



# Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos en segunda vida para nuevas funciones

---

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
ENGINYERIA INDUSTRIAL

MEMORIA

**Autor:** Adrián Mora Martín

**Tutora:** Beatriz Amante García

**Co-Tutor:** Lluç Canals Casals

Marzo 2015



## AGRADECIMIENTOS

*A Lluç y a Beatriz por su apoyo durante la realización del proyecto*

*Y a mi padre, mi madre y Germán por todo*

## RESUMEN

El presente estudio analiza la viabilidad técnica y económica que abarca desde el análisis del mercado de baterías hasta su implementación en aplicaciones para la segunda vida de las mismas pasando por todo el proceso de reutilización. Para las distintas aplicaciones de segundo uso de las baterías también se analizan factores sociales y medioambientales.

En cada apartado se razona la selección de los elementos o procedimientos necesarios para emplear baterías procedentes del VE en distintas aplicaciones para la segunda vida de las mismas en función de sus prestaciones, precios, necesidades del mercado o las previsiones de futuro que presenten cada una de ellas.

Finalmente se concluye en que aplicaciones para el segundo uso de las baterías de los VE es interesante invertir y por qué.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
GLOSARIO.....	11
1. OBJETO .....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. ALCANCE.....	16
4. ESPECIFICACIONES BÁSICAS.....	18
5. ESTADO DEL ARTE.....	19
6. PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTAR LAS BATERIAS DE VE EN SEGUNDOS USOS.....	21
6.1. MERCADO DE BATERÍAS INSTALADAS EN VE.....	21
6.3. OBTENCIÓN DE BATERIAS Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE ADAPTACIÓN.....	25
6.4. TEST PARA ANALIZAR LA SALUD DE LAS BATERIAS LI-ION.....	28
6.4.1. POSIBLES ESCENARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE TEST.....	28
6.4.2. TEST APLICADOS A BATERÍAS LI-ION .....	29
6.4.3. SUPOSICIONES REALIZADAS.....	31
6.4.4. PRUEVAS ADICIONALES.....	32
6.5. NORMATIVAS PARA EL CORRECTO ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE BATERIAS LI-ION.....	32
6.6. INICIO DE LA ACTIVIDAD.....	32
6.7. ENVEJECIMIENTO DE LAS BATERIAS.....	34
7. ALTERNATIVAS PARA EL SEGUNDO USO DE BATERIAS DE VE.....	38
7.1. BATERIAS PARA APARCAMIENTOS SOLARES.....	38
7.1.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN .....	40
7.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	41
7.1.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS .....	43
7.1.4. IMPACTO AMBIENTAL .....	45
7.1.5. IMPACTO SOCIAL .....	45
7.2. BATERIAS PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS HOGARES.....	45
7.2.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN .....	47
7.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	47
7.2.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS .....	50

7.2.4. IMPACTO AMBIENTAL .....	52
7.2.5. IMPACTO SOCIAL .....	52
7.3. BATERIAS PARA ALMACENAR ENERGIA EN HOGARES AISLADOS .....	53
7.3.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN .....	54
7.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	54
7.3.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS .....	56
7.3.4. IMPACTO AMBIENTAL .....	57
7.3.5. IMPACTO SOCIAL .....	57
7.4. OTRAS ALTERNATIVAS .....	58
7.4.1. SOPORTE A LAS ENERGIAS RENOVABLES .....	58
7.4.2. RESERVA DE ENERGIA DISTRIBUIDA POR NODOS PARA LAS TELECOMUNICACIONES.....	59
7.4.3. DESPLAZAMIENTO EN LA TRANSMISIÓN DE LA ENERGIA.....	60
8. CONCLUSIONES .....	61
9. PLANIFICACIÓN .....	63
10. BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXO 1.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. a) Distribución del consumo de energía final en 2011 [6].....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2. a) Yacimientos petrolíferos durante los últimos años descubiertos. [11] .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3. Beneficio promedio reportado por las baterías de Li-ion en distintas aplicaciones en 10 años [13] .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4. Etapas de una batería de VE [Elaboración propia].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Diagrama del procedimiento para el desarrollo de la actividad [Elaboración propia].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6. Estimación de la evolución del precio de las baterías VE nuevas [25] 25</i>	
<i>Figura 7. Esquema de recepción de baterías para adaptarlas para segundos usos [Elaboración propia] .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 8. CAT en la provincia de Barcelona [Elaboración propia] .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9. Coste de producción por kWh rehabilitado [12].....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10. Panel de Nissan Leaf [31].....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11. Previsión de ventas Nissan Leaf en España [Elaboración propia].....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12. Capacidad vs Ciclos en función de la DOD [36].....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13. Capacidad Vs Ah en función de la temperatura [36] .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14. Capacidad Vs Ah para diferentes ratios C [36].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Curva Ratio C vs Coeficiente B [36].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Ejemplo aparcamiento con carga solar en L'Oreal (izquierda), Jhonson&amp;Jhonson (derecha) [37] .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17. Esquema de la instalación de las baterías para los aparcamientos solares [Elaboración propia] .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Mapa de distribución de las zonas climáticas en España [39].....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el aparcamiento solar [elaboración propia] .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Coste implementación de aparcamientos solares vs carga en los hogares con tarifa supervalle [Elaboración propia].....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Precio de la energía por tarifas y horarios [46].....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 22. Esquema de instalación batería para consumo energético en el hogar [Elaboración propia].....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 23. Ejemplo de EMS de la empresa Stem [47].....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 24. Software para controlar el consumo energético [47] .....</i>	<i>47</i>

<i>Figura 25. Distinción entre horas valle y horas pico [Elaboración propia].....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 26. Curva consumo hogares España [50] .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 27. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el hogar [Elaboración propia].....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 28. Coste del consumo energético en los hogares empleando y sin emplear baterías en segundo uso [Elaboración propia] .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 29. Esquema de instalación batería para hogares aislados [elaboración propia] .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 30. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el hogar aislado [Elaboración propia].....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 31. Coste baterías de plomo-ácido vs Li-ion en segunda vida en los hogares aislados [Elaboración propia] .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 32. Ratio de pérdidas por transmisión y distribución por pico de carga [56] .....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 33. Carga reducida en pico y aumentada en valle [56].....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 34. Batería Chevrolet Volt [60].....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 35. Batería Nissan Leaf [62].....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 36. Batería Prius PHV [62].....</i>	<i>75</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Alternativas para el segundo uso de baterías de Li-Ion [17] [18] [19]....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2. Evolución de ventas de PEV a nivel mundial [20].....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Método de los factores ponderados: Elección de la mejor batería [ANEXO 1, tabla 2,21,22, 23].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4. Lugares de recolección de baterías [26].....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 5. Selección del emplazamiento de la nave de re-acondicionamiento [27, 28].....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 6. Proceso de reutilización de baterías de forma directa y reconfigurando módulos [12].....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7. Pasos a seguir en el test de capacidad [30].....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8. Pasos a seguir en el test de potencia [30].....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9. Previsión de ventas Nissan Leaf en España [Elaboración propia].....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 10. Previsión de inicio de la actividad de la planta de re-manufacturación de alta capacidad [Elaboración propia].....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 11. Alternativas desarrolladas [Elaboración propia].....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12. Motivos para implementar aparcamientos solares en centros comerciales [Elaboración propia].....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 13. HPS en Almería para distintos meses del año [40].....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 14. Características de los paneles solares [41].....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 15. Características técnicas para las baterías en los aparcamientos solares [Elaboración propia].....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 16. Precios tarifa energética 2.0DHA [44].....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 17. Inversión inicial para las baterías en los aparcamientos solares [Elaboración propia].....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 18. Motivos para implementar baterías para almacenar energía en los hogares [Elaboración propia].....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 19. Consumo medio por hogar en kWh [Elaboración propia].....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 20. Características técnicas para las baterías en el hogar [Elaboración propia].....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 21. Precios tarifa energética 2.0DHA [51].....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 22. Inversión inicial para las baterías en los hogares [elaboración propia]51</i>	
<i>Tabla 23. Motivos para implementar baterías de li-ion en hogares aislados en el sur del país [Elaboración propia].....</i>	<i>54</i>

<i>Tabla 24. Características técnicas para las baterías en hogares aislados</i>	
<i>[Elaboración propia].....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 25. Elementos a incluir en la instalación [elaboración propia].....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 26. Elementos a substituir en la instalación [elaboración propia].....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 27. Cuadro resumen de alternativas [elaboración propia] .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 28. Actividades realizadas .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 29. Planificación.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 30. Características batería Chevrolet Volt [58] [59] .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 31. Características batería Nissan Leaf [58] [59].....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 32. Características batería Toyota Prius PHV [58][59] .....</i>	<i>75</i>

## GLOSARIO

- ❖ **Capacidad nominal:** Total de amperios-hora disponibles cuando la batería se descarga aplicando intensidad con ratio 1C a 25°C. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Células, módulos y packs:** Los vehículos híbridos y los vehículos eléctricos utilizan un pack de baterías de alto voltaje que consiste en módulos y células individuales dispuestas en serie y en paralelo. Una célula es la unidad más pequeña dentro de una batería que puede albergar tensiones generalmente de entre 1 a 6 voltios. Un módulo consiste en una cantidad determinada de células conectadas entre sí de nuevo en serie o en paralelo (normalmente en serie). Finalmente, el pack de una batería engloba el ensamblaje total de los módulos conectándolos entre sí, nuevamente, en serie o en paralelo. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Ciclo de vida:** Número de ciclos de carga y descarga que una batería puede experimentar antes de que no sea útil para la aplicación determinada. El ciclo de vida puede estimarse con las condiciones de carga y descarga específicas de la batería. La vida operativa de la batería se ve afectada por el ratio y profundidad de los ciclos y por otras condiciones como la temperatura y la humedad. Cuando más grande es el DOD, más corto es el ciclo de vida. <sup>[1]</sup>
- ❖ **DGT:** Dirección general de tráfico.
- ❖ **EMS:** El EMS (Energy Management System) es un sistema capaz de gestionar la energía formado por herramientas asistidas por ordenador para poder controlar, monitorizar, gestionar y saber cuando generar o transmitir dicha energía
- ❖ **Estado de carga (SOC)(%):** Indicador porcentual de la cantidad de carga restante en la batería frente a la carga máxima. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Estado de salud (SOH)(%):** Es una medida que indica la capacidad o suficiencia de la batería para almacenar y suministrar energía eléctrica. El estado de salud se puede calcular de varias como por ejemplo mediante la resistencia interna o la capacidad de la batería.
- ❖ **GEI:** Gases de efecto invernadero. Los GEI son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales

fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

- ❖ **HPS:** Horas pico solar una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ .
- ❖ **Huella de carbono:** La totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto.
- ❖ **Intensidad máxima de descarga continua:** Máxima intensidad aplicable para descargar la batería de forma continua. El límite viene dado por el fabricante de la misma batería con el fin de prevenir excesivos ratios de descarga que puedan llegar a dañar la batería <sup>[1]</sup>
- ❖ **PEV:** Plug-in electric vehicle.
- ❖ **Profundidad de descarga (DOD):** Se trata de un método para indicar el rango de trabajo aprovechado de la batería. La profundidad de descarga puede definirse como la diferencia entre la capacidad inicial antes de iniciar la descarga hasta la capacidad final en la que se decide parar de descargar. Se expresa de forma porcentual respecto a la capacidad nominal de la batería.
- ❖ **Ratio C:** Expresión habitual de la descarga de corriente. Un ratio de 1C indica que la corriente de descarga acabará descargando toda la batería en una hora.
- ❖ **Resistencia interna:** Se trata de un concepto definido para modelar las consecuencias eléctricas que producen las reacciones químicas producidas dentro de la batería. Si la resistencia interna aumenta, la eficiencia de la batería disminuye. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Tempo de recarga (h):** Tiempo necesario para recargar de forma completa la batería. <sup>[2]</sup>
- ❖ **VE:** Vehículo eléctrico
- ❖ **Vida útil:** Es la duración estimada que un elemento puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Para el caso de las

baterías, si se desean reutilizar para nuevas funciones, se puede hablar de dos o múltiples vidas útiles.

- ❖ **Voltaje (V):** Tensión existente entre los terminales de la batería cuando hay una carga aplicada. El voltaje varía con el SOC y con el corriente de carga y descarga. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Voltaje de carga:** Voltaje de carga de la batería hasta alcanzar el valor de máxima capacidad. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Voltaje de circuito-abierto (V):** Voltaje entre los terminales de la batería cuando no hay ninguna carga aplicada. El voltaje de circuito-abierto depende del estado de carga de la batería aumentando el mismo con el estado de carga. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Voltaje de corte:** Voltaje mínimo que, generalmente define el estado de vacío de la batería. <sup>[1]</sup>
- ❖ **Voltaje nominal (V):** Voltaje de referencia de la batería. <sup>[1]</sup>

## 1. OBJETO

El objeto de éste estudio es determinar la viabilidad técnica y económica de las distintas alternativas de uso de baterías eléctricas una vez han finalizado su función en el vehículo eléctrico.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El alto coste de fabricación de las baterías eléctricas propicia la exploración de nuevos métodos para reducir costes [3]. Por una parte, los fabricantes tratan de desarrollar nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de baterías actuales en el VE y reducir los costos de producción y, por otra, existe la posibilidad de adaptar para un segundo uso las baterías que ya han cumplido su vida útil en el VE [4].

Éste tema resulta relevante en la actualidad porque, en los últimos años, muchas medidas gubernamentales han sido tomadas para reducir la contaminación a nivel mundial. En este caso, uno de los objetivos a nivel internacional es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el hombre (protocolo de Kioto) [5].

Por otro lado, si se analiza de forma porcentual el consumo de energía por sectores a nivel mundial, se observa que, en el transporte, se invierte una gran cantidad de la energía producida (ver figura 1a) y que, dentro de la categoría/sector de los medios de transporte, los vehículos que circulan por carretera consumen el mayor porcentaje de ésta energía (figura 1b).

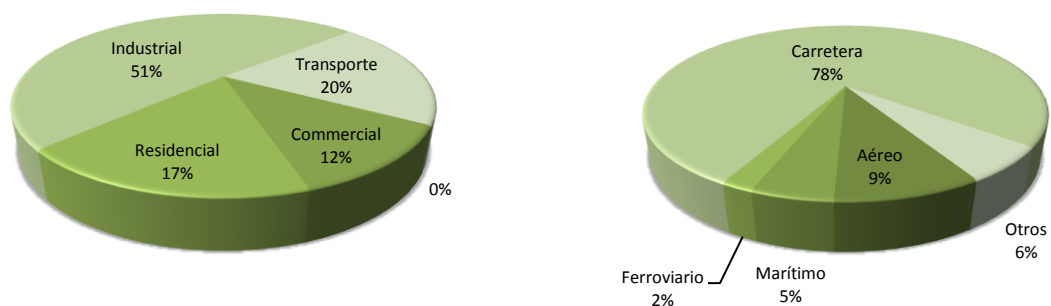


Figura 1. a) Distribución del consumo de energía final en 2011 [6] b) Consumo de energía final por modos en 2011 [7]

A todo esto, se ha de sumar el hecho de que los campos petrolíferos descubiertos en los últimos años se han visto reducidos en número y en cantidad de recursos (figura 2a). Además, los yacimientos de petróleo han superado su momento de explotación más elevado (superando el “peak oil”) a partir de ahí,

las reservas del mismo se han visto reducidas (figura 2b) [8]. Este pico se produce en 2010 según expertos de distintas entidades como la Universidad de Kuwait o los expertos del Smith School (Nick Owen, Oliver Inderwildi y David King) de la universidad de Oxford [9] y, además, le acompaña el “oil crunch” que hace referencia a una supuesta contracción de la oferta petrolera [10].

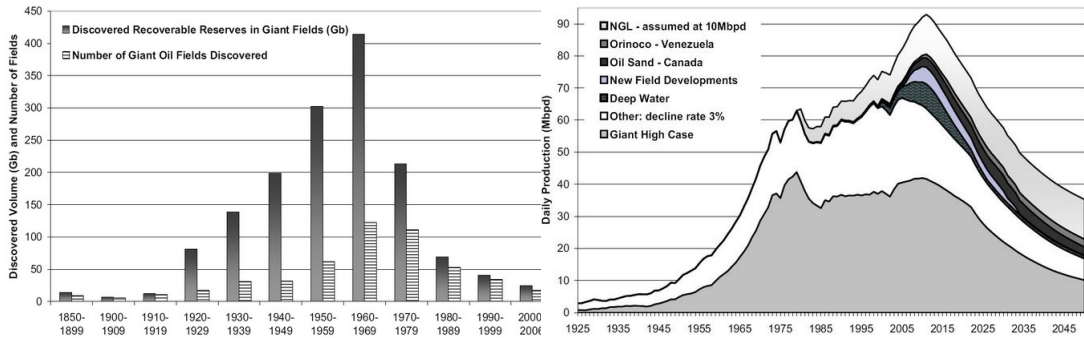


Figura 2. a) Yacimientos petrolíferos durante los últimos años descubiertos. [11]

Figura 2. b) Producción diaria de petróleo por zonas geográficas [11]

Por otro lado, el hecho de reciclar las baterías de los VE, a día de hoy, no resulta rentable económicamente [12]. Actualmente el coste de la gestión del reciclaje es de aproximadamente 316 € por batería. Por lo tanto, se justifica el estudio para su re-utilización para determinar si es posible obtener beneficios o, como mínimo, poder cubrir los costes de reciclaje.

Además, existen estudios [13] que aseguran beneficios económicos usando las baterías procedentes del VE para algunas actividades concretas como por ejemplo la regulación por área (Figura 3).

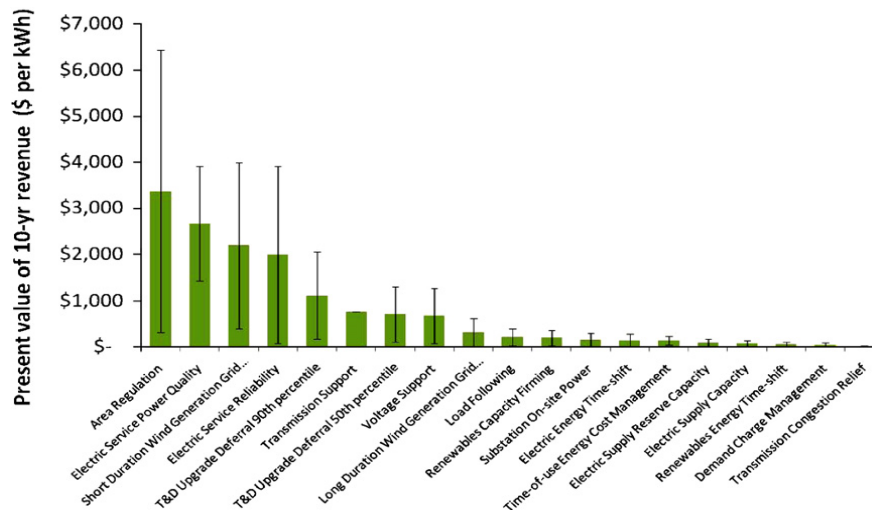


Figura 3. Beneficio promedio reportado por las baterías de Li-ion en distintas aplicaciones en 10 años [13]

De éste modo, es posible encontrar un nicho de mercado (figura 4) con cabida para baterías procedentes del VE dándoles una segunda vida o un segundo uso antes de ser recicladas.

