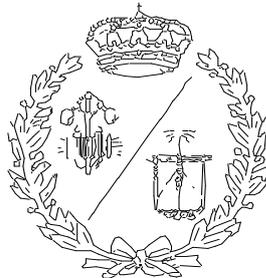

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**Diseño de un sistema inteligente de gestión
energética para hogar con autogeneración y
V2G para la integración de smart grids
basado en Raspberry Pi**

**Design of a home intelligent energy management
system on Raspberry Pi with self-generation and
V2G for the integration of smart grids**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: Ignacio Rubio del Castillo

05 - 2019

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ÍNDICE DE ABREVIATURAS | |
| 2 | ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS | |
| 3 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 4 | JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS | 2 |
| 5 | INTEGRACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES..... | 3 |
| 5.1 | INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 5.2 | LIMITACIONES TÉCNICAS Y MEDIOAMBIENTALES..... | 4 |
| 5.3 | EL PRECIO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES..... | 5 |
| 5.4 | ESTABILIDAD Y DEPENDENCIA..... | 7 |
| 5.5 | CECRE (CENTRO DE CONTROL PARA EL RÉGIMEN ESPECIAL) | 9 |
| 5.6 | PREDICTIBILIDAD Y EL FUTURO DE LAS RENOVABLES | 10 |
| 5.7 | INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO (IIC) Y EA2 | 12 |
| 6 | AUTOCONSUMO Y REDES INTELIGENTES | 13 |
| 6.1 | INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 6.2 | ¿QUÉ SON LAS REDES INTELIGENTES?..... | 13 |
| 6.3 | AUTOCONSUMO: EVOLUCIÓN DE LA REGULACIÓN Y CONTROVERSIA | 14 |
| 6.4 | PEAK SHAVING..... | 17 |
| 6.5 | BALANCE NETO Y LEGISLACIÓN ACTUAL | 18 |
| 6.6 | LA EVOLUCIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL | 20 |
| 7 | ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y DESARROLLO DE BATERÍAS | 23 |
| 7.1 | INTRODUCCIÓN..... | 23 |
| 7.2 | TIPOS DE ALMACENAMIENTO MENOS CONVENCIONALES | 23 |
| 7.2.1 | Volantes de inercia..... | 23 |
| 7.2.2 | Centrales de aire comprimido | 24 |
| 7.2.3 | Hidrógeno..... | 25 |
| 7.2.4 | Centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo | 27 |
| 7.2.5 | Almacenamiento térmico..... | 28 |
| 7.2.6 | Almacenamiento mediante supercondensadores | 30 |
| 7.2.7 | SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) | 31 |
| 7.3 | SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE BATERÍAS | 32 |
| 7.4 | TIPOS DE BATERÍAS..... | 33 |
| 7.5 | BATERÍAS COMERCIALES PARA EL HOGAR | 35 |
| 7.6 | LOS PROBLEMAS DE LA EXTRACCIÓN DE LITIO | 36 |
| 7.7 | ESCASEZ Y MONOPOLIO DEL COBALTO | 37 |
| 7.8 | IMPACTO ECOLÓGICO Y RECICLAJE DE BATERÍAS..... | 39 |
| 7.9 | EL FUTURO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA | 40 |
| 8 | MOVILIDAD ELÉCTRICA Y V2G | 41 |

| | | |
|---------|--|----|
| 8.1 | INTRODUCCIÓN..... | 41 |
| 8.2 | LA NECESIDAD DEL AUMENTO DE LA ENERGÍA..... | 42 |
| 8.3 | CONTAMINACION Y MIX ENERGÉTICO..... | 43 |
| 8.4 | PROMOCIONAR EL USO DE ELÉCTRICOS..... | 44 |
| 8.5 | ELECTROLINERAS Y REPOSTAJE..... | 45 |
| 8.6 | EL COCHE ELÉCTRICO AL SERVICIO DE LA RED: V2G..... | 48 |
| 9 | BLOCKCHAIN PARA LA GESTIÓN DE INTERCAMBIOS DE ENERGÍA..... | 50 |
| 9.1 | INTRODUCCIÓN..... | 50 |
| 9.2 | ¿QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?..... | 50 |
| 9.3 | NODOS Y MINERÍA..... | 51 |
| 9.4 | LAS CRIPTOMONEDAS O TOKENS..... | 51 |
| 9.5 | TOKEN CROWDSALES O ICOs (INITIAL COIN OFFERINGS)..... | 52 |
| 9.6 | SMART CONTRACTS..... | 52 |
| 9.7 | ETHEREUM Y EL BLOCKCHAIN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS..... | 53 |
| 9.8 | EL FUTURO DE BLOCKCHAIN..... | 54 |
| 10 | DISEÑO DEL GESTOR ENERGÉTICO..... | 56 |
| 10.1 | DESCRIPCIÓN POR ELEMENTOS Y FUNCIONALIDADES..... | 56 |
| 10.1.1 | Python..... | 56 |
| 10.1.2 | Raspberry Pi..... | 56 |
| 10.1.3 | Tarifa..... | 57 |
| 10.1.4 | Generadores..... | 59 |
| 10.1.5 | Almacenamiento..... | 59 |
| 10.1.6 | Automóvil..... | 60 |
| 10.1.7 | Cargador y conector..... | 61 |
| 10.1.8 | Medidores..... | 65 |
| 10.1.9 | Actuadores..... | 66 |
| 10.1.10 | Comunicación..... | 67 |
| 10.2 | GENERACIÓN: DIMENSIONAMIENTO Y COSTE APROXIMADO..... | 69 |
| 10.3 | DESARROLLO..... | 74 |
| 10.3.1 | Infografía del funcionamiento..... | 74 |
| 10.3.2 | Metodología e instalación..... | 76 |
| 10.3.3 | Simulación y código final..... | 78 |
| 10.3.4 | Ejemplos de funcionamiento..... | 79 |
| 10.4 | LÍNEAS FUTURAS..... | 83 |
| 10.4.1 | Graficado de señales..... | 83 |
| 10.4.2 | Traducción..... | 84 |
| 10.4.3 | Tarifas adicionales..... | 85 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|----|
| 10.4.4 | Calculadora de recibo de tarifa | 86 |
| 10.4.5 | Aplicación móvil..... | 87 |
| 11 | REFERENCIAS..... | 89 |

1 ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| Abreviatura | Significado |
|-------------|---|
| Aelec | Asociación de empresas de energía eléctrica |
| BESS | Sistema de almacenamiento de energía mediante baterías |
| BEV | Vehículo eléctrico de batería |
| CEE | Certificado de equipamiento electrotécnico |
| CECRE | Centro de control para el régimen especial |
| CAES | Almacenamiento de energía mediante aire comprimido |
| FEDER | Fondos europeos de desarrollo regional |
| FES | Almacenamiento de energía mediante volantes de inercia |
| FoEE | Friends of Earth Europe |
| GPIO | Pin de propósito general para entrada/salida |
| GND | Conexión a tierra |
| HDMI | High-definition multimedia interface |
| HSP | Hora solar pico |
| I2C | Inter-integrated circuit |
| IDAE | Instituto para la diversificación y ahorro de la energía |
| IOT | Internet de las cosas |
| IIC | Instituto de ingeniería del conocimiento |
| ICAEN | Instituto catalán de energía |
| MPPT | Maximum point tracking |
| MOVEA | Plan de impulso a la movilidad con vehículos de energías alternativas |
| NCA | Níquel-cobalto-aluminio |
| NCM | Níquel-cobalto-manganeso |
| OCU | Organización de consumidores y usuarios |
| O&M | Operación y mantenimiento |
| OMEL | Operador del mercado eléctrico |
| PVPC | Precio voluntario del pequeño consumidor |
| PNIEC | Plan Nacional de Energía y Clima |
| PWM | Pulse-width modulation |
| PGE | Presupuestos generales del Estado |
| REE | Red Eléctrica Española |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| SMES | Almacenamiento de energía mediante superconductores |
| TCO | Costo total de propiedad |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TUR | Taría de último recurso |
| UART | Universal Asynchronous Receiver/Transmitter |
| USB | Universal Serial Bus |
| UE | Unión Europea |
| USD | Dólares estadounidenses |
| V2G | Vehicle-to-grid |
| VEA | Vehículo con energías alternativas |

