



Baterías de Litio Solar

Estatus del mercado en Alemania

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania



Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Proyecto NAMA: Energías Renovables para Autoconsumo

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Stephan Remler, Daniel Almarza

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Título:

Baterías de Litio Solar. Estatus del mercado en Alemania.

Autor:

Stephan Franz, Büro F
www.burof.de

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “NAMA: Energías Renovables para Autoconsumo” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, enero de 2018.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	TECNOLOGÍA DE BATERÍAS DE LITIO.....	4
3	BATERÍAS DE LITIO EN EL SECTOR ELÉCTRICO	7
4	MARCO REGULATORIO EN ALEMANIA.....	10
5	ECONOMÍA DE BATERÍAS SOLARES.....	13
6	CONCLUSIÓN.....	16
	LITERATURA	17

1 Introducción

La introducción al mercado de las tecnologías de almacenamiento energético son el “eslabón perdido” de la transición energética, ya que permiten contar con tasas de energías renovables más altas. Tradicionalmente, los tres pilares del sector eléctrico corresponden a la generación, transmisión/distribución y el consumo. Sin embargo, algunos actores advierten que el almacenamiento de energía será el cuarto pilar del sector eléctrico en un futuro cercano, debido a que serán complementados por una capacidad mayor de almacenamiento energético. Adicionalmente, si las redes eléctricas permiten el transporte de electricidad eléctrica desde los puntos de generación a los puntos de consumo (*eje espacial*), los sistemas de almacenamiento permitirán equilibrar la generación fluctuante a través de energías renovables con la demanda de electricidad (*eje temporal*).

En los últimos años, se ha acelerado la introducción de baterías al mercado eléctrico, sobre todo en países con altos precios de electricidad para clientes finales y altas tasas de energía fotovoltaica en el sistema eléctrico, p.ej. Alemania, California y Italia. A partir de este informe se quiere entregar un resumen del estatus actual de sistemas de baterías de litio en Alemania.

Hoy en día, las tres tecnologías de baterías más relevantes en el sector eléctrico son baterías de plomo para aplicaciones pequeñas, baterías Redox-Flow para aplicaciones grandes y baterías de litio. Debido a que el desarrollo de los baterías de litio es lo más dinámico, este informe se enfocará en esa tecnología.

2 Tecnología de baterías de litio

Introducido a principios de los años 1990, las baterías de litio se aplicaron principalmente en productos electrónicos de consumo. Desde entonces, una multitud de aplicaciones ha ampliado el alcance de las baterías de litio, que van desde aplicaciones fijas a móviles. En los últimos 5-10 años, las actividades de investigación y desarrollo, así como la aceleración de la capacidad de producción, están impulsadas por tres industrias principales: los bienes de consumo, la movilidad eléctrica y el sector energético. Este enfoque multisectorial conduce a mejoras sustanciales de costos y rendimiento.

Las celdas de litio son acumuladores electroquímicos, donde la energía eléctrica se convierte en energía química durante el proceso de carga, y viceversa cuando la celda se descarga. Más precisamente, durante el proceso de carga, los iones de litio se mueven a través del electrolito y el separador del cátodo positivo al ánodo negativo donde están almacenados, y viceversa cuando la batería se descarga. En combinación con el material de electrolito respectivo, los iones de litio tienen densidades de carga eléctrica bien altas. El voltaje de la celda de una batería de iones de litio convencional está entre 2.2 - 4.2 V, más alto que el de los sistemas de plomo-ácido (1.75 - 2.4 V).

Varias baterías de litio están conectadas en serie, donde por ejemplo un paquete de seis celdas de litio con un voltaje nominal de 3.6 V se convierte en un módulo de 21.6 V. Una parte vital de las baterías es el sistema de administración de la batería que controla la carga y descarga, optimizando la capacidad utilizable del sistema.

“Baterías de litio” es el término genérico para una amplia gama de combinaciones de materiales de la química celular. Sin embargo, todos ellos consisten en un ánodo de litio, y el electrolito consiste más frecuentemente en mezclas de disolventes orgánicos líquidos con sales de litio disueltas (IRENA, 2017, página 63). El litio es uno de los elementos más ligeros en forma sólida, lo que conduce a una alta densidad de energía gravimétrica de 0,27 kWh/kg. Otra característica es la baja tasa de auto-descarga de las baterías de litio, el factor de eficiencia de carga es alrededor de 95%, por lo tanto, casi no se producen pérdidas (Batterieforum Deutschland).

La distinción típica entre los diferentes sistemas de batería basados en litio se realiza a través del compuesto químico del material aplicado al electrodo positivo. Cada compuesto tiene diferentes características y, por lo tanto, es adecuado para diferentes casos de uso. La tecnología más común de la batería de iones de litio es el óxido de cobalto de litio-níquel-manganeso (NMC). Estos cátodos permiten un equilibrio entre un buen rendimiento electroquímico, altas densidades de energía y bajos costos (Batterieforum Deutschland). Con respecto a las características operacionales, las baterías de litio-ferrofosfato (LFP) tienen muchas ventajas, pero todavía es una tecnología más cara. Los integradores de sistemas de almacenamiento para hogares como la empresa Sonnen usan esta química celular para sus equipos. La siguiente tabla da un resumen de las características de los tipos de baterías de litio comerciales.

