

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



**Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación**

TRABAJO FIN DE GRADO

**SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO
Y SU INTEGRACIÓN EN EL SMART GRID**

Mauricio Jiménez Pijoan

**Tutor: Oscar Del Barrio Cruz
Ponente: Javier Garrido Salas**

MAYO 2015

SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO Y SU INTEGRACIÓN EN EL SMART GRID

AUTOR: Mauricio Jiménez Pijoan

TUTOR: Oscar Del Barrio Cruz

PONENTE: Javier Garrido Salas

Trabajo realizado en i-deals (everis group)



an NTT DATA Company

AGRADECIMIENTOS

Llegado este punto de inflexión en mi vida, me gustaría hacer una pequeña pausa para echar la vista atrás e intentar agradecer el enorme esfuerzo y dedicación de todas aquellas personas que mencionaré a continuación y que me han ayudado a hacer posible el complicado reto de llegar a ser ingeniero. Digo ‘intentar’ porque nunca podré demostrar con palabras mi profundo sentimiento de agradecimiento hacia ellos.

A mis padres y a mi hermano Álvaro, por absolutamente todo. Por haber dedicado su vida a educarme y hacer de mí la persona que soy actualmente. Siempre han estado ahí cuando lo he necesitado y puedo decir que me lo han dado todo bajo cualquier circunstancia.

A todos los miembros de mi familia, en especial a mis abuelas, a mi abuelo Esteban por haberme transmitido su pasión por la ingeniería desde que era pequeño y a mi abuelo Mauricio al que mando fuerzas porque no está pasando por un buen momento.

A mis amigos. Porque gracias a ellos he disfrutado cada uno de mis tiempos libres de estos últimos años desconectando, tanto del trabajo, como del estudio.

A Laura, por haberme alegrado, ayudado y motivado en los momentos difíciles; y por, a su vez, haber compartido conmigo miles de buenos momentos durante estos años.

A todos mis profesores de la carrera, por haberme enseñado todos los conocimientos de los que ahora dispongo y que sin duda aplicaré durante mi vida laboral.

A mis compañeros de trabajo, tanto de Opta, como de i-deals y Everis. En especial a mi tutor Oscar, a Ángel, a Roberto y a mi compañero Luis del que aprendo una barbaridad cada día en la oficina.

A mi ponente Javier Garrido, por haberse ofrecido a ayudarme siempre que se lo he solicitado.

A todos,

Gracias.

Nota:

Por motivos de confidencialidad, se ha sustituido el nombre real de la empresa que ha desarrollado la tecnología en la que se basa el análisis presentado en este Trabajo de fin de Grado (TFG) por el nombre ficticio: EDA (Empresa Desarrolladora Anónima).

Por el mismo motivo, para preservar la confidencialidad de las doce empresas contactadas durante el desarrollo de este TFG, se ha reemplazado sus nombres reales por nombres ficticios según el formato:

[categoría de la empresa]-[número]. Ejemplo: EPC-1.

RESUMEN

Hasta hace pocos años, el almacenamiento de energía ha sido una opción escasamente explotada por el sector eléctrico. Esta situación se debe, principalmente, al elevado coste de los sistemas y a sus limitaciones tecnológicas existentes que han impedido desarrollar sistemas eficientes y con un impacto ambiental aceptable. El exceso de contaminación provocado por el consumo de combustibles fósiles, el rápido incremento de penetración de fuentes de energía renovables no controlables, el estado obsoleto de las infraestructuras actuales y el incremento considerable de la demanda de energía eléctrica, ha aumentado el interés del sector por un modelo de red inteligente, el Smart Grid. La combinación de nuevos sistemas de almacenamiento energético, electrónica de potencia, software de control avanzados y tecnologías TIC está haciendo posible el estudio de nuevos modelos de negocio que amplían la aplicabilidad de las tecnologías de almacenamiento energético. Por esta razón, EDA ha desarrollado un sistema híbrido de almacenamiento que incluye un sistema de gestión y control de la red. Este sistema combina las ventajas de alta velocidad de descarga y robustez de los supercondensadores con la alta densidad de almacenamiento energético de las baterías Li-ion. Esta combinación ofrece una mayor flexibilidad y estabilidad a la red minimizando el uso de otros sistemas de respaldo para las fuentes de generación renovables. A partir de un análisis de viabilidad de esta tecnología, contrastado con importantes empresas y actores del sector eléctrico a nivel nacional e internacional, se ha comprobado que si la tecnología en cuestión sigue una estrategia comercial óptima, ésta podría aumentar el interés del sector en las tecnologías de almacenamiento energético como medio para facilitar la integración de fuentes renovables y la gestión del Smart Grid.

PALABRAS CLAVE

Almacenamiento energético, fuentes renovables, smart grid, supercondensador, batería Li-ion, modelo de negocio, Canvas.

ABSTRACT

It has not been until recent years ago, that electric industry has started to incorporate energy storage systems. This situation occurs mainly due to the high cost of the systems and the technology limitations that have prevent from developing efficient systems with an appropriate environmental impact. The excessive pollution produced by fossil fuels, the renewable energy generators integration, obsolete infrastructures and an important electric energy demand increase have boosted the sector`s interest for new models based on smarter grids. The combination of new energy storage systems, advanced control software, power electronics and TIC technologies is allowing new business models that could expand the energy storage systems applicability. As a result, EDA has developed a Hybrid Energy Storage System (HESS) which includes an Energy Management System to control and optimize the grid performance. This HESS combines the high power rate and robustness advantages of supercapacitors with the high energy density of Li-ion (Lithium-ion) batteries. The attributes of this new system provide flexibility and stability to the grid minimizing the use of other back-up systems in order to support renewable energy generators. After an analysis of the technology viability, contrasted with relevant actors within the electric industry, it has been demonstrated that adopting an optimal business strategy, this technology under review could foster the sector interest for energy storage systems.

.

KEYWORDS

Energy storage, renewables, smart grid, supercapacitors, Li-ion battery, business model, Canvas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del proyecto	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Fases del proyecto	2
1.4. Estructura del documento	3
2. Estado del arte	5
2.1. Almacenamiento energético	6
2.2. Sistema híbrido de almacenamiento energético: HESS.	8
2.2.1. Supercondensadores y baterías Li-ion	8
2.2.2. Sistema de gestión y control: EMS.....	9
3. Metodología utilizada para el modelo de negocio.....	11
3.1. Business Model Canvas (BMC)	11
3.2. Value Proposition Canvas (VPC)	12
4. Planteamiento de hipótesis	15
4.1. Segmentación del mercado	15
4.2. Hipótesis de cliente	16
4.2.1. Servicios a la red.....	16
4.2.2. Integración de fuentes de energía renovables.....	18
4.2.3. Microrredes y redes aisladas	19
4.2.4. VPC: Hipótesis de cliente.	20
4.3. Hipótesis de propuesta de valor	20
4.3.1. VPC: Hipótesis propuesta de valor.....	21
4.4. Conexión Cliente – Propuesta de valor.	22
4.5. Hipótesis Relación con los clientes	22
4.6. Hipótesis Canales de distribución	23
4.7. Hipótesis Flujos de ingresos	24
5. Recopilación de feedback.....	25
5.1. Metodología	25
5.1.1. Estructura del cuestionario	26
6. Análisis de resultados. Validación de hipótesis.....	29
6.1. Análisis de resultados: Viabilidad del HESS para distintas aplicaciones	29
6.1.1. Servicios a la red.....	29
6.1.2. Integración de fuentes renovables.....	30

6.1.3.	<i>Microrredes y redes aisladas</i>	31
6.1.4.	<i>Otros servicios</i>	32
6.2.	<i>Análisis de resultados: Barreras.</i>	32
6.3.	<i>Validación de hipótesis</i>	34
7.	Análisis de riesgos	39
7.1.	<i>Riesgos</i>	39
7.2.	<i>Acciones de mitigación</i>	42
8.	Conclusiones	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Gantt	3
Figura 2. Esquema standard de una VPP.....	9
Figura 3. Business Model Canvas	11
Figura 4. Value Proposition Canvas	12
Figura 5. Cadena de Valor.....	15
Figura 6. Hipótesis de Cliente	20
Figura 7. Hipótesis propuesta de valor	22
Figura 8. VPC: Conexión Cliente - Propuesta de Valor.....	22
Figura 9. Análisis de resultados. Aplicación: Servicio a la red.....	29
Figura 10. Análisis de resultados. Aplicación: Integración de renovables.....	30
Figura 11. Análisis de resultados. Aplicación: Microrredes y redes aisladas	31
Figura 12. Análisis de resultados. Barreras	33
Figura 13. Análisis de riesgos. Impacto-Probabilidad.....	41
Figura 14. Tabla resumen entrevistas – Aplicaciones	45
Figura 15. Tabla resumen entrevistas – Barreras	45

GLOSARIO

ESS	<i>Energy Storage System.</i> Sistema de almacenamiento energético.
HESS	<i>Hybrid Energy Storage System.</i> Sistema de almacenamiento energético híbrido
BMC	<i>Business Model Canvas.</i> Metodología de construcción del modelo de negocio.
VPC	<i>Value Proposition Canvas.</i> Metodología para la construcción de la propuesta de valor.
SC	Supercondensadores.
LTO	Titanato de litio. En referencia a las baterías que utilizan este componente químico.
EPC	<i>Engineering, Procurement and Construction.</i> Empresas diseñadoras de las instalaciones eléctricas.
TSO	<i>Transmission System Operator.</i> Operadora de red de transmisión.
VPP	<i>Virtual Power Plant.</i> Planta de generación virtual.
TIC	<i>Tecnologías de la Información y la Comunicación.</i>

1. Introducción

Este capítulo es una introducción al presente documento en el que se describen las motivaciones del proyecto ejecutado, los objetivos que se han perseguido durante el proyecto y las fases en las que se ha ido desarrollando. Por último se presenta la estructura del documento haciendo una breve descripción del contenido de cada capítulo.

1.1. Motivación del proyecto

En vista a la necesidad del sector eléctrico de proporcionar un servicio más estable y energéticamente eficiente, las empresas del sector están empezando a considerar el almacenamiento energético como medio para alcanzar este objetivo y favorecer la penetración en la red de fuentes de energía renovables. Una de estas empresas, EDA, ha desarrollado una tecnología híbrida de almacenamiento energético basada en una combinación de supercondensadores y baterías Li-ion. Este sistema de almacenamiento también cuenta con un sistema de gestión y control, tanto del propio sistema de almacenamiento, como del total de subsistemas de generación que componen la red a la que se aplique. El objetivo de esta tecnología es aprovechar sus características para ayudar a solucionar los problemas actuales del sector provocados, entre otros, por la falta de estabilidad de los generadores renovables y el consumo de sus sistemas de respaldo.

La tecnología desarrollada por EDA aún no ha sido incorporada al mercado, permaneciendo a la espera de alcanzar un punto de madurez óptimo que le dé garantías a la hora de validar su propuesta de valor. EDA ha contactado con Everis (NTT Data Company) para que a través de su división i-deals, especializada en consultoría de proyectos de innovación tecnológica, le elabore un análisis de viabilidad de la tecnología y le guíe en la planificación de su estrategia comercial. Es así como nace el proyecto en el que se basa el presente TFG.

1.2. Objetivos

Los objetivos que se persiguen con este proyecto son: realizar un análisis de viabilidad del sistema híbrido de almacenamiento energético desarrollado por la empresa EDA y elaborar un modelo de negocio que guíe a la empresa en su proceso de incorporación de este producto al mercado.

En relación a estos objetivos, se busca identificar el valor de oportunidad de la tecnología mediante un análisis de su aplicabilidad desde un punto de vista técnico. Para ello, es necesario identificar cuáles son las tecnologías competidoras, cuál es la

situación del mercado y qué valor diferencial aporta la solución híbrida frente a otras soluciones. Además, se requiere estudiar las posibles fuentes de ingresos de la empresa, los canales de distribución, la relación con el cliente y sus posibilidades de rentabilidad.

Por último, se pretende definir una serie de acciones de mitigación de riesgos con el objetivo de evitar todas las posibles situaciones adversas futuras que puedan impedir el correcto desarrollo comercial de la tecnología.

1.3. Fases del proyecto

El desarrollo de este proyecto se ha llevado a cabo, principalmente, en las oficinas de Everis en Madrid. La duración total del proyecto ha sido de trece semanas, siendo la fecha de inicio el 29 de Enero de 2015 y la fecha de finalización el 30 de Abril de 2015.

El proyecto se ha desarrollado en siete fases:

Fase 1: Estudio técnico de la tecnología y el entorno. *Duración:* 1,5 semanas

En esta fase se ha realizado un estudio de la solución técnica de la tecnología, del sector y de la situación del mercado y las tecnologías competidoras.

Fase 2: Elaboración de las hipótesis del modelo de negocio. *Duración:* 2,5 semanas

Esta fase comienza una vez finalizada la fase 1. A partir de los estudios de la primera fase, se plantea un modelo de negocio basado en hipótesis siguiendo la metodología de construcción de negocios Business Model Canvas.

Fase 3: Recopilación de feedback. *Duración:* 5 semanas

Esta fase comienza una vez finalizada la fase 2. Con una primera aproximación del modelo de negocio elaborada a partir de hipótesis, se contrasta este modelo y los estudios realizados previamente a través de entrevistas con empresas y centros de investigación del sector eléctrico.