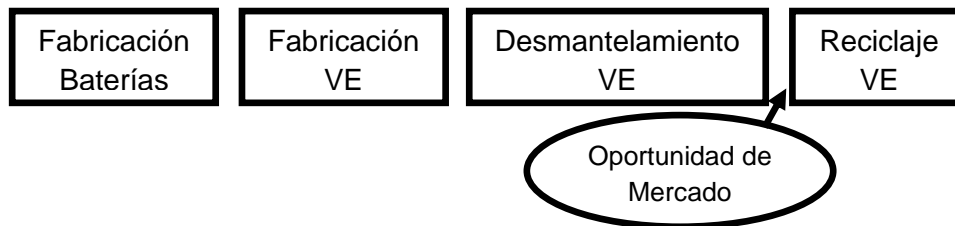


Figura 4. Etapas de una batería de VE [Elaboración propia]

### 3. ALCANCE

Para cumplir con el objeto del presente estudio se desarrollan los puntos presentados en la figura 5. En dicha estructura se define el proceso que siguen las baterías desde que se ponen en el mercado hasta que se reciclan, no obstante, solo se tratan en el presente proyecto los apartados con recuadro negro ya que el resto no aportan valor a la solución final del estudio.

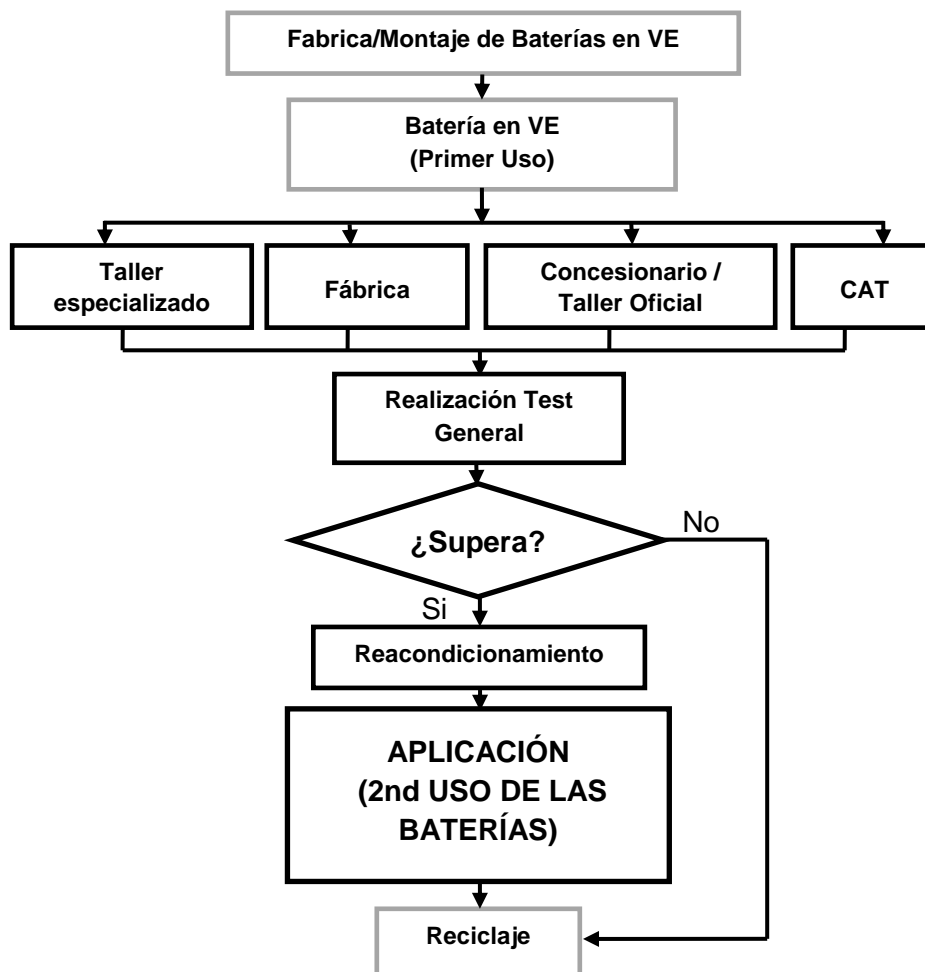


Figura 5. Diagrama del procedimiento para el desarrollo de la actividad [Elaboración propia]

Los conceptos desarrollados, a partir de la figura 5, son los siguientes:

- ❖ **Las baterías:** Se realiza un análisis de mercado para conocer qué baterías existen y cual/es de ellas resultan interesantes para su posterior uso en función de sus características y de su disponibilidad en el mercado. Se analiza el precio actual de las baterías y se estima el precio que pueden alcanzar en un futuro. También se determina el lugar de recolección de las mismas para poder abastecer la planta de acondicionamiento de las baterías del VE.
- ❖ **Test para analizar la salud de la batería:** Para poder determinar si una batería es apta para realizar una nueva función, es necesario que supere una serie de pruebas que garanticen el estado de salud de la misma y que, además, esté certificada para su uso. Se explican, por lo tanto, 2 pruebas que deben realizarse a las baterías.
- ❖ **Almacenamiento y transporte:** Las baterías son elementos catalogados como peligrosos para la salud y el medio ambiente debido a los elementos químicos que contienen y por ello deben mencionarse las normativas que se van a tener en cuenta para el desarrollo de la actividad para su correcto transporte y almacenamiento.
- ❖ **Instalaciones:** Se determina la localización de las instalaciones dónde se realizará la actividad.
- ❖ **Envejecimiento de las baterías:** Se observan los parámetros que influyen en el envejecimiento de las baterías para poder determinar de forma aproximada el tiempo que podrán funcionar para las segundas aplicaciones planteadas.
- ❖ **Alternativas para segundo uso de las baterías:** Éste es el punto más importante del estudio, dónde se exponen distintas alternativas en los próximos años para las baterías en segundo uso y se realiza un estudio de la viabilidad técnica y económica de las mismas. Se plantean las actividades desarrolladas por cada alternativa dando a conocer su función y posteriormente se analizan técnicamente y económicamente. Finalmente se comentan los factores sociales, económicos y medioambientales que deben tenerse en cuenta para el desarrollo de cada actividad.

## 4. ESPECIFICACIONES BÁSICAS

Para realizar el proyecto se tendrán en cuenta las siguientes condiciones o especificaciones básicas:

- El proyecto se estructurará en función de las características del mercado actual para el precio de la energía y del mercado futuro para la disponibilidad de baterías.
- La viabilidad económica se calculará a partir de la adquisición de la batería después de finalizar su vida útil en el vehículo y no desde su fabricación.
- No se consideran las leyes que se aplican en referencia a las actividades propuestas en el presente estudio ya que están sujetas a decisiones políticas que quedan fuera del alcance. Por otro lado, en la actualidad el uso de las baterías para el autoconsumo en el hogar son ilegales y para el uso en viviendas aisladas existe un vacío legal que no se va a tener en cuenta para el estudio <sup>[14]</sup>.
- Para los costes del reciclaje se consideran los expuestos en el apartado 2 ya que los responsables de los mismos son los que introducen las baterías en el mercado y el hecho de darles una segunda vida no repercute en el coste de su reciclaje ya que lo único que se hace es atrasar el momento de reciclarlas.

## 5. ESTADO DEL ARTE

En el mercado actual, existen empresas relacionadas con el mundo de la automoción y de las nuevas tecnologías que ofrecen productos basados en la adaptación de baterías eléctricas procedentes de VE.

En 2011 empezaron a venderse las primeras oleadas significativas <sup>[15]</sup> de vehículos eléctricos para uso particular y, teniendo en cuenta que la vida de una batería dura aproximadamente 8 años en un vehículo eléctrico <sup>[16]</sup>, aún no es posible observar los resultados de su segundo uso. Esto implica, que en los últimos años, tan solo se han podido ver modelos piloto de posibles alternativas para la segunda vida de las baterías y, por ello, muchas de estas baterías empleadas para los prototipos, son de primer uso.

Algunos de estos modelos piloto, con baterías nuevas de primer uso, están adaptados para ser instalados en hogares particulares funcionando como reguladores de la energía consumida, “ahorradores inteligentes”, capaces de prever los precios de la electricidad en el mercado y usar energía de las baterías o bien de la red, en función del coste de la propia electricidad. Cuando la electricidad presenta precios bajos, el sistema consume la electricidad directamente de la red y almacena energía dentro de las baterías. Por contrapartida, cuando el precio de la electricidad es elevado, la energía empleada proviene de las baterías, previamente cargadas con energía más barata. Ésta alternativa resulta interesante para reducir costes en la factura de la electricidad <sup>[17]</sup>.

Otras baterías han sido adaptadas para formar conjuntos de baterías capaces de suministrar energía a un bloque de oficinas y a varias estaciones de carga para VE (tanto de carga rápida como de carga estándar). También existen proyectos para adaptar baterías de Li-Ion a camiones e incluso para compartimentos “Chiller” que sirven, por ejemplo, para mantener alimentos sin congelar en estado fresco durante 2 o 3 días <sup>[18]</sup>.

Las baterías de los VE también pueden usarse como reguladores de la energía eléctrica obtenida a partir de fuentes de energía renovables, por ejemplo, los aerogeneradores o paneles solares. Estos no son capaces de ofrecer una cantidad constante de energía, más bien, ofrecen energía de forma fluctuante e irregular. Éste hecho genera picos y valles en su producción energética y no tiene por qué adaptarse a las necesidades reales de consumo. Es por ello, que esta alternativa propone la adaptación de baterías de VE capaces de ofrecer la energía necesaria para cubrir las necesidades del cliente cuando la producción

de energía eólica se encuentra en un valle o no es capaz de generar una energía media igual a la demandada [19].

A continuación, en la tabla 1 se destacan tres de las principales empresas que desarrollan de aplicaciones para las baterías de Li-Ion en su segunda vida:

Tabla 1. Alternativas para el segundo uso de baterías de Li-Ion [17] [18] [19]

Entidad	Producto	Características
<b>4R Energy Corporation.</b>	· Dispositivo de recarga de VE + Alimentación edificio.	· Sistema de generación de energía solar (40KW máx.) + paquete baterías de Li-Ion. · Baterías provenientes de vehículos Nissan. · Sistema equivalente a 4 Baterías Nissan Leaf. · Almacenamiento en batería de 95 kWh. · Administración a la red con potencia nominal 200kW. · Energía generada destinada a la carga de VE + alimentación de edificio Nissan GHQ. · 7 Puntos de carga para VE: 3 de carga rápida (50kW) + 4 de carga estándar (3,3kW). · Sistema: Capaz de recargar 1200 VE al año de forma regular.
	· Sistema de baterías Li-Ion Residencial.	-
	· Sistema de baterías Li-Ion para camión.	-
	· Sistema de baterías para compartimiento Chiller.	-
	· Primer demostrador a gran escala en campos de molinos eólicos.	· 12 baterías de Nissan Leaf en 2 contenedores marítimos
<b>Tesla + Solar City</b>	· Obtención energía extra cuando los paneles solares no la producen de forma regular.	· Evita intermitencias en la entrega de energía · Instalación de paneles solares gratuitamente a cambio de cobrar por la energía consumida. · Necesaria política de autoconsumo de red en el país de aplicación.
<b>Stem</b>	· Sistema de baterías Li-Ion Residencial Inteligente	· Baterías inteligentes capaces de almacenar o liberar energía en función del precio de la electricidad. · Software integrado capaz de hacer predicciones en precio de la electricidad. Sistema basado en algoritmos adaptados a la industria financiera para predecir el consumo energético del edificio cada hora. · Necesaria política de autoconsumo de red en el país de aplicación.

## **6. PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTAR LAS BATERIAS DE VE EN SEGUNDOS USOS**

En éste apartado se desarrollan las características necesarias para poder tratar las baterías desde su desmantelamiento del VE hasta justo antes de su implementación en la actividad escogida para su segundo uso.

Se realiza un estudio de mercado de baterías instaladas en VE seleccionar las baterías más adecuadas para su uso en segunda vida. Se observa el precio presente y futuro de las baterías en el mercado para saber si las tendencias son favorables para el segundo uso de las mismas.

A continuación se determina la localización de la nave donde se tratan las baterías para poder re-acondicionarlas para su segundo uso. Esto es importante ya que, en función de la localización, es más fácil o difícil obtener un tipo de baterías según las ventas de vehículos eléctricos del mercado local.

Después, se explican los test realizados a las baterías así como el momento en el que se puede dar paso al inicio de la actividad de re-manufacturación.

### **6.1. MERCADO DE BATERÍAS INSTALADAS EN VE**

Existen distintos tipos de baterías que pueden emplearse en segundas aplicaciones, no obstante, interesa analizar las que generen una mayor rentabilidad. Por eso, resulta necesario escoger las baterías que ofrezcan mejores prestaciones (capacidad, peso, tamaño,...) en función de su disponibilidad y facilidad de obtención en el mercado.

En la tabla 2 se muestra la evolución de ventas para modelos PEV (vehículos conectables a la red) en los últimos años:

Tabla 2. Evolución de ventas de PEV a nivel mundial [20]

	Chevy Spark	Honda Accord	Tesla Model S	Ford Focus Electric	Prius PHV	Mitsubishi i	Nissan Leaf	Ford Fusion Energi	RAV4 EV	Ford C-MAX Energi	Honda Fit EV	BMW Active E	Smart ED	Chevrolet Volt	TOTAL
ene-11			0		0		50							350	400
feb-11			0		0		50							325	375
mar-11			0		0		300							600	900
abr-11			0		0		600							450	1050
may-11			0		0		1175						15	425	1615
jun-11			0		0		1500							650	2150
jul-11			0		0		1000						25	150	1175
ago-11			0		0		1400						25	300	1725
sep-11			0		0		1000							750	1750
oct-11			0		0		700						25	1200	1925
nov-11			0		0		600						100	1200	1900
dic-11			0		0	50	900						200	1550	2700
ene-12			0		0	50	650					100		600	1400
feb-12			0		0	50	400					150		1050	1650
mar-12			0		850	50	650					325		2250	4125
abr-12			0		1650	100	300					350		1450	3850
may-12			0	25	1200	50	550						100	1550	3475
jun-12			0	50	800	25	600							1650	3125
jul-12			0	25	700	50	350							1800	2925
ago-12			75	25	1150	50	650							2800	4750
sep-12			100	50	1650	50	1000		50					2800	5700
oct-12			250	100	1900	50	1550		25	150	25			2950	7000
nov-12			775	150	1850	50	1550		25	1250	25			1500	7175
dic-12			800	150	1450	75	1400		25	1000				2600	7500
ene-13	25	1300	75	850	250	550			25	300				1150	4525
feb-13	25	1500	100	700	300	650	75	25	300	25				1600	5300
mar-13	25	2000	150	800	50	2250	250	75	400					1450	7450
abr-13	25	2150	150	650	150	1850	350	50	350					1400	7125
may-13	50	1950	150	700	75	2150	450	50	400				25	1600	7600
jun-13	25	25	1800	150	600	25	2250	400	50	400	150		25	2700	8600
	<b>25</b>	<b>175</b>	<b>12700</b>	<b>1350</b>	<b>17500</b>	<b>1550</b>	<b>28625</b>	<b>1525</b>	<b>400</b>	<b>4550</b>	<b>225</b>	<b>925</b>	<b>540</b>	<b>40850</b>	<b>110940</b>
<b>Suma de ventas para cada modelo</b>															<b>Total</b>

En la tabla 2 se plasma numéricamente el valor de las ventas mensuales de cada modelo de vehículo a nivel mundial y en vista de los valores de las ventas analizados, se pueden destacar los modelos siguientes con valores superiores a 17.500 unidades:

- ❖ Chevrolet Volt.
- ❖ Nissan Leaf.
- ❖ Toyota Prius PHV.

Teniendo en cuenta los tres VE más vendidos a nivel mundial, se presenta una tabla donde, por el método de los factores ponderados, se escoge una de las tres baterías en función de distintos factores (tabla 3).

**1) Estimación de capacidad al final de su primera vida:** La capacidad final de la primera vida de las baterías resulta relevante ya que a más capacidad los ciclos de carga y descarga pueden ser menos profundos y por lo tanto alargar la segunda vida de las baterías (punto 6.7.). Por otro lado, es mejor trabajar con pocas baterías con gran capacidad que con muchas baterías con poca capacidad ya que habría que realizar más cantidad de pruebas a mayor número de baterías. El peso asignado es del 30% (19,2 kWh tiene puntuación 10 y 0 kWh tiene puntuación 0).

**2) Cantidad VE vendidos en España (2013):** A pesar de las tendencias de ventas mundiales de VE, hay que tener muy presentes los VE vendidos en España ya que las baterías se recogen en éste territorio para ser re-manufacturadas y su disponibilidad es uno de los factores más críticos ya que sin ellas es imposible llevar a cabo las actividades en segunda vida de las mismas. El peso asignado es del 50% (300 unidades tiene puntuación 10 y 0 unidades tiene puntuación 0).

**3) Dimensión de la batería:** Es especialmente importante para su aplicación en áreas con espacio reducido como puede ser un piso o un lugar de paso. De todas formas no es un factor que niegue la posibilidad de aplicar las baterías en segundos usos y por eso su peso es inferior (5%). La puntuación es de 10 para una dimensión de  $0,01\text{m}^3$  (tamaño de una batería de plomo) y de 0 para de  $1\text{m}^3$ .

**4) Química:** Se comparan las baterías con química LMO y NCM según Bloomberg <sup>[21]</sup>:

Las baterías de LMO ofrecen alta seguridad en cuanto a sus propiedades térmicas pero tienen una densidad energética inferior que las baterías NCM.

Para este caso, como ya conocemos la capacidad de las baterías, interesa que sean estables térmicamente para garantizar mayor seguridad en su uso y una vida larga de las mismas. Su peso es del 15%.

