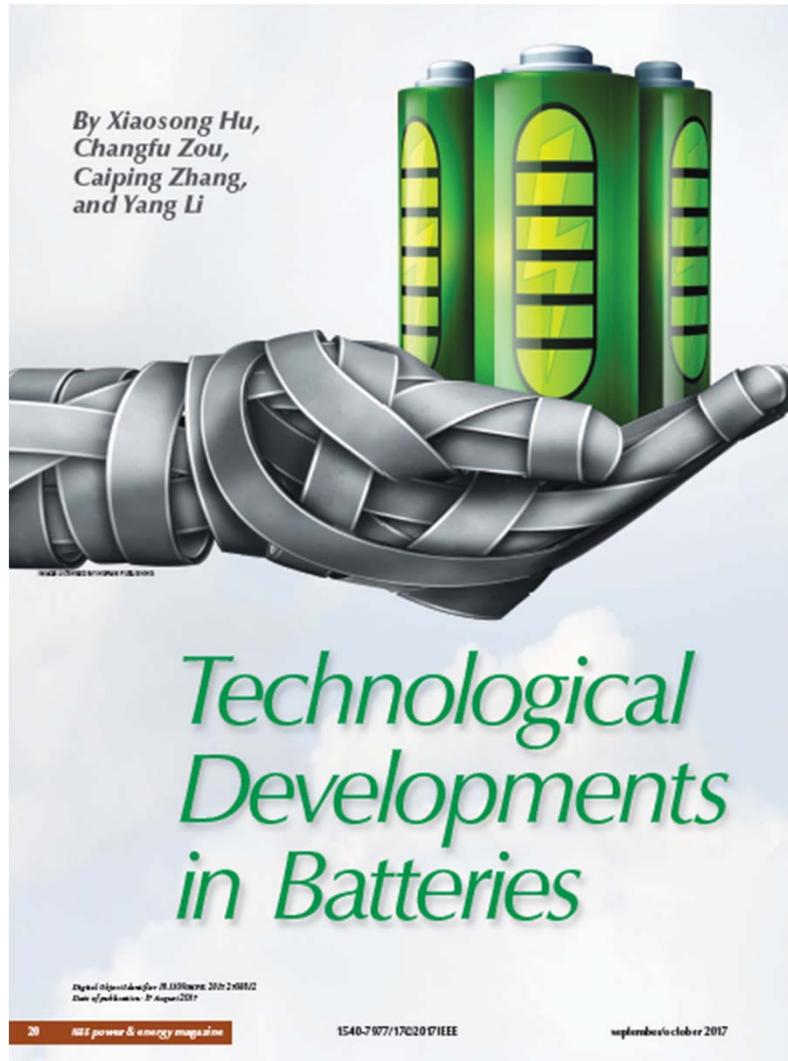
Baterías



Visión tecnológica de las **baterías** y su desarrollo, revisando los roles del almacenamiento de energía de ellas en aplicaciones de servicios públicos, describiendo las categorías de baterías de escala comercial y cubriendo sus características tecnológicas y sus aplicaciones en el mundo real.

El almacenamiento de energía de la batería es muy beneficioso para estabilizar la red eléctrica y equilibrar las renovables, balanceando oferta y demanda en tiempo real, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas donde las técnicas tradicionales de almacenamiento de energía, como las centrales de bombeo y el aire comprimido, son a menudo inviables.

Baterías



Aumento rápido de la capacidad de la **batería de iones de litio**, convirtiéndose en la tecnología de almacenamiento de batería dominante en el futuro.

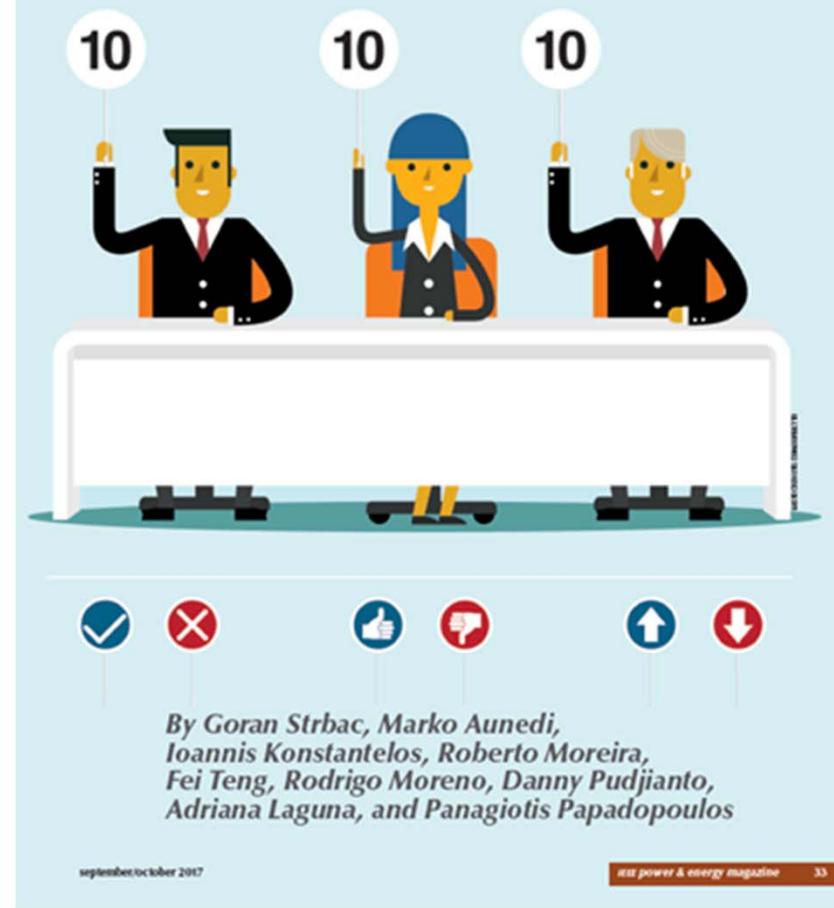
A pesar del progreso significativo en las químicas y los materiales de las baterías, aún son necesarios **sistemas de administración** de baterías efectivos y confiables para el monitoreo del estado, la regulación de carga / descarga, los controles térmicos, el balance de celdas, la salud de las instalaciones, y la protección de la seguridad del almacenamiento en baterías a gran escala.

Opportunities for Energy Storage

El mercado actual y las barreras regulatorias pueden impedir el logro del valor del sistema si un activo de almacenamiento de energía **no puede acceder a toda la gama de servicios**.

El desarrollo de mercados costo reflectivos completos y marcos regulatorios efectivos, a través del establecimiento de un campo de juego equilibrado, entre la inversión en red tradicional y soluciones de generación, en comparación con inversión en almacenamiento de energía, es necesario, para **garantizar que los incentivos comerciales para el almacenamiento estén alineados con los beneficios sociales**.

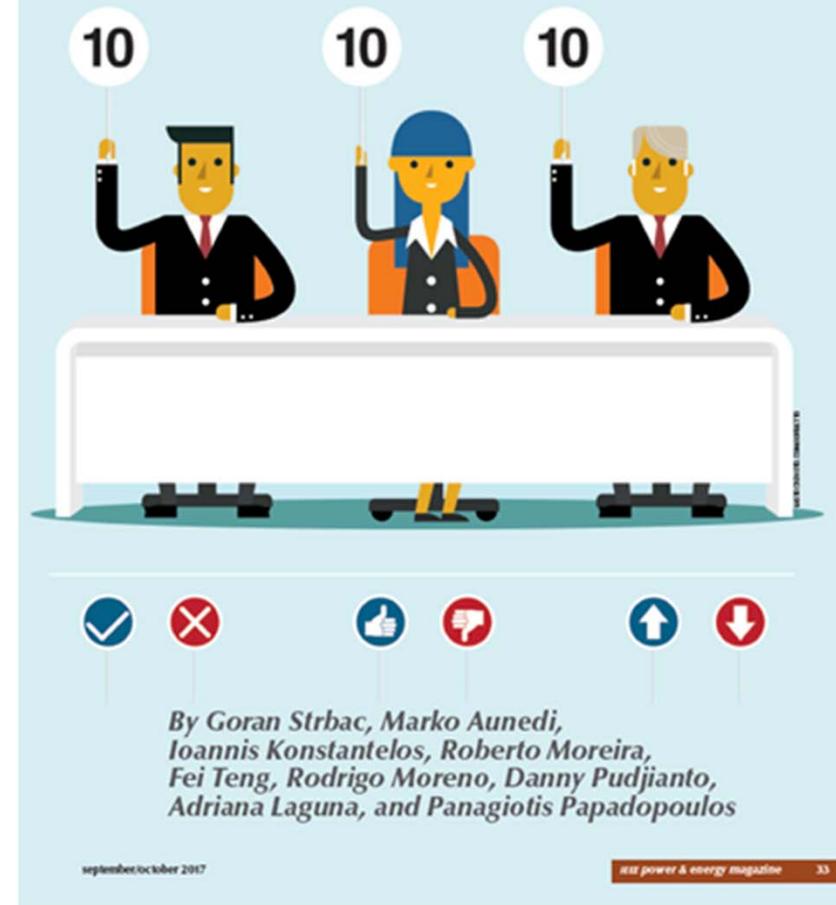
Revisan los beneficios en el sistema completo del despliegue de almacenamiento, en especial beneficios económicos, con particular atención al futuro sistema eléctrico del Reino Unido.