Tabla 1: Características de diferentes químicas celulares

	LCO Lithium Cobalt Oxide	LMO Lithium Manganese Oxide	NMC Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide	NCA Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide	LFP Lithium Iron Phosphate
Medioambiente	Deficiente	Muy bien	Suficiente	Suficiente	Muy bien
Seguridad	Suficiente	Bien	Suficiente	Deficiente	Muy bien
Tensión nominal (V)	3,7 V	3,7 V	3.6-3.7 V	3.6 V	3.2 / 3.3 V
Densidad volumétrica de energía	0,32-0,50 kWh/l	0,29–0,34 kWh/l	0,49–0,58 kWh/l	0,48–0,67 kWh/l	0,16–0,26 kWh/l
Densidad gravimétrica de energía	0,11-0,18 kWh/kg	0,10-0,12 kWh/kg	0,18-0,21 kWh/kg	0,18-0,25 kWh/kg	0,08-0,12 kWh/kg
Ciclos de carga	300-1.000	1.000-1.500	500-1.000	500-1.000	2.000-5.000

Fuente: VDE - Verband der Elektrotechnik, 2015 p. 25, Batterieforum Deutschland.

Investigaciones están avanzando con otros elementos químicos, por ejemplo, las células de litio de azufre, donde el cátodo consiste en un compuesto de carbono / azufre nano-estructurado. Esta tecnología promete bajos costos de materiales y densidades de energía de hasta 0.6 kWh/kg. Sin embargo, las celdas de azufre de litio solo permiten 50-100 ciclos de carga, aún demasiado bajos para un uso industrial (Energate Messenger, 2017).

Se espera un inmenso potencial de I+D para las baterías de iones de litio en los próximos 15-20 años. El enfoque es aumentar la densidad de energía (para usos de movilidad eléctrica) y las reducciones de costos. Se pueden lograr reducciones de costos mediante la ampliación de la producción manufacturera, la sustitución de materias primas escasas como el cobalto y la reducción general de la intensidad del uso de materiales.

Con respecto a las capacidades de producción en todo el mundo, la capacidad anual de producción de celdas de baterías de litio de 2016 fue de 52 GWh, 91% administrada por empresas de Asia. Los anuncios de expansión de capacidad de los fabricantes suman una capacidad de producción mundial de 138 GWh en 2020 (VDMA, 2016 p. 17). Los efectos de escala relacionados no deben ser subestimados. Aplicando las curvas de aprendizaje de la industria de semiconductores, cada duplicación del producto de producción acumulado conduce a una reducción de costos de alrededor del 20-25%, 21% en el caso de la industria fotovoltaica (IEA - Agencia Internacional de Energía, 2014 p. 23) Sin embargo, el crecimiento de la capacidad de producción podría verse limitada por la escasez esperada de producción para algunos de los componentes necesarios para la producción de baterías, especialmente el separador entre ánodo y cátodo (BNEF - Bloomberg New Energy Finance, 2017 página 7).

Una amenaza a menudo mencionada es la disponibilidad de materias primas, principalmente litio y cobalto. En resumen, parece poco probable que pueda producirse una escasez de litio en los próximos años. Un análisis reciente de los mercados de productos de litio desde un punto de vista geológico espera que la producción de litio sea capaz de cubrir la creciente demanda en los próximos años. Los nuevos proyectos de extracción en Australia y Argentina, así como las expansiones planificadas de la capacidad de extracción en Australia y Chile podrían llevar a un aumento de la producción anual por un factor de entre 2.5 y 3.6 (DERA - Deutsche Rohstoffagentur, 2017, página 36ff). Un caso diferente es el cobalto, que se usa en los sistemas de baterías LCO y NCA. Dado que el cobalto es una materia prima escasa y costosa, además se encuentra en sitios de extracción principalmente en regiones propensas a la crisis como el Congo, la disponibilidad futura podría ser limitada (Fraunhofer ISI, 2015 p.31). Se puede esperar que las actividades de investigación se enfoquen en disminuir el uso de materiales escasos, como de cobalto.

3 Baterías de litio en el sector eléctrico

En los últimos cinco años más o menos, los sistemas de baterías de iones de litio se utilizan cada vez más en el sector eléctrico. Se puede hacer una distinción básica por el uso principal de la capacidad de la batería: (1) es utilizada principalmente por prosumidores que desean optimizar su autoabastecimiento mediante energías renovables o (2) por agregadores que incluyen sistemas de almacenamiento en una planta de energía virtual o (3) por operadores de redes eléctricas para proporcionar servicios auxiliares a la red pública. La siguiente tabla ofrece una descripción general de los tres casos de uso.