2 ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 - Diferencia de generación entre el 16/01/2019 y 23/01/2019..... | 5 |
| Ilustración 2 - Curva de teoría de TRIZ: desarrollo ideal de una tecnología..... | 5 |
| Ilustración 3 - Potencia de energía fotovoltaica instalada en España en MW | 6 |
| Ilustración 4 - Potencia de energías renovables instalada en España en MW | 6 |
| Ilustración 5 - Porcentaje de energía mediante combustibles importados sobre el total..... | 7 |
| Ilustración 6 - Impacto en millones de € de evitar el consumo de combustibles importados.. | 8 |
| Ilustración 7 - Desglose de retribuciones por tecnologías en millones de €..... | 9 |
| Ilustración 8 - Porcentaje de generación según tipología del año 2018 | 9 |
| Ilustración 9 - Actualidad del coste nivelado (LCOE) según tipología | 11 |
| Ilustración 10 - España a la cabeza de la UE en porcentaje de población viviendo en pisos | 17 |
| Ilustración 11 - Peak shaving o afeitado de picos..... | 18 |
| Ilustración 12 - Curvas agregadas de oferta y demanda del 04/07/2018 | 21 |
| Ilustración 13 - Sistema de almacenamiento con volante de inercia ABB PowerStore | 24 |
| Ilustración 14 - Funcionamiento esquemático de una central de aire comprimido | 25 |
| Ilustración 15 - Funcionamiento esquemático del proyecto en el Parque Experimental Sotavento..... | 26 |
| Ilustración 16 - Sistema de El Hierro, Islas Canaria | 28 |
| Ilustración 17 - Funcionamiento central Gemasolar, Sevilla..... | 29 |
| Ilustración 18 - Configuración típica para un rectificador en este tipo de aplicaciones..... | 32 |
| Ilustración 19 - Diferentes tipos de conexionado | 36 |
| Ilustración 20 - Productores mundiales de litio y producción total | 37 |
| Ilustración 21 - Evolución del precio del cobalto..... | 38 |
| Ilustración 22 - Evolución del contenido de cobalto por vehículo Tesla | 39 |
| Ilustración 23 - Evolución del precio del litio en sus diferentes formas..... | 40 |
| Ilustración 24 - Aumento de la popularidad de búsquedas sobre automóviles eléctricos | 41 |
| Ilustración 25 - Evolución del consumo de energía final en el transporte en kTep..... | 42 |
| Ilustración 26 - Evolución de las emisiones directas (t CO2 equivalente) | 43 |
| Ilustración 27 - Cuota del mercado mundial por tipo de vehículo | 44 |
| Ilustración 28 - Número de electrolineras por Comunidad Autónoma | 46 |
| Ilustración 29 - Puntos de carga: España frente a Europa | 47 |
| Ilustración 30 - Desarrollo de la curva de la demanda a lo largo de un día..... | 48 |
| Ilustración 31 - Proyectos V2G en Europa..... | 49 |
| Ilustración 32 - Esquema del proyecto en Fremantle | 54 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 33 - Disposición de los pines GPIO en Rpi 3 | 57 |
| Ilustración 34 - Evolución del precio del kWh a lo largo del día..... | 58 |
| Ilustración 35 - Conector Schuko (CEE 7/4) | 61 |
| Ilustración 36 - Conector CCS Combo europeo | 62 |
| Ilustración 37 - Conector SAE J1772 | 62 |
| Ilustración 38 - Conector Mennekes | 63 |
| Ilustración 39 - Conector CHAdeMO | 63 |
| Ilustración 40 - Conectores Nissan Leaf 2011 | 64 |
| Ilustración 41 - Vista exterior del MC V2G 1.5..... | 64 |
| Ilustración 42 - Medidor de dos canales seleccionado | 65 |
| Ilustración 43 - Adaptador para conexión a i2c..... | 66 |
| Ilustración 44 - Conexión de interruptor para forzar la carga del vehículo | 67 |
| Ilustración 45 - Conexión ejemplo del medidor a la Raspberry Pi | 68 |
| Ilustración 46 - Voltímetro de +/- 70V comunicado mediante TCP/IP..... | 68 |
| Ilustración 47 - Conversor UART a RS-485..... | 69 |
| Ilustración 48 - Zonas de radiación solar en España..... | 69 |
| Ilustración 49 - Características de la ficha técnica..... | 70 |
| Ilustración 50 - Tabla 2 - Datos eléctricos del panel | 71 |
| Ilustración 51 - Regulador de carga..... | 72 |
| Ilustración 52 - Inversor. | 72 |
| Ilustración 53 - Coste aproximado de la instalación de generación y almacenamiento | 73 |
| Ilustración 54 - Reparto sobre el total del coste de la instalación..... | 73 |
| Ilustración 55 - Infografía del funcionamiento del sistema (primera parte) | 74 |
| Ilustración 56 - Infografía del funcionamiento del sistema (segunda parte) | 75 |
| Ilustración 57 - Esquema visual general de la instalación | 76 |
| Ilustración 58 - Interfaz del proyecto..... | 79 |
| Ilustración 59 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 1 | 80 |
| Ilustración 60 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 1 | 80 |
| Ilustración 61 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 2 | 81 |
| Ilustración 62 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 2 | 81 |
| Ilustración 63 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 3 | 82 |
| Ilustración 64 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 3 | 82 |
| Ilustración 65 - Interfaz con gráfica de consumo/generación | 83 |
| Ilustración 66 - Interfaz desplegando selector de idiomas..... | 84 |
| Ilustración 67 - Interfaz desplegando el selector de tarifas..... | 85 |
| Ilustración 68 - Interfaz con módulo dedicado al consumo, coste y estimación | 86 |
| Ilustración 69 - Interfaz mostrada en un Smartphone..... | 87 |

3 INTRODUCCIÓN

Según los pronósticos más optimistas para un futuro no tan lejano, como es el año 2040, se estima que el 35% de las ventas mundiales de automóviles serán de tipo eléctrico. Esta cifra puede parecer escasa, pero, comparado con las cifras actuales inferiores al 1%, es bastante significativa. Esto se traduce en un aumento muy relevante en las necesidades de energía eléctrica, toda aquella producida por energías fósiles para los medios de transporte pasará a ser cosa del pasado y requiere sustitutos sostenibles.

La necesidad de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero lleva directamente al consumo responsable y a las energías renovables, las cuales a pesar de los avances siguen siendo muy impredecibles y sin capacidad de regulación. Estas dos características suponen grandes problemas, como las faltas de generación o excesos en ciertos periodos horarios o la necesidad de centrales de apoyo como regulación, siendo estas normalmente de ciclo combinado, es decir, no renovables.

A los anteriores problemas se suma el equilibrio de consumo y demanda. Como se puede comprobar en la curva de la demanda de un día cualquiera, las diferencias entre las horas punta de consumo y las horas valle son muy pronunciadas. Aludiendo a las energías renovables no regulables, estas pueden dar un consumo continuo y de base (al igual que la energía nuclear) dependiendo de sus recursos de generación. Sin embargo, para que la frecuencia de la red sea continua, es necesario igualar la energía generada con la consumida. Como se ha comentado antes, las energías renovables no regulables no son la respuesta a esta regulación y se hacen necesarias las centrales hidroeléctricas (reversibles con preferencia) o sistemas de almacenamiento de energía con la finalidad de sustituir a las convencionales.

El almacenamiento de energía es una de las asignaturas pendientes en el desarrollo e introducción de las energías renovables. Actualmente las centrales hidroeléctricas de bombeo son el tipo de almacenamiento que presenta un mayor grado de rendimiento y, en un futuro, grupos de baterías de gran capacidad podrán ser fundamentales.

Por último, las redes inteligentes o smart grids están llamadas a ser una de las grandes tecnologías disruptivas del sistema eléctrico. La generación distribuida otorga fortaleza a la red al no depender de grandes generadores, susceptibles a ataques de cualquier tipo, descentralizando el sistema. Además, la capacidad de intercomunicación y el manejo de datos a gran escala, así como los intercambios de energía entre pequeños generadores, podrá hacer de las redes inteligentes un modelo sostenible de futuro.

4 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El proyecto surge como el planteamiento de una alternativa en la que se persiguen superar ciertos obstáculos que se presentan en la gestión del sistema eléctrico, principalmente de eficiencia energética.

Por una parte, el consumo prácticamente notablemente reducido en el periodo nocturno en momentos en los que la generación de energías no regulables puede ser de gran calidad, como es el caso de la eólica, supone un gran desperdicio. La existencia de grupos de baterías que almacenasen esa energía, comprándola a precios reducidos para, posteriormente, ser utilizada en periodos de punta conseguiría un aplanamiento de la curva de la demanda. Esto implica una gran mejora en la estabilidad del sistema y una reducción en la dificultad de su operación.

A las ideas clásicas de almacenamiento de energía se ha unido en los últimos años el V2G. Este sistema, cuyas siglas responden a “vehicle-to-grid” o, en español, “del vehículo a la red”, presenta un uso alternativo para los vehículos eléctricos. En el proyecto se plantea permitir al usuario de la red eléctrica conectar su vehículo de manera que, aparte de consumir energía para su carga, tenga la posibilidad de suministrar.

A parte de lo comentado anteriormente, el dispositivo diseñado en este proyecto está planteado de manera que, en el caso de ser posible, el hogar en el que se instale funcione con energía propia, autogenerada por el dispositivo que esté instalado, almacenando la energía sobrante y utilizando la red eléctrica convencional como último recurso en horas punta de consumo.

También se pretende fomentar los intercambios de energía a pequeña escala dentro de la red inteligente. Para esta tarea las principales protagonistas son las redes blockchain, las cuales registrarán todos los intercambios de energía que representarán retribuciones del tipo deseado por el operador de la red. En algunos casos, que ya se están llevando a la práctica y que son comentados en este proyecto, estos intercambios significan deducciones en cargas fiscales, aunque no es descartable la idea de compensaciones económicas. Debido a la actual legislación, esta última idea es, de momento, imposible ya que la energía máxima posible vertida a la red debe ser menor o igual a la consumida.