Opportunities for Energy Storage

Evalúan el valor del almacenamiento para alcanzar objetivos de carbono a un costo menor y la **competencia que puede surgir entre el almacenamiento de energía y otras soluciones flexibles**.

Se revisan las necesarias estructuras de mercado y casos de negocio para el almacenamiento de energía, describiendo los servicios clave en los que el almacenamiento de energía puede ser un contribuyente importante, como **el arbitraje energético, el balance, la gestión de redes y el mercado de capacidad**.



The Regulatory Debate About Energy Storage Systems

ENERGY STORAGE HAS LONG BEEN LAUDED AS THE holy grail of energy technologies. Low-cost energy storage, proponents say, will usher in a new era in power systems, enabling large penetrations of variable renewable energy technologies and reshaping the way electricity networks deliver energy.

Apart from pumped-storage hydroelectric power stations, energy storage deployment is still very low. However, this picture can rapidly change as innovations in energy storage technologies reduce costs and increase performance. In this context, a proper regulatory design is a key factor in allowing for efficient deployment of this technology.

Today, regulations must be updated to clarify the role of storage and enable it to provide value to power systems. Here, we review and evaluate the current state of the art in regard to the regulatory discussion affecting storage, paying particular attention to the regulatory proposals recently published by both the U.S. Federal Energy Regulatory Commission (FERC) and the European Commission.

By Inés Usera, Pablo Rodilla, Scott Burger, Ignacio Herrero, and Carlos Battie

Digital Object Identifier 10.1109/MPPE.2017.2708259
Date of publication: 17 August 2017

42 IEEE power & energy magazine

1540-7977/17C/20171EEE

september/october 2017

Revisa y evalúa el estado actual de la discusión regulatoria que afecta el almacenamiento, prestando especial atención a las propuestas reguladoras recientemente publicadas tanto por la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC) como por la Comisión Europea.

Destaca la **necesidad de focalizar el debate sobre la propiedad y el funcionamiento del almacenamiento en torno a sólidos principios económicos y regulatorios.**

Dada la amplia gama de servicios que los sistemas de almacenamiento de energía pueden proporcionar, una gran variedad de agentes, tienen interés en ser dueños y operadores de ellos, incluidos generadores, consumidores, y propietarios y operadores de redes.

The Regulatory Debate About Energy Storage Systems

ENERGY STORAGE HAS LONG BEEN LAUDED AS THE holy grail of energy technologies. Low-cost energy storage, proponents say, will usher in a new era in power systems, enabling large penetrations of variable renewable energy technologies and reshaping the way electricity networks deliver energy.

Apart from pumped-storage hydroelectric power stations, energy storage deployment is still very low. However, this picture can rapidly change as innovations in energy storage technologies reduce costs and increase performance. In this context, a proper regulatory design is a key factor in allowing for efficient deployment of this technology.

Today, regulations must be updated to clarify the role of storage and enable it to provide value to power systems. Here, we review and evaluate the current state of the art in regard to the regulatory discussion affecting storage, paying particular attention to the regulatory proposals recently published by both the U.S. Federal Energy Regulatory Commission (FERC) and the European Commission.

By *Inés Usera, Pablo Rodilla, Scott Burger, Ignacio Herrero, and Carlos Battie*

Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.2708259
Date of publication: 17 August 2017

42 IEEE power & energy magazine

1540-7977/17C/2017IEEE

september/october 2017

El debate regulador se ha centrado en la definición de almacenamiento, es decir, **si debe clasificarse como un activo de red o de generación o como una nueva categoría separada de activos.**

Es necesario actualizar los mecanismos regulatorios en los mercados de capacidad, energía y servicios complementarios para garantizar que los productos del mercado estén abiertos y comunicar adecuadamente el valor de las diversas necesidades del sistema, como la flexibilidad.

Formula actualizaciones necesarias para las prácticas de diseño tarifario, destacando innumerables formas en que algunas prácticas tarifarias actuales pueden limitar el valor que puede proporcionar el almacenamiento de energía.

Aplicación en EEUU & China



ELECTRICAL ENERGY STORAGE (EES) systems are expected to play an increasing role in helping the United States and China—the world's largest economies with the two largest power systems—meet the challenges of integrating more variable renewable resources and enhancing the reliability of power systems by improving the operating capabilities of the electric grid. EES systems are becoming integral components of a resilient and efficient grid through a diverse set of applications that include energy management, load shifting, frequency regulation, grid stabilization, and voltage support.

The increasing demand for specialized grid services in both countries will drive the adoption and large-scale deployment of EES systems—gradually making them a mainstream technology widely considered in planning, building, and operating electric power systems. EES applications in the United States and China share some common goals, but they differ somewhat in implementation. The experiences of grid-level EES

Grid-Level Application of Electrical Energy Storage

Describe la aplicación a nivel de la red de transmisión de los casos de almacenamiento y uso de energía eléctrica en los Estados Unidos y China. Se espera que los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica desempeñen un papel cada vez más importante ayudando a estos países a enfrentar los desafíos de integrar recursos renovables más variables y mejorar la confiabilidad de los sistemas eléctricos, mejorando las capacidades operativas de la red eléctrica.

Example Use Cases in the United States and China

By Yingchen Zhang, Vahan Gevorgian, Caixia Wang, Xuejiao Lei, Ella Chou, Rui Yang, Qionghui Li, and Liping Jiang

La creciente demanda de servicios especializados de red en ambos países impulsará la adopción y el despliegue a gran escala de sistemas de almacenamiento de energía, convirtiéndolos gradualmente en una tecnología convencional ampliamente considerada en la planificación, construcción y operación de sistemas de energía eléctrica.



september/october 2017

IMAGE LICENSED BY IHS/INFORMA PUBLISHING

1540-7977/17C/2017IEEE

Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.2708940
Date of publication: 17 August 2017

IEEE power & energy magazine 51

Aplicación en EEUU & China



ELECTRICAL ENERGY STORAGE (EES) systems are expected to play an increasing role in helping the United States and China—the world's largest economies with the two largest power systems—meet the challenges of integrating more variable renewable resources and enhancing the reliability of power systems by improving the operating capabilities of the electric grid. EES systems are becoming integral components of a resilient and efficient grid through a diverse set of applications that include energy management, load shifting, frequency regulation, grid stabilization, and voltage support.

The increasing demand for specialized grid services in both countries will drive the adoption and large-scale deployment of EES systems—gradually making them a mainstream technology widely considered in planning, building, and operating electric power systems. EES applications in the United States and China share some common goals, but they differ somewhat in implementation. The experiences of grid-level EES

Grid-Level Application of Electrical Energy Storage

Describe las experiencias de aplicaciones de almacenamiento en ambos países, presentando valiosas lecciones técnicas e institucionales para desarrollar almacenamiento en todo el mundo.

Aunque las centrales de bombeo hoy proporcionan la mayor parte de la capacidad de almacenamiento a nivel de la red en ambos países, el artículo se centra en el desarrollo de las baterías.

Discute las barreras políticas, regulatorias y de mercado para el despliegue de almacenamiento en China y los Estados Unidos y las oportunidades respectivas.