Fase 4: Análisis de resultados. *Duración:* 4 semanas

Esta fase comienza una vez comenzada la fase 3 y se solapa con ésta en el tiempo. Se analizan los resultados de la información recibida durante las entrevistas.

Fase 5: Validación de hipótesis. *Duración:* 1,5 semanas

Esta fase comienza una vez finalizada la fase 4. A partir del análisis de resultados de la fase anterior se comprueba la validez de las hipótesis del modelo de negocio.

Fase 6: Análisis de riesgos. *Duración:* 1 semana

Esta fase comienza una vez finalizada la fase 5. Se analizan los posibles riesgos de la estrategia comercial de la tecnología y se plantean una serie de acciones de mitigación para afrontar estos riesgos.

Fase 7: Conclusiones. *Duración:* 1 semana

Esta fase se lleva a cabo una vez finalizadas todas las fases previas. Se elaboran las conclusiones de todo el trabajo llevado a cabo durante el desarrollo del proyecto.

A continuación se presenta un Diagrama de Gantt de las fases del proyecto:

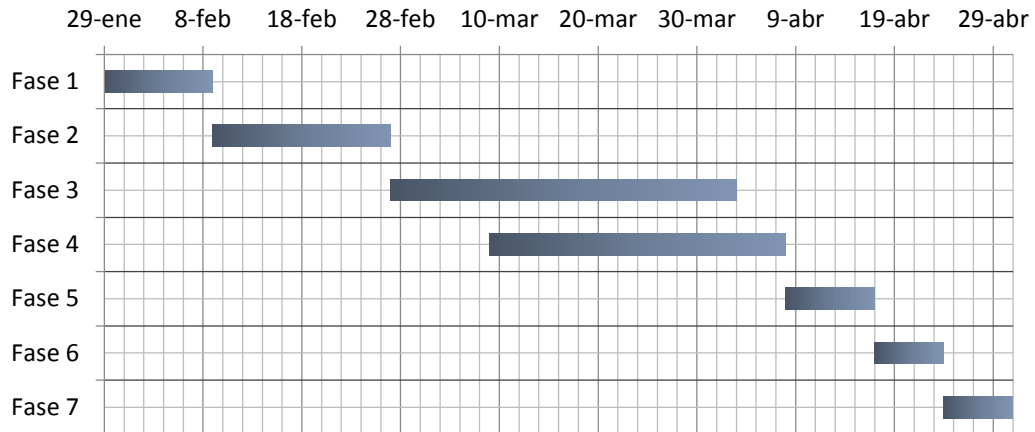


Figura 1. Diagrama de Gantt

1.4. Estructura del documento

El presente documento ha sido dividido en ocho capítulos cuyo contenido es el siguiente:

- **Capítulo 1:** Introducción.
Se describen la motivación del proyecto, sus objetivos, las fases en las que se ha dividido su desarrollo y la estructura del presente documento.
- **Capítulo 2:** Estado del arte.
Se introduce la situación actual del sector de la energía eléctrica y del almacenamiento energético. Se describen además, el sistema híbrido desarrollado por EDA y sus principales tecnologías competidoras. Este capítulo se apoya en la fase 1 del proyecto.
- **Capítulo 3:** Metodología utilizada para el modelo de negocio.
En este capítulo se explica el funcionamiento de la metodología Business Model Canvas que se ha utilizado para la elaboración de la propuesta del modelo de negocio.
- **Capítulo 4:** Planteamiento de hipótesis.
Se describen cada una de las hipótesis que se han propuesto como estrategia comercial para la elaboración del modelo de negocio. Estas hipótesis cubren

cada uno de los bloques de la metodología descrita en el Capítulo 3. Capítulo basado en la fase 2 del proyecto.

- **Capítulo 5:** Recopilación de feedback.
Se explica el proceso que se ha seguido durante la fase 3 del proyecto. Fase en la que se han llevado a cabo varias entrevistas con empresas EPC, utilities, operadores de red y un centro de investigación con el fin de contrastar la viabilidad de las hipótesis extraídas.
- **Capítulo 6:** Análisis de resultados. Validación de hipótesis.
El capítulo hace un análisis de las ideas que se han extraído a partir de la información recibida en las entrevistas y razona la validez o no de las hipótesis planteadas en base a este análisis. Se engloban las fases 4 y 5 del proyecto.
- **Capítulo 7:** Análisis de riesgos.
Se identifican los riesgos futuros a los que se expone la estrategia comercial de la solución híbrida y se proponen las correspondientes acciones de mitigación para minimizarlos. El capítulo describe el trabajo desarrollado durante la fase 6.
- **Capítulo 8:** Conclusiones.
Resumen y conclusión de toda la información analizada durante la ejecución del proyecto. Se corresponde con la séptima y última fase de desarrollo.

2. Estado del arte

El sector eléctrico se encuentra en los últimos años en un periodo de transición hacia un nuevo modelo de servicio más moderno y eficiente. Este nuevo modelo se caracteriza por una mayor integración de fuentes de energía renovables en el mix de generación, una reducción de gases de efecto invernadero contaminantes para la atmosfera, un importante incremento de la demanda de energía eléctrica y la necesidad de optimización de la mayoría de infraestructuras de generación, transmisión y distribución existentes que se están quedando obsoletas al no haber sufrido prácticamente modificaciones desde su puesta en marcha a mediados del siglo pasado.

Gracias a los grandes avances tecnológicos durante la última década, se están desarrollando sistemas de electrónica de potencia y de control más avanzados, que combinados con el uso de tecnologías TIC están permitiendo a la red eléctrica tender hacia un modelo de red inteligente, el Smart Grid. Este modelo basado en generación distribuida es capaz de optimizar todos los subsistemas involucrados en la red con el objetivo de adecuar la producción de energía a la demanda de los usuarios. Con este modelo también se pretende automatizar todos los subsistemas que intervienen en el proceso de generación para hacer un uso más eficiente de los mismos.

Ante la situación actual de contaminación, los gobiernos a nivel mundial están trabajando para tratar de conseguir un mundo más sostenible con un mayor uso de energías provenientes de fuentes de energía renovables. Como ejemplo, la Unión Europea ha establecido como objetivo para 2020 que el 20% de la energía producida sea renovable intentando también alcanzar una mejora en la eficiencia energética cercana a otro 20%¹.

Las fuentes de generación de energía renovables tienen un comportamiento estocástico que dificulta su gestión y control dentro del mix de generación. Durante su funcionamiento se generan picos y valles de producción que deben ser compensados para mantener la estabilidad del sistema.

En referencia al aumento en la demanda de energía eléctrica, se estima para 2030 un incremento pico de aproximadamente 34 GW y un incremento de consumo de 195 TWh². Esta situación, combinada con los problemas provocados por el comportamiento estocástico de las fuentes renovables, ha impulsado el interés del sector por los sistemas de almacenamiento energético como posible solución.

¹ Fuente: Energy Economic Developements in Europe. 2014

² Fuente: El modelo eléctrico español en 2030. PryceWaterhouseCoopers

2.1. Almacenamiento energético

El almacenamiento de energía conectado a la red contribuye a mejorar la estabilidad, la eficiencia y la calidad del sistema, además de a aumentar la seguridad del suministro. Esto permite aplanar la curva de generación dando lugar a una mejor adecuación de la oferta y la demanda sin necesidad de recurrir a otros sistemas de generación más caros y contaminantes. Los sistemas de almacenamiento pueden ofrecer numerosas ventajas a la red trabajando como sistemas de respaldo, por ejemplo, dando apoyo para el balanceo de carga o prestando servicios de regulación de frecuencia y voltaje.

A pesar de estas ventajas, la realidad es que actualmente sus costes son muy altos y su vida útil no es muy prolongada. Estos inconvenientes suponen una barrera para las empresas de cara a confiar en la garantía y rentabilidad de estos sistemas. Cada sistema tiene unas características diferentes que las hace adecuadas para ciertas aplicaciones pero no tan adecuadas para otras, siendo necesario un estudio personalizado de cada aplicación para saber qué sistema es el más adecuado en cada caso.

Dentro de la gran variedad de tecnologías de almacenamiento energético existentes, las baterías electroquímicas son las que por sus atributos compiten directamente con el sistema híbrido que ha desarrollado EDA cuyas características se describen más adelante en el capítulo. En concreto, hay tres tipos de baterías electroquímicas de especial interés para este proyecto: las baterías de titanato de litio, las baterías de flujo y las baterías plomo-carbono.

Baterías de titanato de litio (LTO)

Las baterías LTO son una variación de las baterías Li-ion convencionales que utilizan ánodos de titanato de litio combinados con cualquier otro tipo de cátodo en lugar de utilizar carbono. Este ánodo proporciona un comportamiento superior en aplicaciones donde se requieren grandes velocidades carga/descarga a cambio de una densidad de energía inferior a la de las baterías Li-ion convencionales. A pesar de ello, las baterías LTO permiten operar con profundidades de descarga más elevadas compensando parcialmente su menor capacidad. A las ventajas en resistencia y potencia hay que sumarle su menor degradación ante un mayor rango de temperaturas de funcionamiento. La baja generación de calor simplifica la refrigeración del sistema y aumenta su seguridad.

La resistencia al ciclado de estas baterías es superior a la de las baterías Li-ion convencionales pudiendo sobrepasar los 10.000 ciclos e incluso alcanzando en algunos casos los 18.000. Sus costes por kWh son mayores (en torno a un 50% mayor) que otras químicas Li-ion debido a su menor densidad energética y a los mayores costes del material activo.

Baterías de flujo

Las baterías de flujo son sistemas bastante voluminosos. Cuentan con dos tanques donde se almacenan los electrolitos líquidos que son impulsados hacia la batería, donde una membrana separa los iones en función de las reacciones de carga/descarga necesarias. Las baterías de flujo más habituales son las basadas en electrolitos de Vanadio (otras químicas pueden ser Fe-Cr o Zn-Br). Su densidad de almacenamiento es baja comparada con otras opciones por lo que los requerimientos de espacio para su instalación son altos. Mientras que la potencia puede ajustarse modificando la configuración de la celda, la capacidad se puede variar aumentando el volumen del electrolito.

La poca experiencia en el uso de estas baterías provoca que se generen dudas sobre su funcionamiento a largo plazo. A pesar de ello, se considera que pueden alcanzar los 10.000 ciclos en la mayor parte de los casos. Respecto a su coste, existen sistemas comerciales con costes de alrededor de 500 \$/kWh aunque a medio plazo podrían bajar hasta los 300 \$/kWh.

La eficiencia en general es baja, encontrándose entre un 60-75% a causa de la autodescarga y a las pérdidas por bombeo. Esta eficiencia penaliza los ingresos en arbitraje y, en menor medida, en regulación.

Baterías de plomo-carbono

Las baterías plomo-ácido convencionales son el sistema electroquímico más empleado. Sin embargo, a pesar de su coste sensiblemente inferior, el bajo rendimiento en cuanto a potencia y energía que presentan, su escasa resistencia al ciclado y sus características medioambientales reducen su atractivo frente a otras alternativas. La utilización de electrodos de carbono está permitiendo minimizar algunos de estos inconvenientes haciéndolas más competitivas.

Las baterías convencionales plomo-ácido presentan muy baja resistencia al ciclado con valores entre 500 y 2000 ciclos. Aunque con el uso de carbono se puede llegar a incrementar este número de ciclos entre un 100 - 200%. Los costes de estas baterías se estiman en torno a 250-330 \$/kWh y su eficiencia por lo general es de 80% existiendo algunos modelos que alcanzan el 95%.

A pesar de sus peores prestaciones respecto a los sistemas Li-ion, las baterías plomo-carbono han sido utilizadas con éxito en proyectos de demostración de servicios de regulación de frecuencia. Su menor coste puede permitir que sean una opción en determinados sistemas aún en el medio plazo. Navigant Research considera que en 2020, las baterías plomo-ácido avanzadas aún dispondrán del 25% del mercado electroquímico estacionario valorado en 6.800 millones de dólares.

2.2. Sistema híbrido de almacenamiento energético: HESS.

La tecnología híbrida desarrollada por EDA se compone de un sistema de almacenamiento de energía (HESS) y un sistema de gestión y control (EMS). El sistema de almacenamiento es un sistema híbrido que combina las ventajas de los supercondensadores y los sistemas de almacenamiento electroquímico. Aunque el HESS puede diseñarse para utilizar varios tipos de almacenamiento electroquímico como complemento a los supercondensadores, la realidad es que está especialmente desarrollado y optimizado para baterías Li-ion. Este sistema se instala en contenedores industriales pudiendo modularse su capacidad total hasta los 5-10 MW totales a partir de unidades que van desde los 50 kW hasta los 250 kW.

2.2.1. Supercondensadores y baterías Li-ion

Los supercondensadores son condensadores de doble capa. Su principal ventaja es que permiten una alta velocidad de ciclos de carga y descarga con una eficiencia cercana al 95%. Su alta potencia hace que sean especialmente útiles para aplicaciones donde sea necesario una estabilización de la frecuencia. Además son bastante robustos, soportan un número de ciclos altísimo sin apenas degradarse, soportan bien las altas temperaturas y no se ven muy afectados por situaciones de sobrecarga.

Como principales inconvenientes se destacan su alto coste y baja densidad energética, que los hace ser poco propicios para aplicaciones que requieren grandes cantidades de almacenamiento en largos periodos de tiempo.