Tabla 3. Método de los factores ponderados: Elección de la mejor batería [ANEXO 1, tabla 2,21,22, 23]

Factores	Peso relativo (%)	Alternativas					
		VOLT		LEAF		PHV	
1.Estimación de capacidad al final de su primera vida	30%	12.8kWh	6,67	19.2kWh	10	4.2kWh	2,18
2.Cantidad VE vendidos en España (2013)	50%	2 u	0,06	263 u	8,76	51 u	1,70
3.Dimensión de la batería	5%	1600x 900x 300mm	5,7	1570,5 x 1188 x 264,9mm	5,1	822,4 x 967,8 x 378,4mm	6,9
4.Química	15%	LMO	7	NCM	5	NCM	5
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3,36</b>		<b>8,38</b>		<b>2,59</b>

Con los resultados obtenidos en la tabla 3 y sabiendo que el Nissan Leaf ha sido el vehículo puramente eléctrico más vendido dentro del territorio español en 2013 <sup>[24]</sup> y también en el resto de Europa <sup>[24]</sup>, se ha decidido escoger la batería de éste vehículo. Además, su gran capacidad la convierte en la batería más atractiva de las tres analizadas.

## 6.2. PRECIO DE LAS BATERIAS EN EL MERCADO ACTUAL Y FUTURO

El precio de las baterías se encuentra en constante evolución, a medida que los VE penetran en el mercado los costes de las baterías disminuyen <sup>[18]</sup>. Para los vehículos que se pusieron a la venta en 2011 (según tabla 2) se estima que pasarán 8 años, según fabricante, hasta que las baterías no puedan seguir empleándose en el VE y puedan ser utilizadas para otras aplicaciones <sup>[18]</sup>.

Por otro lado, el precio actual de las baterías es de, aproximadamente, 800€/kWh y se espera que baje durante los próximos años. Según el “U.S. Department of Energy”, los precios de las baterías nuevas, para el año 2019 pueden bajar hasta un 70%. Esto implica que, para el año 2019, los precios de las baterías pueden establecerse en 240€/kWh aunque otras fuentes indican que el coste será totalmente diferente [27].

En la figura 6, se muestra la evolución del precio de las baterías durante los próximos años según diversas fuentes y autores:

### Estimación de la evolución del precio de las baterías VE nuevas

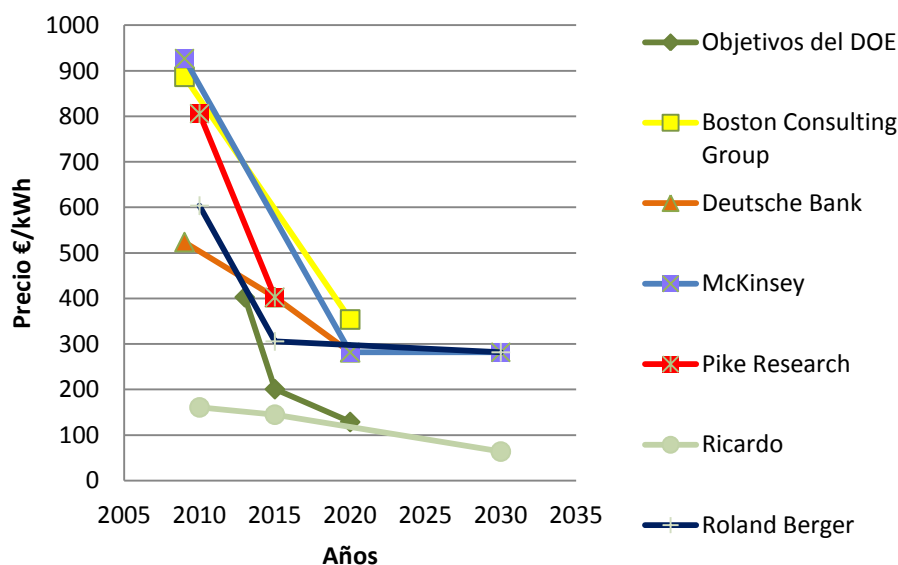


Figura 6. Estimación de la evolución del precio de las baterías VE nuevas [25]

Con los datos extraídos de la figura 10, se puede decir que para el 2020 existen dos escenarios a plantear. El primero plantea que el precio de las baterías sería de 300€/kWh según la mayoría de autores y también el valor que se escoge como referencia (ya que la mayoría de estudios han estipulado que éste va a ser el precio) mientras que otras fuentes indican que el precio rondará los 120€/kWh. La fuente que indica un precio más alto es la del Boston Consulting Group (352€/kWh).

### 6.3. OBTENCIÓN DE BATERIAS Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE ADAPTACIÓN

Una vez seleccionada la batería para ser implementada en las aplicaciones en segunda vida, es necesario encontrar la mejor forma para adquirirlas. Se realizará buscando el mínimo coste posible y, además, organizando una logística

eficiente capaz de suministrar regularmente la cantidad de baterías que se precisen.

Existen distintos puntos de interés dónde adquirir las baterías usadas tales como los siguientes (tabla 4) [26] :

Tabla 4. Lugares de recolección de baterías [26]

Lugares de obtención de baterías
Fábrica o planta dónde se monta la batería en el VE
Concesionario o taller oficial de las marcas de las baterías
Taller especializado independiente
CAT de SIG (Centro Autorizado de Tratamiento y Sistema integrado de gestión de Residuos)

Para poder llevar a cabo la recogida es importante tener un contrato entre los lugares de obtención y la empresa que se dedica a realizar los test y a adaptarlas para obtener beneficios en la aplicación alternativa de las propias baterías.

Las condiciones del contrato dependerán de la forma de proceder de cada empresa aunque, para redondear costes, se estipula que el precio de obtención de la batería varía en función de los kWh restantes en la propia batería.

Los lugares dónde se pueden encontrar con más frecuencia las baterías son en los CAT, talleres oficiales y en las plantas de montaje de baterías (a pesar de que en éste último lugar se encuentran baterías para primer uso).

Esquemáticamente, la planta o nave dónde se modificarán las baterías para su adaptación a sus segundos usos se nutren de la siguiente forma (figura 7):

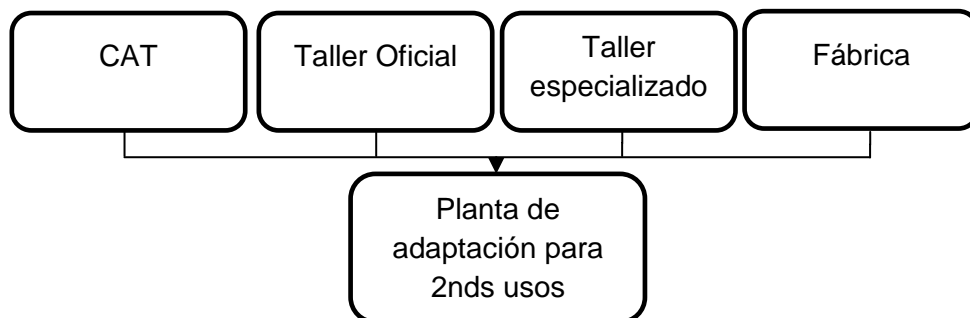


Figura 7. Esquema de recepción de baterías para adaptarlas para segundos usos [Elaboración propia]

Para la realización del proyecto se opta por contactar con los CAT más cercanos de forma que el autoabastecimiento de baterías sea lo más barato y rápido posible. Si no es posible abastecerse sólo con los CAT más cercanos se buscarán baterías en el resto de CAT del Estado.

Para poder situar la planta de re-acondicionamiento se tienen en cuenta tres factores muy importantes como los CAT, los concesionarios y las plantas Nissan del territorio (tabla 5):

Tabla 5. Selección del emplazamiento de la nave de re-acondicionamiento [27, 28]

Factores	Lugar				
	Barcelona	Madrid	Bilbao	Valencia	Murcia
CAT	64	14	24	52	38
Concesionarios Nissan	32	20	15	14	12
Plantas Nissan	Si	No	No	No	No

Como se puede observar en la tabla 5, tanto los concesionarios Nissan como el lugar con mayor número de CAT según la DGT en España se encuentran en Barcelona. Además, en Barcelona Nissan tiene una planta de fabricación de VE [27]. Se decide, por lo tanto, instalar la planta de re-manufacturación en la provincia de Barcelona para optimizar los costes de transporte, la velocidad de recolección de las baterías y la proximidad con el fabricante de las mismas.

Por ello, se localizan gráficamente todos los CAT en Cataluña [28] y se selecciona un emplazamiento para la nave que resulte óptimo para intermediar con dichos centros (figura 8).

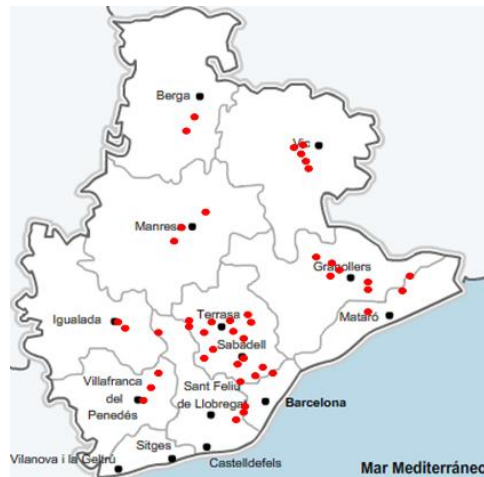


Figura 8. CAT en la provincia de Barcelona [Elaboración propia]

Según la figura 8, un buen lugar para colocar la planta de re-manufacturación de las baterías para segundos usos es en la comarca del Vallés Occidental (Terrassa y Sabadell) ya que es la que presenta mayor número de CAT y está a menos de 40km de la Zona Franca dónde se emplaza la planta de Nissan [27].

## 6.4. TEST PARA ANALIZAR LA SALUD DE LAS BATERIAS LI-ION

Después de varios años de uso en el vehículo, las células y los módulos se degradan (unas más que otras). De todas formas, las baterías se retiran del VE cuando llegan al 70-80% de sus niveles de capacidad inicial [29].

Para poder dar uso a las baterías retiradas de los VE, resulta necesario aplicarles una serie de tests basados en la normativa USABC para verificar el SOH y poder certificar que son aptas para volver a ser empleadas para una nueva función.

### 6.4.1. POSIBLES ESCENARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE TEST

La degradación de la batería puede darse a distintos niveles por la variación del desgaste en cada celda o módulo. Esto implica que también pueden darse distintos niveles de inspección más o menos costosos en función de la profundidad de la propia inspección.

En el presente proyecto se plantean dos posibles niveles de intrusión. El primero consiste en reutilizar la batería de forma directa y el segundo consiste en reconfigurar algunos módulos para poder darle uso en su segunda vida. Los módulos son la siguiente unidad más pequeña al desglosar una batería y dentro de éstos encontramos las células contenedoras de los elementos químicos con los que se produce la reacción. Algunas características destacables de ambos procesos son las siguientes (tabla 6):

Tabla 6. Proceso de reutilización de baterías de forma directa y reconfigurando módulos [12]

Reutilización directa		Reconfiguración de módulos	
A favor	En contra	A favor	En contra
Chequeo rápido de la batería	Producto final poco adaptable para algunas aplicaciones en segunda vida	Producto final optimizado para la aplicación escogida en segunda vida	Mucho más tiempo de preparación
Proceso de rehabilitación sencillo	Manipulación de grandes baterías	Manipulación de módulos manejables	Necesidad de construir la nueva configuración
Reutilización de todos los componentes	Necesidad de nuevas interfaces de comunicación	Sistema de refrigeración y BMS adaptado	Diseño y programación de nuevos componentes
Más barato que la reconfiguración de módulos	Intrusión a nivel de batería	Intrusión a nivel de módulo	Más cara que la reutilización directa de las baterías

Para poder obtener un mayor beneficio del uso de baterías en segunda vida es evidente que interesa más emplear una reutilización directa de las mismas ya que el margen será mayor <sup>[12]</sup>. Como se puede apreciar en la siguiente gráfica (figura 9), los costes de reutilización directa son inferiores a los de reconfiguración de módulos tanto para etapas tempranas del proyecto (antes de 2020 cuando aún no hay muchas baterías para ser empleadas en segundo uso) como en etapas de actividad normal (puede darse a partir de 2020).

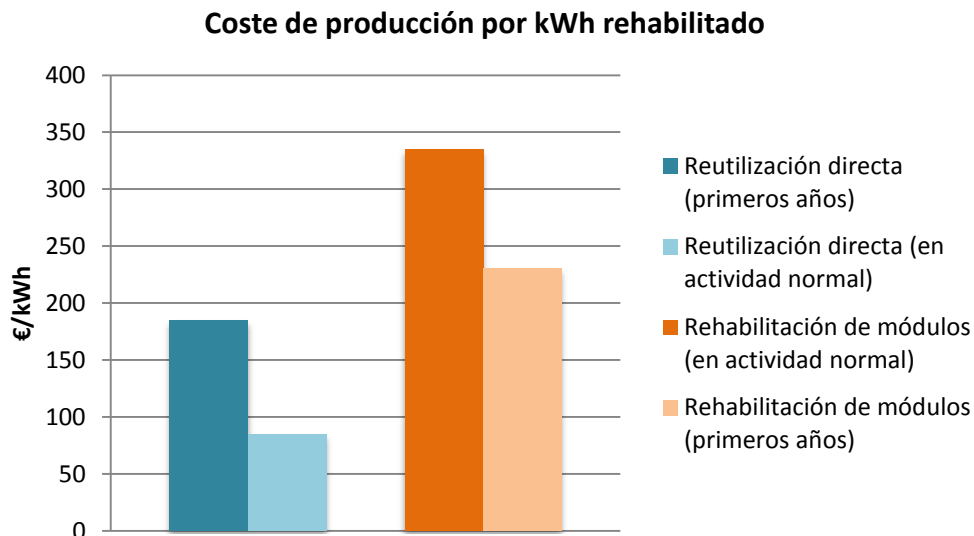


Figura 9. Coste de producción por kWh rehabilitado [12]

Los costes de reutilización directa en actividad normal son de **87€/kWh** <sup>[12]</sup> (figura 9). Por otro lado, el tiempo necesario para la inspección y la puesta a punto de la batería para la reutilización directa de la misma sería de unas **28,25h** aproximadamente según los mismos autores.

Por lo tanto, teniendo en cuenta estos datos, se decide emplear las baterías mediante una reutilización directa de las mismas ya que el proceso es más rápido y menos costoso. Además, hay que tener en cuenta que, como se ha comentado en el capítulo 6.2., el precio de las baterías nuevas puede alcanzar los 300€/kWh y si realmente no se puede ahorrar dinero mediante un proceso como la reutilización directa de las baterías en segunda vida no habría ningún interés por parte de nadie en adquirirlas.

#### 6.4.2. TEST APLICADOS A BATERÍAS LI-ION

Una vez se encuentran en la planta las baterías, se les realiza una revisión general de forma visual para descartar aquellas baterías que presenten daños superficiales y que, por lo tanto, generen serias dudas para su posterior reutilización. Además, esta primera inspección debe abarcar el análisis de las especificaciones del fabricante.

A continuación se preparan los test a realizar, que consisten en un test de capacidad y otro de pulsos de potencia basados en el procedimiento propuesto por VDA-Initiative basados en un acuerdo entre los principales fabricantes de VE en Frankfurt, Alemania [30].

**Test de capacidad:** Con éste test se determina la capacidad de las baterías a distintas temperaturas con dos ratios de descarga distintos y constantes siguiendo los pasos de la tabla 7:

Tabla 7. Pasos a seguir en el test de capacidad [30]

Nº Paso	Paso	Temp.	Nº Paso	Paso	Temp.
1	Carga estándar C/3	T.Ambiente	22	Descarga a 20C	T.Ambiente
2	Aclimatación	-25°C	23	Carga estándar C/3	T.Ambiente
3	Descarga a 1C	-25°C	24	Descarga a 20C	T.Ambiente
4	Carga estándar C/3	-25°C	25	Carga estándar C/3	T.Ambiente
5	Descarga a 1C	-25°C	26	Descarga a 20C	T.Ambiente
6	Carga estándar C/3	-25°C	27	Carga estándar C/3	T.Ambiente
7	Descarga a 1C	-25°C	28	Aclimatación	40°C
8	Carga estándar C/3	-25°C	29	Descarga a 1C	40°C
9	Descarga a 20C	-25°C	30	Carga estándar C/3	40°C
10	Carga estándar C/3	-25°C	31	Descarga a 1C	40°C
11	Descarga a 20C	-25°C	32	Carga estándar C/3	40°C
12	Carga estándar C/3	-25°C	33	Descarga a 1C	40°C
13	Descarga a 20C	-25°C	34	Carga estándar C/3	40°C
14	Aclimatación	T.Ambiente	35	Descarga a 20C	40°C
15	Carga estándar C/3	T.Ambiente	36	Carga estándar C/3	40°C
16	Descarga a 1C	T.Ambiente	37	Descarga a 20C	40°C
17	Carga estándar C/3	T.Ambiente	38	Carga estándar C/3	40°C
18	Descarga a 1C	T.Ambiente	39	Descarga a 20C	40°C
19	Carga estándar C/3	T.Ambiente	40	Aclimatación	T.Ambiente
20	Descarga a 1C	T.Ambiente	41	Carga estándar C/3	T.Ambiente
21	Carga estándar C/3	T.Ambiente			

Además, hay que tener en cuenta que después de cada paso debe producirse una pausa de 30 minutos. En su conjunto, la duración del test es, como mínimo 123 h ya que entre los test a diferentes ratios C pasan 12h aproximadamente y entre cada paso deben pasar 30 min.

**Prueba de impulso:** Por otro lado, hay que realizar la prueba de impulso para determinar la resistencia interna de la batería y las pérdidas de prestaciones de potencia máxima de las baterías (tabla 8).

Tabla 8. Pasos a seguir en el test de potencia [30]

Nº Paso	Paso	Temp.
1	<i>Aclimatación</i>	<i>T.Ambiente</i>
2	<i>Ciclo estándar</i>	<i>T.Ambiente</i>
3	<i>Caracterización del pulso de carga + carga estándar</i>	<i>T.Ambiente</i>
4	<i>Aclimatación</i>	40°C
5	<i>Ciclo estándar</i>	40°C
6	<i>Caracterización del pulso de carga + carga estándar</i>	40°C
7	<i>Aclimatación</i>	0°C
8	<i>Ciclo estándar</i>	0°C
9	<i>Caracterización del pulso de carga + carga estándar</i>	0°C
10	<i>Aclimatación</i>	-10°C
11	<i>Ciclo estándar</i>	-10°C
12	<i>Caracterización del pulso de carga + carga estándar</i>	-10°C
13	<i>Aclimatación</i>	<i>T.Ambiente</i>
14	<i>Ciclo estándar</i>	<i>T.Ambiente</i>
15	<i>Caracterización del pulso de carga + carga estándar</i>	<i>T.Ambiente</i>

En éste caso, del mismo modo que en el test de capacidad, hay que realizar una pausa de media hora entre cada paso. El tiempo total que lleva hacer este ensayo llega a las 87h ya que el ciclo estándar está compuesto por una carga a 1C mas una descarga a C/3 y entre los distintos ciclos deben pasar 12h mas 30min entre cada paso.