Tabla 2: Casos de uso para baterías de litio en el sector eléctrico

Prosumidores (generadores y consumidores de energía eléctrica y entidades que hacen ambos)	Agregadores (proveedores de servicios para agregar unidades de generación distribuidas)	Operadores de redes (operadores de redes de distribución y transmisión)
Capacidad de almacenamiento típica: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Residencial: 1-10 kWh ▪ Comercial: 10-150 kWh ▪ Industrial: 100-2,000 kWh 	Capacidad de almacenamiento típica: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unidades residenciales/comerciales agregadas ▪ Escala industrial <10 MWh 	Capacidad de almacenamiento típica: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unidades residenciales/comerciales agregadas ▪ Escala industrial <20 MWh
Aumento del autoconsumo de plantas FV de pequeña y mediana escala	Integración en plantas virtuales, para equilibrar la generación eléctrica a través de fuentes intermitentes	Suministro de energía de ajuste para mantener la frecuencia de las redes eléctricas
Compensación por la generación fluctuante de plantas FV para el autoconsumo		Utilización mejorada de la infraestructura de red existente a través de "peak shaving" y la gestión de congestiones
Mejoras de seguridad del suministro de energía (uninterrupted power supply – UPS)		Prestación de servicios de arranque autógeno después de cortes de electricidad
Mejora de la calidad de la tensión para equipos eléctricos sensibles		
Gestión de carga máxima para una optimización de las tarifas de electricidad		



Source: Büro F

Sin embargo, las fronteras entre los tres casos de uso se están difuminando, a medida que más se acumulan con mayores capacidades de almacenamiento a pequeña escala distribuidas para una participación en los mercados de electricidad, más comúnmente

en los mercados de ajuste de frecuencia. En Alemania, los impulsores más importantes para este desarrollo han sido los integradores de sistemas de almacenamiento doméstico como Sonnen, Senec y Caterva. En base de la venta de sistemas entre 4-10 kWh, estas compañías ofrecen una integración de las capacidades en los mercados de electricidad. Lo más destacado es la provisión de capacidad para equilibrar la frecuencia de las redes. Tales como “home storage systems” cuestan alrededor de 1.000 EUR / kWh y permiten tasas de autoconsumo de las plantas de energía fotovoltaica residenciales superiores al 60%. Aunque la rentabilidad de estos sistemas es bastante baja, hasta abril de 2017 se instalaron unos 60,000 sistemas de almacenamiento doméstico en Alemania (RWTH Aachen, 2017 p. 33).

Otro segmento en crecimiento en el sector energético son los sistemas de almacenamiento a escala comercial e industrial que vienen en unidades escalables, a veces en contenedores estándar. En este segmento, empresas como NEC y Siemens son activos, pero también nuevas empresas como Younicos, Qinous y Tesvolt. El nivel de precios de las baterías a gran escala es de alrededor de 500-600 EUR/kWh de capacidad de almacenamiento utilizable. Los casos de uso actuales para estos sistemas de baterías a gran escala se centran en la provisión de potencia para equilibrar la frecuencia. Según la base de datos globales de almacenamiento del Departamento de Energía, 13 sistemas de almacenamiento de baterías de iones de litio >250 kW están operativos en Alemania, se anuncian unos diez más (estado: noviembre de 2017; DoE - Departamento de Energía, 2017).

Tabla 3: Aplicaciones de baterías de litio en el sector eléctrico

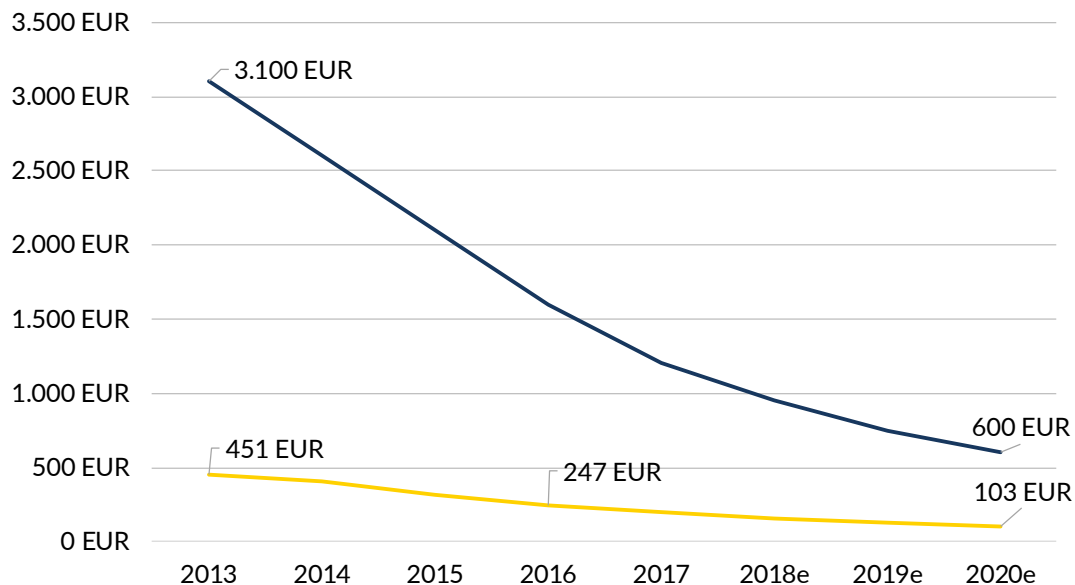
	Sistemas de baterías para hogares (Home storage systems)	Sistemas de baterías para un uso comercial o industrial
		