5 INTEGRACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

5.1 INTRODUCCIÓN

Desde épocas muy antiguas las fuentes de energía renovables como la hidráulica, la energía solar o la eólica, derivada de la anterior, han servido a los seres humanos para progresar: desde los rayos del Sol utilizados por las plantas que sirven de alimento para realizar la fotosíntesis hasta la generación de energía gracias a los avances realizados en los últimos siglos.

Uno de los primeros generadores de energía renovable es el acumulador de energía solar térmica de Augustin Mouchot y Abel Pifre que se presentó en la Expo de París del año 1878. Mediante una serie de espejos se concentraba la energía solar hacia un contenedor de cobre negro relleno de agua que, al aumentar la temperatura, se transformaba en vapor para su aprovechamiento.

El mérito de la invención del primer aerogenerador de la historia es del ingeniero escocés James Blyth (1809-1906), diseñando en 1887 una turbina de eje vertical de 10 metros accionada por el efecto del viento sobre sus palas en forma cóncava. Posteriormente, Charles F. Brush, en 1888 hizo realidad su diseño en Cleveland, Ohio. Con una velocidad de 500 rpm en su rotor de 17 metros de diámetro y 144 palas, llegaba a alcanzar una generación de 12kW y funcionó durante 20 años. [1]

A este invento le siguen otros sobre nuevas energías renovables, como la primera planta eléctrica geotérmica de Piero Ginori Conti en 1904, generando electricidad mediante turbinas de vapor. Después de esta, la primera planta en Estados Unidos comenzó su producción en 1922, con una potencia de generación de 250kW (finalmente cerrada por problemas técnicos).

En el mismo año en el que Blyth instala su turbina, Heinrich Hertz y Wilhelm Hallwachs descubren el efecto fotoeléctrico, que sería posteriormente explicado por Albert Einstein dentro de la teoría de la relatividad especial, ganando el premio Nobel por ello. A esto le sigue la creación de la primera célula fotoeléctrica por Aleksandr Stoletov, entre 1888 y 1891.

A pesar de conocer las posibilidades de la energía limpia y renovable como combustible para la generación, otras alternativas más económicas y con mayores niveles de eficiencia se imponían. Es el caso del carbón o los derivados del petróleo, mucho más competentes

que, por ejemplo, el escaso 6% de rendimiento que alcanzó la energía solar en 1956. Sin embargo, no se comienza a investigar en profundidad hasta el aumento de la preocupación por el descubrimiento de la aceleración del cambio climático provocado por la acción humana en los años 70.

Como respuesta, la inversión en investigaciones para la mejora de las tecnologías renovables generó un creciente aumento de su viabilidad. Son numerosas las ventajas de estas, como el coste cero de los combustibles, la disponibilidad de gran variedad de estos en todo el mundo o, evidentemente, la baja contaminación por su explotación. No obstante, los problemas para la integración total de la energía renovable en los actuales sistemas energéticos hacen que su integración deba realizarse de manera paulatina, evitando inconvenientes en la calidad y la continuidad del suministro.

Los mayores problemas para la integración en el mix energético de las energías renovables se pueden destacar tres: mala predictibilidad de los recursos, impacto ambiental y coste de la energía. De estos tres, el desarrollo de los sistemas de almacenamiento supondría un paso adelante en sobrepasar dos de ellos, las limitaciones técnicas por la falta de previsión y el alto precio de la generación de estas tipologías.

5.2 LIMITACIONES TÉCNICAS Y MEDIOAMBIENTALES

La variabilidad de los recursos, principalmente en el caso de la eólica, supone una de las principales limitaciones de estas tipologías de generación. Para la gestión de estas variaciones en el suministro se tienen centrales de apoyo, principalmente centrales de ciclo combinado por su capacidad de gestión.

Se estima que mientras la generación mediante energías renovables con variabilidad del recurso no supere el 20-30% del total [2], los encarecimientos de la energía son asumibles por las emisiones ahorradas y por ser el viento un recurso local, es decir, reduciendo la dependencia de otros países. En España cobra especial importancia ya que, en muchas ocasiones, se supera el 50% de generación eólica.

En la imagen de la generación (Ilustración 38) del día 23 de enero de 2019 (inferior derecha) se puede comprobar uno de los beneficios del almacenamiento de energía. Al haber un viento de gran calidad, se traduce en una gran generación de energía eólica de 15.361MW. Al superar la demanda de los consumidores, se tiene un excedente de generación de 1.923MW que absorben las centrales hidráulicas reversibles (por eso la generación aparece negativa). Esto tiene un doble beneficio, por una parte, el desfase de potencia generada no provoca problemas en la frecuencia de la red y, además, se aumenta la eficiencia energética al no desperdiciar esa generación.

| | | | | | |
|--------------------|------|-----------|--------------------|-------|-----------|
| Hidráulica | 5356 | 13,74 (%) | Hidráulica | -1923 | 0 (%) |
| Eólica | 3018 | 7,74 (%) | Eólica | 15361 | 38,65 (%) |
| Solar fotovoltaica | 3 | 0,01 (%) | Solar fotovoltaica | 4 | 0,01 (%) |
| Solar térmica | 23 | 0,06 (%) | Solar térmica | 10 | 0,03 (%) |
| Térmica renovable | 416 | 1,07 (%) | Térmica renovable | 381 | 0,96 (%) |
| Nuclear | 7116 | 18,26 (%) | Nuclear | 6193 | 15,58 (%) |

Ilustración 1 - Diferencia de generación entre el 16/01/2019 y 23/01/2019 a la misma hora. Fuente: ree.es

Otra limitación para tener en cuenta es el impacto visual de las centrales de este tipo. Al necesitar grandes extensiones de terreno, se tiene que el impacto visual es enorme y su situación habitual suele ser en zonas costeras o elevadas, lo que deriva en una mayor visibilidad que genera el rechazo social. Esta limitación no es exclusiva de la energía eólica, ya que otras tipologías como la hidráulica con sus embalses o la fotovoltaica con sus grandes extensiones de terreno no están exentas de ella.

5.3 EL PRECIO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Como se ha apuntado anteriormente, el aumento de la generación mediante tecnologías renovables supone un aumento en las dificultades de su integración en el mix energético, pero, por otro lado, ha supuesto superar otras, como han sido los precios de generación.

En su etapa inicial, el atractivo de las energías renovables era bastante limitado. Para aumentar la rentabilidad a los inversores se comenzaron a otorgar ayudas. Esto provocó la entrada en una época de crecimiento en la que la entrada masiva al mercado se tradujo en un rápido desarrollo de estas tipologías. Actualmente, la entrada en una etapa de madurez de estas tipologías ha permitido la bajada gradual de las primas percibidas. Esto, sumado a la mejora tecnológica que ha supuesto un aumento de las horas de utilización y rendimiento en general, ha evidenciado una bajada significativa en el precio.

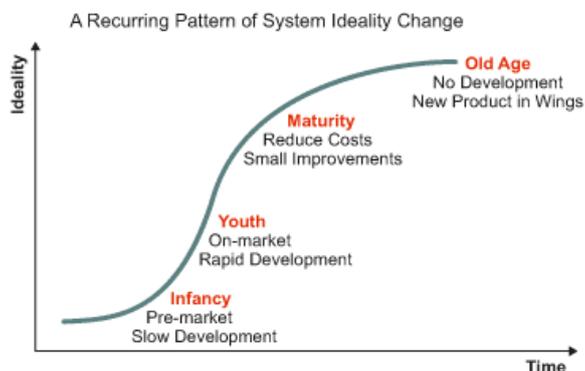


Ilustración 2 - Curva de teoría de TRIZ: desarrollo ideal de una tecnología. Fuente: triz-journal.com

En el caso de la energía solar, por ejemplo, el gobierno español con el artículo 37 del Real Decreto Ley 661/2007 se propuso incentivar las nuevas instalaciones de energía solar en nuestro país en 500MW [3]. Los intereses económicos derivaron en presiones al gobierno de modo que la oferta de instalación fue mucho mayor, provocando perjuicios a las futuras instalaciones que aún a día de hoy son notables. Esto se ve con mucha claridad en la gráfica mostrada a continuación, en la que se demuestra el salto a partir de 2007 y la posterior paralización, sobre todo a partir de 2012.