Example Use Cases in the United States and China

By Yingchen Zhang, Vahan Gevorgian, Caixia Wang, Xuejiao Lei, Ella Chou, Rui Yang, Qionghui Li, and Liping Jiang

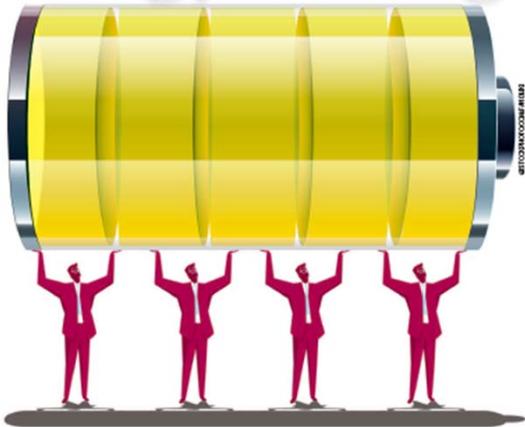
Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.2708940
Date of publication: 17 August 2017

september/october 2017

1540-7977/17C/2017IEEE

IEEE power & energy magazine 51

PJM Integrates Energy Storage



Their Technologies and Wholesale Products

PJM INTERCONNECTION (PJM) WAS THE FIRST U.S. INDEPENDENT system operator/regional transmission organization (ISO/RTO) to demonstrate how battery energy storage resources provide frequency regulation services in a competitive market. Since its first pilot in 2009, PJM has integrated nearly 300 MW of advanced energy storage resources into its market. During this time period, ISOs/RTOs have developed rules to allow energy storage resources to participate in wholesale electricity markets. The Federal Energy Regulatory Commission (FERC) and state lawmakers have also taken steps to create an environment in which energy storage resources play an increasing role in the reliable operation of the power grid. This article outlines the storage technologies operating in PJM today and the wholesale products

Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.7708861
Date of publication: 17 August 2017

By Hong Chen,
Scott Baker,
Scott Benner,
Aaron Berner,
and Jianwei Liu

september/october 2017

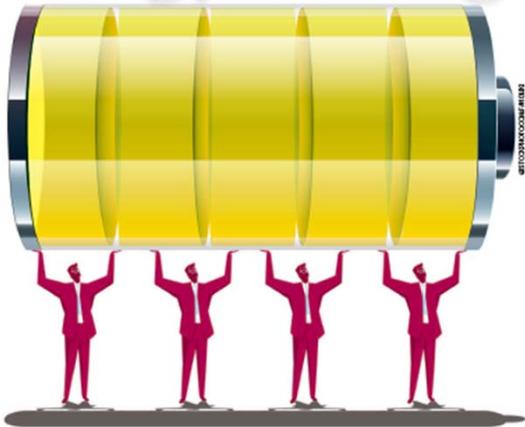
1540-7977/17C/2017IEEE

IEEE power & energy magazine 59

Comparte la experiencia de PJM como el primero de los operadores independientes de sistemas de EE. UU. en demostrar la capacidad de los recursos de almacenamiento de energía de baterías para proporcionar **servicios de regulación de frecuencia en un mercado competitivo.**

Describe las tecnologías de almacenamiento que operan actualmente en PJM: hidroeléctrica de bombeo (en generación), baterías (tanto en generación como en recursos de demanda), almacenamiento de energía térmica (como recurso de demanda) y volantes (en generación) .

PJM Integrates Energy Storage



Their Technologies and Wholesale Products

By Hong Chen,
Scott Baker,
Scott Benner,
Aaron Berner,
and Jianwei Liu

PJM INTERCONNECTION (PJM) WAS THE FIRST U.S. INDEPENDENT system operator/regional transmission organization (ISO/RTO) to demonstrate how battery energy storage resources provide frequency regulation services in a competitive market. Since its first pilot in 2009, PJM has integrated nearly 300 MW of advanced energy storage resources into its market. During this time period, ISOs/RTOs have developed rules to allow energy storage resources to participate in wholesale electricity markets. The Federal Energy Regulatory Commission (FERC) and state lawmakers have also taken steps to create an environment in which energy storage resources play an increasing role in the reliable operation of the power grid. This article outlines the storage technologies operating in PJM today and the wholesale products

Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.2708861
Date of publication: 17 August 2017

Describe los productos mayoristas que estas tecnologías brindan al mercado, así como los servicios que los recursos de almacenamiento de energía pueden presentar en el futuro. Describe las oportunidades de integración que resultarán cuando se despliegue una mayor cantidad de almacenamiento dentro de la red.

Discute la notificación del FERC de la reglamentación propuesta (NOPR) de noviembre de 2016 para eliminar las barreras para los recursos de almacenamiento de energía para participar en los mercados mayoristas. Esta NOPR destacó algunos de los desafíos clave.

Aplicación en América Latina



Facilitating the Integration of Renewables in Latin America

The Role of Hydropower Generation and Other Energy Storage Technologies

By Rodrigo Moreno, Rafael Ferreira, Luiz Barroso, Hugh Rudnick, and Eduardo Pereira

IT IS WELL KNOWN THAT STORAGE FACILITIES CAN provide value to various electricity sectors through several services, which we group into five main classes:

- 1) temporal energy arbitrage (the ability to shift megawatt-hours in time to increase energy market revenues)
- 2) capacity adequacy (the ability to economically and reliably meet system capacity requirements)
- 3) ancillary services, notably those related to system balancing (in various time scales), reserves, and frequency control (although voltage and reactive power control are also included)

- 4) network congestion relief and network investment deferral (including network security and thermal losses)
- 5) option value (the ability to provide a hedge against the uncertain future).

This categorization is useful for the purposes of this article, although the boundaries among the different classes of services often depend more on the regulatory and commercial frameworks of each jurisdiction than on absolute technical features. For instance, whether a facility is providing secondary frequency control by participating in automatic generation control or simply shifting power among different dispatch periods depends on the temporal resolution defined.

Furthermore, this categorization is based on the value delivered to the electricity system as a whole, regardless of

Digital Object Identifier 10.1109/EMPE.2017.2708862
Date of publication: 17 August 2017

68 IEEE power & energy magazine

1540-7977/17C2017IEEE

september/october 2017

Revisa el **papel de la energía hidroeléctrica** y otras tecnologías de almacenamiento de energía para facilitar la integración de energías renovables en América Latina.

Los **grandes embalses asociados con plantas hidroeléctricas** han sido históricamente la tecnología de almacenamiento en países como Brasil y Chile, que brindan arbitraje temporal de energía, adecuación de la capacidad, y servicios complementarios con bajos costos operacionales.

Sin embargo, la situación ahora está comenzando a evolucionar debido a factores que van desde cambios en los patrones de flujos hidroeléctricos hasta la participación creciente de tecnologías de generación renovables con una variabilidad significativa a corto plazo, como la energía eólica y solar.

Aplicación en América Latina



Facilitating the Integration of Renewables in Latin America

The Role of Hydropower Generation and Other Energy Storage Technologies

By Rodrigo Moreno, Rafael Ferreira, Luiz Barroso, Hugh Rudnick, and Eduardo Pereira

IT IS WELL KNOWN THAT STORAGE FACILITIES CAN provide value to various electricity sectors through several services, which we group into five main classes:

- 1) temporal energy arbitrage (the ability to shift megawatt-hours in time to increase energy market revenues)
- 2) capacity adequacy (the ability to economically and reliably meet system capacity requirements)
- 3) ancillary services, notably those related to system balancing (in various time scales), reserves, and frequency control (although voltage and reactive power control are also included)

- 4) network congestion relief and network investment deferral (including network security and thermal losses)
- 5) option value (the ability to provide a hedge against the uncertain future).

This categorization is useful for the purposes of this article, although the boundaries among the different classes of services often depend more on the regulatory and commercial frameworks of each jurisdiction than on absolute technical features. For instance, whether a facility is providing secondary frequency control by participating in automatic generation control or simply shifting power among different dispatch periods depends on the temporal resolution defined.

Furthermore, this categorization is based on the value delivered to the electricity system as a whole, regardless of

Esto da como resultado oportunidades para el desarrollo de otras tecnologías de almacenamiento de energía, que pueden capturar el valor del arbitraje de energía temporal y también agregar la provisión de adecuación de capacidad, alivio de congestión de red y diferimiento de inversiones, así como servicios complementarios mejorados.

El despliegue de estas otras tecnologías de almacenamiento se ve afectado no solo por su competitividad intrínseca, que, a su vez, depende de la evolución de los costos de la tecnología (como en el caso de las baterías), sino también de los marcos regulatorios y comerciales que actualmente dan lugar a barreras e incentivos económicos insuficientes para nuevas inversiones.

Digital Object Identifier 10.1109/EMPE.2017.2708862
Date of publication: 17 August 2017

Aplicación en Microredes



Compensating for Generation and Demand Fluctuations While Providing Ancillary Services

DRIVEN BY GLOBAL ENVIRONMENTAL EMISSION issues, energy access in remote communities, and tighter requirements for system resilience and reliability, electricity production is shifting from a centralized paradigm to a decentralized one. In this context, renewable energy sources (RESs) have proliferated over the past decade, exhibiting a steadily increasing trend. Thus, today, a large number of wind turbines and photovoltaic (PV) panels are connected to medium- (1–69 kV) and low-voltage (≤ 1 kV) grids, with traditional integrated bulk power systems becoming decentralized in the presence of active distribution networks, where the flow of power

Energy Storage in Microgrids

By Mostafa Farrokhabadi, Bharatkumar V. Solanki, Claudio A. Cañizares, Kankar Bhattacharya, Sebastian König, Patrick S. Sauter, Thomas Leibfried, and Sören Hohmann



DOI:10.1109/MPE.2017.270863
Date of publication: 17 August 2017

1540-7977/17/02017IEEE

IEEE power & energy magazine 81

Revisa el manejo del **almacenamiento de energía en microredes**. Con la disminución de los costos de las fuentes de energía renovables, estas tecnologías se están convirtiendo en soluciones atractivas para llevar energía a comunidades remotas y / o reemplazar generadores costosos basados en combustibles fósiles.