Las baterías de iones de litio (Li-ion), por su parte, son un tipo de baterías recargables en las que los iones de litio se mueven de los electrones negativos a los electrones positivos durante la descarga, y realizan el proceso inverso durante el periodo de carga. Sus características permiten una tolerancia de ciclos de descarga más alta que la de otras tecnologías, y una altísima densidad energética, del orden de 400Wh/l, siendo a la vez bastante eficientes. La parte negativa de estas baterías es su alta degradación ante situaciones de temperaturas adversas y sobrecargas que afecta sustancialmente a su vida útil.

Este tipo de baterías está siendo cada vez más utilizado en muchos sectores, entre los que se encuentra el sector de transporte, lo que está provocando que su precio se vaya viendo reducido con el paso del tiempo.

Los principales atributos diferenciales de esta combinación se exponen en el Capítulo 4.3 (Hipótesis Propuesta de valor) de este documento.

2.2.2. Sistema de gestión y control: EMS

El EMS es un sistema de gestión y control de la energía en la red que permite integrar y administrar los diferentes subsistemas que la componen favoreciendo un comportamiento continuo y armónico del rendimiento del sistema. Sus funciones principales como estabilizador de la red son: regulación de voltaje y frecuencia, amortiguamiento de oscilaciones de potencia, control de la velocidad de rampa, encendido/apagado de generadores y optimización de tiempos de generación, carga, descarga, etc. Con estas funciones se consigue un aumento de la eficiencia y rentabilidad del sistema y un funcionamiento de los generadores optimizado de acuerdo a la respuesta y la calidad requeridas por el operador.

El diagrama simplificado de una Virtual Power Plant, donde se puede entender mejor el funcionamiento de la red a la que se aplica el sistema, es el siguiente:

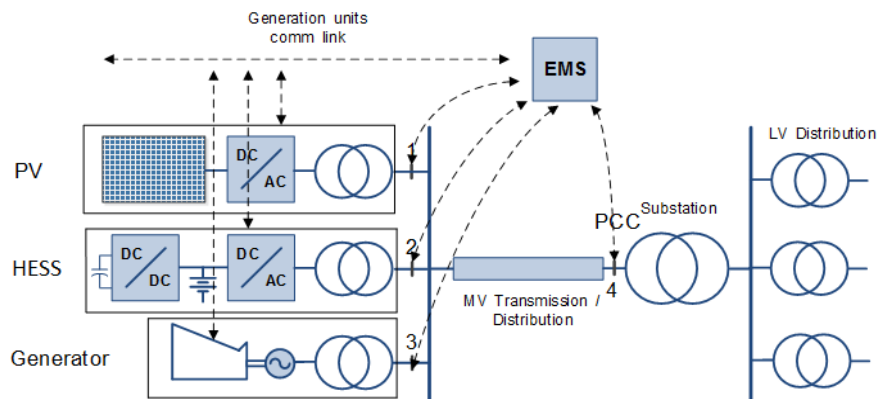


Figura 2. Esquema standard de una VPP

Las líneas discontinuas de la figura 2 representan las conexiones del EMS con los diferentes subsistemas: El número 1 representa la conexión a la fuente de energía renovable (en este caso fotovoltaica), el 2 representa la conexión al sistema de almacenamiento HESS y el 3 a un generador adicional. Las comunicaciones mencionadas pueden ser llevadas a cabo mediante diversos protocolos pero la empresa desarrolladora recomienda el uso de TCP/IP.

A través de estas conexiones, el EMS comprueba el estado de los componentes de la red midiendo los volúmenes de todas sus variables de trabajo (voltaje, temperatura, etc.) a través de sensores, guarda la información en su base de datos y ejecuta los comando necesarios para coordinar el sistema general en función del resultado obtenido en sus algoritmos de optimización. Con este sistema se consigue controlar la red de forma inteligente.

El hardware del EMS incluye: un procesador ARM (Linux) para la interfaz de usuario y un DSP para el procesamiento de operaciones matemáticas; múltiples opciones de

comunicación como Ethernet, RS232 / RS485, CAN Bus, USB, Fibra Óptica, HDMI, LVDS y Zigbee; 16 canales de medida totalmente configurables y 16 canales de entrada/salida digital para señales auxiliares o de control.

Respecto al software, la arquitectura de control esta dividida en tres niveles. El primer nivel se implementa individualmente en cada uno de los subsistemas y su función es medir y controlar el comportamiento de éstos de forma autónoma, con un tiempo de respuesta del orden de milisegundos. Los otros dos niveles están implementados en el EMS. Por un lado, el segundo nivel es el encargado de configurar los algoritmos autónomos del primer nivel proporcionando una respuesta global al sistema con un tiempo de respuesta del orden de segundos. Y por último, el tercer nivel se encarga de optimizar el beneficio económico de toda la red una vez que ésta ha sido estabilizada por el segundo nivel. Para ello tiene en cuenta una serie de factores como el coste de la energía, la meteorología, la previsión de cargas o los datos almacenados de casos previos. Este nivel conlleva un tiempo de respuesta alto, pudiendo llegar a ser del orden de horas.

Los algoritmos desarrollados en los dos niveles implementados en el EMS deciden el funcionamiento y la cantidad de energía que aporta cada uno de los tres generadores (renovable, HESS o adicional) a la red. En caso de que la de generación por parte de la fuente de energía renovable y el HESS sea suficiente para asegurar estabilidad, los generadores adicionales podrían apagarse y dejarse en un segundo plano como sistema de respaldo.

3. Metodología utilizada para el modelo de negocio

Este capítulo describe la metodología Business Model Canvas utilizada para la construcción del modelo de negocio. De este modelo deriva el Value Proposition Canvas también utilizado en el proceso de elaboración de hipótesis del siguiente capítulo.

3.1. Business Model Canvas (BMC)

Para identificar cómo la empresa EDA puede crear valor para sus clientes y establecer una estrategia adecuada para capturarlos, se ha planteado un modelo de negocio siguiendo la metodología Business Model Canvas. La metodología BMC describe un modelo de negocio a través de nueve bloques. Estos nueve bloques, representados en la Figura 3, permiten explicar cómo la empresa espera introducirse en el mercado.

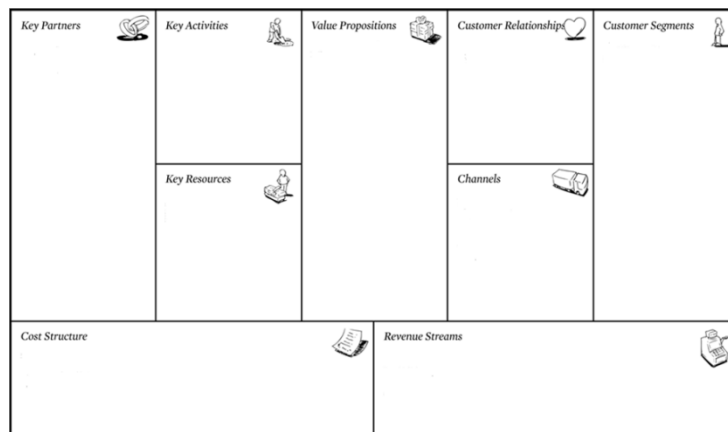


Figura 3. Business Model Canvas

Una breve descripción de los nueve bloques que componen este modelo es la siguiente:

- **Cientes (*Customer Segments*):** En este bloque se definen los segmentos del mercado a los que se va a proporcionar un servicio o a vender el sistema a cambio de un retorno económico.
- **Propuesta de valor (*Value propositions*):** Describe el conjunto de atributos de la tecnología híbrida que crean valor para cada cliente.
- **Canales (*Channels*):** Los canales describen cómo la empresa va a comunicar y hacer llegar a sus clientes su propuesta de valor.
- **Relación con el cliente (*Customer Relationship*):** La relación con el cliente describe la distinta tipología de relaciones que la empresa EDA puede establecer con sus clientes.

- **Ingresos (*Revenue Streams*):** Este bloque describe los distintos flujos de ingresos que puede obtener la empresa como contraprestación por el valor que aportará a sus clientes a través de su tecnología.
- **Activos clave (*Key Resources*):** Activos necesarios para articular el modelo de negocio. Estos activos pueden ser físicos, financieros, intangibles o recursos humanos.
- **Actividades clave (*Key Activities*):** Actividades más importantes que la empresa debe llevar a cabo para operar con éxito.
- **Socios clave (*Key Partners*):** Se identifican los socios y proveedores necesarios para ejecutar el modelo de negocio propuesto.
- **Estructura de costes (*Cost Structure*):** En este bloque se recogen los principales costes derivados de la implantación del modelo de negocio.

Dentro del modelo BMC presentado, en este proyecto se ha hecho especial enfoque en la validación de los bloques que están directamente relacionados con el exterior de la compañía. En la figura anterior, estos elementos se sitúan en la parte derecha del lienzo. Identificamos los bloques en los que se definen la propuesta de valor, el segmento clientes, la relación con los clientes, los canales de comunicación con los propios clientes y los flujos de ingresos que se podrían generar por el desarrollo de la actividad comercial entre EDA y sus potenciales clientes.

3.2. *Value Proposition Canvas (VPC)*

Para la validación de las hipótesis referidas a los bloques de cliente y propuesta de valor se ha seguido la metodología Value Proposition Canvas (VPC, Figura 4). Esta metodología permite sintetizar las necesidades de los clientes y comprobar de forma segmentada cómo la propuesta de valor que acompaña a la tecnología HESS es capaz de resolver los problemas e incertidumbres que se les presentan a los clientes a la hora de desarrollar las actividades donde la tecnología HESS tendría cabida.

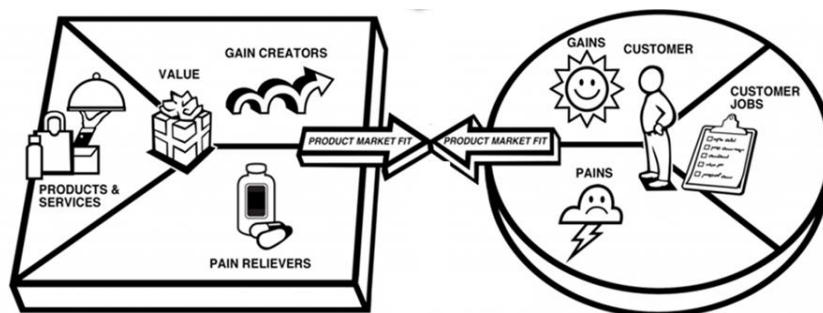


Figura 4. Value Proposition Canvas

Las hipótesis del cliente se representan en el lado circular del diagrama mientras que las de valor se representan en el lado cuadrado. Se describen brevemente ambos lados del diagrama:

Hipótesis Cliente: En este bloque se representan de forma esquemática las necesidades del cliente objetivo. Estas necesidades se representan desglosadas para poder evaluar posteriormente su conexión la propuesta de valor del sistema HESS. Se identifican tres subgrupos diferenciados:

- **Trabajos que desea realizar el cliente (*customer jobs*):** Será necesario identificar qué problemas resuelven los clientes en el ámbito que aplica la tecnología HESS. Se pretende comprender, tanto las tareas que el cliente pretende completar con la tecnología, como las necesidades que intentan satisfacer. También es necesario entender el papel que quiere adoptar el cliente en su relación con el modelo de negocio de EDA.
- **Frustraciones del cliente (*pains*):** En este bloque se representan las molestias o problemas que tiene o puede llegar a tener el cliente antes, durante o después de desarrollar su trabajo y que pueden suponerle un obstáculo para completar correctamente sus tareas.
- **Alegrías del cliente (*gains*):** Identificar los beneficios o aspectos positivos que el cliente quiere conseguir utilizando el sistema HESS. Estos beneficios pueden ser requeridos por el cliente o puede que se vea beneficiado por alguna ventaja del producto que no esperaba recibir.

Hipótesis Propuesta de valor: Por otro lado están las hipótesis de valor, es decir, aquellos aspectos diferenciales de la solución híbrida que pueden satisfacer los problemas que tiene el cliente. Se describen:

- **Productos y servicios (*products and services*):** Características que el sistema desarrollado debería cubrir para dar respuesta al trabajo que nuestro cliente necesita resolver. Esto no sólo implica el plantear los aspectos puramente funcionales sino tener en cuenta, por ejemplo, el papel que quiere adoptar nuestro cliente y cómo podemos ayudarle.
- **Establecer cómo la tecnología ayuda al cliente (*pain relievers*):** Se debe hacer un análisis de en qué aspectos el sistema HESS ayuda a sus clientes y cómo les puede prestar esa ayuda.
- **Identificar las características que le crean “alegrías” al cliente (*gain creators*):** Se trata de identificar cómo se pretende generar beneficios en el cliente. Estos beneficios pueden ser funcionales, en costes, sociales, etc.

Para llevar a cabo una correcta validación de las hipótesis es necesario validar primero las hipótesis cliente y valor con el VPC demostrando que existe una conexión product-market fit, para después validar las relacionadas con los canales de distribución, la relación con el cliente y el flujo de ingresos.

4. Planteamiento de hipótesis

En este capítulo se identifican y describen las hipótesis que se han planteado para completar cada uno de los bloques de la metodología Business Model Canvas descrita en el Capítulo 3. Para el planteamiento de las hipótesis se han desarrollado cada uno de los bloques identificando a los potenciales clientes dentro de la cadena de valor para sistemas de almacenamiento y describiendo los principales atributos diferenciales de la tecnología híbrida.