#### 6.4.3. SUPOSICIONES REALIZADAS

Para poder abaratar costes en la realización de los test se asume que las baterías son buenas para ser empleadas en segunda vida superando tan sólo uno de los ciclos de cada test, por lo que, de forma aproximada el test completo no debe durar más de un día (24h).

Además, al emplear baterías de un solo fabricante, es posible llegar a un acuerdo para poder conocer los datos del BMS integrado en la batería para tener una referencia de la capacidad restante y poder contrastarla con los resultados obtenidos al realizar un ciclo completo en el test. La capacidad restante es un dato que puede ser fácil de obtener ya que el propio fabricante se lo muestra al mismo conductor por el panel del VE (figura 10). Por lo tanto, las dos pruebas realizadas sirven para garantizar en una mayor medida que las baterías son aptas para ser reutilizadas en una segunda aplicación.



Figura 10. Panel de Nissan Leaf [31]

#### 6.4.4. PRUEBAS ADICIONALES

Después de realizar los test y las modificaciones necesarias a las baterías, se debe realizar una prueba para comprobar que las transformaciones se han realizado correctamente (comprobando que no haya cortocircuitos por ejemplo). La duración de la prueba se estima de aproximadamente 30 min.

#### 6.5. NORMATIVAS PARA EL CORRECTO ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE BATERIAS LI-ION

Por otro lado, garantizar el correcto almacenamiento y transporte de las baterías es necesario ya que son un producto tóxico y deben seguir unas normativas especiales. Para esto, se requiere del cumplimiento de normativas especiales tales como el RD 106/2008 o la ley 22/2011 en cuanto a solicitudes, documentos de seguimiento, control y aceptación para el transporte de materiales químicos. La ADR 2011 dedicada especialmente al transporte de mercancías peligrosas por carretera y la ley 31/1995 que hace referencia a las normativas aplicables para la prevención de riesgos al manipular las baterías, el tiempo que pueden estar almacenadas y como deben hacerlo.

#### 6.6. INICIO DE LA ACTIVIDAD

Las baterías duran al menos 8 años en el VE pero teniendo en cuenta que la garantía en Europa del Nissan Leaf es de 5 años o 100.000km <sup>[32]</sup>, en el año 2016 podría empezar a finalizar la primera vida útil de las primeras baterías (ya que se empieza a comercializar en España en 2011 <sup>[33]</sup>). Por otro lado, la cantidad de vehículos comercializados de esta marca en España es la siguiente <sup>[34]</sup>.

- ❖ **Año 2011:** 59
- ❖ **Año 2012:** 154
- ❖ **Año 2013:** 263

La agencia internacional de la energía estipula un crecimiento anual del 20% [35] en las ventas de VE en ciertos países (entre ellos España) y, a partir de los datos de éstos 3 años y con un crecimiento del 20% anual en ventas, se genera una gráfica con la previsión de los siguientes años (figura 11):

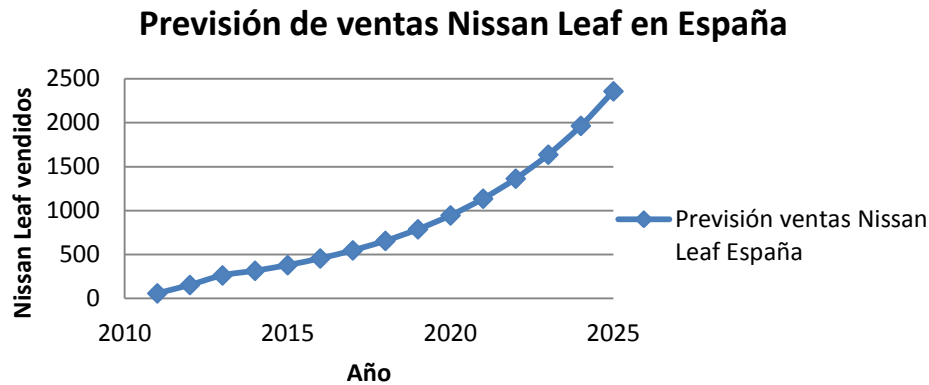


Figura 11. Previsión de ventas Nissan Leaf en España [Elaboración propia]

Por lo que, en una tabla nos quedarían los siguientes valores, tabla 9:

Tabla 9. Previsión de ventas Nissan Leaf en España [Elaboración propia]

Año	VE venidos Nissan Leaf	Año	VE vendidos Nissan Leaf
2011	59	2019	788
2012	154	2020	946
2013	263	2021	1136
2014	316	2022	1364
2015	380	2023	1637
2016	456	2024	1965
2017	548	2025	2358
2018	656		

Para el caso, teniendo en cuenta de nuevo las consideraciones realizadas en el artículo “A cost analysis of electric vehicle batteries second life businesses” [12], se estipula la re-utilización de 1056 baterías anuales para obtener los costes de la figura 9 de 87€/kWh para la reutilización directa de las baterías. Por tanto, teniendo en cuenta la cantidad de baterías acumuladas (tabla 10) se puede determinar el año en el que empieza la actividad de re-acondicionamiento para una fábrica de alta capacidad. Se considera que, para el inicio de la actividad se emplean las baterías de VE puestos en el mercado, por lo menos, 8 años antes.

**Tabla 10. Previsión de inicio de la actividad de la planta de re-manufacturación de alta capacidad [Elaboración propia]**

Año	11'	12'	13'	14'	15'	16'	17'	18'	19'	20'	21'	22'	23'	24'	25'
Baterías acumuladas	59	213	476	792	1172	1628	2176	2832	3620	4566	5702	7066	8703	10668	13026
Inicio en 2023					116	-484	-992	-1392	-1660	-1770	-1690	-1382	-801	108	1410
Inicio en 2024						572	64	-336	-604	-714	-634	-326	255	1164	2466
Inicio en 2025							1120	720	452	342	422	730	1311	2220	3522

Para la tabla 10, se observa que iniciando la actividad en el año **2025** (reutilizando 1056 baterías por año) se puede garantizar que la planta de re-manufacturación funcione sin necesidad de bajar el rendimiento.

Por lo tanto, para una planta de alta capacidad de re manufacturación situada en el Vallés Occidental (Barcelona) que opere dentro del mercado español con baterías del VE Nissan Leaf, es posible garantizar un inicio de actividad normal en el año 2025 con un coste de 87€/kWh.

## 6.7. ENVEJECIMIENTO DE LAS BATERIAS

Para saber el tiempo que durarán las baterías en su segunda vida para las distintas aplicaciones hay que tener en cuenta una serie de factores o parámetros que resultan determinantes en el uso de las mismas. Siguiendo el método del artículo basado en baterías de litio “*Cycle-life model for graphite-LiFePO4 cells*” [36].

Los parámetros a estudiar son los siguientes:

- ❖ DOD (DOD)
- ❖ Tiempo (t)
- ❖ Temperatura (T)
- ❖ Ratio C (C)

Por lo tanto, las pérdidas de c (capacidad) producidas en la batería se pueden determinar en función de los parámetros anteriores (eq. 1).

$$c_{pérdidas} = f(t, T, DOD, Ratio C) \text{ eq (1)}$$

### 6.7.1. DOD, PROFUNDIDAD DE DESCARGA

Para una temperatura, un ratio C de descarga y un estado de carga determinados, los intercambios en cada carga y descarga son proporcionales a la DOD producida.

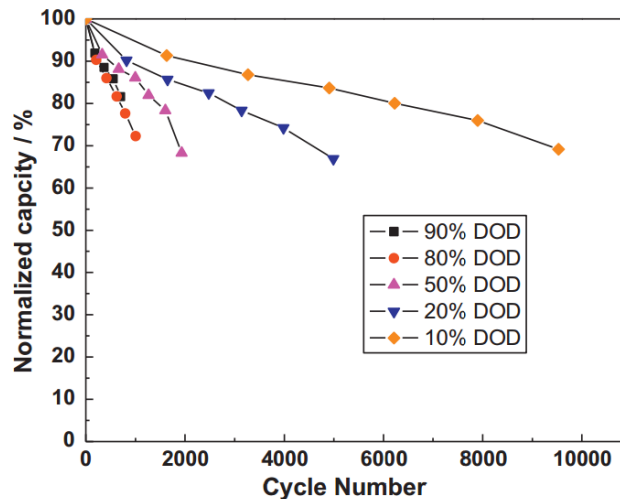


Figura 12. Capacidad vs Ciclos en función de la DOD [36]

Recordando que:

$$DoD = \frac{\text{Capacidad a final de carga}}{\text{Capacidad al inicio de carga}} \quad eq (2)$$

La figura 12, representa la cantidad de ciclos que pueden realizar las baterías en función del DOD válida para baterías li-ion entre otras. Se observa que, para una DOD más elevada, la cantidad de ciclos que se puede realizar es inferior que si se realizan DOD poco profundas. Se considera, que, para DOD altos (más del 50% de DOD), el efecto del mismo no es determinante para calcular la vida final de la batería. Por lo tanto, siguiendo con los cálculos de la (eq. 3) nos queda:

$$c_{pérdidas} = f(t, T, Ratio C) \quad eq (3)$$

### 6.7.2. TEMPERATURA Y TIEMPO

La temperatura es otro de los factores más importantes a tener en cuenta para los ciclos de vida restantes en las baterías. Cuanto más caliente se encuentre la batería, la reacción química será más rápida. Esto se traduce muchas veces en un incremento del rendimiento pero, para el caso de estudio, corresponde también a una pérdida de vida de la batería ya que se producen reacciones químicas no deseadas y, a la vez, también se desvanece antes la capacidad energética de la misma [36].

Basándose en la ecuación de Arrhenius y empleando el modelo propuesto del artículo [36] para calcular las pérdidas de capacidad de las baterías, se obtiene (eq .4):

$$c_p = B \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \cdot t^z \quad eq (4)$$

Y como los Ah (Amperios-hora) son proporcionales al tiempo, es posible substituirlos en la ecuación anterior. Este cambio sirve para poder correlacionar los Ah con el ratio C teniendo en cuenta que a las baterías en segundo van a estar funcionando de forma continua.

$$c_p = B \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \cdot A_h^z \quad eq (5)$$

Dónde:

- ❖  $c_p$ , porcentaje de capacidad perdida
- ❖  $B$ , factor pre exponencial
- ❖  $E_a$ , energía de activación
- ❖  $R$ , constante de los gases
- ❖  $T$ , temperatura absoluta
- ❖  $A_h$ , rendimiento-Ah expresado como:

$$A_h = n^o \text{ ciclos} \cdot DoD \cdot \text{Capacidad. max} \quad eq (6)$$

- ❖  $z$ , factor de potencia

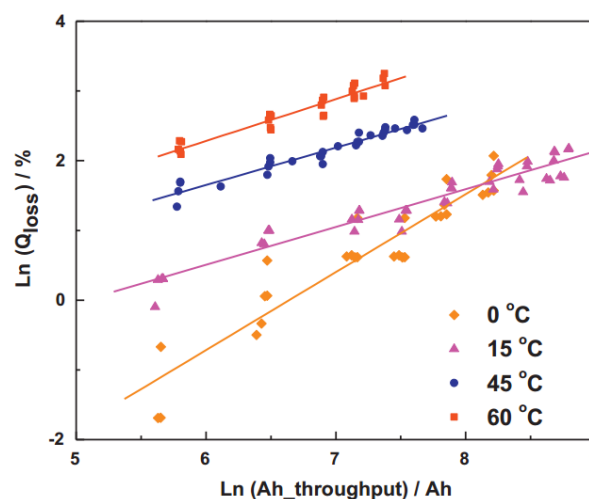


Figura 13. Capacidad Vs Ah en función de la temperatura [36]

### 6.7.3. RATIO C

Por último, para calcular el efecto del ratio C (eq. 7) es necesario añadir el parámetro a la ecuación que permite calcular las pérdidas de capacidad. Para ratios C más altos y parámetros B bajos, la pérdida de capacidad es más notoria en las baterías que para ratios C bajos y parámetros B altos y, por ello, es necesario tener éste parámetro en cuenta a pesar de que los dos parámetros más influyentes para el cálculo son el tiempo (o Ah) y la temperatura (eq. 8).

$$\text{Ratio } C = \frac{h_{\text{descarga total en aplicacion}}}{1h} \quad \text{eq (7)}$$

$$c_p = B \cdot \exp\left(\frac{-31,700 + 370,3 \cdot C}{RT}\right) \cdot A_h^{0,55} \quad \text{eq (8)}$$

Y en la figura 14, se muestra el efecto que tiene el ratio C en las pérdidas de capacidad de las baterías.

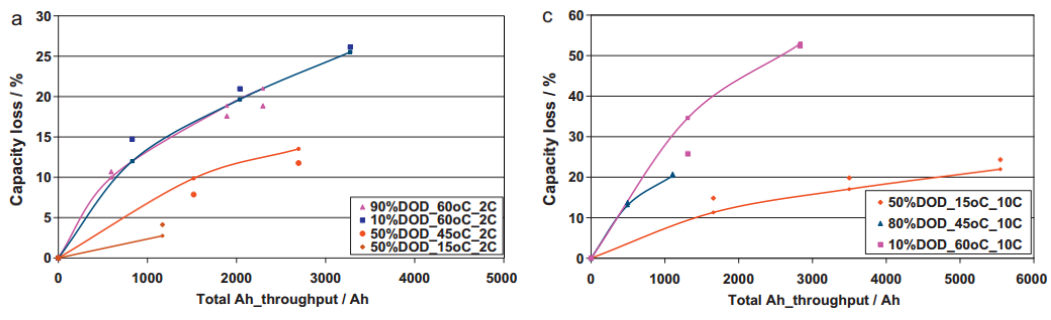


Figura 14. Capacidad Vs Ah para diferentes ratios C [36]

De ésta forma, basándose en el modelo del artículo [36], se obtiene la ecuación (eq.9) que se emplea para determinar la duración de las baterías en las actividades a continuación propuestas. Por otro lado, para obtener el coeficiente B, se calcula la regresión logarítmica de los resultados obtenidos para distintos ratios C extraídos del mismo artículo [36] (figura 15).

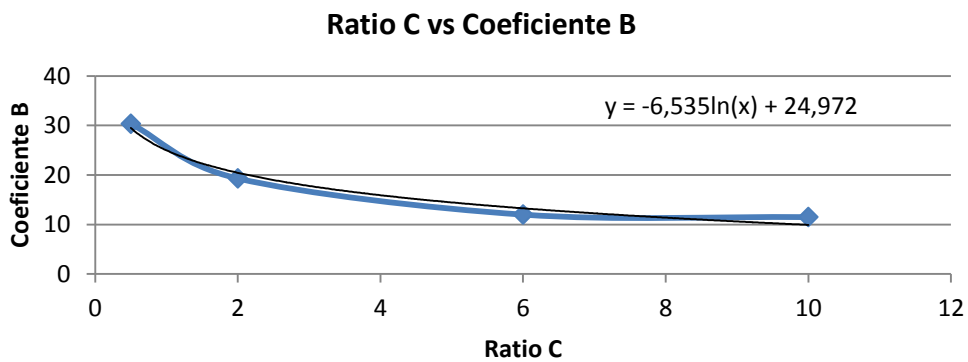


Figura 15. Curva Ratio C vs Coeficiente B [36]

Aislado los ciclos restantes en la eq.9 queda la expresión que se empleará en el siguiente apartado para calcular los propios ciclos restantes para usar las baterías en segunda vida:

$$N^{\circ} \text{ciclos} = \frac{\sqrt[0,55]{\ln\left(\frac{C_p}{-6,535 \ln(C) + 24,972}\right)}}{\frac{-31,700 + 370,3 \cdot C}{R \cdot T}} \quad \text{eq. (9)}$$

## 7. ALTERNATIVAS PARA EL SEGUNDO USO DE BATERIAS DE VE

En este apartado se analizan 3 alternativas para el uso de las baterías eléctricas después de haber cumplido su función en el VE. Se describen sus características más importantes, sus elementos básicos, sus aspectos sociales y medioambientales así como los recursos técnicos y económicos necesarios para llevarlas a cabo (tabla 11).

Tabla 11. Alternativas desarrolladas [Elaboración propia]

Alternativas
Baterías para aparcamientos solares
Baterías para optimizar el consumo energético en los hogares
Baterías para almacenar energía en hogares aislados

Se han seleccionado las 3 alternativas de la tabla 11 porque son alternativas que no requieren de grandes inversiones o de grandes instalaciones y es posible obtener resultados más realistas. Además, se plantean de forma distinta ya que los aparcamientos solares representan una innovación para obtener energía 100% limpia, las baterías en los hogares son un añadido al modo actual de obtención y almacenamiento de la energía y las baterías en hogares aislados se plantean como un sustitutivo de las baterías de plomo.

### 7.1. BATERIAS PARA APARCAMIENTOS SOLARES

La actividad consiste en la instalación de unas baterías capaces de almacenar energía suministrada por unas placas solares con el fin de poder recargar la batería de un VE en un aparcamiento.

El objetivo de esta aplicación es determinar, para una sola plaza de aparcamiento si el coste de la instalación necesaria y su duración hacen que la carga del VE sea más barata que si se conecta en un enchufe convencional en el hogar. Además, esta aplicación se espera innovar en el sistema de carga de

los VE para que los usuarios no tengan que cargar su vehículo en el hogar y puedan hacerlo cómodamente mientras están en el trabajo.

Para una única plaza de parking, tal como pueden ser la de los estacionamientos de las grandes empresas con grandes terrenos destinados a aparcamientos para los trabajadores, se decide instalar un sistema de recarga de VE mediante la captación de energía solar con paneles solares y acumulándola en una batería Nissan Leaf en segunda vida.

Algunas grandes empresas que disponen de paneles solares en sus aparcamientos son las siguientes (figura 16):



Figura 16. Ejemplo aparcamiento con carga solar en L'Oreal (izquierda), Jhonson&Jhonson (derecha) [37]

Estas instalaciones se usan para obtener energía geotérmica y, a su vez, usan estos aparcamientos como “huertos solares” integrados en la infraestructura urbana. No obstante, es posible darles otra utilidad empleándolos para recargar los VE de los empleados de las grandes empresas durante la jornada de trabajo.