Energía fotovoltaica instalada

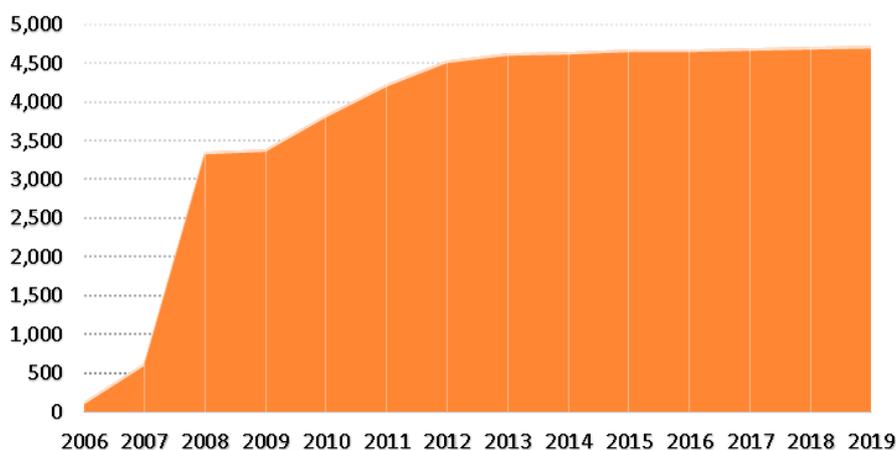


Ilustración 3 - Potencia de energía fotovoltaica instalada en España en MW. Fuente: REE, elaboración propia

El problema mencionado no es exclusivo de la energía solar fotovoltaica, sino del conjunto de las energías renovables. Con la entrada en el gobierno de un nuevo partido, se suspendieron los incentivos a las nuevas instalaciones renovables al aprobar el Real Decreto Ley 1/2012 [4]. En la gráfica mostrada a continuación comprobamos como la potencia total instalada de energías renovables subía gradualmente hasta la paralización tras la entrada en vigor del mencionado Real Decreto Ley.

Potencia de EERR instalada

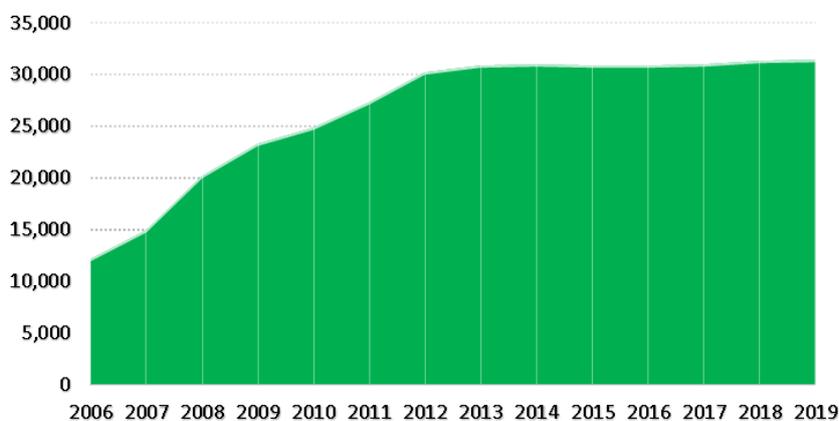


Ilustración 4 - Potencia de energías renovables instalada en España en MW. Fuente: REE, elaboración propia

Sin embargo, la política de incentivos a los nuevos proyectos de generación no es cosa del pasado. En lugares cuya participación es mínima, como es el caso de las Islas Canarias, se siguen realizando inversiones para promover las nuevas instalaciones. A pesar de la calidad del viento y la radiación solar, islas como La Palma, Lanzarote, La Gomera o El Hierro, siguen dependiendo en muchos momentos al 90% de generadores mediante combustible diésel.

El gobierno español, a través de la consejería de Industria y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), junto con Red Eléctrica Española y otros organismos ha conseguido aumentar la potencia eólica de las islas un 154,54%, llegando hasta los 417,6MW instalados [5]. En enero de 2019 se convocó, gracias a una ayuda de 80 millones de euros del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), un nuevo proyecto para la instalación de 180MW [6] de potencia eólica, funcionales antes de 2023. Esto permitirá, según la consejería, acercarse al objetivo para 2025 del 45% de energía renovable en las islas.

5.4 ESTABILIDAD Y DEPENDENCIA

El hecho de basar el sistema en tecnologías de generación cuyos combustibles son importados genera una gran dependencia. El hecho de que en ocasiones estos recursos se obtengan de lugares con posibilidad de inestabilidad política empeora la situación. En España esta dependencia viene dada por la situación de Argelia y, en gran parte de Europa, se depende de Rusia (lo que ha ocasionado problemas en el pasado). Según el último estudio realizado por Eurostat en 2016 [7], la situación de dependencia energética desciende pero sigue siendo muy superior a la deseable.

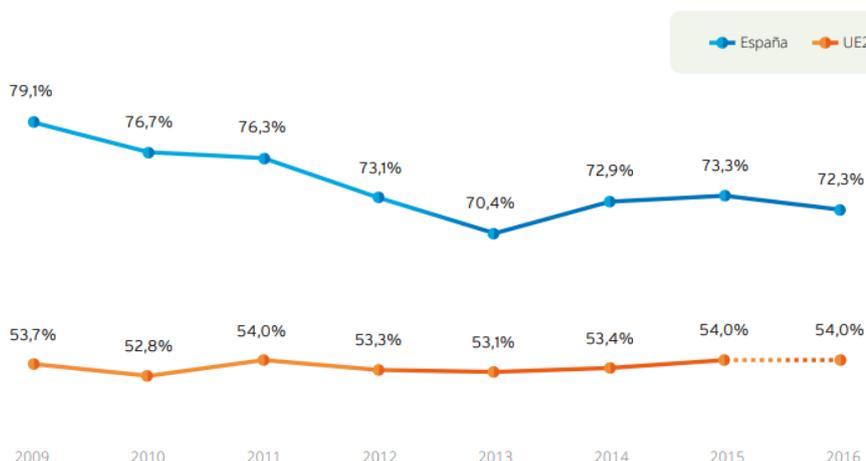


Ilustración 5 - Porcentaje de energía obtenida mediante combustibles importados sobre el total. Fuente: APPA

Para descender las cifras de dependencia, ante la imposibilidad de interrumpir definitivamente el consumo de energía, es necesario el consumo de recursos energéticos autóctonos y la eficiencia energética. En España existen yacimientos de carbón pero sus costes de extracción sumados a la mala calidad del mismo hacen que no sea rentable su explotación. Por tanto, los recursos disponibles son la energía solar, la eólica y la hidráulica, principalmente.

Ahorro por consumo de energía autóctona



Ilustración 6 - Impacto en millones de € de evitar el consumo de combustibles importados. Fuente: APPA, elaboración propia

El uso de energías renovables es totalmente deseable, sin embargo, pueden ocasionar ciertos problemas si existe un alto porcentaje de las mismas en el mix energético. La generación energética tradicional ha estado ligada a máquinas eléctricas síncronas, es decir, de manera que los desequilibrios en la frecuencia del sistema son corregidos por la propia tipología del generador. En el caso de los aerogeneradores las máquinas son asíncronas, esto dificulta la gestión de la generación respecto a la demanda. Por esto el incremento de los riesgos de inestabilidad está asociado a la energía eólica y, en el caso de aumentar su presencia, aumenta la dificultad de la gestión y, por tanto, la inestabilidad.

A pesar de los inconvenientes derivados, podemos comprobar como las retribuciones asociadas a las energías renovables ya tienen un volumen inferior al ahorro generado al evitar la importación de combustibles por la presencia de las energías renovables. Podemos comprobarlo al comparar el gráfico del ahorro mostrado anteriormente con el presentado a continuación, que presenta el desglose de las retribuciones a las renovables.



Ilustración 7 - Desglose de retribuciones por tecnologías en millones de €. Fuente: APPA

5.5 CECRE (CENTRO DE CONTROL PARA EL RÉGIMEN ESPECIAL)

En España, Red Eléctrica Española como operador del sistema, creó el Centro de Control para el Régimen Especial con el objetivo de crear una mayor interlocución para lograr una mayor estabilidad, haciendo hincapié en la generación eólica. España se convirtió así en el primer país del mundo en lograr conectar todos sus parques eólicos de más de 10MW (los cuales suman ya más de 500).



Ilustración 8 - Porcentaje de generación según tipología del año 2018. Fuente: Institute for Energy Research

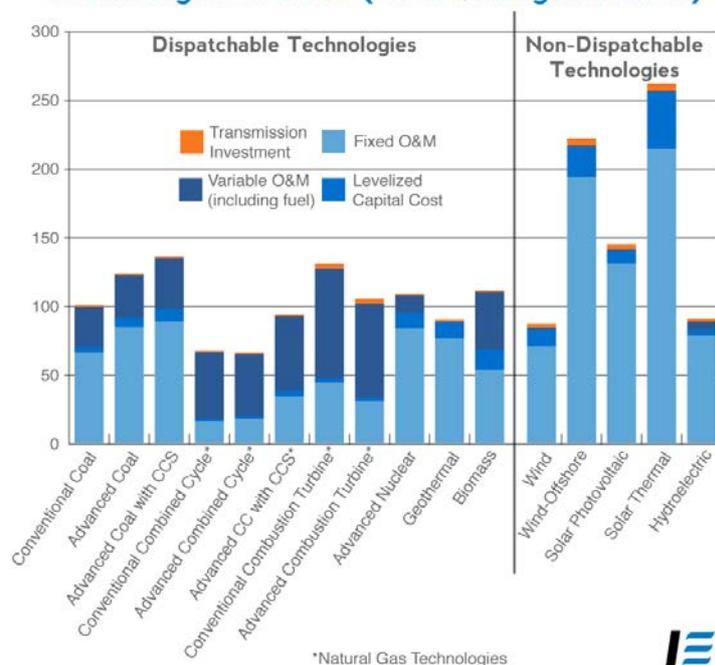
El control del operador del sistema sobre las energías poco predecibles es fundamental, pero, sobre todo, lo es cuando el volumen de generación por estas toma tanta importancia como en nuestro país. En 2015, España solo era superada en potencia eólica instalada por China, Estados Unidos y Alemania, países que nos duplican en población o incluso, como el caso de China, superan en más de mil millones. Las previsiones no hacen pensar que el crecimiento vaya a ser frenado, de hecho, se estima que en los próximos 5 años se instalarán en Europa 87GW eólicos (el 81% serán terrestres y el resto marinos) que harán que se alcancen los 258GW de potencia instalada en 2022, manteniendo a España como la segunda potencia europea. [8]

Con el CECRE se ha conseguido estabilizar el sistema, teniendo información en tiempo real y, a medida que aumenta la capacidad de procesamiento de datos, adaptándose a las nuevas tecnologías y mejorando la fiabilidad. Sin embargo, la predictibilidad sigue siendo un gran problema.