4.1. Segmentación del mercado

Si analizamos la cadena de valor de sistemas de almacenamiento energético de manera agregada, podemos diferenciar siete eslabones como se muestra en la figura 5. La mayoría de los esfuerzos de I+D se focalizan en el primer eslabón de la cadena y en el estudio de materiales activos, sin embargo, la innovación en el sector se concentra en los dos últimos eslabones.

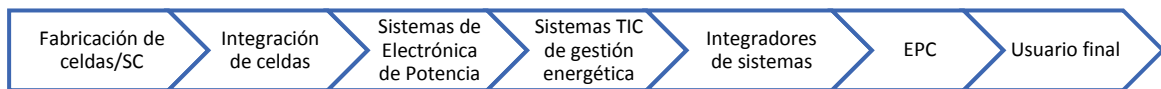


Figura 5. Cadena de Valor

Descripción de los eslabones de la cadena de valor:

- **Fabricación de celdas/SC:** Este eslabón es el correspondiente a las empresas encargadas de la integración de los diferentes materiales activos para la fabricación de las celdas electroquímicas.
- **Integración de celdas de almacenamiento:** La imposibilidad de los grandes fabricantes de celdas/SC de ofrecer sistemas adaptados para cualquier aplicación hace necesaria la existencia de integradores de celdas. Dado que un integrador puede cambiar de tecnología de almacenamiento con relativa facilidad, las ventajas competitivas se derivarán de su capacidad para personalizar sus productos de acuerdo a las necesidades del cliente.
- **Sistemas de electrónica de potencia:** Se trata de fabricantes de electrónica de potencia destinada a permitir la gestión de las tecnologías que forman parte de la solución de almacenamiento. El fabricante puede generar su propia arquitectura de gestión y suministrarla al integrador del sistema de almacenamiento o actuar como fabricante, previa adquisición de licencias para el uso de arquitecturas de terceros.
- **Sistemas TIC de gestión energética:** Este eslabón se corresponde con el desarrollo de sistemas de gestión y control de la red. Es la parte más innovadora de la cadena puesto que utiliza las tecnologías TIC para comunicar todos los

componentes que participan en la red de generación y optimizar su funcionamiento en base a las necesidades de la red.

- **Integradores de sistemas de almacenamiento:** La figura del integrador de sistemas de almacenamiento se encarga de diseñar la solución tecnológica adecuada en base a las necesidades de cada proyecto o cliente; y ensamblar los diferentes componentes de la solución. Los integradores proveen de las soluciones a los EPC que a su vez desarrollan proyectos para utilities u operadores de red.
- **EPC:** Los EPC son empresas de ingeniería que pueden ofrecer soluciones de almacenamiento energético actuando como integradores de soluciones en caso que dispongan de los recursos y conocimientos necesarios o proporcionar una solución “llave en mano” de un integrador a los usuarios finales de la tecnología.
- **Usuario final:** Focalizados en aplicaciones de apoyo a la red eléctrica, se identifican como usuarios finales de la tecnología a utilities y operadores de red (TSO) principalmente. Las utilities se encargan de la generación y distribución de la energía, mientras que las TSO se encargan del transporte.

4.2. Hipótesis de cliente

La empresa EDA diseña e integra sus propios sistemas de electrónica de potencia y de gestión, por lo que se posiciona actualmente en los tres eslabones centrales de la cadena de valor. Las baterías y los supercondensadores se los compra a proveedores internacionales. Como resultado, se han identificado a los EPC como potenciales clientes [*Hipótesis 1*]. Actuarían como prescriptores de la tecnología los usuarios finales tales como utilities, operadoras de red, productores de energía o gestores de microrredes.

A continuación se plantean las hipótesis sobre los problemas del cliente que la solución HESS podría resolver. Estas hipótesis se detallan señalando el tipo de aplicación a la que se dirige, incluyendo los servicios que se deben prestar con la tecnología.

4.2.1. Servicios a la red

Los sistemas de almacenamiento energético pueden ofrecer servicios de apoyo a la operación de la red [*Hipótesis 2*]. Esta operación comprende las actividades necesarias para garantizar la seguridad, calidad y continuidad en el suministro, así como la correcta coordinación entre la producción y el transporte. Este tipo de servicios tradicionalmente han sido prestados por sistemas de generación conectados a la red o bien por cargas gestionables.

Por lo general, los sistemas electroquímicos predominantes en el mercado no ofrecen simultáneamente servicios que requieran una elevada potencia y capacidad de almacenamiento. En caso de que sea necesario desarrollar sistemas de alta potencia, se

opta por el sobredimensionamiento del sistema para no comprometer la vida útil de las baterías, ya que tecnologías establecidas como las baterías plomo-ácido o la mayor parte de las químicas Li-ion no están pensadas para descargas rápidas. El sobredimensionamiento supone un incremento considerable de los costes en inversión (CAPEX).

Se plantean como principales servicios que puede ofrecer el sistema HESS a la red:

- **Regulación de frecuencia:** Para garantizar el correcto funcionamiento de la red eléctrica se deben mantener unos niveles de frecuencia determinados (50 Hz o 60 Hz) con unas tolerancias que regula el operador de red. Los servicios de regulación de frecuencia requieren sistemas de elevada potencia capaces de efectuar frecuentes ciclos de carga-descarga y tiempos de respuesta que pueden oscilar normalmente entre 2 y 30 segundos dependiendo de las especificaciones del operador de la red. La duración de los eventos suele ser muy breve aunque algunos códigos europeos requieren sistemas capaces de mantener su respuesta hasta 30 minutos.
- **Regulación de tensión:** Los sistemas de electrónica de potencia empleados para la conexión del almacenamiento con la red permiten gestionar la potencia activa y reactiva, de forma que, junto a la inyección de energía a la red, se puede realizar una regulación de tensión de forma local mediante el control de la potencia reactiva.
- **Balancede carga:** Almacenamiento de excedentes de producción energética renovable para alimentar cargas en horas nocturnas o picos de demanda. El sistema de almacenamiento requiere disponer de alta capacidad de almacenamiento que permitan duraciones de descarga prolongadas.
- **Black-start:** El sistema de almacenamiento permite asegurar el respaldo de una instalación de generación durante la recuperación de una caída crítica de generadores tradicionales. La velocidad de reacción ante un evento de caída de la red y el tiempo que se puede mantener ese apoyo son críticos en este servicio.
- **Reservas operativas:** Las reservas operativas permiten hacer frente a la caída imprevista de un sistema de generación conectado a la red. El sistema de almacenamiento debe ser capaz de proporcionar carga a la red durante periodos de tiempo comprendidos entre 30 minutos y varias horas dependiendo de los requisitos del operador de red.

La prestación de este tipo de servicios requiere la existencia de un mercado que permita la monetización de estos servicios o bien que el operador de red exija que los generadores deban prestarlos, con lo que existe un coste de oportunidad. De ahí, que deba poder establecerse un caso de negocio que justifique la inversión. Resulta especialmente interesante prestar múltiples servicios a la vez de manera que se obtengan varios flujos de ingresos y mejore el caso de negocio.

Según la base de datos del Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos existen actualmente 229 sistemas de almacenamiento dedicados a proporcionar regulación de frecuencia, 68 instalaciones con funciones de balanceo de cargas y 52 instalaciones para prestar servicios de *Black-start*.

4.2.2. Integración de fuentes de energía renovables

La generación eléctrica renovable ha crecido de forma sustancial en los últimos años. La naturaleza intermitente de este tipo de fuentes plantea un gran reto al operador de red, que debe garantizar un suministro eléctrico constante y de calidad. Las variaciones bruscas de generación eléctrica pueden desestabilizar la red por lo que deben ser corregidas normalmente con sistemas de generación de respaldo como centrales de ciclo combinado, turbinas de gas y generadores de gasóleo. En caso de existir un exceso de generación renovable que no puede ser absorbido por la red es habitual la desconexión del sistema renovable con la pérdida correspondiente de la energía generada.

Los sistemas de almacenamiento pueden prestar servicios de ayuda a la integración [Hipótesis 3] cargándose en momentos de exceso de generación y descargándose para cubrir déficits. Los servicios que puede prestar el sistema HESS son:

- **Arbitraje/balanceo de carga:** Acumulación de energía en momentos de excesos de generación y bajo precio de la energía para venderla más tarde cuando un incremento de la demanda energética haga aumentar los precios. Con esto se pretende aprovechar las oscilaciones de precio en el tiempo de la electricidad.
- **Power Smoothing:** El sistema HESS permitiría suavizar y controlar la energía que se transfiere a la red eléctrica mitigando las vibraciones de su curva de comportamiento provocadas por su naturaleza intermitente.
- **Power Ramp Control:** Ante situaciones en las que por condiciones meteorológicas adversas las fuentes sufriesen fuertes caídas de producción de energía durante un periodo de tiempo, el sistema HESS debe actuar como respaldo suministrando esa energía. Esta situación puede ocurrir por ejemplo en una planta fotovoltaica cuando ésta no recibe energía solar por el paso de una nube. En algunos casos la instalación de sistemas de almacenamiento es un requisito exigido por el operador de red para prevenir que variaciones bruscas de generación afecten a la estabilidad de la red.

El apoyo a la integración de renovables basado en sistemas de almacenamiento energético es uno de los más extendidos. De nuevo consultando la base de datos del DOE comprobamos que hay registrados 99 proyectos con un total de 235MW dedicados a prestar servicios de balanceo de carga y otros 173 proyectos con un total de 351MW dedicados a proveer servicios auxiliares para el apoyo a la integración de renovables en la red.

4.2.3. Microrredes y redes aisladas

Una microrred es un sistema distribuido de generación eléctrica bidireccional cuyos generadores son normalmente fuentes renovables y que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores favoreciendo el ahorro de energía, la reducción de costes y el incremento de fiabilidad de la red.

Las redes aisladas son redes eléctricas situadas en zonas geográficas (islas, zonas rurales, etc.) donde no existe acceso a la red de distribución eléctrica principal o bien es poco fiable. En estos casos son necesarios sistemas de generación de respaldo (generadores diésel normalmente) para mantener la integridad de la red y garantizar la calidad en el suministro.

Los sistemas de almacenamiento en microrredes [*Hipótesis 4*] permiten reducir los costes de operación de la red, mejorar la fiabilidad y calidad del servicio realizando las siguientes funciones:

- **Sustitución total o parcial de generadores diésel:** El sistema HESS debe ser capaz de prestar servicios de regulación de frecuencia, control de voltaje o aportes de potencia puntuales en fase de arranque de los generadores diésel, de manera que permita mantenerlos apagados en lugar de funcionando sin carga (elevada potencia). También deberá aplicarse como balanceo de carga, por lo que deberá tener una alta capacidad de almacenamiento que permita reducir el uso de generadores diésel pudiendo llegar a eliminarse.
- **Integración de fuentes de generación renovable:** Se debe aplicar el caso de integración de fuentes renovables a microrredes y especialmente redes aisladas como por ejemplo antenas de telecomunicaciones instaladas en zonas remotas.
- **Peak Shaving:** Proporcionar potencia suplementaria cuando el sistema se encuentra ante picos de demanda puntuales buscando una reducción en los costes por potencia contratada. Para ofrecer este tipo de servicios se demanda una alta potencia que pueda ser mantenida durante un tiempo entre 1 y 4 horas.

Como referencia de este tipo de instalaciones, Endesa ha llevado a cabo un importante proyecto de almacenamiento energético en las Islas Canarias (proyecto STORE) para demostrar la aplicabilidad de la tecnología en entornos insulares. Se ha instalado una planta basada en baterías Li-ion de 1MW/3MWh³ para el aporte de potencia activa y regulación de la tensión. Además, el proyecto se complementa con una instalación de supercondensadores de 4MW/20MWs para servicios de regulación de frecuencia.

La base de datos del DOE registra 35 proyectos de sistema de almacenamiento electroquímico destinado a dar soporte a microrredes con un total de 20MW instalados.