Precio típico en Alemania	1.200 EUR/kWh	500 EUR/kWh
Capacidad típica para almacenar electricidad	4-10 kWh	20 kWh – 50 MWh
Proveedores (selección)	Caterva, Senec, Sonnen, Tesla...	Mitsubishi, NEC, Qinous, Siemens, Younicos...
Unidades instaladas en Alemania	60.000	10-20
Costo de almacenamiento	0,24 EUR/kWh (4100 ciclos, 93% eficiencia, 6 kW capacidad)	0,10 – 0,12 EUR/kWh (4100 ciclos, 93% eficiencia, 100 kW capacidad)

Fuentes: Department of Energy, 2017, Franz, 2016, RWTH Aachen, 2017.

El proyecto más grande en Alemania es la instalación de un sistema de almacenamiento de 48 MW en el norte de Alemania por parte de Mitsubishi y Eneco. Este proyecto indica que, con costos cada vez más bajos, es posible pensar en aplicaciones grandes para el almacenamiento de energía a través de baterías.

Los precios de las baterías de litio han disminuido sustancialmente en los últimos años. Entre 2010 y 2016, los precios al por mayor de las pilas de litio han disminuido en una tasa anual de crecimiento compuesto (CAGR) de -19% por año (BNEF - Bloomberg New Energy Finance, 2017 página 3). Al aplicar esta tasa de crecimiento para los años 2017-2020, se podría alcanzar un precio de batería de 100 EUR/kWh para 2020. Los precios finales de los clientes para sistemas de almacenamiento doméstico basados en litio con una capacidad de almacenamiento de 6 kWh han disminuido sustancialmente en Alemania, en una CAGR de -21% entre 2013-2017. Al aplicar esta tasa de crecimiento para 2018-2020, un sistema de almacenamiento domestico podría costar alrededor de 700 EUR/kWh para 2020, incluida la instalación.

Figura 1: Evolución de precios mundiales para celdas de litio (línea amarilla) y para sistemas de almacenamiento en hogares incluyendo instalación en Alemania (línea azul)



	Unit	2013	2017e	2018e	2019e	2020e
Sistemas de almacenamiento para hogares 6kW con instal.	EUR/kWh	3.100 EUR	1.200 EUR	950 EUR	750 EUR	600 EUR
Lithium celdas (convertido a EUR)	EUR/kWh	451 EUR	197 EUR	160 EUR	128 EUR	103 EUR
Lithium celdas (USD)	USD/kWh	599 USD	220 USD	177 USD	143 USD	115 USD
Tasa de cambio	USD/EUR	1,33	1,11	1,11	1,11	1,11

Fuentes: Franz, 2016 p. 19, BNEF - Bloomberg New Energy Finance, 2017 p. 3, ECB - European Central Bank, 2017.

4 Marco regulatorio en Alemania

En septiembre 2017 salió la primera definición legal de sistemas de almacenamiento estacionarios en la modificación de la Ley alemana sobre los impuestos energéticos (“Energiesteuer- und Stromsteuergesetz”):

“Almacenamiento de batería estacionario: una instalación de almacenamiento de electricidad recargable en base electroquímica que permanece únicamente en su ubicación geográfica durante el funcionamiento, conectada permanentemente a la red eléctrica y no como parte de un vehículo. La ubicación geográfica es un punto determinado por coordenadas geográficas.” (Stromsteuergesetz §2.9)

A parte de esta ley, no existen otras definiciones fundamentales y generales para sistemas de almacenamiento, ni en la Ley alemana de economía energética (EnWG), la Ley de energías renovables (EEG), el reglamento de ahorro de energía (EnEV) etc. Solo existen definiciones particulares para el almacenamiento de gas natural (EnWG §3.9), de almacenamiento de calor en la ley CHP (KWKG) y de baterías móviles en el reglamento para columnas de carga para la movilidad eléctrica (LSV).

Esta falta de una definición general de sistemas de almacenamiento en el sector energético tiene consecuencias muy relevantes para la viabilidad de tales proyectos: de acuerdo con la legislación vigente, sistemas de almacenamiento son consumidores finales de energía durante el proceso de carga y productores de energía durante la descarga. Como el consumo de energía en Alemania está cargado con numerosos impuestos, esto tiene un impacto considerable en la eficiencia económica de los proyectos de almacenamiento.