5.6 PREDICTIBILIDAD Y EL FUTURO DE LAS RENOVABLES

Como se ha comentado anteriormente, la predictibilidad de las energías renovables es una asignatura pendiente en cuanto a su integración desde sus inicios. A partir de la masificación de estas tipologías, y gracias al aumento de la rentabilidad por sus mejoras, las grandes empresas tecnológicas se han sumado a la búsqueda de mejoras con objetivo de lograr la total integración.

Estimated Levelized Cost of New Electric Generating Technologies in 2018 (2011 \$/megawatthour)



IER

Ilustración 9 - Actualidad del coste nivelado (LCOE) según tipología. Fuente: Institute for Energy Research

El problema fundamental para la mejora de la predictibilidad no es la falta de datos, sino el excesivo volumen de estos que reciben los operadores de los parques (imposibles de procesar para cualquier persona). En este punto entran “nuevas” tecnologías, asociadas a la inteligencia artificial, como métodos de análisis de macrodatos (big data), el internet de las cosas (IoT) o el machine learning.

Los métodos de análisis de big data suponen un gran paso adelante en cuanto al volumen de datos procesables, la velocidad con la que se tratan y la variedad de los datos disponibles, todos ellos de vital importancia teniendo en cuenta que el volumen de datos manejados actualmente se estima en más de 25 billones de bytes por día (25×10^{12} bytes/día). [9]

En el campo de la energía eólica, son muchas las oportunidades para la operación y el mantenimiento (O&M) de los parques, reduciendo costes de operación y pasando del antiguo modelo correctivo a uno con mayor prevención gracias a la predicción. Esto se puede lograr gracias al internet industrial, que une el internet de las cosas y los macrodatos.

Sin embargo, las limitaciones de los sistemas excesivamente conectados pueden acarrear problemas de ciberseguridad y privacidad. Por tanto, es necesario también atacar estas problemáticas para conseguir avances de manera segura.

5.7 INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO (IIC) Y EA2

En España, el IIC ha desarrollado el sistema de predicción de producción de la energía eólica EA2 basado en las técnicas mencionadas anteriormente de análisis predictivo y diferentes algoritmos de machine learning. El sistema está dirigido a las ofertas de generación del mercado, los mantenimientos preventivos y a la estabilidad y balance del sistema por parte de la operadora REE.

A medida que se van recopilando datos a lo largo del tiempo, la precisión de las predicciones aumenta y se modifican de manera dinámica. La cantidad mínima de actualizaciones al día es de dos y, dado que depende de la frecuencia de refresco de los datos de entrada, cuanto menor sea ese tiempo de refresco, mayor será la precisión de los datos.

6 AUTOCONSUMO Y REDES INTELIGENTES

6.1 INTRODUCCIÓN

Debido a la aceleración del cambio climático se hace necesario un cambio enfocado a la eliminación de las tecnologías de generación emisoras de gases de efecto invernadero. El acceso a la energía permite el desarrollo del conjunto de la sociedad. Hasta este punto de la historia el acceso no presentaba ninguna limitación para desarrollarse, sin embargo en los últimos años empiezan a conocerse ciertas limitaciones de tipo económico, medioambiental o de falta de recursos. Dada la importancia estratégica que supone la energía, es necesario lograr una transición que aporte soluciones y no genere nuevos problemas. Esto es un cambio con compromiso con el medioambiente, con una regulación económica adecuada y que continúe comprometido con la seguridad y calidad del suministro.

Sabemos que los sistemas de generación renovables son el futuro, pero por todos es conocido su inestabilidad por su intermitencia en la generación y sus limitaciones técnicas. En el caso de la energía eólica por su dependencia de las velocidades del viento y en la solar en función de las horas del día o la climatología, por ejemplo. Por tanto, dada la imprevisibilidad, se hacen indispensables las tecnologías generadoras de respuesta rápida que sirven de apoyo en caso de suceso negativo.

Los cambios del sistema no solo van asociados a las tecnologías de generación, sino también al modelo del sistema como tal. A diferencia del modelo actual, las redes inteligentes plantean la existencia de muchos centros de producción, donde el almacenamiento tiene gran importancia y los consumidores son partícipes del propio sistema.

6.2 ¿QUÉ SON LAS REDES INTELIGENTES?

Las redes inteligentes o smart grids representan un modelo de gestión del sistema relativamente descentralizado en el que se produce un intercambio bidireccional de energía, permitiendo la existencia de elementos de generación de medio o pequeño tamaño.

Suponen un gran cambio frente a la generación centralizada, la cual está basada en pocas y grandes centrales con un elevado número de consumidores alejados de los centros de producción que tienen un papel pasivo en el sistema, participando solamente en el consumo y pago de las tarifas derivadas del mismo.

En oposición a lo anterior, las redes de generación descentralizada suponen muchos centros de producción de energía con puntos de consumo cercado, con la consiguiente reducción de pérdidas. Los consumidores tienen un papel activo ya que, además son generadores y almacenadores de energía, en este caso con recursos autóctonos (es decir, energías renovables). Al dividirse en múltiples redes de menos participantes cada uno es posible modificar la curva de la demanda, logrando una mayor eficiencia energética.

Al ser un sistema más reducido puede realizarse una gestión más eficiente, regulable y dinámica del sistema, como en el caso del control de la potencia reactiva para regular los valores de la tensión o la introducción de pequeños baterías o del V2G (comentado más adelante).

La gestión de grandes cantidades de información mediante big data permite un control en tiempo real que tiene efectos directos como, por ejemplo, en el mantenimiento al tener una información detallada y fiable. Este control, además, posibilita las planificaciones de mantenimiento preventivo o el aislamiento de zonas específicas en caso de fallo en lugar de grandes áreas.

El cambio a un modelo de este tipo necesita una transición controlada, ya que la disrupción del sistema afecta a todos los niveles desde los nuevos problemas técnicos que puedan aparecer hasta el cambio de modelo de negocio o los efectos directos que puedan tener en la sociedad.

6.3 AUTOCONSUMO: EVOLUCIÓN DE LA REGULACIÓN Y CONTROVERSIA

Se define como autoconsumo a aquel tipo de generación cuyo consumo se realiza en el mismo punto, es decir, los agentes generadores están relacionados con los consumidores. Normalmente, se relaciona a este tipo con tecnologías renovables.

La legislación respecto al autoconsumo ha sido durante los últimos años uno de los puntos más polémicos del sector energético. Esto es debido a que, desde 2015 hasta 2018, se han puesto trabas al autoconsumo de energía que han frenado el desarrollo del mismo en nuestro país.

El 10 de Octubre de 2015 se consolidó el Real Decreto 900/2015 [10] para la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción de autoconsumo, bautizada posteriormente esta regulación como el “impuesto al sol”. En el segundo apartado del

mismo, a pesar de comenzar destacando en los primeros párrafos los aspectos positivos del autoconsumo y de la descentralización:

“En los últimos años la aparición de nuevos conceptos, desarrollos y sistemas de generación y control van a permitir la evolución gradual de este modelo hacia otro donde la generación de electricidad distribuida, generalmente de pequeña potencia, comience a integrarse de una manera eficaz en la red como un elemento de eficiencia, de producción y de gestión, y no tan sólo como una simple conexión para la entrega de la energía eléctrica producida.

La generación distribuida presenta beneficios para el sistema, fundamentalmente en lo relativo a reducción de pérdidas de la red en los supuestos en los que las instalaciones de generación se encuentren cerca de los puntos de consumo y reduzcan los flujos de energía por la red, suponiendo además una minimización del impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.”

Continúa justificando la regulación aplicada en el mismo Real Decreto con el siguiente párrafo:

“No obstante, la generación distribuida no reduce los costes de mantenimiento de las redes de transporte y distribución ni otros costes del sistema eléctrico que deben ser cubiertos con cargo a los ingresos de dicho sistema eléctrico, provocando, en algunos casos, costes de inversión adicionales en las redes para adecuarlas a las necesidades derivadas de dicha generación distribuida.”