³ Fuente: Energy news. www.energynews.es

4.2.4. VPC: Hipótesis de cliente.

Una vez analizadas las hipótesis del cliente y siguiendo la metodología del Value Proposition Canvas descrita en el Capítulo 3.2, se ha procedido a implementar dichas hipótesis en el diagrama, tal y como se muestra en la siguiente figura:

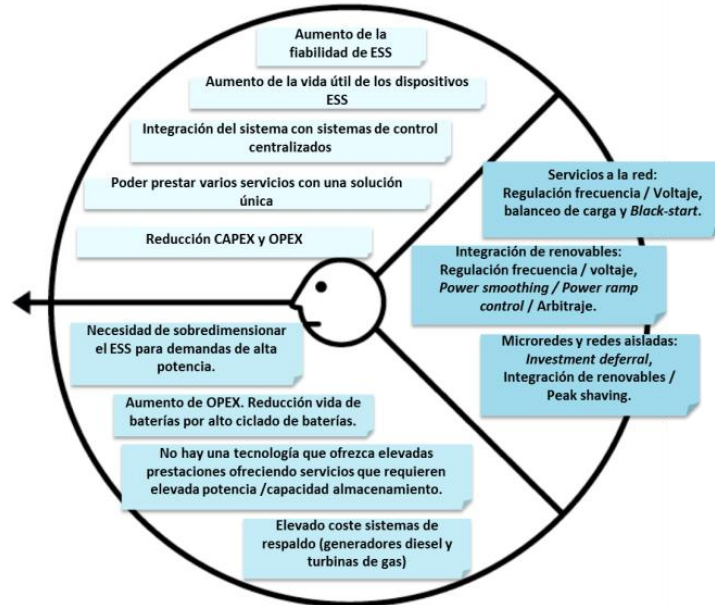


Figura 6. Hipótesis de Cliente

4.3. Hipótesis de propuesta de valor

La propuesta de valor la constituyen los atributos diferenciales que presenta la tecnología HESS en comparación con otros sistemas de almacenamiento energético. Una vez estudiada la tecnología se identifican los siguientes atributos diferenciales:

- **Alta potencia:** El uso de supercondensadores en el sistema le proporciona alta potencia durante periodos breves de tiempo. Este atributo cobra especial importancia debido a que gran parte de los eventos en regulación de frecuencia se caracterizan por su corta duración (normalmente unos pocos minutos) e involucran grandes cantidades de energía obligando al sistema a descargarse rápidamente. Esta situación supondría un riesgo de degradación prematura para los sistemas electroquímicos.
- **Alta capacidad de almacenamiento:** Pese a estar especialmente optimizado para el uso de baterías Li-ion, el sistema HESS permite integrar diferentes tipos de sistemas electroquímicos en función de las capacidades de almacenamiento necesarias (tiempos de descarga desde decenas de minutos a varias horas de duración). Esta flexibilidad permite dimensionar el sistema para configurar soluciones válidas para arbitraje o balanceo de cargas.

- **Respuesta rápida:** Volviendo a los supercondensadores, la implementación de éstos permite además una velocidad de respuesta inferior a 20 ms. Los mercados de servicios auxiliares en USA empiezan a considerar tan importante el coste ofertado como la rapidez y precisión de respuesta. Los sistemas de generación pueden ofrecer precios muy competitivos pero son lentos (del orden de minutos en algunos casos) e imprecisos en la respuesta, con lo que suele ser necesario solicitar potencias mayores de lo necesario. Las baterías son capaces de ofrecer una solución más eficiente por su respuesta rápida y precisa, lo que les permite competir con ventaja en subastas de servicios.
- **Robustez:** Los supercondensadores permiten vidas útiles muy superiores a las de las baterías Li-ion, superando habitualmente los 80.000 ciclos de carga/descarga. El sistema HESS hace posible derivar hacia los supercondensadores operaciones de carga-descarga frecuente que no involucren elevadas energías pero sí elevada potencia minimizando el ciclado de la batería. Además de presentar una tolerancia mayor a las descargas profundas, los supercondensadores permiten un margen de temperaturas de operación más amplio reduciendo la exposición de la batería a condiciones térmicas de operación que pudiesen acelerar su deterioro.
- **Coste:** Los costes de los supercondensadores son bastante más altos que los de las baterías, a pesar de ello, gracias a la gestión del EMS, el sistema está optimizado de forma que tiene unos precios por kW menores que los de otros sistemas que utilizan únicamente baterías Li-ion. El coste de CAPEX (costes de capital) [Hipótesis 5] se ve reducido entre un 10-30% mientras que los costes de OPEX (costes de operaciones) [Hipótesis 6] pueden reducirse hasta un 30% dependiendo de la aplicación, según un estudio estimado de la propia empresa.
- **Simultaneidad de operación:** La posibilidad del sistema híbrido de prestar varios de los servicios expuestos simultáneamente [Hipótesis 7] permite al usuario final tanto mejorar sus ingresos, como reducir la inversión necesaria.
- **Modularidad:** La arquitectura modular del sistema permite escalar las capacidades de manera sencilla. Esto, combinado con las tecnologías de control y comunicación, permite la gestión de múltiples sistemas de almacenamiento distribuido y su adecuación a los requisitos de potencia/capacidad que demande la aplicación.

4.3.1. VPC: Hipótesis propuesta de valor

Una vez analizadas las hipótesis de propuesta de valor y siguiendo la metodología del Value Proposition Canvas descrita en el Capítulo 3.2, se ha procedido a implementar dichas hipótesis en el diagrama, tal y como se muestra en la siguiente figura:

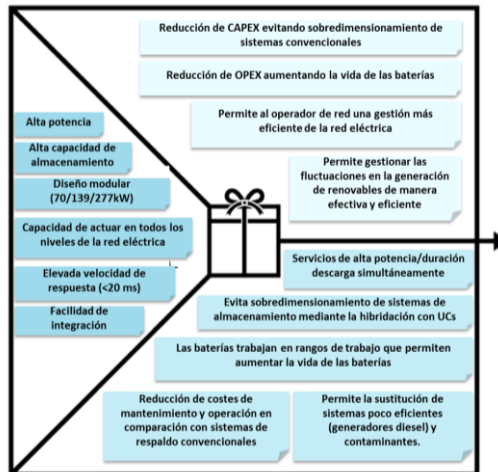


Figura 7. Hipótesis propuesta de valor

4.4. Conexión Cliente – Propuesta de valor.

Para que exista oportunidad de mercado es necesario que exista una relación entre las hipótesis cliente y propuesta de valor del VPC, tal y como se ha comentado en el capítulo anterior, de forma que la tecnología desarrollada aporte una solución a los problemas y necesidades que tienen los usuarios del sector al que se va a dirigir la tecnología. Se muestra así la correspondencia entre hipótesis:

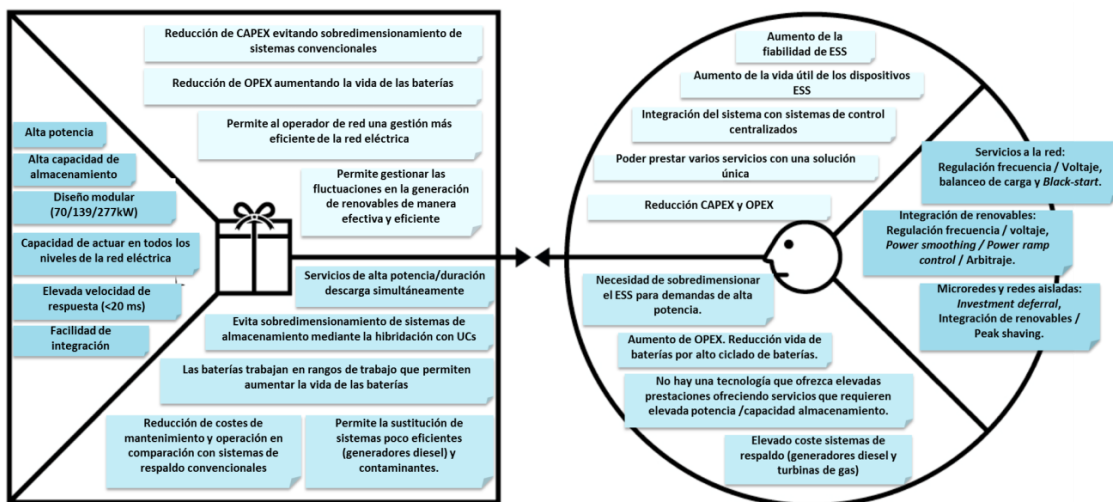


Figura 8. VPC: Conexión Cliente - Propuesta de Valor

4.5. Hipótesis Relación con los clientes

Habiendo identificado quiénes son los clientes y cuál es la propuesta de valor que ofrece la tecnología HESS a estos clientes, se establecen las hipótesis que hacen referencia al

tipo de relación que la empresa pretende mantener con el cliente. Es necesario definir de forma efectiva no solo el cómo captar nuevos clientes sino las medidas para fidelizar estos clientes.

A causa de las grandes inversiones en capital necesarias y al marco regulatorio, el sector eléctrico no es un sector muy propenso al cambio. De hecho es uno de los sectores que menos se ha modernizado en los últimos años. El marco regulatorio existente en algunos países obliga a los sistemas que intervienen en la red a garantizar unos niveles mínimos de fiabilidad y seguridad del producto relativamente altos pudiendo implicar penalizaciones en caso de que no se alcancen. Esta situación impide la aplicabilidad de ciertos productos que no estén comercialmente establecidos provocando así un desconocimiento sobre sus posibles beneficios.

Las tecnologías de almacenamiento energético no son tecnologías consolidadas, por este motivo, se deben diseñar aplicaciones específicas para cada proyecto. Esta situación obliga a ofrecer servicios de venta consultiva [*Hipótesis 8*] que permitan disminuir o eliminar las inseguridades del cliente respecto de la solución. Por ello, se debe participar de forma integral en cada proyecto donde se incluya una potencial aplicación de almacenamiento para aportar conocimientos acerca de la idoneidad de la solución en cada aplicación.

4.6. Hipótesis Canales de distribución

En referencia a los canales de distribución de la tecnología HESS, se proponen y describen las siguientes vías para hacer llegar el producto a los clientes dependiendo de su tipología:

- **Suministro de tecnología a EPC:** Distribución de productos “llave en mano” adaptados a las necesidades del cliente a través de un proceso de venta consultiva.
- **Joint Ventures & Partnerships:** Se propone establecer una serie de alianzas estratégicas con socios tecnológicos que aporten experiencia y reconocimiento en algunos de los mercados objetivo. A través de estos canales se pretende distribuir la tecnología HESS mediante proyectos “llave en mano” o mediante el suministro de componentes para soluciones de terceros.
- **Licenciamiento a fabricantes de electrónica de potencia:** La mayoría de estas empresas tienen sus propios canales de distribución. Se plantea, por lo tanto, la venta de licencias de software de gestión a estas empresas para que lo integren en sus productos siguiendo un modelo de royalties similar al utilizado por ARM.
- **Diseño, construcción y puesta en operación de un laboratorio de ensayos de potencia.** Ofrece la posibilidad de estar en contactos con fabricantes y desarrolladores que requieran probar sus productos, siendo asimismo un canal de comunicación con potenciales clientes y socios. De igual modo, la capacidad de

someter a los sistemas HESS a perfiles de uso reales proporcionados por el usuario final puede contribuir a reducir la desconfianza existente sobre la fiabilidad y el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento energético.

- **Posicionamiento de la solución híbrida en el software “HOMER”.** Incluir la solución HESS como una de las alternativas de dimensionamiento en proyectos de ingeniería dentro del programa. Puede significar un canal de marketing para dar a conocer las características de la tecnología. HOMER cuenta con más de 675.000 licencias, donde un 85% pertenece a clientes potenciales, EPC.
- **Publicaciones internacionales de referencia:** Publicaciones sobre la tecnología en sitios referentes como Navigant, Gartner o Bloomberg.
- **Asistencia a ferias y eventos:** Permiten establecer contactos con clientes de los diferentes segmentos identificados anteriormente.

4.7. Hipótesis Flujos de ingresos

Se plantea como modelo de ingresos para los próximos años: diseñar, certificar, validar y fabricar equipos propios de potencia en una gama de potencias de 50 kW hasta los 250 kW (la arquitectura modular de sus diseños, permite escalar estas unidades hasta los 5-10 MW totales), tanto en DC/AC, como en DC/DC.

Por otra parte se plantea la venta de licencias de la electrónica de potencia así como del software de gestión y control. De esta manera se eliminan los riesgos financieros derivados de la necesidad de entregar garantías financieras a la hora de acceder a licitaciones.

Otra potencial fuente de ingresos puede provenir de la asesoría en proyectos de almacenamiento combinado con servicios de certificación de equipos en la bancada de test de electrónica de potencia.

5. Recopilación de feedback

En este capítulo se explica la metodología seguida en la fase de recopilación de feedback/información necesaria para la validación de las hipótesis planteadas en el Capítulo 4. El análisis de resultados y la validación de hipótesis a partir de esta información se describen en el siguiente capítulo.

5.1. Metodología

Una vez planteadas las hipótesis de modelo de negocio en el capítulo anterior, la siguiente fase del proyecto ha consistido en la recopilación de información necesaria para dar contraste y validez a las hipótesis propuestas. Para ello, se han llevado a cabo entrevistas con actores relevantes del sector eléctrico, tanto a nivel nacional, como internacional. Se entienden como actores relevantes empresas EPC, utilities, centros de investigación y empresas de ingeniería cuyo campo de aplicación se centre en las tecnologías del sector eléctrico.

Las entrevistas con estas empresas se han llevado a cabo mediante reuniones presenciales (normalmente), llamadas telefónicas o bien a través de videoconferencia. En estas entrevistas han participado miembros de empresas (ingenieros, project managers, directores...) directamente relacionados con proyectos que hayan involucrado o estén involucrando integración de almacenamiento energético.

Como paso previo a las entrevistas, se ha elaborado un cuestionario, cuya estructura se detalla más adelante, con el que se ha pretendido dar soporte a las hipótesis. El formato de las entrevistas ha sido, por lo tanto, semiestructurado. Se han presentado las características de los sistemas HESS para recabar la opinión del entrevistado, se han planteado las hipótesis a través del cuestionario y se han formulado cuestiones adicionales en función de los comentarios hechos por el entrevistado.

En total se ha contactado con doce empresas: cuatro EPC (EPC-1, EPC-2, EPC-3 y EPC-4), tres utilities (UTILITY-1, UTILITY-2 y UTILITY-3) de las cuales dos ejercen a su vez de EPC, tres operadores de red (TSO-1, TSO-2 y TSO-3), una empresa de ingeniería (ENG) enfocada en la industria y la energía y un centro de I+D del sector energético (INST).