Debido a que cargar una batería con energía eléctrica de la red pública es considerado como consumo final, y casi todos los impuestos al consumidor final tienen que ser pagados por los operadores de plantas (los que corresponden a impuestos de hasta 0,12 EUR/kWh en Alemania). Sin embargo, con respecto al desarrollo tecnológicos en el ámbito de almacenamiento, muchas asociaciones alemanas piden que se reconozca el sistema de almacenamiento como un cuarto pilar en el sector eléctrico, complementando los pilares convencionales que son la generación, la transmisión/distribución y el consumo. Siguiendo una demanda lógica que da cuenta de un sistema de almacenamiento que permite equilibrar el consumo fluctuante con una demanda de electricidad rígida en el eje *temporal*, complementando con redes de transmisión que permiten un equilibrio *espacial* entre la generación y el consumo.

Con respecto a las normas técnicas aplican varios reglamentos y también recomendaciones técnicas semi-oficiales. Existen diferencias legales en cuanto a si la electricidad proviene de un sistema de autoabastecimiento o proviene de la red pública, y si la electricidad almacenada se alimenta a la red pública o se consume directamente en el lugar de la instalación. También juega un papel importante, si la batería se recarga desde uno o más plantas de generación y su capacidad instalada. En general, se puede

destacar que las regulaciones son complejas y son determinadas por las características específicas del equipo. La siguiente tabla da un resumen de los documentos normativos que aplican para la instalación de plantas de almacenamiento de energía eléctrica en las redes de baja tensión. Hasta ahora no existen normativas comparables para la conexión de sistemas de almacenamiento en redes de alta tensión, como este caso hasta ahora no existía.

Tabla 4: Normas importantes para la conexión y operación de baterías en redes de distribución

Norma	Descripción
VDE-AR-N 4105	Plantas de generación en la red de baja tensión - Requisitos técnicos mínimos para la conexión y el funcionamiento paralelo de las plantas de generación en la red de baja tensión. (última versión: 2011 – actualmente en revisión para incluir sistemas de almacenamiento explícitamente)
DIN V VDE V 0124-100	El estándar DIN sirve como prueba de los requisitos eléctricos para las unidades generadoras según VDE-AR-N 4105 (2013)
VDE-AR-N 4400	Metrología de electricidad (Metering Code) - estándar general para la adquisición y transmisión de datos de medición (2011)
VDE-AR-N 4101	Requisitos para estaciones de medidores en sistemas eléctricos en la red de baja tensión. Especificaciones para medidores inteligentes (última versión: 2015)
VDE-AR-E-2510-2	Requisitos de seguridad para baterías y sistemas de batería. Define cómo deben instalarse, operarse, desmontarse y desecharse. (última versión: 2001)
VDE-AR-N 4100	Las reglas técnicas de conexión de consumidores de electricidad, sistemas de almacenamiento en redes de baja tensión. Norma en preparación.
IEC 61427	Este estándar internacional describe cómo se deben operar los sistemas de almacenamiento conectado a la red eléctrica para que posibles interferencias en la cual no afecten el funcionamiento y la seguridad del sistema.
IEC 61427-1	La parte 1 del estándar está dedicada al almacenamiento <i>sin</i> conexión a la red pública
IEC 61427-2	La parte 2 del estándar está dedicada al almacenamiento <i>con</i> conexión a la red pública

Fuente: VDE 2016, p. 9.

El requisito previo para la operación segura de una batería es, por supuesto, que haya sido diseñado de tal manera que no represente ningún peligro. Dado que las baterías de litio pueden arder y explotar, corresponde a los fabricantes minimizar el riesgo. Los requisitos que los fabricantes de células y sistemas de baterías deben cumplir con lo que respecta a los dos estándares más relevantes que son complementarios entre sí. Una es la norma internacional [IEC 62619](#). Este estándar tiene como enfoque el uso industrial del almacenamiento de baterías de litio y la última versión fue publicada en febrero de 2017. Sin embargo, si un fabricante de equipos de almacenamiento para hogares prueba de acuerdo con esta norma, esto no hará daño. Los peligros

considerados incluyen fuego, explosión, el escape de químicos y gases y el estallido de componentes.

Para la seguridad de las baterías de litio en edificios residenciales, existe la regla de aplicación alemana [AR-E 2510-50](#). La última versión fue publicada en mayo de 2017, y fue completamente rediseñada. Muchas secciones han sido reemplazadas por referencias a otros estándares. Se agregaron nuevas pruebas para garantizar la seguridad funcional y la seguridad contra incendios. El uso de los estándares de seguridad de equipos IEC 62619 y AR-E-2510-50 es voluntario. Los fabricantes e instaladores no tienen que cumplir con los estándares por ley. Sin embargo, en caso de daños también son responsables porque no se han adherido a las reglas de tecnología reconocidas.