Esquemáticamente la instalación para una sola plaza de aparcamiento se representa de la siguiente forma (figura 17) dónde, por una banda existe el sistema de captación y almacenamiento de la energía (banda DC) y por otra la carga que es el VE (banda AC):

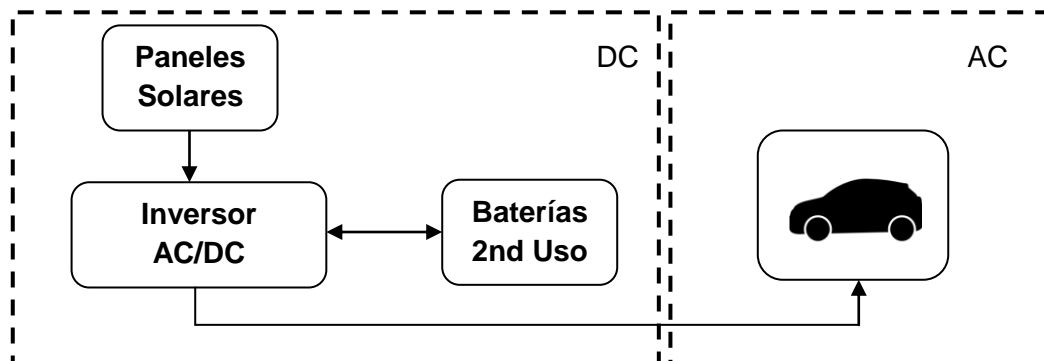


Figura 17. Esquema de la instalación de las baterías para los aparcamientos solares [Elaboración propia]

### 7.1.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN

Para implementar este sistema de carga para los VE, se han escogido los centros comerciales por los siguientes motivos (tabla 12):

Tabla 12. Motivos para implementar aparcamientos solares en centros comerciales [Elaboración propia]

<b>Facilidad para invertir en la implementación de la actividad</b>	Para las grandes empresas no representa una gran inversión poner plazas de aparcamiento solar.
<b>Gran cantidad de plazas de aparcamiento</b>	Facilidad para expandir la actividad si fuera necesario a otras parcelas de aparcamiento
<b>Facilidad para captar energía solar</b>	Los centros comerciales suelen estar en espacios abiertos por lo que las placas solares pueden captar la energía sin que los edificios cercanos puedan afectar en la captación.
<b>Tiempo de carga mientras se realizan las compras</b>	Aproximadamente el 50% [38] de la gente permanece entre 1 y 2 horas en los centros comerciales por lo que hay tiempo de recargar la batería del VE

Además, dentro del territorio español, existen lugares donde el rendimiento obtenido para la captación de energía solar resulta ser mayor (figura 18).

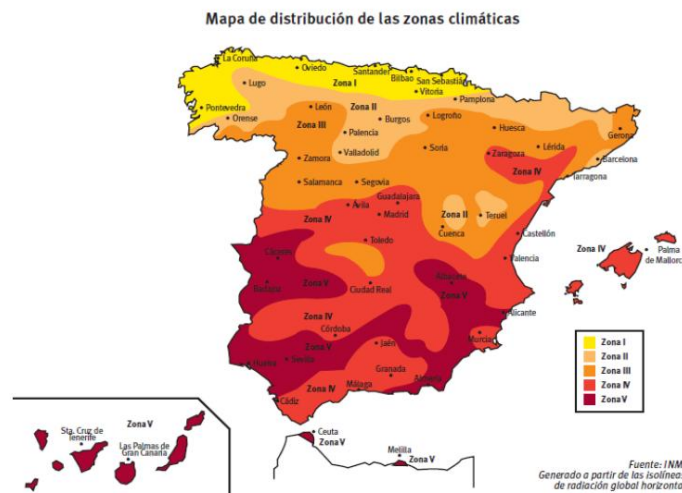


Figura 18. Mapa de distribución de las zonas climáticas en España [39]

De modo que, se puede pensar en establecer la aplicación en zonas como Andalucía, Murcia, Ceuta, Melilla o las islas Canarias para obtener mejores resultados en la captación de energía. Se decide escoger Almería como lugar de aplicación.

## 7.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para poder captar la energía es necesaria la instalación de unos paneles solares. Para ello, es necesario saber las horas de pico solar de las que se disponen en un lugar como Almería para determinar si representa un limitador para la aplicación (tabla 13).

Tabla 13. HPS en Almería para distintos meses del año [40]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HPS	2.82	3.34	4.01	4.57	5.65	6.81	8.33	8.72	7.93	5.91	3.61	3.15

Se observa en la tabla 13 que, para una inclinación óptima de 50° de los paneles, para los meses con menos incidencia solar se pueden obtener 2.82kWh/m<sup>2</sup>/día y par los meses con más incidencia solar 8.73kWh/m<sup>2</sup>/día. Con estos datos tan solo se pretende verificar que la energía solar recibida es igual o superior a la energía que se puede captar con los paneles.

Como podemos ver a continuación, los valores obtenidos de las HPS son más que suficientes para los paneles solares de alta captación que se pueden encontrar en el mercado convencional (tabla 14).

Tabla 14. Características de los paneles solares [41]

Características	Valores
Potencia	0,325 kW
Superficie	2,18 m <sup>2</sup>
Potencia * Superficie	0,149 kW/m <sup>2</sup>
Capacidad energética captada con horas de sol en invierno [44]	1,25 kWh/m <sup>2</sup> /día
Capacidad energética captada con horas de sol en verano [44]	2,25 kWh/m <sup>2</sup> /día
Vida garantizada	25 años

Por otro lado, se escoge un VE a modo de ejemplo para determinar la cantidad de energía que debe transmitirse a las baterías en segunda vida para la posterior carga del VE. El Nissan Leaf puede recorrer 199km [26] con una sola carga por lo que, si se divide la autonomía entre los días laborales de la semana se obtienen 40km de autonomía que se establece como la distancia recorrida diariamente para ir y volver de trabajar.

Esto implica que, de los 24kWh de capacidad que disponen las baterías Nissan Leaf en el VE se debe recargar una media de 4,8kWh/día. Por lo tanto, es necesaria una instalación que pueda suministrar esa carga energética a las baterías del vehículo más el 20% de pérdidas que se producen en el sistema

(inversor + batería) <sup>[43]</sup>. Las baterías se cargan durante el fin de semana debido a que durante los días laborales las horas de sol se aprovechan para cargar el VE, por lo tanto, los paneles suministran directamente la energía al vehículo.

Para un caso de captación energética intermedio de 1,75 kWh/m<sup>2</sup>/día se calcula la superficie de paneles solares necesaria para el desarrollo de la actividad (eq. 10):

$$S_{\text{paneles}} = \frac{Q_{VE}}{\text{Días}_{\text{laborables}} \cdot Q_{\text{sol,día}} + \text{Días}_{\text{fin semana}}(Q_{\text{sol,día}} - Q_{\text{perd,día}})} \quad \text{eq. (10)}$$

El resultado es de 2,07m<sup>2</sup> pero para simplificar se emplearan 2,18m<sup>2</sup> de superficie de panel solar que es la especificada en la tabla 14.

Si hablamos de la batería en segunda vida, hay que tener en cuenta que, durante 5 días a la semana, se descargará durante 9h al día (tiempo aproximado que un trabajador puede dejar estacionado su VE en la empresa a jornada completa) ofreciendo una quinta parte de la capacidad energética que ha captado durante el fin de semana. Durante el fin de semana almacena 7,63kWh y, por lo tanto, durante la semana suministra 1,22kWh/día. En este caso las baterías son importantes ya que, a pesar de que la carga se podría realizar colocando más paneles solares, las baterías proporcionan seguridad frente a días nublados en la los paneles solares vean reducida su eficiencia.

Por otro lado, el ciclo realizado por la batería durante una semana es el siguiente (figura 19):

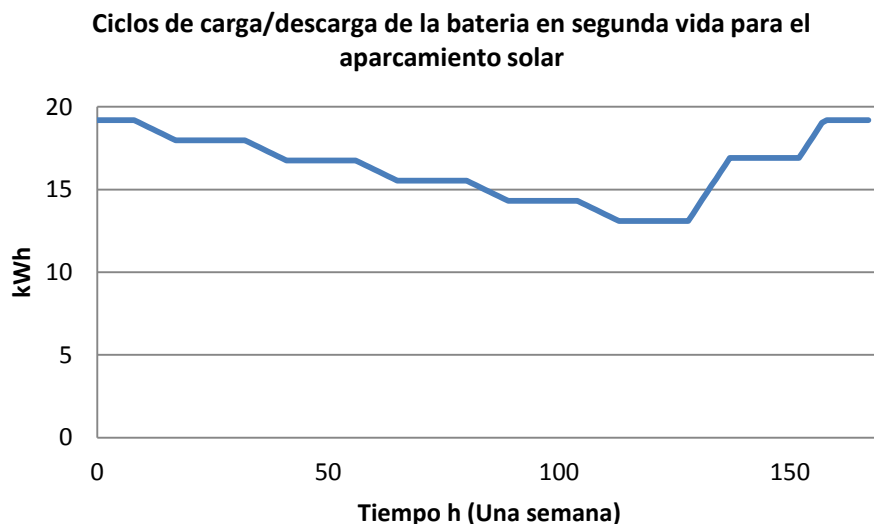


Figura 19. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el aparcamiento solar [elaboración propia]

Para determinar las características técnicas de la aplicación se describen los parámetros de la batería necesarios para poder darle uso a la misma con las ecuaciones del apartado 6.7. y se plasman en la tabla 15.

Tabla 15. Características técnicas para las baterías en los aparcamientos solares [Elaboración propia]

Características	Valores
kWh absorbidos del panel solar	7,63 kWh /semana
Frecuencia de uso	Cada día
Baterías necesarias Nissan Leaf	1
DOD media	40%
Temperatura de trabajo [36]	26,36°C
C-Rate	763C/86400
NºCiclos/años	6904 / 18,91

Para esta aplicación, se prevé que las baterías podrán funcionar durante 6900 o 19 años aproximadamente. Tanto la carga como la descarga de la batería es muy lenta y eso favorece a alargar la vida de la misma.

Finalmente, se considera que el SOH de la batería en función de la capacidad perdida para esta aplicación es del 32% según la ecuación 11:

$$SOH\% = \frac{Q_{final\ segunda\ vida}}{Q_{bateria\ nueva}} = 31,79\% \quad eq. (11)$$

### 7.1.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS

Para poder comparar el coste de cargar el VE en la empresa usando paneles solares y las baterías con la carga en el hogar, es necesario conocer los precios de la energía en horario supervalde pensados para la carga de VE en hogares de 4.6kW contratados (tabla 16). Se compara con la tarifa supervalde para saber si es más barato recargar los VE en el trabajo o en el hogar para el usuario del VE.

Tabla 16. Precios tarifa energética 2.0DHA [44]

Tarifa	Término de potencia (€/kW/mes)	Término de energía €/kWh
		<b>Supervalle</b>
Tarifa 2.0DHS general potencia <10kW	2,970789	0,046932

Los elementos necesarios que deben añadirse a la instalación quedan resumidos en la tabla 17.

Tabla 17. Inversión inicial para las baterías en los aparcamientos solares [Elaboración propia]

Elemento	Cantidad	Precio
Batería Nissan Leaf	1	1670,4 €
Inversor AC/DC (EMS integrado) [45]	1	2415 €
Panel solar	1	295,96 €
<b>Total:</b>		<b>4381,36</b>

Ahora se procede a comparar el coste de cargar el VE en el aparcamiento con paneles solares y el coste de cargarlo en el hogar con la tarifa supervalle para recarga de VE durante 19 años y con un término de potencia para el hogar de 4,6kW (figura 20) empleando las siguientes ecuaciones (eq. 12 y eq. 13):

$$\text{Coste (€) aparcamiento solar} = \text{Inv. inicial eq (12)}$$

$$\text{Coste (€) carga hogar}$$

$$= \text{Años} \cdot (52 \cdot kWh_{semana} \cdot 0,046932 + 12 \cdot 2,970789 \cdot 4,6) \text{ eq (13)}$$

Coste implementación de aparcamientos solares vs carga en los hogares con tarifa supervalle

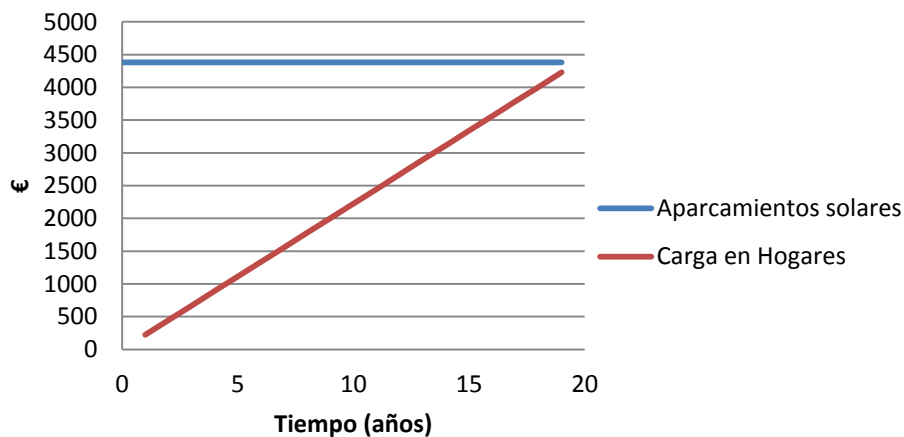


Figura 20. Coste implementación de aparcamientos solares vs carga en los hogares con tarifa supervalle [Elaboración propia]

Por lo que se puede observar en la figura 20, el coste de implementar la instalación es muy parecido al de cargar los VE en el hogar, es decir, el precio de la instalación es superior al precio de utilizar la carga en tarifa supervalle. Aun así, con una reducción del precio del inversor y con el constante aumento de los precios de la electricidad, esta aplicación pronto puede ser rentable económicamente.

#### **7.1.4. IMPACTO AMBIENTAL**

En el impacto ambiental causado cabe destacar que la energía producida en los aparcamientos solares es más limpia ya que se aprovechan las baterías usadas para el almacenamiento de energía 100% solar. Esto implica que con esta aplicación se evitan emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Por otro lado, no se requiere de realizar grandes instalaciones y no se requiere de terreno adicional para su implantación ya que se aprovecha el espacio colocando los paneles en un techo que cubre el propio aparcamiento y dedicando tan solo un espacio para la batería.

#### **7.1.5. IMPACTO SOCIAL**

Los usuarios no tienen que cargar su vehículo en el hogar y pueden hacerlo cómodamente mientras están en el trabajo. El sistema permite al usuario conectar el VE al llegar por la mañana al trabajo y desconectarlo cargado al salir del mismo.

Por otro lado, al ser respetuoso con el medioambiente, ayuda a ser mejor acogido por la sociedad y fomentar su implantación.

Además, la aplicación favorece a la descentralización de la producción energética ya que toda la energía se capta en los aparcamientos solares y no se genera en grandes centrales eléctricas.

Por último, cabe destacar que la aplicación no se encuentra regulada pero su implementación no es ilegal según el real decreto 24/2013 <sup>[14]</sup>.

#### **7.2. BATERIAS PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS HOGARES**

Ésta aplicación para las baterías en segundo uso va orientada a la optimización del consumo energético en los hogares reduciendo el coste de la energía que se emplea a diario.

Para poder reducir el coste de la energía consumida, la misión de las baterías procedentes del VE es la de almacenar energía extraída de la red en horas valle para ser empleada en los momentos en que el precio de la energía es más alto (figura 21).

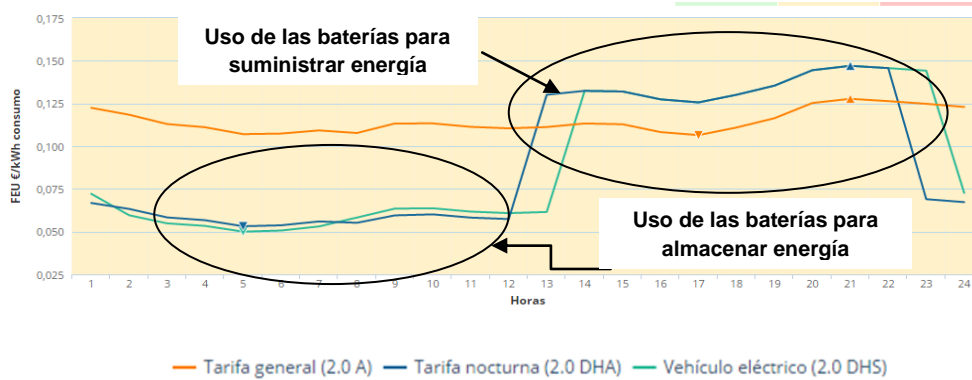


Figura 21. Precio de la energía por tarifas y horarios [46]

Para ello es necesario disponer de un inversor AC/DC capaz para conectar la batería con la red eléctrica como se refleja en la figura 22.

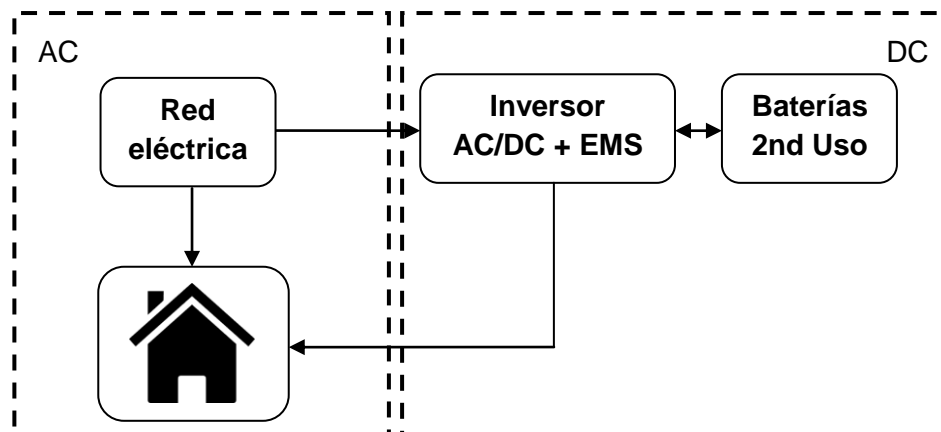


Figura 22. Esquema de instalación batería para consumo energético en el hogar [Elaboración propia]

Además, es necesario que el inversor disponga de un EMS para poder regular de forma inteligente el suministro de energía o el momento en el que la batería debe almacenar energía de la red. El EMS (figura 23) funciona a través de un algoritmo de trabajo capaz de calcular los momentos de consumo energético con precios más elevados y más bajos y es posible visualizar, mediante un software (figura 24), dichos consumos para poder escoger las fuentes de dónde se obtiene la energía para el hogar en cada momento.



Figura 23. Ejemplo de EMS de la empresa Stem [47]

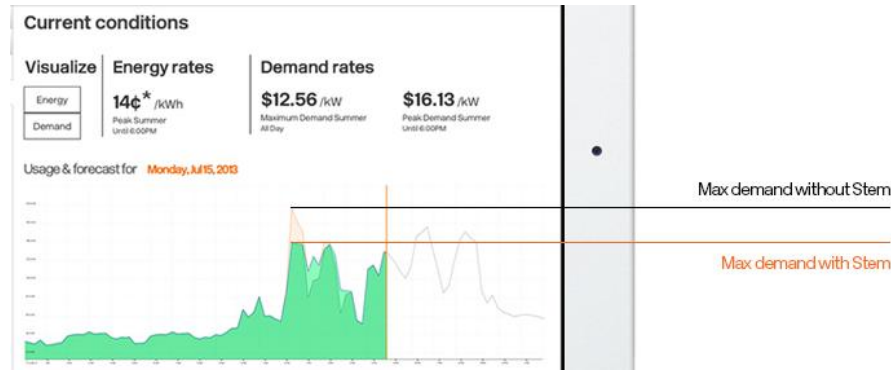


Figura 24. Software para controlar el consumo energético [47]

El beneficio de esta actividad se espera obtener gracias a la diferencia del precio de la energía en horas valle y en horas punta de consumo ya que el dueño del hogar puede analizar las tendencias de consumo energético y modificar las preferencias de las horas de consumo de la red y de la batería.