Sin embargo, las fuentes de energía renovables, como la eólica y la solar, son fuentes intermitentes de energía difíciles de predecir y experimentan grandes fluctuaciones de producción, afectando de manera significativa el voltaje y la frecuencia del sistema.

Como resultado, las **microredes enfrentan el problema de mantener una operación estable y óptima**.

Aplicacion en Microredes



Compensating for Generation and Demand Fluctuations While Providing Ancillary Services

DRIVEN BY GLOBAL ENVIRONMENTAL EMISSION issues, energy access in remote communities, and tighter requirements for system resilience and reliability, electricity production is shifting from a centralized paradigm to a decentralized one. In this context, renewable energy sources (RESs) have proliferated over the past decade, exhibiting a steadily increasing trend. Thus, today, a large number of wind turbines and photovoltaic (PV) panels are connected to medium- (1–69 kV) and low-voltage (≤ 1 kV) grids, with traditional integrated bulk power systems becoming decentralized in the presence of active distribution networks, where the flow of power

Energy Storage in Microgrids

By Mostafa Farrokhabadi, Bharatkumar V. Solanki, Claudio A. Cañizares, Kankar Bhattacharya, Sebastian König, Patrick S. Sauter, Thomas Leibfried, and Sören Hohmann



Digital Object Identifier 10.1109/MPE.2017.2708643

Date of publication: 17 August 2017

september/october 2017

1540-7977/170:2017IEEE

IEEE power & energy magazine 81

En este contexto, los sistemas de almacenamiento de energía se convierten en un **elemento habilitador clave** para el funcionamiento de las microredes, ya que compensan las fluctuaciones de la generación y la demanda, al tiempo que proporcionan diversos servicios complementarios, en particular el control de frecuencia.

Se centra en tecnologías de fuentes de energía renovables y sistemas de almacenamiento de energía, seguidas de varias aplicaciones prácticas en microredes aisladas, donde estos sistemas son más necesarios.

Baterías- roles



Roles desempeñados por el almacenamiento en baterías en aplicaciones eléctricas

- ✓ nivelar la carga, proporcionar electricidad de respaldo y garantizar la seguridad y la estabilidad de la red
- ✓ mejora de la calidad de la energía mediante regulación de frecuencia / voltaje
- ✓ diversificar las carteras de generación, reducir el consumo de combustible caro y promover la penetración renovable
- ✓ mejorar la seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico
- ✓ aumentar la eficiencia de la generación y transmisión de electricidad, posponiendo así la expansión de la infraestructura del sistema de energía
- ✓ reduciendo el costo operacional de la generación de energía
- ✓ atenuar las fluctuaciones del sistema a bajas y altas frecuencias
- ✓ acelerar la sinergia entre los vehículos eléctricos (EV) y la red eléctrica

Baterías- tecnologías en desarrollo



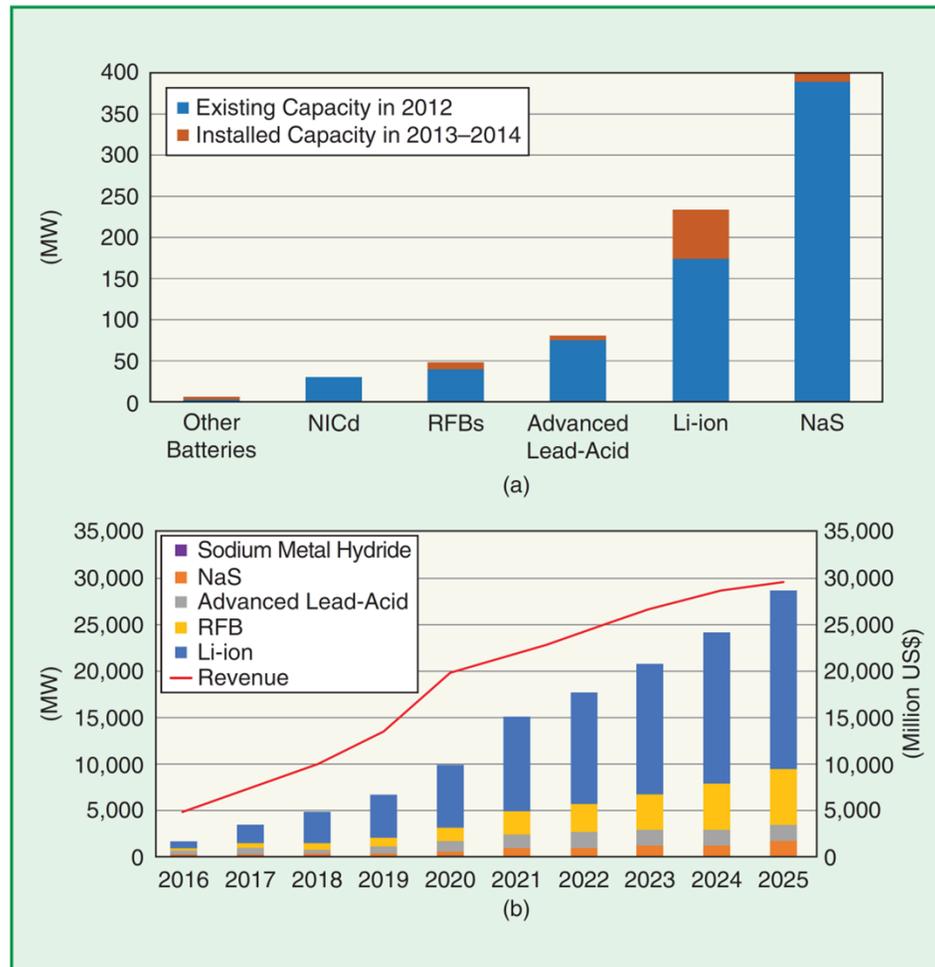
table 1. Main attributes of representative batteries.

Type	Lead-Acid	NiMH	Li-ion	NaS	VRB
Energy density (Wh/kg)	25–50	60–120	75–200	150–240	10–30
Power density (W/kg)	75–300	250–1,000	500–2,000	150–230	80–150
Cycle life (100% depth of discharge)	200–1,000	180–2,000	1,000–10,000	2,500–4,000	>12,000
Capital cost (US\$/kWh)	100–300	900–3,500	300–2,500	300–500	150–1,000
Round-trip efficiency (%)	75–85	~65	85–97	75–90	75–90
Self discharge	Low	High	Medium	—	Negligible

Sources: M. Aneke and M. Wang, 2016; X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, 2015.

Lideradas hoy por aplicaciones en redes inteligentes y aplicaciones vehiculares (Tesla)

Baterías- capacidad instalada



Domina NaS (sodio sulfuro)

Crecen Li-ion (iones de litio) y VRB (vanadium redox flow)

figure 1. The (a) estimated installed battery capacity and (b) commissions (MW) in the worldwide power sector. (Sources: Navigant Research and the U.S. Department of Energy's global database.)