La promoción de sistemas de baterías combinado con FV está diseñado como un programa del banco estatal KfW. Se implementa a través de un préstamo a bajo interés del KfW Bank y un subsidio de reembolso financiado por el Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Energía (BMWi). El volumen del programa es 30 millones de Euros entre 2016-2018. Si el monto anual es superado, no se puede aplicar más al subsidio. El monto del subsidio de reembolso es decreciente y depende del momento de la solicitud (ver tabla).

Tabla 5: Digresión del subsidio a sistemas de almacenamiento con FV

Fecha de la aplicación	Primer semestre de 2016	Segundo semestre de 2016	Primer semestre de 2017	Segundo semestre de 2017	Primer semestre de 2018	Segundo semestre de 2018
Subsidio al reembolso	25%	22%	19%	16%	13%	10%

Fuente: Speichermonitoring.de

A continuación, se da un breve resumen de los requerimientos para poder recibir la promoción:

- Nuevos sistemas FV con batería y equipamiento de plantas fotovoltaicas que fueron instalados después de 2012.
- La potencia máxima elegible del sistema FV es 30 kW.
- Los operadores del sistema FV con batería se comprometen a limitar permanentemente su potencia conectada a la red pública al 50% de la potencia fotovoltaica instalada. Esto se aplica a toda la vida útil del sistema fotovoltaico, incluso si el sistema continúa funcionando sin batería.
- Los operadores de planta se deben comprometer a participar en un programa de monitoreo científico.
- El inversor del sistema fotovoltaico o de la batería debe tener una interfaz abierta para la parametrización remota del sistema para poder estabilizar dinámicamente la red si es necesario.

5 Economía de baterías solares

El potencial disruptivo de la combinación entre los sistemas FV y el almacenamiento es a veces llamado: "utility in a box" – “empresa eléctrica en una caja”. El autoconsumo se pone cada vez más atractivo ya que se puede lograr tasas de autosuficiencia de 60% - a precios más bajos que la tarifa eléctrica para hogares, por lo menos en Alemania.

En Alemania, los valores básicos para calcular la competitividad de baterías para un uso doméstico son:

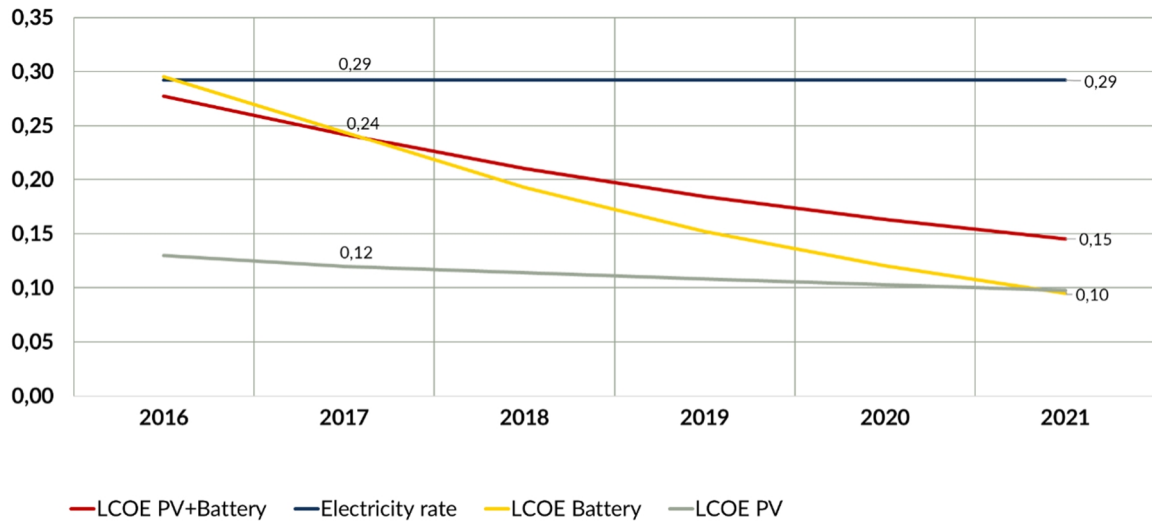
- El precio de electricidad promedio para hogares es **0,29 EUR/kWh** en Alemania
- Los costos de generación FV son **0,12 EUR/kWh** (1.300 EUR/kWp; 1.250 kWh/m²/a)
- Costos de almacenamiento son **0,36 EUR/kWh** (0,24 EUR/kWh costo de almacenamiento + 0,12 EUR/kWh generación FV)

Un suministro típico de un hogar residencial en Alemania puede ser:

- 40% carga residual a 0,29 EUR/kWh
- 60% autoconsumo de energía FV a 0,24 EUR/kWh en promedio
 - 30% consumo directo de energía FV á 0,12 EUR/kWh
 - 30% consumo de energía FV almacenada a 0,36 EUR/kWh

Esta estimación es muy teórica como no incluye impuestos y otros ingresos como la participación en los mercados de ajuste de frecuencia. Sin embargo, la tendencia es clara: con una bajada de costos del sistema de batería por un 21% anualmente, la combinación FV+batería es cada vez más atractiva. Hasta ahora, la mayoría de los sistemas fueron comprados por razones no-económicas como la protección contra una subida de precios de electricidad, interés en la tecnología, protección contra apagones etc. (RWTH Aachen Speichermonitoring 2017, p. 48). Este enfoque no-económico se va a cambiar con la perspectiva de altas tasas de rendimiento de una inversión en un equipo combinado.