### 7.2.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN

Esta aplicación está pensada para implementarse de forma general en un hogar con un consumo energético medio y, por eso, no se define ningún lugar de forma particular para su ubicación ya que la única premisa es que el consumo que se realiza en él siga de forma similar la curva de consumo energético de la figura 26. Eso implica que, para la descripción que se realiza a continuación, las baterías se pueden aplicar para esta actividad en todo el estado español.

Por otro lado, para la ubicación de las baterías (tabla 18) dentro de la vivienda, se requiere de cierto espacio para ellas y, por lo tanto, viviendas con parking, desván o habitaciones especialmente empleadas para esto, resultan ideales para instalar las baterías, el inversor y el EMS.

Tabla 18. Motivos para implementar baterías para almacenar energía en los hogares [Elaboración propia]

<b>Gran cantidad de usuarios potenciales</b>	Empleando esta alternativa en los hogares se obtiene una gran cantidad de clientes.
<b>Consumo energético en los hogares</b>	Los kWh consumidos en los hogares medios se adapta adecuadamente al uso de las baterías Nissan Leaf (apartado 7.2.2.)

### 7.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para poder determinar las características técnicas de la aplicación hay que empezar analizando las características requeridas por el hogar en el que se van a implementar las baterías.

El consumo medio anual de electricidad en España en un hogar es de **3.487 kWh** o, dicho de otro modo, **9,55 kWh** diarios <sup>[48]</sup>. Ésta energía debe servir para alimentar a todo tipo de electrodomésticos, iluminación y otros elementos y sistemas del hogar durante todo el día. A pesar de ello, una pequeña parte de la energía se consume durante las horas de valle y, por lo tanto, se consumen directamente de la red y no se almacena en la batería.

Por lo tanto, primero de todo hay que determinar la franja horaria en las que se consumiría energía de la red almacenando energía en la batería y la franja en la que la batería sería la suministradora de la energía para el hogar.

A partir de las tarifas de consumo energético de horas valle (de 22h a 12h) y horas punta (de 12h a 22h) <sup>[49]</sup> se determinan el uso que se le va a dar a la batería. Como de 12h a 22h el precio de la electricidad es más alto van a tratarse de horas de consumo de energía almacenada en la batería y de 22h a 12h se almacenará energía en la batería y se usará directamente para consumir en el hogar (figura 25).

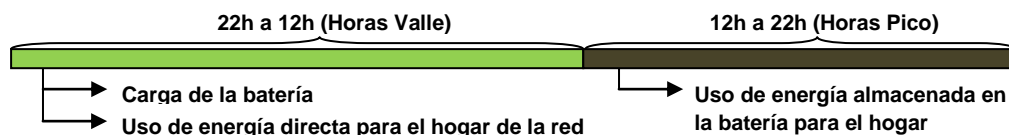


Figura 25. Distinción entre horas valle y horas pico [Elaboración propia]

La batería, por lo tanto, debe almacenar una cantidad de energía suficiente como para poder cubrir las necesidades energéticas en las horas pico. Basándose en los datos extraídos de la Red Eléctrica Española se estima que el consumo en horas para los hogares es el siguiente (figura 26):

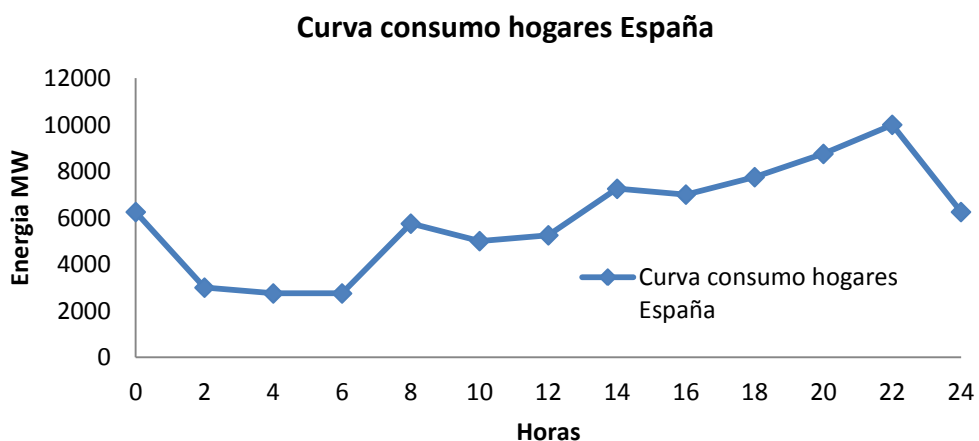


Figura 26. Curva consumo hogares España [50]

Y si se reparten en la misma proporción los 9,55kWh consumidos diariamente en el hogar extraemos los valores de la tabla 19.

Tabla 19. Consumo medio por hogar en kWh [Elaboración propia]

Horas	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Consumo medio por hogar en kWh	0,83	0,40	0,37	0,37	0,77	0,67	0,70	0,97	0,93	1,03	1,17	1,33

Dicho de otra forma, el consumo medio es:

- ❖ De 22h a 12h: **4,107 kWh**
- ❖ De 12h a 22h: **5,443 kWh**

Por lo que en las baterías es necesario almacenar 5,443 kWh en las horas valle más las pérdidas producidas al almacenar y suministrar la energía para el hogar que son del 20% (un 10% para cada acción) para las baterías de li-ion e inversor [43]. En otras palabras, si se suman las pérdidas energéticas, las baterías necesitan absorber 6,531 kWh de la red de media.

De esta forma, la DOD y el Ratio C se pueden calcular usando las ecuaciones del apartado 6.7 cuyos resultados se muestran en la tabla 20. Por otro lado, los ciclos que realiza la batería mientras trabaja se muestran en la figura 27.

Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el hogar

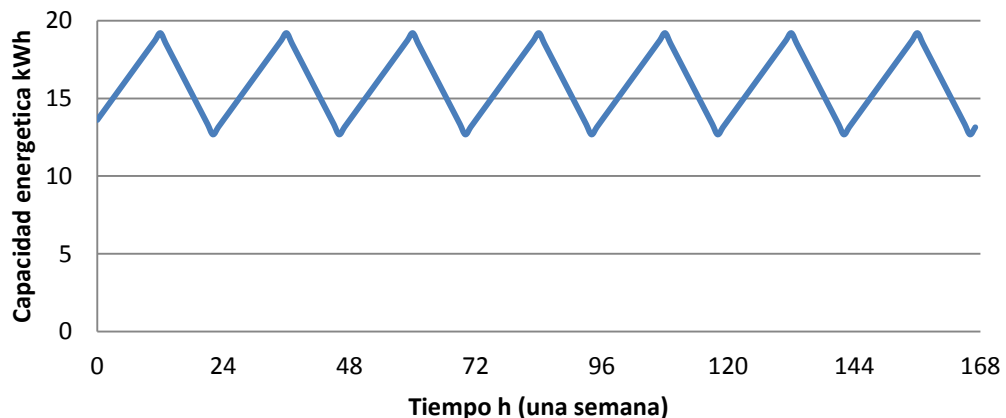


Figura 27. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el hogar [Elaboración propia]

Finalmente, el tiempo que van a durar las baterías se calcula determinando la pérdida de capacidad máxima que puede tener la batería para seguir realizando su función y, suponiendo en el mejor de los casos que la batería puede perder capacidad hasta los 6,531 kWh que necesita obtener mínimo de la red, el porcentaje de capacidad energética máxima que puede perder es del 65%.

De esta forma, substituyendo los parámetros de la ecuación 9, el tiempo que duran las baterías para una aplicación como ésta es de unos 5 años aproximadamente y de unos 1760 ciclos.

Para determinar las características técnicas de la aplicación se describen los elementos necesarios para poder darle uso a la misma (tabla 20):

Tabla 20. Características técnicas para las baterías en el hogar [Elaboración propia]

Características	Valores
kWh absorbidos de la red de media	6,53 kWh /dia
Frecuencia de uso	Cada dia
Baterias necesarias Nissan Leaf	1
DOD media	31%
Temperatura de trabajo [36]	26,35 °C
C-Rate	31C/1000
NºCiclos/años	1757,12 / 4,81

Finalmente el SOH de la batería en función de la capacidad perdida es el siguiente:

$$SOH\% = \frac{Q_{final\ segunda\ vida}}{Q_{bateria\ nueva}} = 27,20\% \quad eq. (11)$$

### 7.2.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS

En cuanto a las características económicas, uno de los valores más importantes es la diferencia de precio entre la energía consumida en hora punta y en hora valle ya que cuanto más diferencia más beneficio se puede obtener de la aplicación (tabla 21). Hay que tener en cuenta que para un hogar medio la potencia contratada es de 4.6kW y con el uso de baterías la potencia contratada puede ser la mínima de 2,3kWh.

Tabla 21. Precios tarifa energética 2.0DHA [51]

Tarifa	Término de potencia (€/kW/mes)	Término de energía €/kWh	
		Punta	Valle
Tarifa 2.0DHA (discriminación horaria) general potencia ≤10kW	3,083185	0,151791	0,072024
<b>Tarifa 2.0A</b>		0,132333	

Por otro lado, los elementos necesarios que deben añadirse a la instalación quedan resumidos en la tabla 22.

Tabla 22. Inversión inicial para las baterías en los hogares [elaboración propia]

Elemento	Cantidad	Precio
Batería Nissan Leaf	1	1670,4 €
Inversor AC/DC (EMS integrado) [45]	1	2415 €

El precio del inversor es bastante elevado porque en el mercado aún no existen propuestas que se adapten específicamente para la actividad propuesta.

A partir de los datos técnicos y los económicos, es posible establecer una comparación del coste de consumir electricidad en el hogar empleando la batería en segunda vida o bien sin ella (figura 28). Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Coste (€) con baterías} \\ = \text{Inv. inicial} + 3,0831 \cdot 2,3 \cdot 12 \cdot t + 0,07202 \cdot kWh \cdot 365 \\ \cdot t \quad eq (14) \end{aligned}$$

$$\text{Coste (€) sin baterías} = 3,0831 \cdot 4,6 \cdot 12 \cdot t + 0,13233 \cdot 365 \cdot t \quad eq (15)$$

t = años

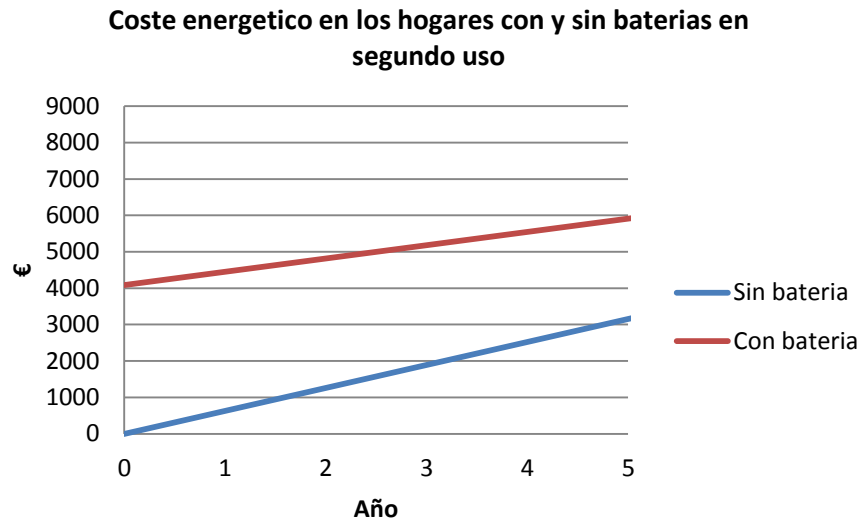


Figura 28. Coste del consumo energético en los hogares empleando y sin emplear baterías en segundo uso [Elaboración propia]

Como se puede observar en la figura 28, no resulta rentable invertir en ésta aplicación ya que a los 5 años las baterías no pueden seguir cumpliendo su

función en ésta aplicación y su coste es superior a la cantidad económica que se ahorra en el uso de las mismas.

La obtención de la energía resulta más barata empleando las baterías en segundo uso, no obstante, el inversor y la batería resultan una inversión demasiado elevada como para poder hacer frente al precio de la electricidad contratada con tarifa plana. Esto implica que, bajo las condiciones de estudio, no se esperan impactos económicos.

En el momento en que los costes de emplear las baterías estén por debajo de los costes de obtención de energía con tarifa plana, se puede generar un interés por parte de los usuarios para dotar los hogares con baterías usadas.

#### **7.2.4. IMPACTO AMBIENTAL**

Éste tipo de instalaciones se pueden adaptar dentro de grandes viviendas o de pisos que dispongan del suficiente espacio para la instalación de una batería Nissan Leaf mas el convertidor AC/DC y el EMS. Esto implica que tan sólo se debe realizar una pequeña instalación en propiedades privadas evitando realizar cualquier infraestructura a nivel público.

Por otro lado, el hecho de usar las baterías, implica la necesidad de absorber más energía de la red (para hacer frente a las pérdidas producidas por el inversor y la batería). Esto implica que, el consumo de energía aumenta a pesar de que ésta sea más barata. Si se comparan las 14h de valle por los 6,54kWh consumidos salen 0,46kWh consumidos por hora mientras que si se compra la energía sin las baterías durante las horas pico serían necesarios los 5,443kWh durante 10h, es decir 0,54kWh. No obstante, el total de kWh consumidos con las baterías es superior que sin el uso de las mismas. Si a esto le sumamos que la energía no proviene de fuentes renovables, implica un aumento de contaminación.

Además, al no tratarse de una alternativa que substituya una instalación o un dispositivo (ya que es un añadido al sistema de obtención de energía en el hogar), no existe una mejora ecológica por el hecho de re utilizar las baterías y dejar de fabricar otros equipos o elementos para la aplicación.

#### **7.2.5. IMPACTO SOCIAL**

Con esta aplicación, al auto regularse el consumo de la energía por parte de los usuarios, se generan nuevos hábitos en el modo de emplear la misma.

Esto puede repercutir en la creación de tendencias para consumir energía de forma más descentralizada en un futuro ya que, por ahora, según el real decreto, esta actividad estaría prohibida por ley <sup>[15]</sup>.

### 7.3. BATERIAS PARA ALMACENAR ENERGIA EN HOGARES AISLADOS

Ésta aplicación está pensada para generar y ofrecer energía a hogares dónde no llega la red eléctrica donde ya existen sistemas de obtención de energía con placas solares pero el almacenamiento de energía se realiza con baterías de plomo.

La actividad está ideada para desarrollarse en hogares de ámbito rural dónde la red eléctrica no llega y requieren de sistemas alternativos para dotarse de energía.

Para ello se considera que el consumo en los hogares rurales es el mismo que en un hogar medio, **9,55 kWh** al día, y que solo se producirá tal consumo los fines de semana mientras que entre semana los paneles solares captan energía para almacenarla en las baterías en segunda vida. Dicho de otro modo, la actividad está pensada para aquellos usuarios que residen en las ciudades o en otros lugares durante los días laborables y los fines de semana deciden trasladarse a una casa situada en un lugar sin conexión a la red.

El esquema de la instalación sería el siguiente (figura 29):

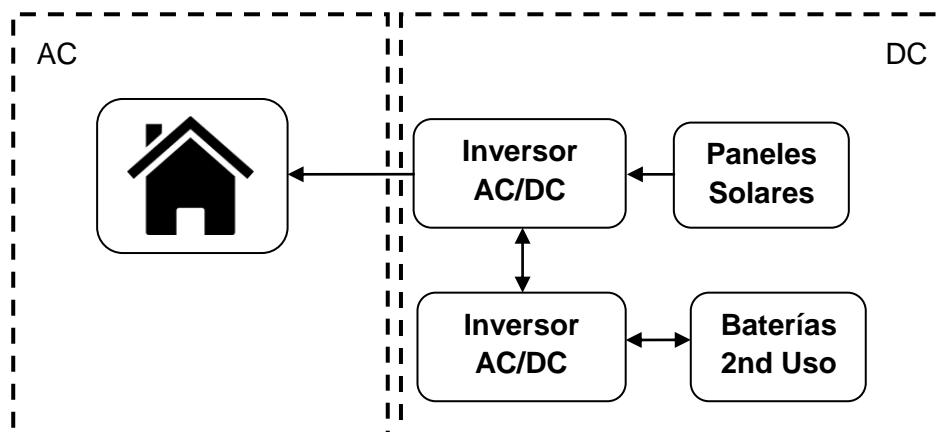


Figura 29. Esquema de instalación batería para hogares aislados [elaboración propia]

En la figura 29, se observa cómo, a través de la captación de la energía con paneles solares, ésta pasa por el inversor y almacena la energía en las baterías que, posteriormente, será empleada para alimentar los electrodomésticos y sistemas en el hogar.

El objetivo, por lo tanto, es determinar si la substitución de las baterías de plomo-ácido por las de litio en segunda vida resulta rentable económicamente teniendo en cuenta las características técnicas de las mismas.

### 7.3.1. LUGAR DE LA IMPLEMENTACIÓN

El lugar de implementación idóneo es aquel que se encuentre apartado de los grandes núcleos urbanos el cual no disponga de conexión a la red eléctrica y al cual le incida suficiente luz durante la semana para poder captar energía y almacenarla en las baterías.

Como pasa con la aplicación del apartado 7.1. cuanto más al sur de España se vaya, más energía solar se puede captar. Para esta aplicación, por lo tanto, se escoge Almería de nuevo como zona para poner en práctica la aplicación (tabla 23).

**Tabla 23. Motivos para implementar baterías de li-ion en hogares aislados en el sur del país [Elaboración propia]**

<b>Mayor captación de energía solar</b>	Se obtienen mayores cantidades de energía ya que las HPS son más en el sur de España.
<b>Mayor capacidad que las baterías de plomo-ácido</b>	Como los hogares aislados con sistemas de captación utilizan principalmente baterías de plomo, es un buen lugar para aplicar las de li-ion y sustituirlas.

### 7.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para poder determinar las características técnicas de la instalación es necesario conocer la cantidad energética que se deberá suministrar. Como se ha definido que el consumo es el mismo que el de un hogar medio y que la instalación se usa durante el fin de semana, se requiere de 19,1 kWh cada fin de semana (aproximadamente).