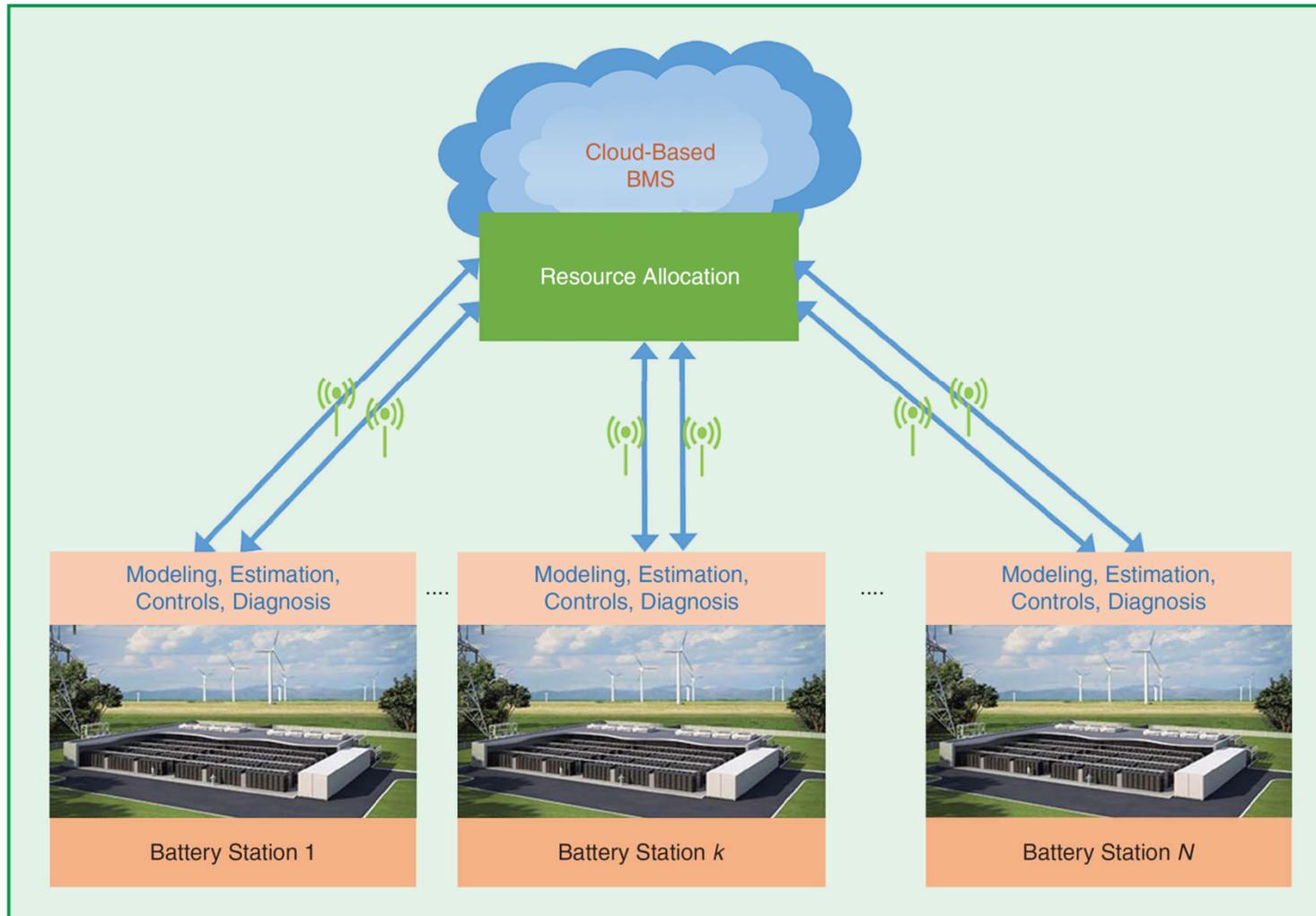
Baterías- aplicaciones Li-ion



table 3. Li-ion battery energy storage systems for grid applications.

Project Name	Location	Energy	Application Functionality	Year of Installation
Santa Rita Jail Smart Grid Advanced Energy Storage System	California, United States	32 MW/0.25 h	Microgrid with renewable generation and large-scale energy storage, balancing load peaks and valleys	2012
Anchorage Area Battery Energy Storage System	Alaska, United States	25 MW/0.6 h	Electric energy time shift, electric supply reserve capacity spinning, load leveling, transportable transmission/distribution, upgrade deferral	2012
National Wind and Solar Energy Storage and Transmission Demonstration Project (III)	Hebei, China	3 MW/3 h	Frequency regulation, ramping, renewables capacity firming, renewables energy time shift	2012
Orkney Storage	Scotland, United Kingdom	2 MW/0.25 h	Transmission congestion relief	2013
Tehachapi Wind Energy Storage Project–Southern California Edison	California, United States	8 MW/4 h	Electric supply capacity, renewables capacity firming, transmission congestion relief, transportable transmission/distribution upgrade deferral, voltage support	2014
Giheung Samsung SDI Project	Gyeonggi-do, South Korea	1 MW/10 h	Frequency regulation, transmission congestion relief, voltage support	2015
Feldheim Regional Regulating Power Station	Brandenburg, Germany	1 MW/1 h	Frequency regulation, renewables capacity firming, transmission upgrades due to wind	2015
Rabbit Hill Energy Storage Project	Texas, United States	1 MW/0.5 h	Electric energy time shift, frequency regulation, renewables energy time shift	2016

Baterías- administración de estaciones



Monitoreo del estado, regulación de carga y descarga, controles térmicos, balance de celdas, salud de instalación, protección de seguridad.

Necesidades modelación (ecuaciones diferenciales parciales)

figure 8. A cloud-based BMS.

Modelo de negocio



El almacenamiento de energía (ES) representa una opción flexible que puede aportar beneficios económicos significativos y fundamentales a diversas áreas del sector eléctrico, incluidos reducidos requisitos de inversión para la infraestructura de generación, transmisión y distribución, así como la reducción de costos de operación del sistema y balance.

Sin embargo, las **barreras regulatorias y de mercado pueden impedir lograr el valor cuantificable** del sistema en los casos en que un activo de ES no puede acceder a toda la gama de servicios del sistema. Es necesario desarrollar mercados plenamente costo reflexivos y marcos regulatorios efectivos, estableciendo un campo de juego equitativo entre inversión en redes tradicionales y soluciones de generación versus inversión en ES, garantizando que los incentivos comerciales para invertir y operar ES estén alineados con sus beneficios sociales.

Modelo de negocio

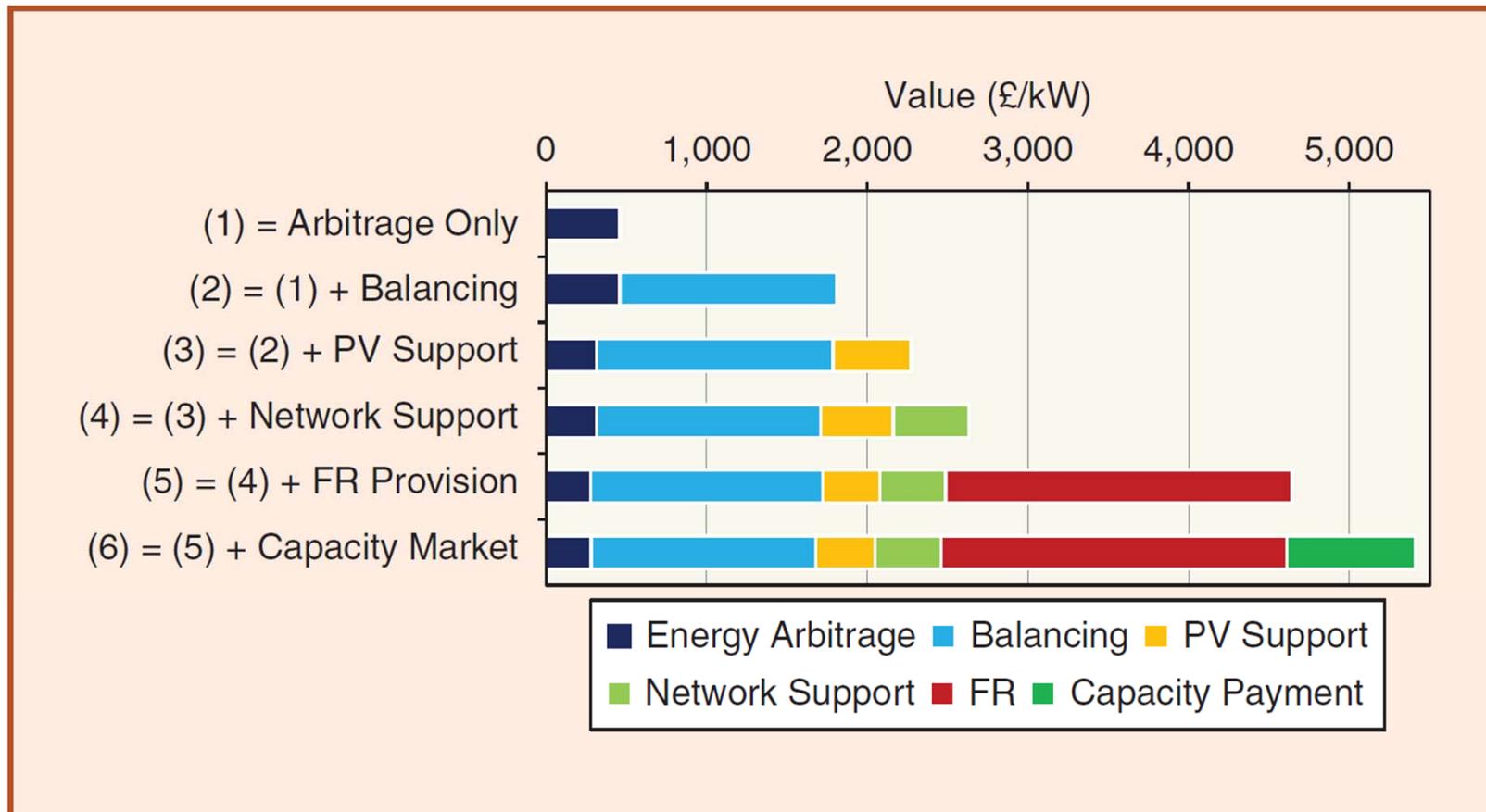


figure 7. The value of ES for providing multiple services.