La justificación aportada es cuestionable, en gran parte cuando afirma que la generación distribuida no reduce costes de mantenimiento de las redes de transporte o de distribución. En referencia a esto, los sistemas descentralizados hacen que las grandes líneas de transporte actuales no sean necesarias en tal magnitud y puedan tener tamaños más reducidos, por lo que un tamaño menor implica menores costes de mantenimiento en condiciones normales. Puesto que actualmente la infraestructura ya está consolidada estos costes de mantenimiento no se reducirán necesariamente, pero al haber menos flujos de energía si se reducirán las pérdidas por efecto Joule. Por otra parte el cambio de modelo hace que los mallados no sean tan necesarios y puedan disponerse redes en forma de anillo, cuya simplicidad hace que se reduzcan costes de mantenimiento. Para finalizar, en un sistema como el actual donde el ratio de punta a valle medio es superior a 2, es totalmente necesario sobredimensionar los conductores para satisfacer el suministro en horas punta. Esto no ocurriría con redes inteligentes ya que, como se ha comentado, la curva de la demanda es regulable y por tanto el sobredimensionamiento no es tan necesario, traduciéndose nuevamente en menores costes.

Con la justificación comentada de una regulación de este tipo, el Real Decreto continúa:

“La ley en relación con el autoconsumo, tiene por finalidad garantizar un desarrollo ordenado de la actividad, compatible con la necesidad de garantizar la sostenibilidad técnica y económica del sistema eléctrico en su conjunto. En este sentido, el articulado de dicha ley establece la obligación de las instalaciones de autoconsumo de contribuir a la financiación de los costes y servicios del sistema en la misma cuantía que el resto de los consumidores. De manera simplificada, los consumidores eléctricos abonarán en sus facturas tres conceptos económicos: el coste de las redes, el resto de costes del sistema (fundamentalmente retribución primada a las renovables, cogeneración y residuos, retribución adicional para las instalaciones de producción en los sistemas eléctricos no peninsulares y anualidad del déficit) y la energía (incluyendo el respaldo del sistema).”

En este caso, el “desarrollo ordenado” que dice garantizar el Real Decreto, no se certificó por ser directamente una traba al mismo. Esto es porque, a pesar del beneficio que pueden aportar al sistema el autoconsumo, el decreto obliga a los usuarios de este a abonar los mismos costes fijos que un consumidor normal a pesar de realizar un menor uso. Esto incluye la disponibilidad del sistema en caso de que necesiten energía del mismo, el coste de las redes de las que apenas hacen uso y otros costes como las primas a la generación por renovables, es decir, pagan que los grandes generadores utilicen energías de este tipo.

Para sustituir a este polémico Real Decreto del “impuesto al sol”, se publica el 5 de octubre de 2018 el Real Decreto-ley 15/2018 [11] para una nueva regulación. Este nuevo decreto, en su cuarto apartado, introduce fundamentalmente tres principios:

- i) Se reconoce el derecho a autoconsumir energía eléctrica sin cargos.
- ii) Se reconoce el derecho al autoconsumo compartido por parte de uno o varios consumidores para aprovechar las economías de escala.
- iii) Se introduce el principio de simplificación administrativa y técnica, especialmente para las instalaciones de pequeña potencia.

Previo a este Real Decreto-ley 15/2018, el Tribunal Constitucional en la Sentencia 68/2017 [12] ya había invalidado la prohibición del Real Decreto 900/2015 contra el autoconsumo compartido, por lo que el segundo principio mencionado ya era posible. Sin embargo, a pesar de la sentencia favorable la burocracia asociada a este tipo de instalaciones hacía que los plazos para realizar este tipo de instalaciones no fuesen atractivos, en este caso el tercer principio recortará estos tiempos al suponer una simplificación administrativa del proceso.

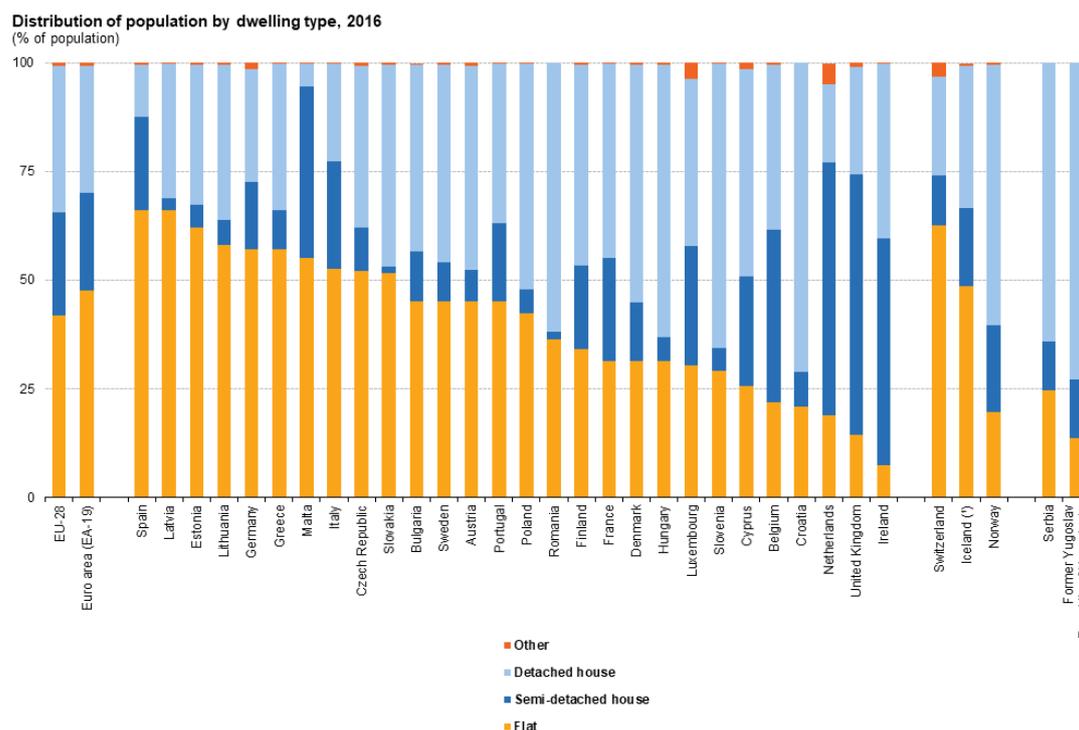


Ilustración 10 - España a la cabeza de la UE en porcentaje de población viviendo en pisos. Fuente: eurostat

La regulación actual es mucho más permisiva y concienciada con la transición energética. Podemos encontrar grandes cambios con la anterior, por ejemplo en el caso de los trámites administrativos que en el pasado llegaban a superar el plazo de un año se reducen a semanas actualmente. Además, el permitir el autoconsumo compartido hace que las personas que viven en bloques de pisos tengan la oportunidad de valorar el autoconsumo como una opción. España lidera Europa en población que habita en este tipo de edificios con el 66,1% en 2016 [13], por lo que la anterior legislación cerraba las puertas del autoconsumo a dos tercios del Estado. También se retiraron los cargos y peajes a toda la energía renovable y se redujeron las sanciones, que anteriormente superaban los 60 millones de euros y, actualmente, no pueden superar el 10% de la facturación anual por consumo de energía eléctrica o el 10% de la facturación por la energía vendida a la red.

6.4 PEAK SHAVING

Uno de los grandes problemas técnicos de la generación renovable son los problemas de estabilidad derivados del aumento de la potencia instalada de este tipo. La generación solar tiene unos máximos de generación en las horas centrales del día, pero la demanda de electricidad se realiza, en mayor o menor medida, durante las 24 horas del mismo. Para salvar este tipo de problemática u otras, como los huecos de tensión de los aerogeneradores, se puede acudir al almacenamiento.

De la misma forma, se puede acudir al almacenamiento para reducir el ratio entre las horas punta de generación y las de consumo mediante el conocido como “peak shaving” o afeitado de picos. Dado que los picos de consumo pueden significar importantes problemas para la estabilidad se tienden a recurrir a medidas que encarecen la factura de la luz, como los contratos de interrumpibilidad con la industria.

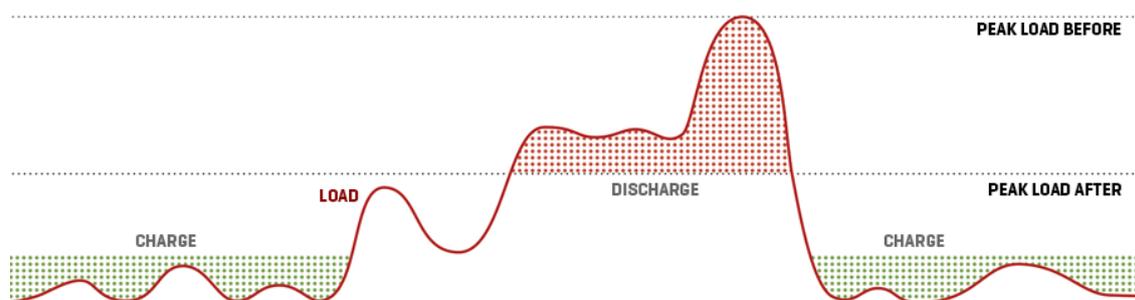


Ilustración 11 - Peak shaving o afeitado de picos. Fuente: Evoenergy

El afeitado de picos propone almacenar energía en horas de baja demanda para luego suministrarla en hora de demanda máxima, reduciendo la necesidad de generación. Esto cobra importancia en un contexto como el futuro, donde el mix energético tenderá a aumentar la presencia de tecnologías de generación no regulable como son las renovables. Con el mix actual, y en el pasado, se salvaban estos picos de generación con tecnologías regulables como las plantas de cogeneración, con los contratos de interrumpibilidad mencionados y con un gran sobredimensionamiento de la potencia instalada.