Se han elaborado dos tablas identificando las principales aplicaciones y barreras de la tecnología HESS que se han ido mencionando en cada una de las entrevistas. Estas dos tablas están disponibles en el Anexo A del presente documento.

5.1.1. Estructura del cuestionario

A continuación se detallan los tres bloques en los que se ha dividido el cuestionario:

Bloque 1: Caracterización de proyectos.

Se ha preguntado acerca de la involucración del participante en proyectos que incluyan sistemas de almacenamiento energético.

En caso de disponer de referencias, ¿en qué tipo de aplicaciones?

- Apoyo a la red.
- Apoyo a la integración de renovables.
- Microrredes o redes aisladas.
- Arbitraje
- Otros, ¿cuáles?

En caso de tener experiencia en servicios al operador de red mediante almacenamiento energético, ¿qué servicios se han considerado?

- Regulación de frecuencia.
- Regulación de tensión.
- Balanceo de cargas.
- Sustitución de sistemas de respaldo convencionales.
- Servicios de *Black-start*.
- Servicios de *Peak shaving*.
- Otros, ¿cuáles?

Bloque 2: Identificación de la principales barreras de los ESS.

Se ha pedido opinión acerca de las principales barreras para el desarrollo comercial de aplicaciones de almacenamiento energético.

- Desconocimiento por parte del cliente final.
- Dificultad para ofrecer varios servicios a la red con una misma solución.
- Coste de las soluciones de almacenamiento energético.
- Garantías de los fabricantes y proveedores de ESS.
- Vida útil de los sistemas.
- Capacidad operativa.
- Falta de un marco regulatorio.
- Falta de modelos de negocio que permitan monetizar los sistemas de almacenamiento.
- Otros, ¿cuáles?

Bloque 3: Modo de adquisición y explotación.

En caso de desarrollar un proyecto en el que se incluya almacenamiento energético, ¿cómo lo implementaría?

- Adquisición de un sistema llave en mano.
- Integración de los componentes “in house”.
- Concesión a un tercero para su operación.
- Otros

6. Análisis de resultados. Validación de hipótesis

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos tras la recopilación de feedback descrita en el Capítulo 5. A partir de estos análisis, se procede a la validación de las hipótesis planteadas en el Capítulo 4. Las tablas resumen con los datos recibidos durante las entrevistas y a partir de las cuales se analizan los resultados están disponibles en el Anexo A del presente documento.

6.1. Análisis de resultados: Viabilidad del HESS para distintas aplicaciones

Se ha elaborado una gráfica para cada servicio donde la solución híbrida podría aportar valor añadido, indicando en cada caso el número de veces que se han identificado cada una de las aplicaciones según las necesidades expuestas por los entrevistados. Posteriormente, se han analizado los datos estadísticos de dichas gráficas junto con la información adicional aportada durante las entrevistas.

6.1.1. Servicios a la red

La figura 9 representa los resultados obtenidos en relación con las aplicaciones del almacenamiento energético como servicio conectado a la red:

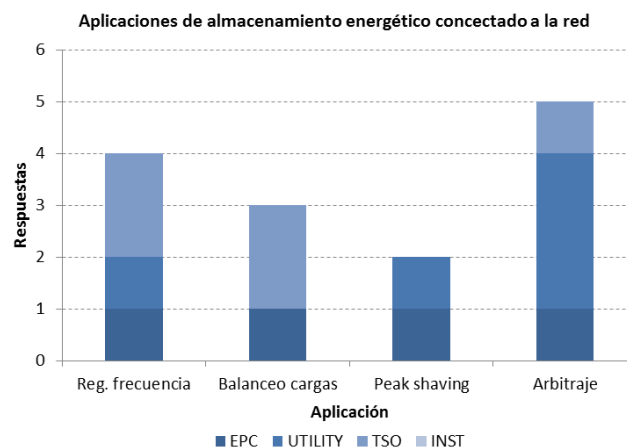


Figura 9. Análisis de resultados. Aplicación: Servicio a la red

Las principales conclusiones extraídas del análisis de estos resultados son las siguientes:

- ✓ Los servicios de regulación de frecuencia son la opción preferida por los operadores de red, donde 2 de cada 3 participantes los identifica como principal necesidad. En el caso de TSO-3 no se han reportado aplicaciones de servicio a la red dado que su filial de almacenamiento de momento solo está realizando pruebas en redes débiles y microrredes.
- ✓ Respecto al balanceo de cargas, sólo EPC-4 ha reportado haber trabajado en esta aplicación por indicación expresa del TSO de Puerto Rico, país con dificultades de operación en la red debido a su gran penetración de fuentes de energía renovables. TSO-1 y TSO-2, ambas europeas, también ven el balanceo de cargas como una aplicación viable. Sin embargo, el marco legal actual no les permitiría llevarla a cabo. En esta situación se consideraría que están realizando arbitraje al intervenir en el mercado de la energía.
- ✓ El peak shaving es la aplicación que menos respuestas ha recibido. Solo EPC-4 y UTILITY-3 han identificado el peak shaving como necesidad de aplicación. EPC-4 confirma así su viabilidad en sistemas insulares. Por otro lado, UTILITY-3 considera esta aplicación como medio necesario de optimización de su mix de generación.
- ✓ El arbitraje es la opción más reportada por parte de los entrevistados en general. EPC-4 ha realizado proyectos de almacenamiento en redes insulares donde esta funcionalidad es complementaria al balanceo de cargas y al peak shaving. Las tres utilities entrevistadas también han identificado el arbitraje como potencial aplicación, aunque el consenso es que el arbitraje por sí mismo no justifica una inversión en almacenamiento electroquímico. Por su parte, TSO-1 ha asegurado que el arbitraje es una de las aplicaciones evaluadas dentro de los pilotos de la tecnología que está llevando a cabo. Sin embargo, el marco regulatorio español (al igual que el europeo) prohíbe a los operadores de red operar en el mercado de la energía.

6.1.2. Integración de fuentes renovables

La figura 10 representa los resultados obtenidos en relación con las aplicaciones para la integración de fuentes generadoras de energía renovables:

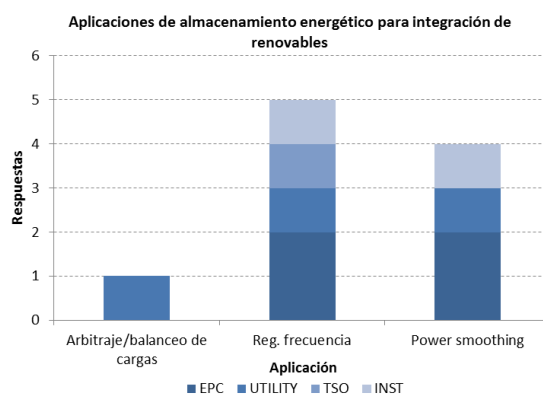


Figura 10. Análisis de resultados. Aplicación: Integración de renovables

Las principales conclusiones extraídas del análisis de estos resultados son las siguientes:

- ✓ El arbitraje/balanceo de cargas sólo ha sido identificado como aplicación por parte de UTILITY-2 en su doble condición de utility y EPC. La razón principal es su operatividad en el mercado irlandés, mercado que se caracteriza por una creciente penetración eólica que le permite almacenar excedentes a bajo precio para venderlos a precios más elevados. A pesar de ello, esta utility expone que el almacenamiento electroquímico es una opción poco viable por su limitada vida útil, alto coste, dificultad de la gestión e imposibilidad de almacenar grandes excedentes de energía.
- ✓ La instalación de sistemas de almacenamiento energético como medio de apoyo a la regulación de frecuencia puede ser un requisito del operador de red para conectar instalaciones de generación. De esta manera se contribuye a la estabilización del funcionamiento de la red. Esta modalidad ya ha sido llevada a cabo por ENG y EPC-4 en proyectos para redes insulares.
- ✓ El power smoothing como forma de compensación de variaciones bruscas de generación renovable que fijan operadores de red y que pueden ser causadas, por ejemplo, por el paso de una nube en instalaciones fotovoltaicas o por rachas de viento en parques eólicos ya han sido solicitado en proyectos en los que han participado varias de las empresas entrevistadas. INST considera viable el almacenamiento electroquímico para estos casos mientras que UTILITY-2 propone el almacenamiento hidráulico como solución.

6.1.3. Microrredes y redes aisladas

La figura 11 representa los resultados obtenidos en relación con las aplicaciones en microrredes y redes aisladas:

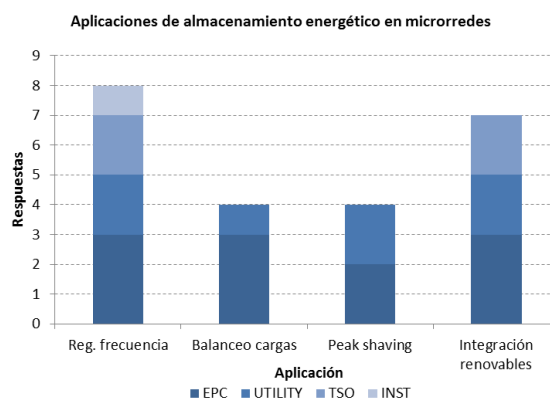


Figura 11. Análisis de resultados. Aplicación: Microrredes y redes aisladas

Las principales conclusiones extraídas del análisis de estos resultados son las siguientes:

- ✓ Las aplicaciones en microrredes y redes aisladas son las más susceptibles de incorporar almacenamiento. Más de un 60% de las empresas consultadas han

considerado que el almacenamiento energético tiene al menos una aplicación para este tipo de redes. Cabe destacar que, incluso operadores de red que no intervienen en la gestión de microrredes consideran que es una aplicación viable.

- ✓ La tipología de microrredes reportada ha sido diversa: antenas de telecomunicaciones, instalaciones mineras, islas... Entre ellas, las más citadas han sido las instalaciones mineras, donde se busca mejorar la calidad del suministro mediante un ajuste de la frecuencia y el voltaje, además de ofrecer un servicio de back-up y una reducción del uso de generadores diésel. Para este último caso ha sido planteada la posibilidad de usar el generador diésel a carga constante almacenando excesos de generación en el sistema electroquímico para luego apagarlo y así maximizar la potencia instalada o para aportar potencia en picos de demanda minimizando el uso del generador.

6.1.4. Otros servicios

Debido al carácter semiestructurado de las entrevistas, ha sido posible identificar dos aplicaciones que no habían sido identificadas anteriormente: las centrales térmicas de carbón y el sector ferroviario. Dos de los EPC consultados, EPC-2 y EPC-3, tienen una presencia muy importante en el sector ferroviario y han considerado de gran relevancia la introducción de sistemas de almacenamiento energético en el sector, tanto para la regeneración de energía en el frenado, como para almacenamiento de energía en subestaciones. Por otro lado, EPC-1 e INST han mencionado la necesidad de estabilización de potencia en centrales térmicas de carbón (balanceo de cargas y regulación de frecuencias).

6.2. Análisis de resultados: Barreras.

Siguiendo el mismo método utilizado para el análisis de las aplicaciones, se han analizado las principales barreras existentes para la incorporación de los sistemas de almacenamiento energético al mercado.

La figura 12 representa estas barreras en base a la información obtenida a través de las fuentes consultadas:

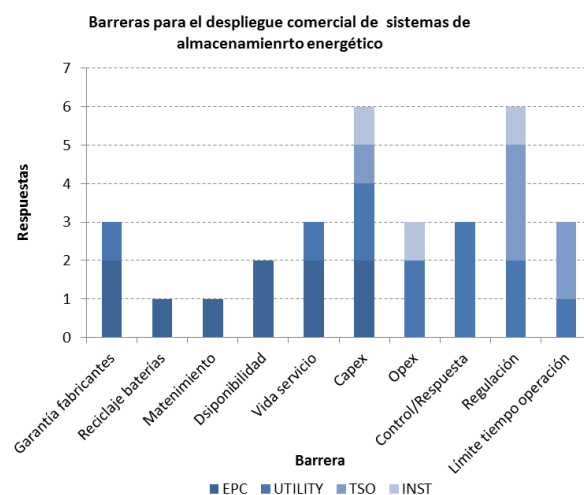


Figura 12. Análisis de resultados. Barreras

Las principales conclusiones extraídas del análisis de estos resultados son las siguientes:

- ✓ Las dos principales barreras a la introducción de los sistemas de almacenamiento energético electroquímico son el marco regulatorio y los costes de inversión inicial (CAPEX).
- ✓ Respecto al marco regulatorio, el 46% de los entrevistados consideraron que la ausencia de un marco regulatorio suponía un obstáculo para el despliegue comercial de la tecnología. Todos los operadores de red consideran inviable el uso del almacenamiento energético dado que se considera una intervención en el mercado de la energía. Incluso, de las tres utilities entrevistadas, dos consideran que el marco regulatorio no les favorece. La limitada apertura de mercados de servicios al operador de red en Europa condiciona los ingresos que puede obtener una utility, y el arbitraje no resulta interesante dada la relativa baja variabilidad de precios a lo largo del día. Los entrevistados han resaltado el mercado de Estados Unidos como el más favorable para su uso en servicios de red.
- ✓ Las inversiones necesarias para la adquisición e instalación de sistemas electroquímicos se presentan como una barrera destacable para su despliegue comercial. El CAPEX (46% de las respuestas), el OPEX (23%) y la vida útil (23%) condicionan la viabilidad económica de los distintos casos de uso de sistemas electroquímicos.
- ✓ UTILITY-3 a pesar de considerar la vida útil como una barrera, señaló que para mitigar la percepción de riesgo, algunos fabricantes ofrecían el pago de cuotas anuales para el mantenimiento de las baterías.
- ✓ Aspectos como la garantía de los fabricantes fue considerado una barrera por, de nuevo, el 23% de los entrevistados. Debe resaltarse que dos de ellos eran EPC y afirmaban que la obligación de proporcionar garantías al usuario final en sistemas cuyo funcionamiento a largo plazo desconocían les generaba dudas a la hora de ofrecer este tipo de tecnologías.