Modelo de negocio



Los ahorros de costos netos del sistema incluyen varios componentes clave:

- ✓ **Ahorro de gastos operativos del sistema (OPEX)**. El despliegue de ES resulta en un mayor uso de generación con bajas emisiones de carbono, que se caracteriza por menores costos de operación (reducción de vertimientos) y menor producción de plantas convencionales a gas. Esto también incluye la provisión de servicios de balance y regulación de frecuencia, que cobran importancia en GB dada la reducción de la inercia del sistema.
- ✓ **Gastos de capital de distribución (D CAPEX)**. La ES distribuida podría respaldar la gestión de los flujos de potencia en las redes de distribución, reduciendo los requisitos de inversión en dichas redes, que pueden reforzar la red para hacer frente a la creciente demanda y / o al aumento de la distribución de la generación distribuida, por ejemplo, fotovoltaica.
- ✓ **Gasto de capital de generación (G CAPEX)**. ES desplaza la capacidad máxima (por ejemplo, CCG) como proveedor convencional de capacidad de generación adecuada requerida para cumplir con el criterio de seguridad de suministro. Esto se refleja en una menor capacidad y, en consecuencia, en un menor costo de inversión en las unidades de capacidad de punta.

Modelo de negocio



Los ahorros de costos netos del sistema incluyen varios componentes clave:

✓ **Gastos de capital de transmisión** (T CAPEX). Este componente representa el costo de inversión asociado con el refuerzo de los corredores clave de transmisión de GB. El uso mejorado de los recursos eólicos en el norte de GB, habilitado por la capacidad de ES en otras partes del país, hace que sea más económico reforzar la capacidad de transmisión norte-sur.

✓ **Gastos de capital de almacenamiento** (S CAPEX). Este componente es negativo en el ahorro neto total, ya que es el costo adicional requerido para construir nuevos activos de ES; por lo tanto, se compensa con el ahorro del sistema bruto

Regulación



Las regulaciones deben actualizarse para aclarar el rol del almacenamiento y permitirle proporcionar valor a los sistemas eléctricos. Propuestas regulatorias han sido publicadas recientemente por la **Comisión Federal Reguladora de Energía de EE. UU. (FERC)** como por la **Comisión Europea**.

Dada la amplia gama de servicios que los sistemas de almacenamiento de energía (ES) pueden proporcionar, varios agentes –incluidos generadores, consumidores y propietarios y operadores de redes- tienen interés en poseerlos y operarlos. Esto ha impulsado el debate regulatorio hasta la fecha, centrándose en la definición básica de un ES, es decir, si el almacenamiento debe clasificarse como **un activo de red, un activo de generación o una completa nueva categoría de activo**.

Si el almacenamiento se considera un activo de generación (la clasificación otorgada a ES en la mayoría de los sistemas liberalizados), los requisitos de desintegración vertical impiden que las empresas de red posean y operen recursos de almacenamiento. Alternativamente, si el almacenamiento se clasifica como un activo de red, las empresas de red poseen y operan los sistemas, pero se les restringe el uso de ES para participar en actividades de mercado.



La Comisión Europea declara explícitamente que ni los operadores de sistemas de distribución (DSO) ni los operadores de sistemas de transmisión (GRT) deben tener la propiedad, el desarrollo, la gestión ni la operación de instalaciones de **almacenamiento de energía**. La Comisión destaca ciertas excepciones a esta regla, pero su posición general es clara: las empresas de la red deben mantener la independencia de los actores del mercado.

FERC negó la solicitud de Nevada Hydro de operar el almacenamiento como activo de transmisión, al tiempo que aceptaba la presentación de Western Grid. Western Grid se comprometió a renunciar a cualquier venta en los mercados de electricidad mayoristas organizados del Operador Independiente de Sistema de California (CAISO).

Western Grid seguiría siendo independiente de CAISO. Por el contrario, la propuesta de Nevada Hydro requería que CAISO operara la instalación de almacenamiento, aumentando así el potencial de CAISO de convertirse en un participante con objetivos de lucro en el mercado de energía.

Regulación



El desafío regulatorio clave es **maximizar la eficiencia de los mecanismos de mercado** (por ejemplo, evitando conflictos de intereses, barreras de mercado y subsidios cruzados entre partes reguladas y de mercado) **al tiempo que optimizar la contribución de ES como proveedor de servicios de mercado y de red.**

Un modelo de propiedad en el que los negocios de la red contratan los servicios necesarios de un proveedor externo de ES tiene claras ventajas. Las empresas de red pueden utilizar licitaciones competitivas para proporcionar servicios de red claramente definidos, neutrales a la tecnología. Los ofertantes competitivos podrían incorporar en sus ofertas los ingresos potenciales de los servicios basados en el mercado y proporcionados fuera del contrato de servicio de red.

La flexibilidad de la operación requiere mecanismos de mercado flexibles que no impongan restricciones innecesarias a la operación del sistema eléctrico. Frente a este nuevo desafío, es probable que los diseños de mercado que van desde **mecanismos de capacidad a largo plazo hasta servicios complementarios a muy corto plazo puedan necesitar una revisión** para integrar mejor ES.

El diseño sugerido no es crear condiciones favorables para el almacenamiento sino más bien eliminar las condiciones adversas injustificadas que impiden una inversión eficiente y la operación de los recursos de almacenamiento.

Regulación



La Orden 755 de FERC implementó el concepto de "**pago por desempeño**" para la regulación de frecuencia.

El mecanismo de compensación de pago por desempeño requiere que las organizaciones de transmisión regional y las ISO tengan en cuenta la velocidad y la precisión de los servicios de regulación de frecuencia (refleja la precisión y la velocidad de respuesta al nivel de capacidad requerido).

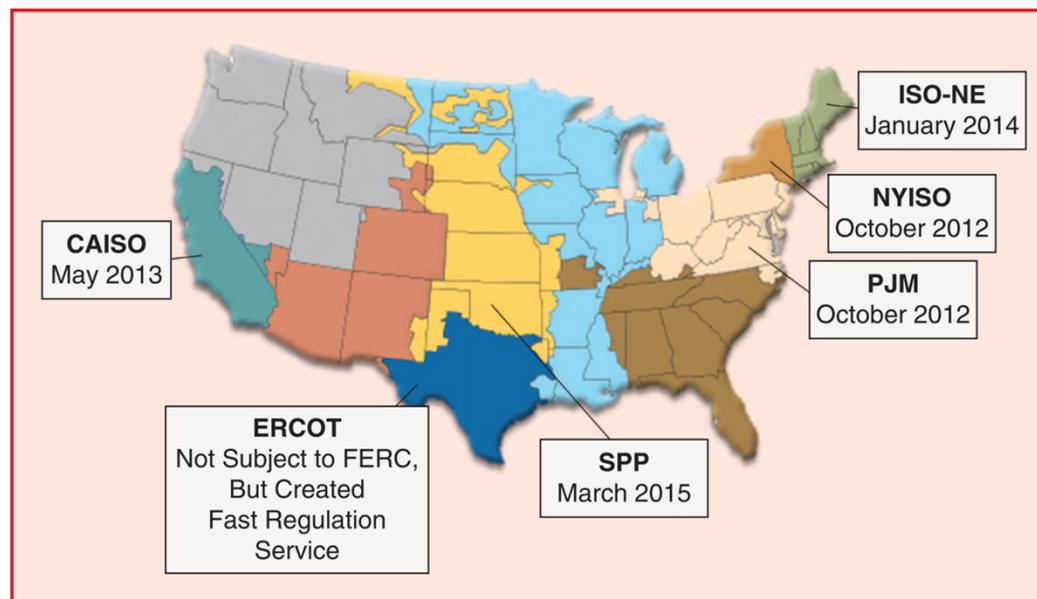
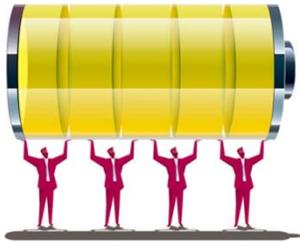


figure 3. The status of FERC Order 755 across the United States. ERCOT: Electric Reliability Council of Texas. (Source: FERC).