Figura 2: Paridad del LCOE FV+batería con las tarifas eléctricas en Alemania



Germany	Value	Unit	Source
cost for a typical 6 kWh home storage system (gross)	5500	EUR	market sources
installation costs	500	EUR	DC installation - AC installation: 1000€ // market sources
capacity	6	kWh	
charging cycles	4100	amount	Solarwatt
efficiency rate	93%	percent	Solarwatt
total amount of stored energy over the lifetime	24600	kWh	calculation
kWh-price for usable storage capacity	1000	EUR	calculation
cost of storage per kWh	0,24	€/kWh	calculation
annual price decline for home storage systems	-21%	CAGR	2013-2017
generation cost PV (LCOE)	0,12	€/kWh	System price 6 kWp 2017: 1.300€/kWp, irradiation 1,250 kWh/m ² /a
annual price decline for PV systems	-5%	CAGR	avg. price development utility scale plants
total costs PV + storage	0,24	€/kWh	60% self-consumption share of PV generation, of it 50% direct, 50% via battery storage
average household electricity rate incl. all taxes 2018	0,29	€/kWh	BDEW 2017

Para Chile, el panorama es similar:

- El precio de electricidad para hogares asumido es **0,17 EUR/kWh**
- Los costos de generación FV son **0,10 EUR/kWh** (1.700 EUR/kWp; 2.000 kWh/m²/a)
- Costos de almacenamiento son **0,34 EUR/kWh** (0,24 EUR/kWh costo de almacenamiento + 0,10 EUR/kWh generación FV)

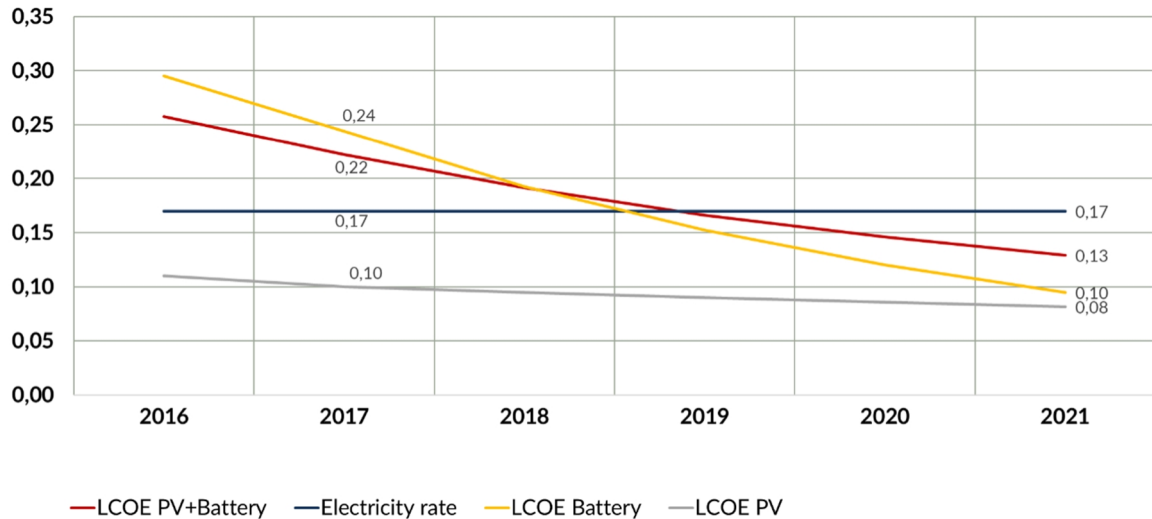
Un suministro típico de un hogar en Chile puede ser:

- 40% carga residual a 0,17 EUR/kWh
- 60% autoconsumo de energía FV a 0,22 EUR/kWh en promedio
 - 30% consumo directo de energía FV a 0,10 EUR/kWh
 - 30% consumo de energía FV almacenada a 0,34 EUR/kWh

Con la tarifa de electricidad más baja, una operación rentable de una planta FV+batería se pospone por unos años. Sin embargo, aparte de tener seguridad de suministro en casos de emergencia, un inversionista residencial no tiene el mismo incentivo de invertir en un sistema de almacenamiento para aumentar su tasa de autoconsumo de energía FV que en Alemania. Con el net-metering/net-billing, la red pública cumple las mismas

funciones desde el punto de vista del operador de la planta: funciona como un almacenamiento virtual de energía fotovoltaica.