- ✓ La dificultad de operación ha sido resaltada como barrera por las tres utilities entrevistadas en condición de usuarios finales. Tanto UTILITY-1, como UTILITY-3 están operando programas piloto para explorar estrategias y casos de uso reales.
- ✓ La limitación en la duración del servicio ha sido identificada como una barrera por tres entrevistados. A diferencia de sistemas de generación como los generadores diésel, un sistema electroquímico tiene una capacidad limitada (kWh), por lo que para grandes tiempos de descarga muy prolongados resultan desfavorables los sistemas de almacenamiento frente a sistemas de respaldo diésel o bombeo hidráulico.

6.3. Validación de hipótesis

Tras haber sido analizados los resultados de las entrevistas, se procede a validar las hipótesis planteadas sobre el modelo de negocio. Para ello, se han contrastado cada una de las hipótesis con los resultados y el feedback obtenido, y se ha comprobado si dichas hipótesis han quedado o no validadas.

A continuación se presentan las hipótesis con su resultado final (Validada / No Validada) y el razonamiento del correspondiente resultado:

Hipótesis 1: Se identifican como potenciales clientes: EPC. *Resultado:* VALIDADA

A pesar de que las barreras regulatorias de Europa parece que van a retrasar la penetración de sistemas de almacenamiento en el mercado, los EPC que han participado en el estudio de viabilidad se han posicionado como potenciales clientes de la tecnología HESS. Se considera Estados Unidos un mercado mucho más atractivo ya que su mercado regulatorio favorece la incorporación de tecnologías de almacenamiento. Por ello, los EPC con presencia internacional y con posibilidad de participación en estos mercados se presentan como los principales clientes a corto plazo.

Hipótesis 2: Se identifica como potencial aplicación de los sistemas de almacenamiento energético la provisión de servicios a la red. *Resultado:* VALIDADA

De los usuarios finales contactados, cuatro consideran el almacenamiento de energía una alternativa viable para prestar servicios de red. En redes interconectadas, como la del centro de Europa, los sistemas de almacenamiento pueden participar en mercados de reserva o auxiliares ofreciendo servicios de regulación de frecuencia o balanceo de cargas. También es posible hacer arbitraje en los mercados en los que los precios de la energía varíen a lo largo del día de forma que sea viable un modelo de negocio (en Alemania, por ejemplo, como ha asegurado UTILITY-1 donde ha desarrollado un proyecto de

demostración con baterías Li-ion. 27kW con duración del servicio de 2h20min). Se considera que Alemania puede ser un mercado muy atractivo en el futuro para sistemas de almacenamiento, pero el marco regulatorio existente en la actualidad y el CAPEX no hacen viables la mayor parte de los casos de uso (regulación de frecuencia es el que se encuentra más cerca del punto de equilibrio).

A las dos barreras ya mencionadas hay que añadirles las dudas sobre la vida útil del sistema que pondrían en peligro los flujos de ingresos a largo plazo. En cuanto a la regulación, afirman las fuentes consultadas que es necesario definir y estandarizar la conveniencia del uso del almacenamiento energético para abrir mercados en los que puedan participar y desarrollar casos de negocio.

Hipótesis 3: Se identifica como potencial aplicación de sistemas de almacenamiento la integración de fuentes renovables de energía en la red. *Resultado:* VALIDADA

El 38,5% de los entrevistados expresan la idoneidad de los sistemas de almacenamiento para prestar apoyo a la integración de fuentes renovables de energía a la red. La naturaleza estocástica de este tipo de fuentes de energía dificultan la transmisión de la energía al sistema en condiciones óptimas. Este factor, combinado con la voluntad de aprovechar la mayor cantidad de energía generada, permite que el almacenamiento energético pueda complementarse con sistemas de generación renovable.

Los servicios principales que podrían prestarse serían la regulación de frecuencia/voltaje, el power ramp control y power smoothing. Varias de las fuentes consultadas, entre ellas ENG y EPC-4, confirman haber participado en proyectos para el diseño e instalación de plantas de generación fotovoltaica y eólica donde se han utilizado soluciones de almacenamiento energético para ofrecer una mejor calidad de salida de energía a la red en cumplimiento de los requerimientos del operador de red.

Hipótesis 4: Se identifica como potencial aplicación los sistemas de almacenamiento energético en microrredes y redes aisladas. *Resultado:* VALIDADA

El 69.2% de las respuestas obtenidas refieren al menos una aplicación de almacenamiento energético en microrredes o redes aisladas como la más relevante de las aplicaciones propuestas en este estudio. Este hecho se debe fundamentalmente a que los sistemas aislados suelen tener problemas para garantizar un suministro eléctrico constante y de calidad. La introducción de fuentes de generación renovable y el alto coste de tecnologías competidoras como los generadores diésel, sitúan a las soluciones de almacenamiento energético como activos atractivos en este tipo de aplicaciones.

Los TSO consultados afirman que las condiciones que se dan en sistemas eléctricos aislados son los escenarios óptimos para la introducción de almacenamiento energético. TSO-1 considera Canarias como punto clave de partida para la introducción de este tipo de tecnologías en España. Por otra parte, una de las empresas ha iniciado un proyecto para probar diferentes tecnologías de almacenamiento en las islas de Sicilia y Cerdeña.

En el apartado de microrredes se incluyen aplicaciones relacionadas con la minería. Se ha podido contrastar con empresas como EPC-2 la idoneidad de este tipo de sistemas para dar una solución a los problemas que se suelen dar en estos escenarios.

Hipótesis 5: Se identifica como barrera a la implantación comercial de los sistemas de almacenamiento el alto coste de inversión inicial (CAPEX). *Resultado:* VALIDADA

El 46.2% de las fuentes consultadas coinciden en valorar el elevado coste inicial de este tipo de tecnologías como una barrera fundamental a la hora de facilitar su introducción en el mercado. Actualmente, es necesario sobredimensionar los sistemas electroquímicos para poder ofrecer servicios que impliquen una elevada potencia. Los comentarios recibidos sobre la solución HESS que incorpora supercondensadores para solicitaciones de alta potencia ha sido valorada positivamente como vía de reducción del CAPEX en los sistemas de almacenamiento.

Hipótesis 6: Se identifica como barrera a la implantación de sistemas de almacenamiento energético el alto coste de operación (OPEX). *Resultado:* NO CONCLUYENTE

Los costes de operación han sido considerados por las fuentes consultadas como una barrera de segundo nivel de magnitud para la introducción de sistemas de almacenamiento.

Los costes derivados de la operación fuera de sus parámetros de operación estándar pueden suponer una reducción de vida del sistema o la pérdida de la garantía del sistema. Algunos de los entrevistados consideran que en caso de que los beneficios lo justificasen podrían considerar el ciclado de la batería fuera del rango de operación recomendado.

Se debe tener en cuenta que no todos los consultados en el estudio han desarrollado y operado sistemas de almacenamiento energético. Por lo que es

posible que no todas las fuentes hayan experimentado los problemas relacionados con los costes de operación.

Hipótesis 7: Se identifica como barrera a la implantación del almacenamiento en la red el no poder proveer varios servicios a la red simultáneamente de forma eficaz y eficiente en costes. *Resultado:* NO VALIDADA

A partir de los resultados obtenidos, se entiende que proveer servicios de forma simultánea con un mismo dispositivo no es una de las principales demandas del mercado ni se entiende como una barrera para la implantación de los sistemas de almacenamiento energético.

Aunque no se ha reconocido explícitamente por parte de los potenciales usuarios de la tecnología la necesidad de proveer varios servicios simultáneamente, es también cierto que se identifican como los servicios más recurrentes ofrecer regulación de frecuencia y balanceo de cargas. Estos servicios implican necesidad de una alta capacidad energética y potencia. Por ello, se puede afirmar que el sistema HESS estaría cubriendo las dos principales demandas de las fuentes consultadas.

Hipótesis 8: Se plantea una relación con los clientes basada en la venta consultiva. *Resultado:* VALIDADA

Existe consenso con respecto a que no existe una solución tecnológica única, sino que cada aplicación va a demandar una solución diferente adaptada a las necesidades de la misma.

Los TSO consultados insisten en que los diferentes perfiles de cada red dependen asimismo de multitud de factores como: implantación de renovables, condiciones ambientales o meteorológicas, tipologías de fuentes de generación e interconexión del sistema. Estos factores obligan a identificar las necesidades de cada aplicación en base a sus características y diseñar una solución singular para cada emplazamiento. Por esta razón, la venta consultiva se prevé necesaria. Esto conlleva una serie de implicaciones que afectan a varios de los bloques del modelo de negocio descrito en este documento.

Las principales implicaciones afectarían al trato con los clientes, a los canales de comunicación y distribución, a la necesidad de operación del sistema o de su mantenimiento y al respaldo de garantías como proveedor de la solución tecnológica.

La capacidad del potencial cliente, EPC en este caso, de integrar la solución por sí mismo es una condición relevante de cara a definir el tipo de venta que se va a realizar. Debido a la falta de madurez de la mayor parte de las tecnologías de almacenamiento electroquímico (con la excepción de Pb-Ac), la mayoría de potenciales clientes consultados en el estudio aseguran que prefieren una elevada implicación de los proveedores de la solución de almacenamiento, tendiendo al modelo “llave en mano”. Una de las utilities consultadas trabaja con supuestos de garantías extendidas en la que el proveedor se compromete a la operación y mantenimiento del sistema durante 10 años a cambio de un pago anual. Se plantean casos en los que se sugiere la posible petición de implicación en el mantenimiento y operación de sistema, así como en las garantías de los componentes del sistema o en el reciclaje de las baterías una vez concluida su vida útil.

Siguiendo con las utilities consultadas en el estudio, se afirma que éstas optarían por un modelo “llave en mano” y que sólo se plantearían la integración del sistema las utilities de gran tamaño, aunque el estado de madurez de alguna de las tecnologías dificultaría este supuesto.

7. Análisis de riesgos

En este capítulo se presentan los principales riesgos que podrían poner en peligro la actividad comercial de la tecnología. Se presentan a su vez las correspondientes acciones de mitigación que debería poner en práctica la empresa para hacer frente a estas posibles amenazas. Para detectar estos riesgos se ha tenido en cuenta toda la información sobre el planteamiento de negocio que se ha ido analizando y las posibles acciones futuras de la competencia tras la incorporación de la tecnología HESS al mercado.

7.1. *Riesgos*

A continuación se explican los tres riesgos potenciales que se han identificado:

Riesgo 1: Madurez del mercado.

Una regulación que favorezca la incorporación de la tecnología y que permita generar casos de negocio rentables podría ejercer tracción sobre la demanda de soluciones de almacenamiento energético. Sin embargo, ciertas regulaciones pueden impedir la entrada de sistemas de almacenamiento en determinados mercados. Se ha dividido este riesgo en tres apartados según las áreas de aplicación propuestas en el presente documento:

a) Microrredes y redes aisladas. Riesgo bajo. Tal y como se ha expuesto en capítulos anteriores, suministrar energía en estas este tipo de redes de forma eficiente y efectiva en costes es una misión complicada. Por esta razón, los TSO consultados han reconocido la necesidad y conveniencia de promover la introducción de nuevas tecnologías en estos escenarios. En las islas italianas de Sicilia y Cerdeña se está desarrollando el proyecto de mayor dimensión en Europa, el llamado *Storage Lab*. Otra aplicación de gran potencial de acuerdo a los EPC consultados son las explotaciones mineras.

b) Integración de fuentes renovables. Riesgo medio. La electricidad vertida a la red por fuentes de generación renovables deben cumplir unos requisitos de calidad que determina el operador de red. Varias fuentes consultadas admiten que en ciertas áreas geográficas se está demandando por parte del operador unas mejores condiciones de calidad de la electricidad para poder ser vertida a la red principal. Este hecho está fomentando la incorporación de sistemas de almacenamiento energético para prestar servicios de regulación de frecuencia o power smoothing entre otros. En Europa, los reguladores establecen del mismo modo las restricciones que puedan imponer para la conexión de estos sistemas a la red y de esta forma se condiciona la necesidad, o no, de instalar un sistema de almacenamiento para evitar que la intermitencia en la generación

renovable pueda provocar inestabilidad en la red. Los entrevistados han confirmado que la mayor parte de sus oportunidades se encuentran en áreas insulares, donde se desea incorporar una mayor proporción de energías renovables y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Es el caso de Puerto Rico o Hawái.

c) Servicios a la red. Riesgo alto. Para esta aplicación, la incorporación de almacenamiento energético se justifica por la existencia de un mercado que regule y retribuya los servicios que se pueden prestar. Los entrevistados coinciden en que por el momento no existe un marco regulatorio que haga atractivos los sistemas de almacenamiento energético conectados a la red frente a otras alternativas (Demand Response o sistemas de generación flexibles) y no se espera la creación de una regulación favorable en el corto plazo. Este hecho limitaría la capacidad de los sistemas de almacenamiento para competir en igualdad de condiciones en mercados de reserva o servicios auxiliares.