Aplicación -PJM



PJM US ISO/RTO con una demanda máxima de 165.492 MW.

A partir de 2017, la capacidad total de los proyectos de almacenamiento de baterías en PJM es de aproximadamente **289 MW**.

Cuando están en servicio, estas instalaciones de batería, con la capacidad de **cambiar su inyección en menos de 1 s**, ayudan a PJM a equilibrar rápidamente las variaciones de generación y carga para regular la frecuencia, como una alternativa para ajustar la inyección de los generadores fósiles.

En respuesta a las solicitudes de PJM de balancear la red, la unidad de almacenamiento puede suministrar energía a la red al descargar las baterías o almacenar el exceso de electricidad de la red para cargarlas.

Aplicación -PJM

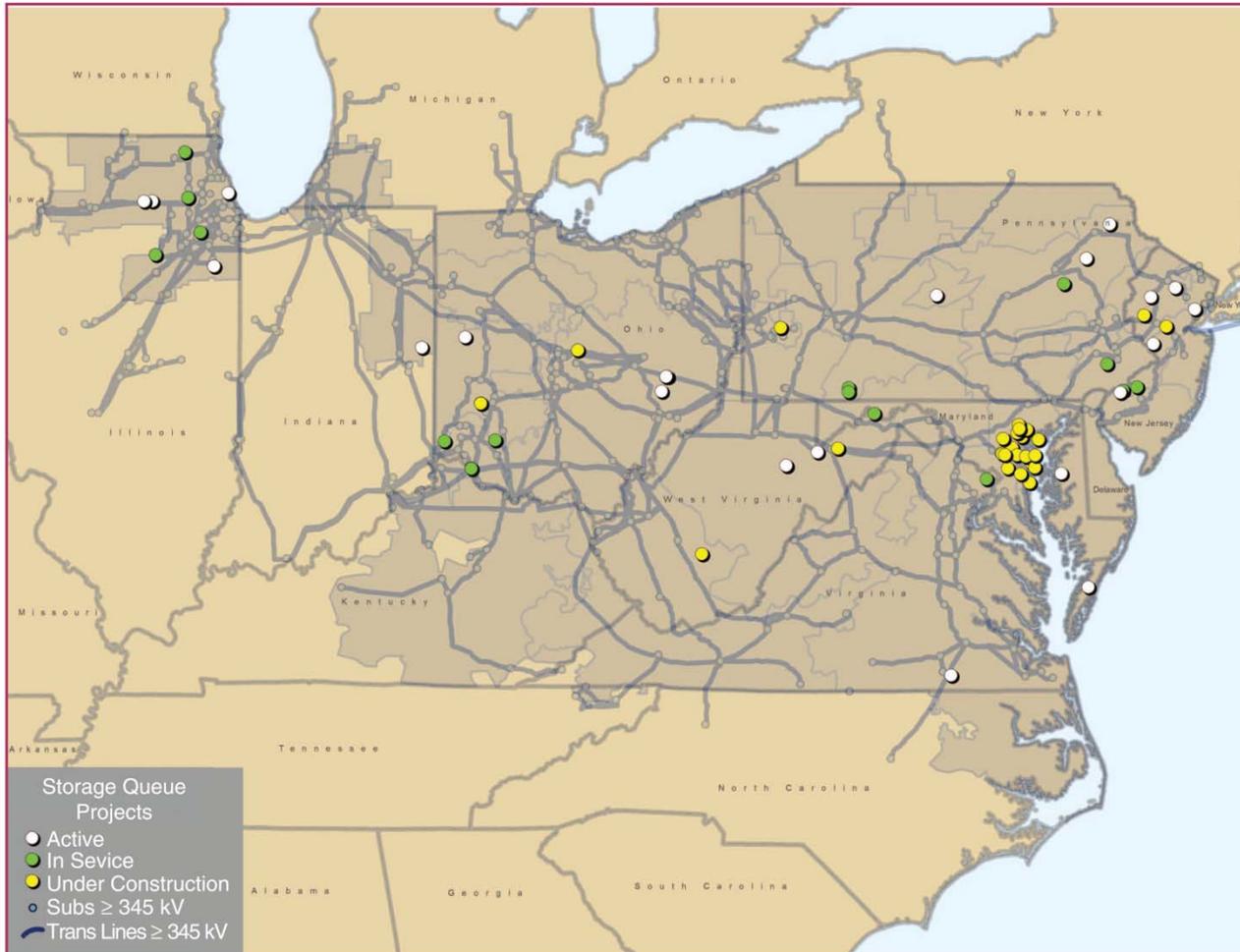


figure 3. Battery storage queue projects at PJM. (Image used with permission from PJM.)

Proyectos de almacenamiento con baterías





table 1. Storage resources' participation in PJM's wholesale markets.

Electric Storage Resource by Technology	Installed Capacity/ Qualified Rating (MW)	Capacity		Ancillary Services
		Capacity	Energy	
Pumped storage hydro (generation)	5,537	Yes	Yes	Yes
Battery (generation)	289	No	No	Yes
Flywheel (generation)	20	No	No	Yes
Battery (demand-side resource)	14	Yes	No	Yes

Recursos de almacenamiento en PJM

Aplicación –América Latina



Almacenamiento puede proporcionar valor a diversos sectores eléctricos a través de varios servicios:

- 1) **arbitraje temporal de energía** (capacidad de trasladar MWs hora en el tiempo para aumentar los ingresos del mercado de energía)
- 2) **adecuación de la capacidad** (habilidad de cumplir los requisitos de capacidad del sistema de manera económica y fiable)
- 3) **servicios complementarios**, en particular los relacionados con el equilibrio del sistema (en diversas escalas de tiempo), reservas y control de frecuencia (aunque también se incluyen el voltaje y el control de la potencia reactiva).
- 4) **alivio de la congestión de la red** y aplazamiento de inversión de la red (incluida seguridad de la red y pérdidas térmicas)
- 5) **valor de opciones** (capacidad de proporcionar una cobertura contra futuro incierto).

Aplicación –América Latina



Los grandes embalses asociados con **plantas hidroeléctricas han representado históricamente la tecnología de almacenamiento** en países como Brasil y Chile, que ofrecen arbitraje de energía temporal, adecuación de la capacidad y servicios auxiliares a bajos costos operacionales y de oportunidad.

La energía hidroeléctrica continuará desempeñando un papel importante en la provisión de servicios tradicionales (como la energía y la capacidad) y una variedad de servicios complementarios y de flexibilidad necesarios en el nuevo contexto renovable.

Otras tecnologías de almacenamiento y, en particular, las plantas de almacenamiento de energía de baterías pueden complementar la generación hidroeléctrica.

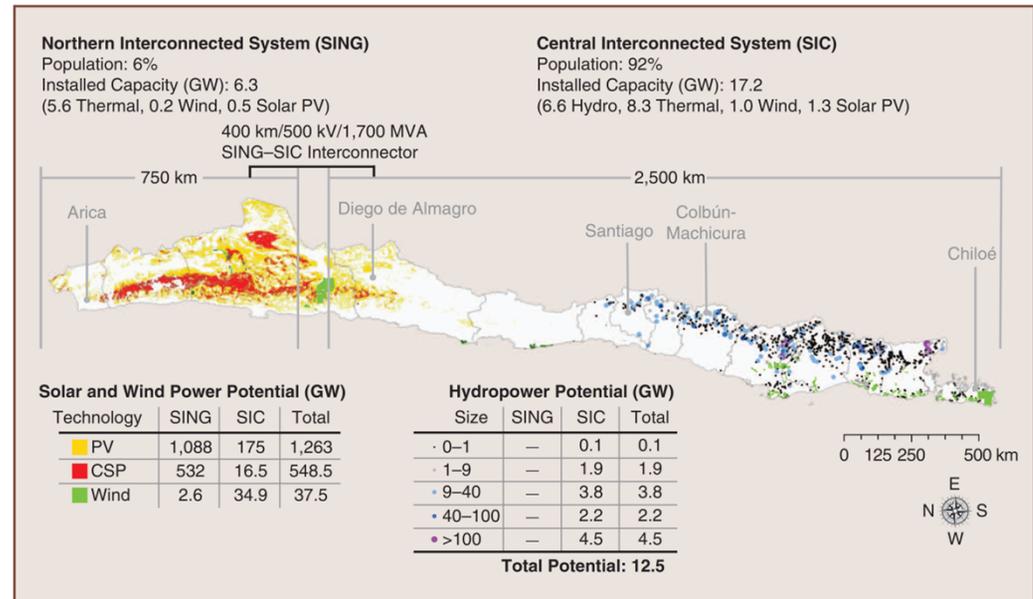


figure 1. The Chilean power system and its renewable energy resources. PV: photovoltaics; CSP: concentrated solar power. [Data source: German Federal Enterprise for International Cooperation (GIZ), the Ministerio de Energía, and Centro de Energía, Universidad de Chile.]