Tan sólo con este dato y teniendo en cuenta que a la batería del Nissan Leaf le quedan 19,2 kWh de media al finalizar su primera vida, resulta necesario pensar en la implementación de 2 baterías para la aplicación.

Por lo tanto, con la capacidad energética de dos baterías (38,4 kWh) y teniendo en cuenta un 20% de las pérdidas producidas en la propia batería y en el inversor, se requerirá de 22,92 kWh (19,1 kWh demandados por el hogar + 20% de pérdidas). Esto implica captar, entre semana, una media de 4,58 kWh diarios para ser almacenados en las baterías.

Para poder comparar las baterías de li-ion con las de plomo-acido se va a usar un kit a modo de ejemplo <sup>[52]</sup> el cual es capaz de proporcionar 9,6 kW/día en verano y 4,8 kW/día en invierno. Con este kit es posible almacenar los 4,58kWh diarios necesarios para dar servicio a la aplicación.

El ciclo realizado por las baterías Nissan Leaf en segunda vida para la actividad sería el siguiente (figura 30) teniendo en cuenta las horas de sol en invierno y en verano <sup>[42]</sup>:

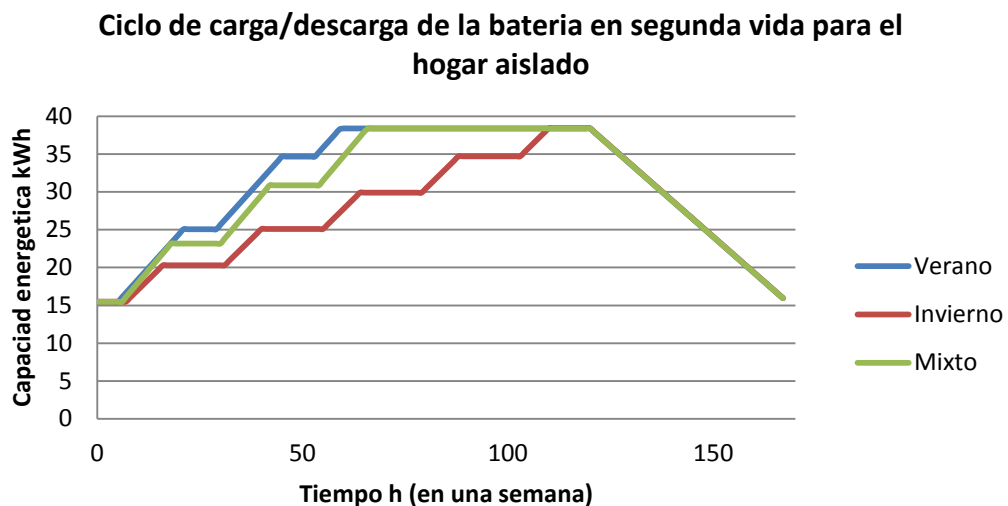


Figura 30. Ciclos de carga/descarga de la batería en segunda vida para el hogar aislado [Elaboración propia]

A partir de la potencia necesaria, es posible determinar los parámetros de las baterías li-ion en segunda vida que con las ecuaciones del apartado 6.7 y comparar sus características con las características más relevantes de las baterías de plomo-ácido (tabla 24). De nuevo, los ciclos/años que puedan dar servicio las baterías en segundo uso se calculan con la ecuación 9 teniendo en cuenta que las baterías pueden perder capacidad energética hasta poder almacenar como mínimo 22,92 kWh.

Tabla 24. Características técnicas para las baterías en hogares aislados [Elaboración propia]

Características	Valores	
	Baterías Nissan Leaf (2nda Vida)	Baterías de Plomo-ácido
kWh absorbidos de las placas solares	4,584 kWh /dia (5 días a la semana)	
Frecuencia de uso	Cada día	Cada día
Baterías necesarias	2	16
DOD media	59%	
Temperatura de trabajo [36]	27,51 °C	
C-Rate	3C/250	
NºCiclos/años	1060,74 / 20,39	- / 10 (según vendedor)

Los años que puede durar en este tipo de instalación una batería en segunda vida del Nissan Leaf es de aproximadamente 20 años y de unos 1060 ciclos según los resultados obtenidos.

Finalmente el SOH de la batería en función de la capacidad perdida es el siguiente:

$$SOH\% = \frac{Q_{final\ segunda\ vida}}{Q_{bateria\ nueva}} = 47,75\% \quad eq. (11)$$

### 7.3.3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS

Los elementos necesarios que deben añadirse a la instalación quedan resumidos en la tabla 25.

Tabla 25. Elementos a incluir en la instalación [elaboración propia]

Elemento	Cantidad	Precio
Batería Nissan Leaf	2	3340,8 €

Y los elementos a substituir en la instalación (tabla 26):

Tabla 26. Elementos a substituir en la instalación [elaboración propia]

Elemento	Cantidad	Precio
Baterías de Plomo	16	4075,84 €

Si comparamos en una gráfica (figura 31) los elementos de las tablas 25 y 26, se puede ver de forma clara cómo, para este caso, aplicar las baterías de li-ion en segunda vida en vez de las de plomo-ácido nuevas es mucho más rentable. Para ello, se emplean las ecuaciones 16 e 17.

$$\text{Coste } (\text{€}) \text{ con baterías Li – ion} = \text{Coste baterías (Li – ion)} \quad \text{eq(16)}$$

$$\text{Coste } (\text{€}) \text{ con baterías Plomo – ácido} = \text{Coste baterías (plomo – ácido)} \quad \text{eq(17)}$$

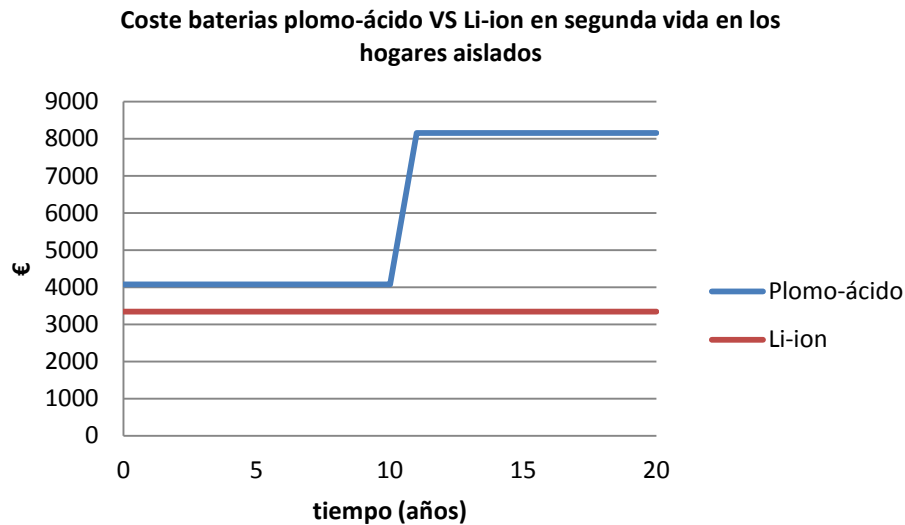


Figura 31. Coste baterías de plomo-ácido vs Li-ion en segunda vida en los hogares aislados [Elaboración propia]

Esta aplicación puede obtener buenos resultados económicos ya que no presenta puntos negativos respecto a la alternativa de usar baterías de plomo-ácido. Se puede esperar una buena acogida en el mercado de las baterías en segunda vida a diferencia de las dos aplicaciones anteriores que aún deben madurar para poder ser rentables económicamente.

#### 7.3.4. IMPACTO AMBIENTAL

Con el uso de las baterías en segunda vida es posible reducir el impacto medioambiental de la aplicación ya que se evitaría fabricar nuevas baterías de plomo. Las baterías de plomo-ácido son nocivas para el medioambiente [53] acidifica las aguas causando efectos graves en los ecosistemas acuáticos como ríos y lagos y afectando a toda la cadena alimenticia.

Para las personas, la manipulación con ciertos elementos de las baterías de ácido-plomo puede producir quemaduras o irritaciones entre otros efectos.

Por otro lado, del mismo modo que sucede con las aplicaciones anteriores, no se requiere de instalaciones adicionales para implementar las baterías y por lo tanto no es necesario realizar infraestructuras a nivel público.

#### 7.3.5. IMPACTO SOCIAL

Para todos aquellos propietarios de viviendas sin acceso a la red eléctrica, es una aplicación perfecta para ahorrar dinero y por el hecho de ser una alternativa

más respetuosa con el medioambiente por emplear baterías menos contaminantes.

Se favorece también la venta de VE ya que se da conciencia de que existen distintos usos para las baterías que han acabado su vida en el VE y que por lo tanto se pueden amortizar.

Además, su uso para casas aisladas no está regulado pero es legal su instalación y su uso según el real decreto <sup>[15]</sup>.

#### **7.4. OTRAS ALTERNATIVAS**

Existen muchas otras alternativas para el uso de las baterías eléctricas que no se han analizado por necesitar de grandes instalaciones y pensadas para elevadas potencias, servicios de red, etc. como pueden ser las siguientes:

- ❖ Soporte a las energías renovables
- ❖ La reserva de energía distribuida por nodos para las telecomunicaciones
- ❖ Desplazamiento en la transmisión de la energía

##### **7.4.1. SOPORTE A LAS ENERGIAS RENOVABLES**

En el mercado de las energías renovables, la generación de energía eólica está en buena posición para producir gran cantidad de electricidad. Además, resulta interesante debido al relativo bajo precio de producción de la propia energía y la disponibilidad de regiones favorables para la instalación de aerogeneradores gracias a sus características geográficas y condiciones climatológicas (sobretudo cerca de la costa dentro del mar o en zonas montañosas más o menos elevadas dónde se genera viento de forma abundante).

Por todo esto, los efectos únicos producidos por las fluctuaciones producidas por los aerogeneradores también aumentarán en la red a medida que aumente la cantidad de energía generada por éstos. Esto quiere decir, que los efectos negativos resultan más notorios a medida que su porcentaje en el mercado sea más representativo. No obstante, el almacenamiento de la energía producida puede ayudar a integrar de forma progresiva la generación de dicha electricidad a través de la mitigación de los efectos menos deseables generados por la misma.

Hay que tener en cuenta que el ciclo que sigue cada batería depende de la fuente renovable para la que trabaje pero frecuentemente las baterías se descargaran profundamente de forma diaria.

El beneficio de la aplicación se encuentra en las ventas de la energía almacenada extra en los momentos de alta producción energética y en no recibir penalizaciones por no llegar a los mínimos de producción establecidos <sup>[54]</sup>. También en la reducción de la volatilidad que consiste en eliminar las fluctuaciones en la generación de energía eólica de corta duración producidas por las variaciones en la salida de la propia energía del aerogenerador.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la dispersión geográfica de los aerogeneradores implica una alta diversidad en la volatilidad resultante para cada región. De este modo, si los aerogeneradores se conectan a la red, el sistema puede producir grandes fluctuaciones al generar energía. La más modesta volatilidad puede significar la necesidad de usar recursos suplementarios para otorgar capacidad y energía.

Basándose en estudios realizados <sup>[55]</sup>, a pesar del tipo de área en el que se localicen los aerogeneradores, se puede asumir una diversificación buena con un almacenamiento del 2% al 3% de la energía eólica generada <sup>[54]</sup>. Estos porcentajes son capaces de reducir la volatilidad de más y reducir la necesidad de realizar la regulación por área.

#### **7.4.2. RESERVA DE ENERGIA DISTRIBUIDA POR NODOS PARA LAS TELECOMUNICACIONES**

Para este caso, las baterías de plomo ya proporcionan una solución energética para los nodos distribuidos del sistema de telecomunicaciones cuando se producen cortes en los servicios eléctricos.

El hecho de que se vayan a substituir las baterías de plomo por otras como las de Li-ion parece ser un hecho poco probable, no obstante, algunas de estas baterías ya se suministran a modo de prueba para las aplicaciones de nodos de telecomunicaciones.

Debe tenerse en cuenta que es necesario minimizar el coste cada vez que se llama o se requiere del servicio. Por eso se precisa que el sistema sea lo más fiable posible siendo capaz de entregar la potencia y la capacidad indicada.

La utilización del sistema de baterías se activa cada dos años (de forma aproximada). Esto es así porque esta aplicación está pensada para trabajar como sistema de reserva en caso de emergencia. De todos modos, el envejecimiento a altas temperaturas en el interior de los equipos de telecomunicaciones pasa factura a las baterías reduciendo su vida hasta un año ya que éste experimento ya se ha realizado con baterías VRLA (Baterías de plomo reguladas por válvulas).

El beneficio en la aplicación resultaría en el cambio de las baterías actuales por unas de Li-ion, capaces de durar más ciclos y, por lo tanto, alargando el tiempo de reemplazo entre baterías.

### 7.4.3. DESPLAZAMIENTO EN LA TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA

Otra de las alternativas que ofrecen la posibilidad de obtener beneficios en el mercado eléctrico es la transmisión y distribución del desplazamiento de carga al 90% de resistencia de cableado.



Figura 32. Ratio de pérdidas por transmisión y distribución por pico de carga [56]

El flujo energético que se transmite desde las centrales de generación de energía hacia los centros de carga (figura 32) a través de la red implica una serie de pérdidas a causa de la resistencia ofrecida por los cables y otros equipos en la transmisión, substracción y distribución de la propia energía. Estas pérdidas son proporcionales al cuadrado del flujo de corriente y, usando sistemas de almacenamiento para modificar o cargar parte de esta intensidad cuando hay un pico de demanda, es posible la posterior redistribución y uso de la misma en los valles de demanda (figura 33).

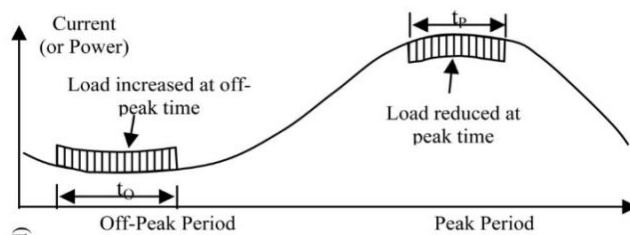


Figura 33. Carga reducida en pico y aumentada en valle [56]

Por lo tanto, el propósito de la implantación de la alternativa es reconducir las pérdidas en los valles para minimizar su impacto económico y, de éste modo, reducir costes de generación de electricidad traduciendo esta reducción de costes en beneficios además de alargar la vida de las instalaciones que trabajan al límite ofreciendo el máximo de sus prestaciones.

## 8. CONCLUSIONES

Una vez presentados los resultados tanto técnicos como económicos para las 3 aplicaciones desarrolladas y, habiendo estudiado los pasos necesarios para la obtención, testeo y reutilización de las baterías, se llega a la conclusión de que el mercado de las baterías eléctricas en general se encuentra en un estado embrionario.

Aún faltan muchas baterías en segunda vida en el mercado para poder reutilizarlas a un bajo precio ya que hasta el año 2025 eso no sería posible y la tecnología en el sector de las energías puede variar mucho en 10 años.

De todos modos, bajo las suposiciones realizadas a lo largo del estudio, se presenta una tabla resumiendo las características más interesantes de las actividades analizadas (tabla 27):

Tabla 27. Cuadro resumen de alternativas [elaboración propia]

Características	Alternativas		
	Baterías para aparcamientos solares	Baterías para optimizar el consumo energético en los hogares	Baterías para almacenar energía en hogares aislados
Duración en 2ª Vida (años)	19	5	20
SOH final de la batería (%)	31,79	27,20	47,75
Mejora medioambiental	Si	No	Si
Beneficio/ahorro (€/año)	8	-283	240

De forma rápida se observa como la primera actividad prácticamente no genera beneficios a pesar de que su implantación promueve el uso del VE y por lo tanto repercute en mejoras medioambientales. La segunda actividad no reporta beneficios y es más contaminante que usar la energía en los hogares directamente de la red y la tercera alternativa sí que ayuda a ahorrar unos 240€ al año respecto al uso de baterías de plomo-ácido que además son mucho más contaminantes.

Por otro lado, existen otras aplicaciones no estudiadas como la regulación por área que, según algunos estudios <sup>[18]</sup>, pueden reportar beneficios siempre y cuando se desarrollen grandes infraestructuras y absorban gran cantidad del mercado de baterías en segundo uso.

La compra de baterías en segundo uso es un incentivo para los fabricantes de baterías y de VE para poder fabricar vehículos más baratos ya que pueden amortizar los costes del reciclaje.

Además, la legislación vigente respecto a la producción y distribución de la energía de muchos países, como por ejemplo la de España <sup>[57]</sup>, no permite o no ayuda al impulso de las energías renovables ni a toda la tecnología que las rodea. Aun así existen muchas aplicaciones para el segundo uso de las baterías (figura 3) y mucha tecnología por desarrollar, tanto para las propias baterías (con nuevas químicas con mejor eficiencia energética) como para las aplicaciones a las que van dirigidas.

En un futuro, dónde exista un mercado competitivo de baterías y los precios de las mismas se abaraten, será posible sacar beneficio real de varias aplicaciones siempre que las políticas de los países que desarrollen este tipo de actividades sean más flexibles con las leyes que regulan la distribución y producción de energía.