Riesgo 2: Riesgos tecnológicos.

En referencia la tecnología, se perciben dos posibles riesgos a tener en cuenta:

Ventaja tecnológica temporal. EDA cuenta con un alto conocimiento en el estudio de gestión eficaz de sistemas electroquímicos y supercondensadores, además de contar con el apoyo de sus proveedores con los que intercambia información. Este conocimiento le permite diseñar electrónica de potencia y algoritmia de control avanzada. Sin embargo, se debe considerar que las grandes empresas competidoras presentes en el mercado podrían alcanzar el nivel de conocimientos actual de EDA en un periodo de tiempo relativamente corto. Varios de los entrevistados han resaltado que la combinación de supercondensadores y baterías Li-ion ya ha sido utilizada en otros sectores. Por lo tanto, varios grupos de investigación y EPC ya la están estudiando.

Tecnologías competidoras. Las baterías de titanato de litio se han considerado como principal competidor para la tecnología HESS debido a sus prestaciones, especialmente en aplicaciones donde se requieren cargas y descargas rápidas y ciclados muy frecuentes. Con respecto al precio, el coste de los supercondensadores se está reduciendo rápidamente por el desarrollo de economías de escala. Las baterías Li-ion, son las que van a experimentar una bajada de precios mayor al ser una tecnología utilizada en sectores con una actividad de I+D muy dinámica y con una mejora de economías de escala derivada de su uso en aplicaciones de movilidad eléctrica y al uso de baterías combinadas con generación fotovoltaica residencial. El uso del LTO, sin embargo, está por el momento limitado a aplicaciones específicas donde se requiere elevada potencia, y su desarrollo y reducción de costes sería menor que los dos componentes incluidos en la solución híbrida. Por ello, consideramos el riesgo que representa la tecnología competidora LTO como un riesgo medio.

Riesgo 3: Operación, capacidad técnica y credibilidad.

Debido al escaso estado de madurez de los sistemas de almacenamiento energético, varias de las fuentes consultadas identificadas como potenciales clientes han planteado una serie de supuestos y necesidades a la hora de adquirir o gestionar un sistema de almacenamiento derivados del desconocimiento de la tecnología y del proveedor.

Riesgos de operación. Se afirma durante las entrevistas que, debido a la inexperiencia en la gestión de sistemas de almacenamiento energético y las dudas sobre la fiabilidad de los mismos, algunas utilities consideran necesario que el proveedor del dispositivo se encargue de la operación y el mantenimiento del mismo, así como del reciclaje de las baterías al final de su vida útil. La falta de medios para este fin y la baja capacidad financiera actual de EDA hacen considerar esta situación como un riesgo importante.

Capacidad técnica. Existe consenso entre las fuentes consultadas en cuanto a que no existe una solución única y que cada aplicación requiere de cierto estudio para definir el producto que se instalará finalmente. La necesidad de productos “ad-hoc” y del tiempo y recursos necesarios para definir cuál es la solución óptima para cada aplicación, puede significar un riesgo si no se evalúan y cuantifican los recursos dedicados, haciendo insostenible económicamente la venta consultiva del producto.

Credibilidad. Hasta que no se instalen y operen un número relevante de dispositivos HESS, la desconfianza en la tecnología por parte de los clientes y usuarios finales será un riesgo. La situación actual teniendo en cuenta las restricciones regulatorias y la falta de mercado en la mayoría de áreas geográficas, convierten el mercado en un entorno extremadamente competitivo. Resulta muy importante disponer de estimaciones fiables de costes considerando la caída de precios derivada de la popularización del almacenamiento electroquímico combinado con energía solar fotovoltaica en mercados como el alemán o el norteamericano. La existencia de proveedores en el rango de los 400-600 €/kWh puede eliminar la ventaja en costes del sistema HESS en caso de no disponer de una solución de almacenamiento electroquímico competitivo.

Se ha elaborado una matriz exponiendo estos tres riesgos en función del posible impacto que pueden tener para la empresa y la probabilidad de que sucedan:

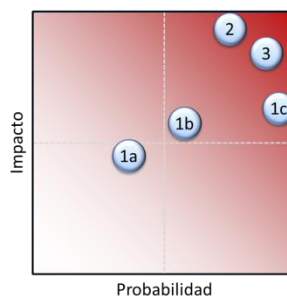


Figura 13. Análisis de riesgos. Impacto-Probabilidad

7.2. Acciones de mitigación

Una vez analizados los riesgos, se plantean una serie de acciones de mitigación para cada uno de ellos:

Riesgo 1:

1. Dar prioridad al desarrollo de casos de uso para aplicaciones en redes aisladas. Hacer especial enfoque en redes aisladas como las islas del Caribe y el Sudeste asiático.
2. Establecer alianzas con empresas de ingeniería y EPC con experiencia en mercados donde su regulación promueva incluir sistemas de almacenamiento energético.
3. Focalizar la venta del sistema HESS a corto plazo en el mercado de Estados Unidos por su regulación y su madurez en servicios de red con sistemas de almacenamiento energético.

Riesgo 2:

1. Trabajar en el aumento de patentes relacionadas con el diseño de sistemas de gestión y control propios. Promover también la venta de sistemas de electrónica de potencia propios.
2. Posicionar la empresa como proveedor principal de las tecnologías desarrolladas a los clientes objetivo: EPC. Para ello se requiere proporcionar soluciones muy optimizadas técnicamente y que demuestren una garantía adecuada en cuanto a rendimiento y vida útil de los sistemas.

Riesgo 3:

1. Establecer acuerdos con EPC u operadores de infraestructuras con capacidad técnica y financiera para operar sistemas HESS si el cliente lo solicitase. En estos casos la provisión de asistencia técnica y la realización de ensayos de rendimiento y degradación en la bancada de test es muy relevante para cerrar los acuerdos.
2. Buscar socios que avalen el desarrollo de los primeros proyectos piloto de la tecnología para incrementar el número de casos reales de uso y demostrar así credibilidad a futuros clientes.
3. Diversificar los proveedores de sistemas electroquímicos y supercondensadores, y actualizar constantemente los precios que proveen.

8. Conclusiones

De acuerdo a todo el trabajo llevado a cabo durante este proyecto, se considera que el sistema HESS efectivamente cubre las necesidades actuales de ciertos usuarios finales de la tecnología al proporcionar en una misma solución un sistema capaz de responder ante solicitudes de alta potencia y necesidad de mantenimiento de su respuesta durante periodos de tiempo prolongados (alta energía). A su vez, el sistema consigue minimizar las principales incertidumbres relacionadas con el desembolso inicial y la provisión de garantías sobre el funcionamiento del sistema y su vida útil.

Se ha entrevistado a usuarios finales de la tecnología (utilities y operadores de red) con el fin de conocer si efectivamente el producto HESS se ajusta a sus necesidades y si podrían considerarlo como una opción viable. Igualmente se ha contactado con distintos EPC (principales clientes) ya que son ellos los que en función de las necesidades expresadas por el usuario final proponen una solución determinada.

La principal conclusión que se destaca de estas entrevistas es que los operadores de redes de transmisión, a pesar de considerar que la solución HESS se adapta a sus necesidades, no consideran el almacenamiento energético como una solución a sus problemas. Esto se debe principalmente a que con la regulación existente, el almacenamiento y venta posterior de energía les convierte en intervinientes en el mercado de la energía, algo que no les está permitido en la actualidad.

En el caso de las utilities, las opiniones han sido variadas, por lo general ven complicado desarrollar casos de negocio viables con los costes actuales de la tecnología y la limitación en cuanto a flujos de ingresos que ésta puede generar. La falta de mercados para la venta de servicios y la limitación mencionada condicionan la rentabilidad de estos sistemas. Otro factor decisivo a la hora de establecer un caso de uso es la incertidumbre sobre la vida útil del sistema. Las opiniones recabadas señalan los servicios de regulación de frecuencia como los más interesantes de cara a monetizar un sistema, aunque también se reconoce que se espera la llegada de competidores usando, tanto sistemas de almacenamiento, como Demand Response y esto podría afectar a los precios que se paguen por estos servicios.

El principal cliente para las soluciones HESS son los EPC. La forma más habitual de adquisición de los sistemas de almacenamiento es mediante un proyecto “llave en mano”, y dado el desconocimiento sobre las particularidades de cada tecnología, la realización de una venta consultiva es fundamental de cara a la obtención de contratos. Debido a la desconfianza de los usuarios finales en el almacenamiento energético, se antoja necesario que sea el EPC quien explote estos sistemas. Ambas opciones implican un riesgo financiero a largo plazo si la tecnología no cumple los requisitos de fiabilidad

establecidos o no se opera adecuadamente. Por lo tanto, la fiabilidad del sistema es un factor altamente determinante.

La aplicación de almacenamiento energético para mejorar la integración de fuentes de energía renovables está siendo utilizada por varias de las empresas consultadas. Sin embargo, la oportunidad en Europa es limitada fuera de sistemas insulares por el momento, salvo en casos específicos en los que el operador de red lo exija. En el caso de islas, los entrevistados señalan Puerto Rico y Hawái como los principales mercados donde ya se ha acudido a licitaciones y se han ejecutado proyectos.

En cuanto a microrredes aisladas, varios de los entrevistados señalan aplicaciones mineras como las de mayor potencial de acuerdo a las licitaciones a las que han acudido. Chile y Australia son las zonas geográficas donde se han identificado más oportunidades.

El mercado eléctrico europeo se considera una gran oportunidad en el medio plazo para el almacenamiento energético conectado a la red, sin embargo, la falta de un marco regulatorio que favorezca al almacenamiento energético en la provisión de servicios de red hace que sea poco competitivo con los costes actuales de los equipos. La integración de renovables está limitada a proyectos específicos en la Europa Continental.

A modo de conclusión puede decirse que la solución HESS ha sido positivamente valorada por la mayor parte de los entrevistados aunque muchos de ellos desean mayor información para poder hacer una valoración técnica y económica ante la falta de proyectos demostradores. Se considera por tanto, que existe una conexión product-market fit.

Anexo A

Tablas resumen de las aplicaciones y barreras del almacenamiento energético identificadas durante las entrevistas:

	APLICACIONES														
	Servicios a la red				Integración de renovables			Microrredes y redes aisladas				Centrales térmicas		Sector ferroviario	
	Reg. Frecuencia	Balaceo cargas	Peak shaving	Arbitraje	Power smoothing	Reg. frecuencia	Power ramp control	Reg. frecuencia	Balaceo cargas	Peak shaving	Integración renovables	Reg. frecuencias	Balaceo cargas	Reg. frecuencia	Balaceo cargas
EPC1 (N)															
EPC2 (N)															
ENG. (N)															
EPC3 (N)															
EPC4 (N)															
UTILITY1 (I)															
UTILITY2 (I)															
UTILITY3 (I)															
TSO1 (N)															
TSO2 (I)															
TSO3 (I)															
INST. (I)															

Figura 14. Tabla resumen entrevistas – Aplicaciones

	BARRERAS										
	Garantía fabricantes	Reciclaje baterías	Mantenimiento	Disponibilidad (%)	Vida del servicio	CAPEX	OPEX	Control / Respuesta	Mercado regulatorio	Límite tiempo operación	
EPC1 (N)											
EPC2 (N)											
ENG. (N)											
EPC3 (N)											
EPC4 (N)											
UTILITY1 (I)											
UTILITY2 (I)											
UTILITY3 (I)											
TSO1 (N)											
TSO2 (I)											
TSO3 (I)											
INST. (I)											

Figura 15. Tabla resumen entrevistas – Barreras

Leyenda: (I) - Internacional (N) – Nacional

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Abbas A. Akhil, Georgianne Huff, Aileen B. Currier, Benjamin C. Kaun, Dan M. Rastler, Stella Bingqing Chen, Andrew L. Cotter, Dale T. Bradshaw, and William D. Gauntlett. DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Sandia Natinal Laboratories. 2013
- [2] Susan Schoenung, Ph.D. Energy Storage Systems Cost Update. Sandia Natinal Laboratories. 2013.
- [3] DOE Global Energy Storage Database - www.energystorageexchange.org
- [4] Electricity Storage Technologies guide. ARUP.
- [5] Our Battery Guide. Johnson Matthey Battery Systems. 2012.
- [6] Ahmed Faheem Zobaa. Energy Storage – Technologies and Applications. INTEC. 2013.
- [7] Energy Technologies. Navigant Research. Disponible en la web: www.navigantresearch.com/research/energy-technologies
- [8] Jaime González Velasco. Energías Renovables. Editorial Reverte. 2009
- [9] José Antonio Carta Gonzalez, Roque Calero Pérez, Antonio Colmenar Santos, Manuel Alonso Castro Gil. Centrales de Energía Renovables. Generación eléctrica con energías renovables. PEARSON.
- [10] Alex Osterwalder, Yves Pigneur, Greg Bernarda, Alan Smith. Value Proposition Design. WILEY. 2014.