Aplicación -América Latina

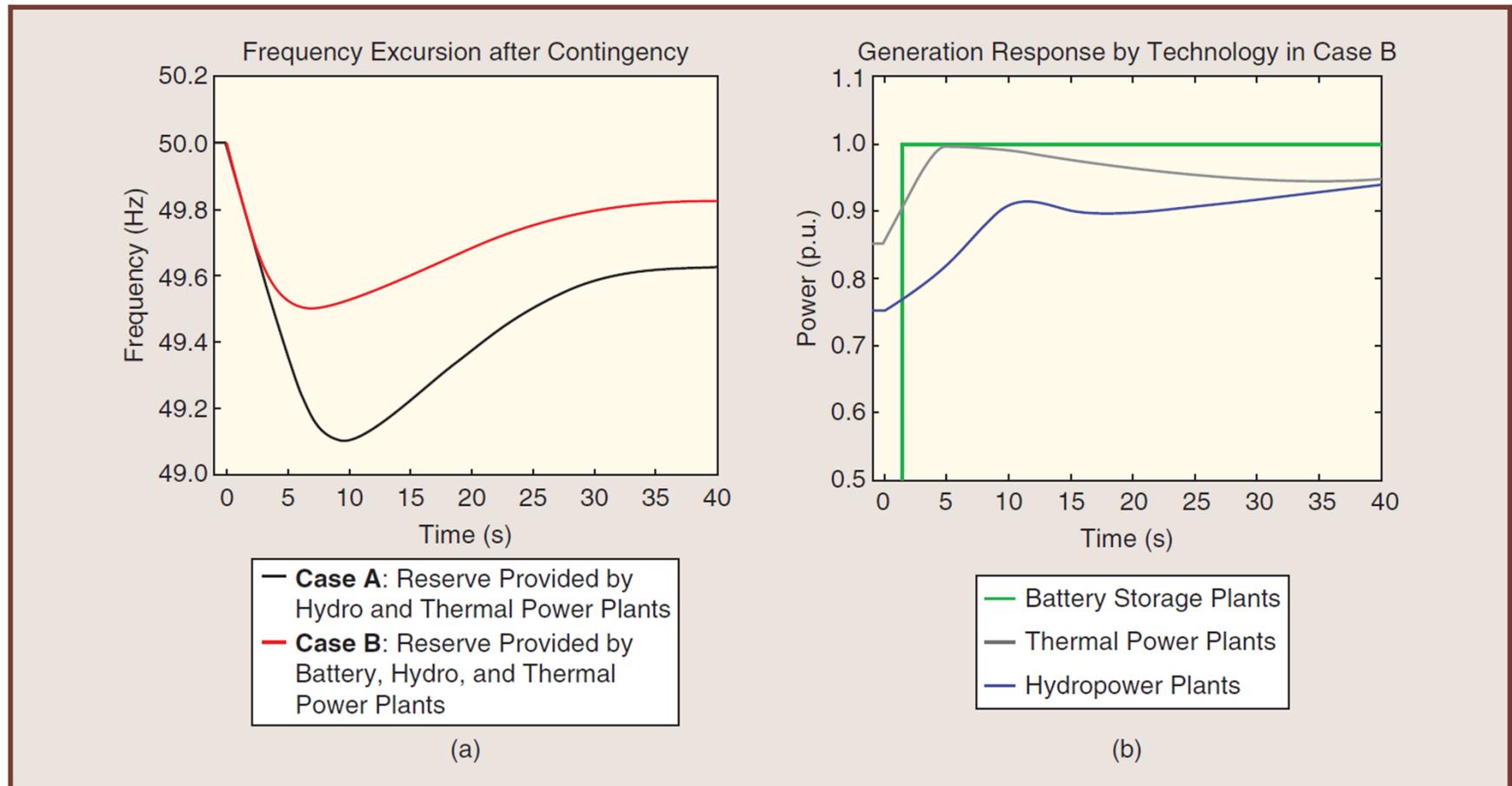


figure 4. The (a) frequency excursion and (b) generation response after a generation outage occurs in the Chilean power system.

Aplicación -América Latina

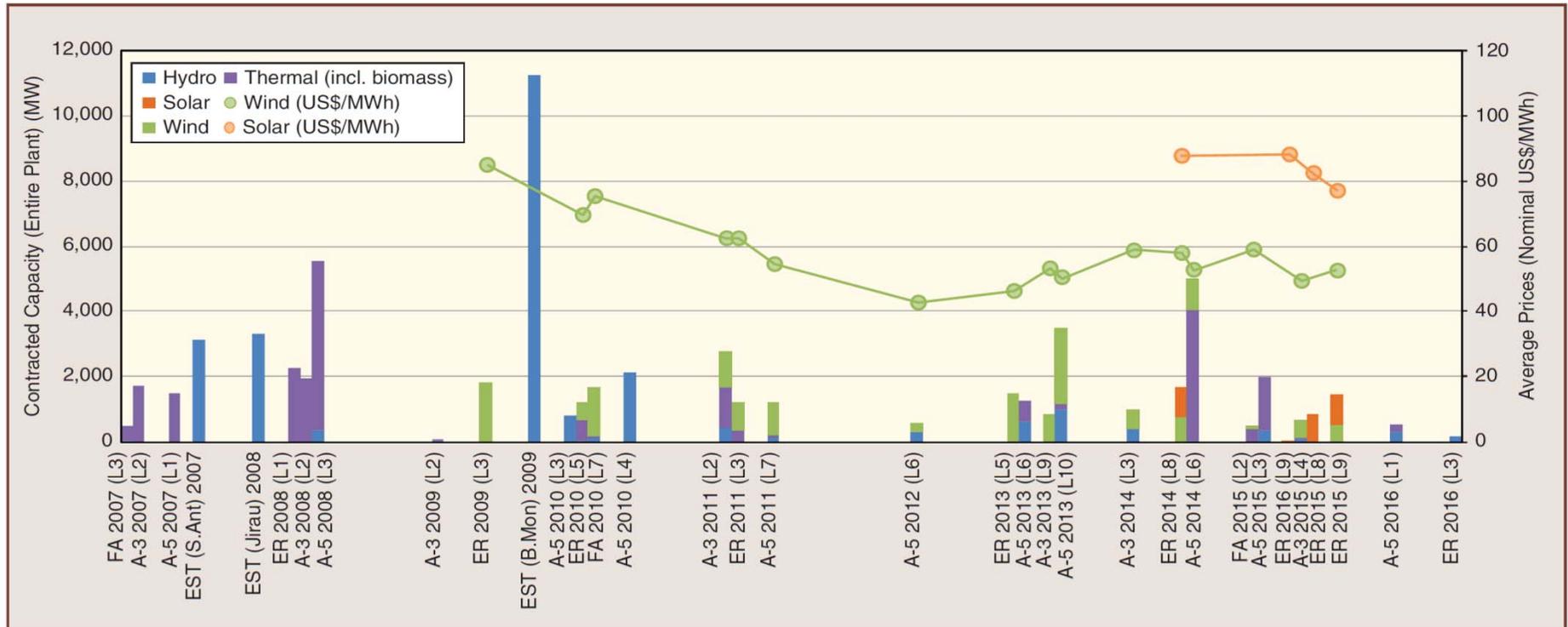


figure 9. The contracted generation capacity in long-term auctions held in Brazil since 2007. The approximately 11 GW of hydropower capacity additions in auction EST 2009 correspond to the Belo Monte hydropower plant. Data source: ANEEL.) FA: auctions for renewables; A-X: regular energy auctions, with contracting X years before delivery date; EST: large hydro auctions; ER: auctions of reserve energy (renewables).

Creciente incorporación de energía variable en Brasil

Resumen



Las alternativas de almacenamiento basadas en iones de litio son cada vez menos costosas, a un valor inferior a US\$ 1.000/kW* y cayendo, frente a las ineficientes plantas de punta, para proveer mayor flexibilidad y pueden ubicarse donde las necesitemos.

El almacenamiento de baterías es una alternativa que ahorra costos, aumenta la confiabilidad y permite absorber variaciones de energías renovables.

El futuro es desafiante para el sector eléctrico, con la urgente necesidad de identificar nuevos enfoques para lograr flexibilidad y enfrentar los requisitos de una creciente variable energía renovable de bajo costo.

Los sistemas de almacenamiento de baterías son un contribuyente principal para proporcionar esa flexibilidad.



Almacenamiento de energía



VIII Congreso Bienal Internacional

16 de octubre de 2017