## 9. PLANIFICACIÓN

Enumeración de las actividades realizadas (tabla 28) y planificación de las mismas (tabla 29):

**Tabla 28. Actividades realizadas**

Numeración	Nombre de actividad	Fecha de inicio	Fecha de finalización
1	Recopilación de información	13/03/2014	05/01/2015
2	Lectura y selección de la información	13/03/2014	05/01/2015
3	Resumen	27/03/2014	27/03/2014
4	Introducción	28/03/2014	15/04/2014
5	Exploración del mercado de baterías y selección de la misma	20/04/2014	10/05/2015
6	Método de obtención de baterías y lugares para hacerlo	12/05/2014	22/05/2014
7	Método de testeo de las baterías	1/06/2014	29/07/2014
8	Calculo de los ciclos restantes en las baterías	2/08/2014	11/08/2014
9	Redactar	12/08/2014	30/08/2014
10	Estudio de las distintas alternativas para el uso de las baterías	2/09/2014	10/12/2014
11	Aplicación: Baterías para aparcamientos solares	15/01/2014	13/02/2015
12	Aplicación: Baterías para optimizar el consumo energético en los hogares	15/01/2014	16/02/2015
13	Aplicación: Baterías para almacenar energía en los hogares aislados	15/01/2014	17/02/2015
14	Planteamiento de otras alternativas	11/12/2014	08/01/2015
15	Redactar	23/12/2014	15/03/2015
16	Conclusiones	12/01/2015	15/03/2015

Tabla 29. Planificación

Apartado	2014										2015		
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	■												
4	■	■											
5		■	■										
6			■										
7				■	■								
8						■							
9						■							
10							■	■	■	■			
11											■	■	
12											■	■	
13											■	■	
14											■	■	
15											■	■	■
16													■

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MIT. *A guide to understanding battery specifications* [En línea]. MIT Electric Vehicle Team, Diciembre 2008. [Consulta: 29 Marzo 2014]. Disponible en: [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)
- [2] Scribd. *Baterías de litio* [En línea]. Ismael Simón Carrasco. [Consulta: 2 Abril 2014]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>
- [3] Scopus. *Slashing the cost of EV battery preproduction* [En línea]. Ed. Richardson, 2011. [Consulta: 5 Mayo 2014]. Disponible en: <http://www.scopus.com/>
- [4] IEEE Xplore. *Second Use of Retired Lithium-ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model*. [En línea]. Wen-Chen Lih, Jich-Hwang Yen, Fa-Hwa Shich, Yu-Min Liao, 2012. [Consulta: 5 Mayo 2014]. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6228326>
- [5] UNFCCC. protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. [En línea]. Naciones Unidas, 1998. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [6] EIA. *How much energy is consumed in the world by each sector*. [En línea]. United States: U.S. Energy Information Administration, 02 Noviembre 2014. [Consulta: 11 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=447&t=1>
- [7] C2ES. *Transportation modes*. [En línea]. C2ES 2013. [Consulta: 04 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.c2es.org/technology/factsheet/TransportationModes>
- [8] About.com Vida verde. *Las energías renovables* [En Línea]. Luz Guerrero. [Consulta: 25 marzo 2014]. Disponible en: <http://vidaverde.about.com/od/Tecnologia-y-arquitectura/tp/Las-Energias-Renovables.htm>
- [9] University of Oxford. *World oil reserves at 'tipping point'* [En línea]. Oxford: 24 Marzo 2010. [Consulta: 25 Marzo 2014]. Disponible en: [http://www.ox.ac.uk/media/news\\_stories/2010/100324.html](http://www.ox.ac.uk/media/news_stories/2010/100324.html)
- [10] La Vanguardia. *Nuevos indicios del fin de la era petrolera* [En línea]. Barcelona: Andy Robinson, 30 Marzo 2010. [Consulta: 13 Marzo 2014]. Disponible en:

- <http://www.lavanguardia.com/economia/20100330/53899197480/nuevos-indicios-del-fin-de-la-era-petrolera.html>
- [11] ASPO. *Giant Oil fields – Highway to Oil* [En línea]. Fredrik Robelius. [Consulta: 13 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.peakoil.net/GiantOilFields.html>
- [12] Researchgate. *A cost analysis of electric vehicle batteries second life businesses*. [En línea]. Barcelona: Lluc Canals Casals, Beatriz Amante García, Margarita González Benítez, 2 octubre 2014. [Consulta: 17 Noviembre 2014]. Disponible en: [www.researchgate.net/publication/266322044\\_A\\_cost\\_analysis\\_of\\_electric\\_vehicle\\_batteries\\_second\\_life\\_businesses](http://www.researchgate.net/publication/266322044_A_cost_analysis_of_electric_vehicle_batteries_second_life_businesses)
- [13] Neubauer, Jeremy Pesaran, Ahmad. “The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications”. *Journal of Power Source*, vol.196, (2011), p.10351-10358.[Consulta: 24 febrero 2014]. ISSN 23. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378775311012377>
- [14] BOE. *Ministerio de industria, energía y turismo*. [En línea]. Madrid: Ministerio de industria, energía y turismo, 27 Diciembre 2013. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>
- [15] Fraunhofer. *Market evolution scenarios for electric vehicles* [En línea]. Martin Wietschel, Patrick Plötz, André Kühn and Till Gnann, Setiembre 2013. [Consulta: 5 Mayo 2014]. Disponible en: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/NPE\\_TCO\\_Bericht\\_en.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e/de/publikationen/NPE_TCO_Bericht_en.pdf)
- [16] ACS. *Understanding the life of lithium ion batteries in electric vehicles*. [En línea]. Abril 2013. [Consulta: 5 Mayo 2014]. Disponible en: <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2013/april/understanding-the-life-of-lithium-ion-batteries-in-electric-vehicles.html>
- [17] MIT Technology Review. *Baterías inteligentes para reducir las facturas eléctricas de los edificios*. [En línea]. Opino, 7 Noviembre 2012. [Consulta: 19 Marzo 2014]. Disponible en: [http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=41709](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=41709)
- [18] Forococheselectricos. *Nissan desarrolla un sistema de recarga solar con baterías usadas del Leaf* [En línea]. Fernando Muniz, 12 Julio 2011. [Consulta: 18 Marzo 2014]. Disponible en: <http://forococheselectricos.com/2011/07/nissan-desarrolla-un-sistema-de-recarga.html>

- [19] MIT Technology Review. *Las baterías de Tesla pueden llevar la energía solar a las masas* [En línea]. Opino, 11 Diciembre 2013. [Consulta: 19 Marzo 2014]. Disponible en: [http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=44343](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=44343)
- [20] Energy Policy Info. *June PEV Sales*. [En línea]. Hybridcars.com 07 Junio 2013. [Consulta: 07 Julio 2014]. Disponible en: <http://energypolicyinfo.com/wp-content/uploads/2013/07/June-PEV-sales.png>
- [21] Bloomberg. *Battery innovation: incremental or disruptive?*. [En línea]. Albert Cheung, 21 Marzo 2012. [Consulta: 25 Enero 2015]. Disponible en: [http://about.bnef.com/summit/content/uploads/sites/3/2013/11/BNEF\\_2012\\_03\\_19\\_University\\_Battery\\_Innovation.pdf](http://about.bnef.com/summit/content/uploads/sites/3/2013/11/BNEF_2012_03_19_University_Battery_Innovation.pdf)
- [22] Motor pasión. *Venta en España de coches y furgonetas eléctricas en 2014*. [En línea]. P.Ibañez, 19 enero 2015. [Consulta: 20 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.motorpasion.com/otros/ventas-en-espana-de-coches-y-furgonetas-electricas-en-2014>
- [23] Motor pasión futuro. *El Toyota Auris híbrido es el coches más vendido en España en 2013*. [En línea]. P.Ibañez, 15 Enero 2015. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hibridos/el-toyota-auris-hibrido-es-el-coche-hibrido-mas-vendido-en-espana-en-2013>
- [24] Nissan. *Nissan Leaf se consolida como el vehículo eléctrico más vendido de Europa y logra un récord de ventas en 2013*. [En línea]. 15 Febrero 2014. [Consulta: 06 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.nissan.com.ec/sp/web/news/nissleafme2013.htm>
- [25] NREL. *Transportation Research*. [En línea]. USA: U.S. Department of Energy 14 Enero 2015. [Consulta: 16 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/energystorage/pdfs/53799.pdf>
- [26] Ametic. [En línea]. [Consulta: 07 Julio 2014]. Disponible en: [www.ametic.es/DescargarDocumento.aspx?idd=4961](http://www.ametic.es/DescargarDocumento.aspx?idd=4961)
- [27] Nombre Web. *Busca tu concesionario*. [En línea]. Nissan, 2015. [Consulta: 28 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.nissan.es/ES/es/tool/find-dealer.html?cid=psmKSMNrOOG\\_dc](http://www.nissan.es/ES/es/tool/find-dealer.html?cid=psmKSMNrOOG_dc)
- [28] DGT. *Listado de Centros de Recogida de Vehículos*. [En línea]. Madrid: DGT, 10 Marzo 2015. [Consulta: 10 Noviembre 2014]. Disponible en:

<http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/centros-colaboradores/Listado-de-Centros-de-Recogida-de-Vehiculos.pdf>

- [29] Science Direct. *The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications*. [En línea]. Jeremy Neubauer, Ahmad Pesaran, Junio 2011. [Consulta: 10 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775311012377>
- [30] Doctn. *Test Specification for Li-Ion Battery Systems for Hybrid Electric Vehicles*. [En línea]. VDA, 05 Marzo 2007. [Consulta: 18 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.docin.com/p-223836675.html>
- [31] Nissan. [En línea]. 2015. [Consulta: 29 Noviembre 2014]. Disponible en: [www.nissan.co.uk](http://www.nissan.co.uk)
- [32] Nissan Leaf. *Todo lo que quieres saber de Nissan Leaf*. [En línea]. [Consulta: 10 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://nissanleaf.mx/faq.html>
- [33] ANIACAM. *Últimos datos de mercado*. [En línea]. [Consulta: 10 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.aniacam.com/>
- [34] ANFAC. *Portal de transparencia*. [En línea]. Asociación de fabricantes de Automóviles y camiones. [Consulta: 10 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.anfac.com/portada.action>
- [35] IEA. *Global EV Outlook*. [En línea]. International Energy Agency, Abril 2013. [Consulta: 29 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.iea.org/publications/globalevoutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf)
- [36] Science Direct. *Cycle-life model for graphite-LiFePO<sub>4</sub>*. [En línea]. John Wang, Ping Liu, Jocelyn Hlcks-Garner, Elena Sherman, Souren Soukiazian, Mark Verbrugge, Harshad Tataria, James Musser, Peter Finamore, Noviembre 2010. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: [http://ac.els-cdn.com/S0378775310021269/1-s2.0-S0378775310021269-main.pdf?\\_tid=4a22aa52-b77b-11e4-8b76-00000aab0f27&acdnat=1424270268\\_d82c7bb7b06bc1846926b6ea3c7ac1db](http://ac.els-cdn.com/S0378775310021269/1-s2.0-S0378775310021269-main.pdf?_tid=4a22aa52-b77b-11e4-8b76-00000aab0f27&acdnat=1424270268_d82c7bb7b06bc1846926b6ea3c7ac1db)
- [37] Solaire Generation. *Transforming Parking Lots Into Beautiful Power Plants*. [En línea]. 2013 [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://solairegeneration.com/>
- [38] Dialnet. [En línea]. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1122531.pdf>

- [39] Cambio Energetico. *Kits Solares*. [En línea]. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.cambioenergetico.com/kit-energia-solar-autoconsumo-con-baterias/1397-kit-solar-autoconsumo-baterias-12800-wdia-verano-6400-wdia-invierno.html>
- [40] hm Sistemas. *Calculadora de Horas Solares Pico*. [En línea]. 29 Abril 2009. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora\\_hsp.php](http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_hsp.php)
- [41] Wind&Sun. *Kyocera*. [En línea]. 2015. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.solar-electric.com/kyocera-kd325gx-lfb-325-watt-polycrystalline-solar-panel.html>
- [42] Tutiempo. *Calendario Solar*. [En línea]. Tutiempo, Marzo 2015. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.tutiempo.net/calendario-solar/>
- [43] EVWind. *Baterías de litio para vehículos eléctricos*. [En línea]. Reve, 1 Febrero 2013. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2013/02/01/baterias-de-litio-para-vehiculos-electricos-2/>
- [44] Endesa Online. *Tarifas Último Recurso*. [En línea]. 3 Agosto 2013. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.endesaonline.es/es/negocios/teguia/asesoramientotarifas/tarifa\\_electricidad\\_tur/tarifas\\_tur/index.asp](http://www.endesaonline.es/es/negocios/teguia/asesoramientotarifas/tarifa_electricidad_tur/tarifas_tur/index.asp)
- [45] Auto Solar. *Inversores*. [En línea]. AutoSolar. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: [https://autosolar.es/inversores/inversor-conexion-red/inversor-conexion-red-10kw-danfoss-tlx\\_precio](https://autosolar.es/inversores/inversor-conexion-red/inversor-conexion-red-10kw-danfoss-tlx_precio)
- [46] REE. *Termino de facturación de Energía Activa del PVPC*. [En línea]. ESIOS, 15 Marzo 2015. [Consulta: 15 Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.esios.ree.es/pvpc/>
- [57] Stem. *Energy intelligence that tackles demand charges*. [En línea]. [Consulta: 09 Febrero 2015]. Disponible en: <http://www.stem.com/for-business>
- [48] IDAE. *Consumos del sector residencial en España*. [En línea]. IDAE. [Consulta: 05 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencial\\_Unido\\_c93da537.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf)
- [49] Endesa. [En línea]. [Consulta: 26 Diciembre 2014]. Disponible en: <http://www.endesa.com/>

- [50] REE. *Demanda de la red*. [En línea]. Lugar: Autor, 28 Diciembre 2014. [Consulta: 26 Diciembre 2014]. Disponible en: <https://demanda.ree.es/demanda.html>
- [51] Endesa Online. *OneLuz*. [En línea]. Endesa, 15 Enero 2015. [Consulta: 18 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.endesaonline.com/es/subdominios/condiciones/one4/ficha\\_luz\\_one\\_cs.pdf](http://www.endesaonline.com/es/subdominios/condiciones/one4/ficha_luz_one_cs.pdf)
- [52] Cambio Energético. *Cambio Energético*. [En línea]. [Consulta: 14 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.cambioenergetico.com/kit-energia-solar-autoconsumo-con-baterias/1395-kit-solar-autoconsumo-con-baterias-9600-wdia-verano-4800-wdias-invierno.html>
- [53] IngenNews. *El impacto por contaminación de las Baterías de Plomo-ácido*. [En línea]. Santiago: Autor, 2011. [Consulta: 014 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.ingenews.cl/web/download/publicaciones/124.pdf>
- [54] Sandia National Laboratories. *Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide*. [En línea]. New Mexico and California: Jim Eyer, Garth Corey, February 2010. [Consulta: 28 Mayo 2014]. Disponible en: <http://www.sandia.gov/ess/publications/SAND2010-0815.pdf>
- [55] SliderFinder. *Grid Operational Impacts of Wind Power*. [En línea]. Lugar: Parsons, Brian, 8 Diciembre 2005. [Consulta: 02 Junio 2014]. Disponible en: [http://www.slidefinder.net/g/grid\\_operational\\_impacts\\_wind\\_power/wind12\\_05\\_nrecaops/29309346](http://www.slidefinder.net/g/grid_operational_impacts_wind_power/wind12_05_nrecaops/29309346)
- [56] IEEE. *Load Leveling Reduces T&D Line Losses*. [En línea]. Ali Nourai, V.I.Kogan, Chris M.Schafer. 2008. [Consulta: 15 Julio 2014]. Disponible en: [http://energystorage.org/system/files/resources/esa\\_tr\\_08\\_11\\_nourai.pdf](http://energystorage.org/system/files/resources/esa_tr_08_11_nourai.pdf)
- [57] ef Energía. *Legislación*. [En línea]. 2013. [Consulta: 06 Enero 2015]. Disponible en: [http://www.efenergia.com/efenergia/legislacion\\_eficiencia/legislacion\\_eficiencia\\_enegetica\\_espana/legislacioneficienciaenergeticaespana.php](http://www.efenergia.com/efenergia/legislacion_eficiencia/legislacion_eficiencia_enegetica_espana/legislacioneficienciaenergeticaespana.php)
- [58] Public Interest Energy Research. *Analysis of the Combined Vehicle-and Post-Vehicle-Use Value of Lithium-Ion Plug-In-Vehicle Propulsion Batteries*. [En línea]. California: University of California, Abril 2011. [Consulta: 18 Abril 2014]. Disponible en:

<http://innovation.luskin.ucla.edu/sites/default/files/WilliamsLipman-Battery2ndLife-2011-04-28-FinalDraft.pdf>

- [59] Oak Ridge National Laboratory. *Economic Analysis of Deploying Used Batteries in Power Systems*. [En línea]. Chaitanya K.Narula, Rocio Maratiner, Omer Onar, Michael R.Starke, George Andrews, Junio 2011. [Consulta: 18 Abril 2014]. Disponible en: [http://web.ornl.gov/sci/physical\\_sciences\\_directorate/mst/pcm/pdf/Publication%2030540.pdf](http://web.ornl.gov/sci/physical_sciences_directorate/mst/pcm/pdf/Publication%2030540.pdf)
- [60] Electric Vehicles: What You Need To Know. Battery Types [En línea].Lugar: Autores, Fecha publicación. [Consulta: 18 Abril 2014]. Disponible en: <http://electricvehicles.caa.ca/types-of-electric-vehicles/battery-types/>
- [61] AutoblogGreen. *Is the Nissan Leaf Battery Pack under-engineered?* [En línea]. Domenick Yoney, 25 Enero 2010. [Consulta: 18 Abril 2014]. Disponible en: <http://green.autoblog.com/2010/01/25/is-the-nissan-leaf-battery-pack-under-engineered/>
- [62] InsideEVs. *Op-Ed: How Toyota Could Change the World*. [En línea]. David Murray, Agosto 2013. [Consulta: 23 Abril 2014]. Disponible en: <http://insideevs.com/how-toyota-could-change-the-world/>

# **ANEXO 1**

## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS**

## CHEVROLET VOLT

Las características técnicas de la batería del Chevrolet Volt son las siguientes:

Tabla 30. Características batería Chevrolet Volt [58] [59]

VOLT			
Característica	Valor	Basado en	
Batería (estimación)	16 kWh	Gm-Volt	
Capacidad inicial disponible para la conducción	65% (10.4 kWh)	Gm-Volt	
Primera Vida	8 años	Garantía	
Estimación de capacidad al final de su primera vida	12.8 kWh	80%,Definición EOL por USABC	
Química	LG LMO/Grafito	LITIO	
Numero de Celdas	288		
Voltaje nominal	370 V		
Potencia nominal	55 kW		
Pico de potencia	115 kW		
Corriente máxima	400 A		
Peso	197 Kg		



Figura 34. Batería Chevrolet Volt [60]

## NISSAN LEAF

Las características técnicas de la batería del Nissan Leaf son las siguientes:

Tabla 31. Características batería Nissan Leaf [58] [59]

LEAF		
Característica	Valor	Basado en
Batería (estimación)	24 kWh	
Capacidad inicial disponible para la conducción	85% (20.4kWh)	
Primera Vida	8 años	Garantía
Estimación de capacidad al final de su primera vida	19.2 kWh	80%,Definición EOL por USABC
Química	AESC (NEC) LMO/Grafito	LITIO
Numero de celdas	192	
Voltaje nominal	345 V	
Potencia nominal	62 kW	
Pico de potencia	90 kW	
Corriente máxima	260.87 A	
Peso	299 Kg	



Figura 35. Batería Nissan Leaf [62]

## TOYOTA PRIUS PHV

Las características técnicas de la batería del Toyota Prius PHV son las siguientes:

Tabla 32. Características batería Toyota Prius PHV [58][59]

PHV		
Característica	Valor	Basado en
Batería (estimación)	5.2 kWh	
Capacidad inicial disponible para la conducción	75% (3.9 kWh)	
Primera Vida	8 años	Garantía
Estimación de capacidad al final de su primera vida	4.2 kWh	80%,Definición EOL por USABC
Química	Panasonic NCM/Grafito	Ni-MH
Numero de celdas	288	
Voltaje nominal	345.6 V	
Potencia nominal	40 kW	
Pico de potencia	60 kW	
Corriente máxima	173.61 A	
Peso	149 kg	



Figura 36. Batería Prius PHV [62]