Un sistema de almacenamiento descentralizado que regule los picos de consumo a pequeña escala, es decir, en casas, edificios o comunidades, puede tener una repercusión en la estabilidad a gran escala del sistema. En este punto, gracias a la información y la capacidad de gestión, las redes inteligentes pueden tener una gran importancia.

6.5 BALANCE NETO Y LEGISLACIÓN ACTUAL

El balance neto representa la regulación del déficit y del superávit de generación en el caso de los sistemas de autogeneración. En un supuesto caso en el que la generación sea superior al consumo se vierte ese excedente a la red con el objetivo de ser recuperado en el momento que la generación sea insuficiente, en otros casos se retribuye esta generación por parte de la red.

Con el objetivo de incentivar el autoconsumo distribuido, el Real Decreto-ley 15/2018 establece que la energía autoconsumida de origen renovable, cogeneración o residuos estará exenta de todo tipo de cargos y peajes. Esta legislación, por tanto, realiza un primer paso hacia el objetivo del balance neto.

El Real Decreto-ley mencionado introduce cambios a la ley 24/2013 [14], concretamente al artículo 9 de la misma relativo al autoconsumo de energía eléctrica:

- Se define autoconsumo como aquel por parte de uno o varios consumidores en instalaciones cercanas y asociadas a ellos.
- Se simplifica a dos tipos las instalaciones: con excedentes y sin excedente, dotando a las primeras de capacidad para verter energía a la red.
- Las instalaciones sin excedente están exentas de obtener permiso de acceso y conexión de instalaciones de generación en el caso de disponer ya de permiso de acceso y conexión para consumo.
- El registro de autoconsumidores será muy simplificado, con una finalidad estadística (no administrativa) para realizar un seguimiento del proceso de implantación. Es más, si la potencia es inferior a los kW el registro se podrá realizar desde casa, sin tener que recurrir a trámites administrativos presenciales.
- Reglamentariamente se pueden desarrollar mecanismos de compensación entre déficit y superávit de consumidores con excedentes en instalaciones de hasta 100 kW.

Este último punto ofrece la posibilidad de regular el balance neto, pero desde la publicación de este decreto ley no se ha realizado.

A parte, con respecto al Real Decreto 900/2015, se eliminan obstáculos a la expansión como la limitación de potencia instalada a la potencia contratada o cargos a la energía autoconsumida como el famoso “impuesto al sol”.

El 5 de abril del 2019 se publica el Real Decreto 244/2019 [15], por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Este atiende a las necesidades referidas en el mencionado Real Decreto-ley de 2018 para la compensación del balance neto en instalaciones de hasta 100 kW. También se realizan modificaciones en el reglamento electrotécnico de baja tensión ITC-BT-40 con respecto a los sistemas antivertido y varios requisitos de seguridad.

En cuanto a la economía se prevé que tenga un impacto positivo en el sistema, fomentando el empleo local y reduciendo las emisiones al favorecer el consumo renovable y la penetración de estas tecnologías. Como repercusiones, la consecución del Plan Nacional de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

En cuanto a los peajes de acceso, en el capítulo VI del nuevo Real Decreto, establece que por verter energía a la red las instalaciones con excedentes deben satisfacer los peajes establecidos en el Real Decreto 1544/2011 [16] por la energía horaria vertida. Por otro lado, la energía autoconsumida generada por métodos renovables, cogeneración o residuos está exenta de peajes.

Además, en el artículo 14, se establece que el sistema de compensación simplificada será un saldo económico. En el caso de disponer de un contrato con una comercializadora libre, la energía consumida de la red y la excedentaria serán valoradas al precio horario acordado respectivamente. En el caso de tener el contrato al precio voluntario para el pequeño consumidor con una comercializadora de referencia, la energía consumida de la red será valorada al coste horario de energía del precio voluntario definido en el artículo 7 del Real Decreto 216/2014 [17]. Por otro lado, la energía excedentaria será valorada al precio medio horario a partir de los resultados de los mercados diarios e intradiarios. El valor económico de la energía excedentaria no podrá superar el de consumo en ningún caso.

Cuando nos referimos al precio voluntario para el pequeño consumidor o PVPC, lo hacemos al sistema de fijación del precio de la energía actual, es decir, al que sustituyó a la Tarifa de Último Recurso (TUR) mediante el Real Decreto 216/2014. Tras esto, desaparecieron las subastas CESUR. El precio del PVPC es variable según el mercado mayorista.

En cuanto a las comercializadoras mencionadas, las de referencia son aquellas cuya tarifa es exclusivamente la PVPC, sin poder vender otros servicios o descuentos. Como alternativa a estas, las comercializadoras libres ofrecen un amplio abanico de modalidades de tarifa.

6.6 LA EVOLUCIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL

Lo generado en un instante determinado es consumido en ese mismo momento. El sistema eléctrico consta principalmente de los sistemas de generación, la infraestructura de transporte en alta tensión, la distribución en media y baja tensión, la comercialización y, finalmente, el consumo. Al ser la demanda de energía fluctuante se generan picos de demanda, por lo que se sobredimensionan los elementos para dar la capacidad suficiente para satisfacerla. A lo largo de los años la regulación ha ido evolucionando, pasando de una actitud proteccionista del Estado a una posterior liberalización con matices.

Previa a la liberalización, entre los años 1988 y 1997, dada la importancia del sistema eléctrico para el país este estaba controlado por el Estado que velaba por un lado por la garantía de los beneficios y la recuperación de las inversiones de las empresas involucradas y, por otro lado, de establecer tarifas para los consumidores al mínimo coste.

Unos años antes se crea Red Eléctrica Española, en 1985, y se establece el monopolio del sistema de transporte por reconocerse como el más eficiente. A los generadores se les pagaban en función de la tipología, estos “pagos reconocidos” estaban regulados según la Orden del 19 de febrero de 1988 [18] por la que se regula la retribución de las Empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico español. Por otra parte, los consumidores abonaban la “tarifa integral” regulada por la Orden del 20 de febrero de 1987 [19] por la que se establecen tarifas eléctricas. Esta integraba la división de los costes totales del sistema (incluyendo generación, mantenimiento...) por la energía producida anualmente.

Entre los años 1997 y 2009 se produce una liberalización progresiva donde ciertas decisiones que pertenecían al Estado pasan a ser parte del libre mercado. Por lo que se ha comentado anteriormente de los beneficios del monopolio, el transporte y el mantenimiento siguen siendo potestad del Estado. En el caso de la generación pasa al mercado mayorista donde las comercializadoras participan en su compra para luego integrar un mercado minorista con los consumidores. Los costes de la energía se dividen en los costes de generación y la “componente regulada” que engloba los gastos en competencias aún del Estado como los contratos de interrumpibilidad o primas al denominado como régimen especial. Es el Estado en este periodo el encargado de recaudar los pagos y dividirlos entre los protagonistas de la generación, el transporte y la distribución.

El mercado eléctrico, gestionado por OMEL, tiene dos partes diferenciadas: el mercado diario al por mayor, al contado o “spot” y seis mercados intradiarios. Tras una subasta inicial en el mercado diario, Red Eléctrica Española es la encargada de comprobar como operador que técnicamente es posible y, en caso de no serlo, de gestionar modificaciones. También se realizan otras subastas como las de los servicios complementarios secundarios y terciarios, que gestionan los desequilibrios entre generación y demanda.



Ilustración 12 - Curvas agregadas de oferta y demanda del 04/07/2018. Fuente: AEQ energía y OMIE

Una vez presentadas las ofertas del mercado diario, como se puede comprobar en la gráfica de las curvas agregadas de oferta y demanda, los precios de la oferta irán aumentando ya que las tecnologías de generación con un alto número de horas de utilización entran a coste cero. Por otro lado, las comercializadoras, buscando poder satisfacer la demanda prevista entran con grandes precios y luego bajan. En el punto que se cruzan estas dos curvas podemos encontrar el precio de casación diario.

El precio de casación se optimiza mediante el algoritmo Euphemia, de modo que corresponda con la suma del beneficio de las ofertas de compra, más las de venta y la renta de congestión. El precio en cada hora puede variar por múltiples motivos: precio de los combustibles, meteorología, demanda... En esta época, el Estado era aún el encargado de situar el valor fijo del kWh en la factura.

Posteriormente, a partir del 1 de julio de 2009 con la publicación del Real Decreto 485/2009 [20] se obliga a los consumidores a pasar su contrato a las comercializadoras mediante la creación de la tarifa de último recurso o TUR de las distribuidoras y se extinguen las tarifas integrales. En este caso el precio fijo de la tarifa venía dado por las subastas trimestrales CESUR organizadas por OMEL.