Figura 3: Paridad del LCOE FV+batería con las tarifas eléctricas en Chile



Chile	Value	Unit	Source
cost for a typical 6 kWh home storage system (gross)	5500	EUR	market sources
installation costs	500	EUR	DC installation - AC installation: 1000€ // market sources
capacity	6	kWh	
charging cycles	4100	amount	Solarwatt
efficiency rate	93%	percent	Solarwatt
total amount of stored energy over the lifetime	24600	kWh	calculation
kWh-price for usable storage capacity	1000	EUR	calculation
cost of storage per kWh	0,24	€/kWh	calculation
annual price decline for home storage systems	-21%	CAGR	2013-2017
generation cost PV (LCOE)	0,10	€/kWh	System price 6 kWp 2017: 1.700€/kWp, irradiation 2,000 kWh/m ² /a
annual price decline for PV systems	-5%	CAGR	avg. price development utility scale plants
total costs PV + storage	0,22	€/kWh	60% self-consumption share of PV generation, of it 50% direct , 50% via battery storage
average household electricity rate incl. all taxes 2018	0,17	€/kWh	

Para baterías de gran escala, los modelos de negocio son aún más complejos y dependen mucho más del diseño del mercado, por ejemplo, si hay licitaciones para el suministro de capacidad para el ajuste de la frecuencia y otros servicios auxiliares.

6 Conclusión

La introducción de baterías de litio a los mercados eléctricos está en marcha, comparable a la disminución de los costos de la energía fotovoltaica entre 2009-2012 y el siguiente boom al nivel mundial. Todo lo anterior indica que el almacenaje de batería es la tecnología que la transición energética necesitaba, el llamado eslabón perdido para lograr tasas más altas de energías renovables.

Como se ha mencionado, el almacenamiento de energía eléctrica es algo nuevo en muchos marcos regulatorios que requiere adopciones relevantes, tales como definiciones básicas y aclaraciones de aspectos fiscales. Sin embargo, para lograr minimizar el impacto de energías renovables fluctuantes a los sistemas eléctricos, existe un incentivo muy relevante para las reguladoras, hacer uso de los sistemas de baterías que se agregará al sistema eléctrico. Estos equipos pueden jugar un papel clave en equilibrar generación fluctuante con una demanda más o menos rígida.

En el caso de Chile, el uso de baterías para casos de emergencia puede significar un valor adicional para la implementación de estas tecnologías. Sin embargo, no se puede esperar muchas inversiones en los próximos años por las tarifas de electricidad más bajas en comparación con Alemania. Además, el esquema net-metering/net-billing es una competencia grave para el lanzamiento de sistemas combinadas FV+batería, como la red pública sirve como un almacenamiento virtual de energía fotovoltaica, desde el punto de vista del dueño de la planta FV.

Una medida relevante para impulsar el lanzamiento de sistemas de baterías puede ser la introducción de tarifas eléctricas basado en el tiempo de uso. Esto puede dar un incentivo para actividades de arbitraje, como cargar las baterías en tiempos de alta generación fotovoltaica (y bajos precios de electricidad) y descargarlas en tiempos de altos precios de electricidad.

Literatura

- Batterieforum Deutschland.** Lithium-Ionen-Batterien. [Online]
<http://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/batterie-kompodium/sekundaere-batterie/metall-ionen-batterien/lithium-ionen-batterien/>
- BNEF - Bloomberg New Energy Finance. 2017.** Lithium-ion Battery Costs and Market. [Online] 01/2017. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-costs-squeezed-margins-new-business-models/>
- DERA - Deutsche Rohstoffagentur in der BGR. 2017.** Zur Verfügbarkeit von Lithium für den Industriestandort Deutschland. [Online] 07/2017. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Laufende%20Projekte/Rohstoffwirtschaft/Lithium/lp-lithium_node.html
- DoE - Department of Energy. 2017.** Global Energy Storage Database. [Online] 11/2017. <https://www.energystorageexchange.org/>
- Energate Messenger. 2017.** Lithium-Schwefel-Batterien vor dem Durchbruch. [Online] 09/2017. <http://www.energate-messenger.de/news/177659/lithium-schwefel-batterien-vor-dem-durchbruch>
- Fraunhofer ISI. 2015.** Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030. [Online] 2015. http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/t/projekte/LIB_Broschueren/grm-libroad.php
- IEA - International Energy Agency. 2014.** *Technology Roadmap - Solar Photovoltaic Energy*. Paris : s.n., 2014.
- IRENA. 2017.** *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*. Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency, 2017.
- RWTH Aachen. 2017.** Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Stromspeicher 2.0. [Online] 2017.
http://www.speichermonitoring.de/fileadmin/user_upload/Speichermonitoring_Jahresbericht_2017_ISEA_RWTH_Aachen.pdf
- VDE - Verband der Elektrotechnik. 2015.** *Kompodium: Li-Ionen-Batterien*. Frankfurt/Main : s.n., 2015.
- VDE – Verband der Elektrotechnik. 2016.** *FNN-Hinweis: Anschluss und Betrieb von Speichern am Niederspannungsnetz*.
- VDMA. 2016.** *Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030*. Frankfurt am Main : s.n., 2016.