Como se ha comentado, las diferencias de funcionamiento son significativas y las modificaciones han sido grandes en un breve periodo. Dadas las necesidades propias del sistema el mercado está en continuo cambio y, actualmente, presenta diferencias a lo referenciado al ir evolucionando con modificaciones como las aplicadas en la resolución 6295 del 9 de mayo de 2018 de la Secretaría de Estado de Energía [21], por la que se aprueban las reglas de funcionamiento de los mercados diario e intradiario de producción de energía eléctrica.

Puesto que la transición energética es una realidad, en los próximos años se experimentaran grandes cambios en el funcionamiento del mercado. Cabe destacar, nuevamente, que las condiciones de este deben optimizarse por su gran impacto en todos los niveles.

7 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y DESARROLLO DE BATERÍAS

7.1 INTRODUCCIÓN

La idea de un futuro en el que la generación esté basada en gran porcentaje o, idealmente, en su totalidad por fuentes renovables está fundamentada en el uso del almacenamiento de la energía, como por ejemplo grandes grupos de baterías (ya estén centralizadas o distribuidas). En este modelo su función principal es estabilizar la generación de tecnologías poco previsibles (sustituyendo a las actuales centrales de apoyo), como la eólica, almacenando excesos de energía o aquella producida en horas sin consumo, pero el nivel de desarrollo actual de las tecnologías de almacenamiento de energía no permite una integración inmediata.

7.2 TIPOS DE ALMACENAMIENTO MENOS CONVENCIONALES

7.2.1 Volantes de inercia

Los volantes de inercia o FES (flywheel energy storage) son dispositivos mecánicos rotatorios capaces de almacenar energía en forma de inercia. Aprovecha que, tras parar la fuerza mecánica externa que lo acciona, al tener fuerzas de rozamiento casi nulas gracias a los cojinetes magnéticos, conservará la energía durante un largo periodo de tiempo.

Como característica representativa de estos sistemas tenemos la capacidad de absorber y ceder la energía en poco tiempo, haciéndolos ideales en motores o, en general, en sistemas mecánicos con operación discontinua. Esto, sumado a eficiencias superiores al 85% en el corto plazo [22], hace a esta tecnología especialmente interesante para estabilizar generaciones de tecnologías no previsibles.

La cantidad total de energía que puede almacenar este sistema depende dos factores fundamentales:

- Momento de inercia, I , que depende fundamentalmente de la forma del volante de inercia. La forma más habitual, por ser la más óptima, es el disco.
- Velocidad angular, w , la cual hace necesaria una buena resistencia del material constructivo del disco. Por su gran resistencia, la fibra de carbono es la mejor opción.

La energía varía según la siguiente ecuación:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

Dado que la velocidad angular está al cuadrado, es deseable maximizar sus valores.

Un gran ejemplo de aplicación exitosa de esta tecnología es el proyecto Power Store 40' en La Gomera en 2014, dentro del programa Store liderado por Endesa. En este proyecto se instaló un volante de inercia ABB Power Store de 500kW de potencia con la finalidad de estabilizar la frecuencia de la red eléctrica de la isla, la cual empeoró tras la instalación de generadores eólicos y solares. [23]

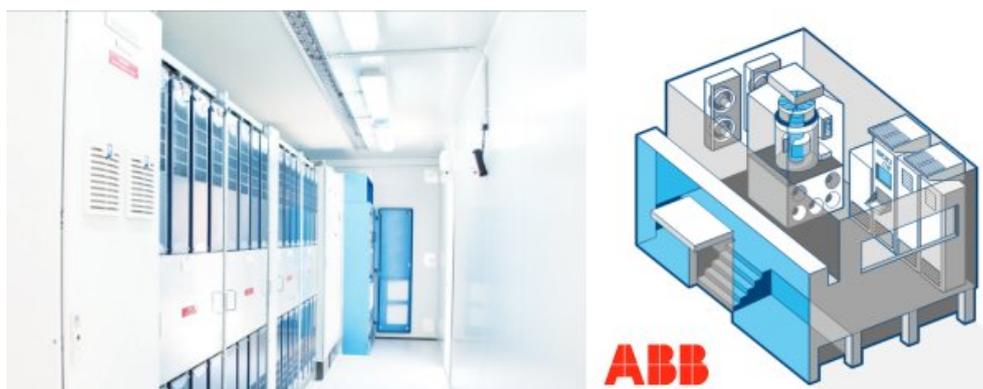


Ilustración 13 - Sistema de almacenamiento con volante de inercia ABB PowerStore. Fuente: energymatters.com

7.2.2 Centrales de aire comprimido

Las centrales de aire comprimido o CAES (compressed air energy storage) utilizan la energía en horas de bajo consumo para comprimir aire en formaciones subterráneas que, en ausencia de estas centrales, no tendrían utilidad.

Estas formaciones pueden ser creadas para explotación humana como las minas o formaciones naturales como acuíferos y suponen una de las mayores limitaciones de esta tecnología ya que la instalación está limitada a su existencia.

El sistema absorbe excesos de generación y los utilizar para comprimir aire atmosférico en las formaciones subterráneas. Cuando la demanda vuelva a subir a zonas de pico, este aire se extrae y se calienta mediante gas natural para ser turbinado en varias etapas. Es cierto que se necesita gas natural, pero en menor medida que cualquier central de ciclo combinado (hasta un 50%) y, gracias a recuperadores de calor, se disminuye aún más su necesidad. El rendimiento aproximado de este tipo de centrales está entre el 70 y el 75%. [24]

Existen plantas en funcionamiento desde hace muchos años, como la de McIntosh, en EEUU, que opera desde 1991 con una potencia instalada de 110 MW [25]. Un caso más

cercano es la central de Huntorf, en Alemania, que tiene una potencia total de 321 MW [26]. Actualmente el mayor reto para este tipo de almacenamiento de energía es la solución a la necesidad de gas natural para operar.

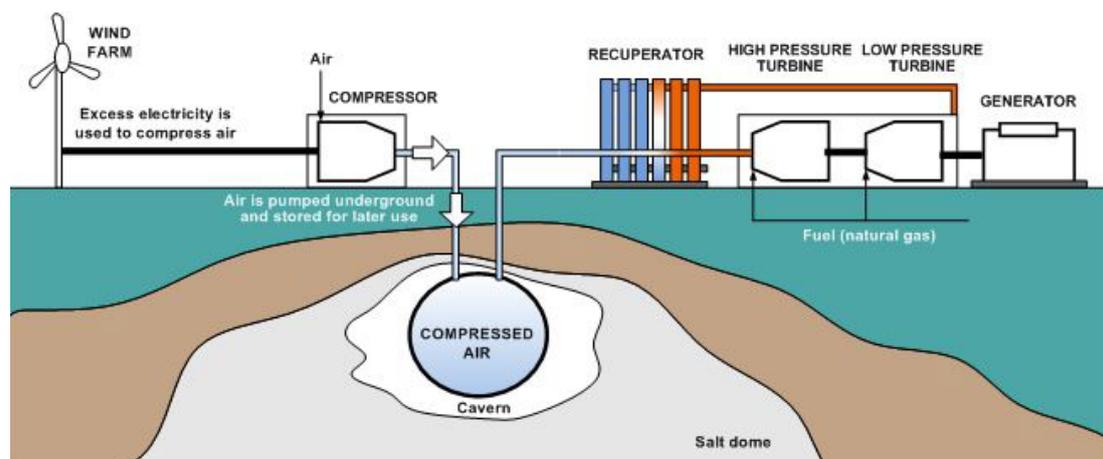


Ilustración 14 - Funcionamiento esquemático de una central de aire comprimido. Fuente: rockymountainpower.ca

7.2.3 Hidrógeno

Para entender este tipo de almacenamiento de energía es necesario definir en primer lugar la electrólisis. Se define como el proceso por el cual se descompone del agua el oxígeno y el hidrógeno en forma gaseosa. Esto se consigue sumergiendo dos electrodos en el líquido que, al crearse la diferencia de potencial, provocarán la electrólisis.

Al producirse la separación, el hidrógeno irá dirigido al cátodo y el oxígeno al ánodo. La posterior combinación del hidrógeno con el oxígeno para formar agua devolverá parte de la energía almacenada gracias al proceso de electrólisis. Una gran ventaja de este proceso es que solo es necesario almacenar el hidrógeno, ya que el oxígeno se puede tomar de la atmósfera. Debido a la baja conductividad del agua en ocasiones se pueden añadir aditivos para mejorar el proceso de descomposición.

El proceso práctico es sencillo, la energía eléctrica sobrante alimenta un electrolizador que disocia las moléculas del agua y produce oxígeno que se libera a la atmósfera e hidrógeno que, posteriormente, se comprime para almacenarlo hasta que sea necesario. Cuando la energía almacenada es necesaria, se utiliza el hidrógeno como carburante en un motor de características similares a uno de gas natural. En este motor se toma oxígeno atmosférico en una proporción de cuatro quintas partes de hidrógeno y una de oxígeno, el cual al reaccionar con la bujía provoca la reacción de combustión. La energía mecánica se transforma en eléctrica con un generador tradicional. Es un método con mucho futuro ya

que los residuos generados son mínimos y no dañinos, estos son oxígeno de la electrólisis y vapor de agua de la combustión.

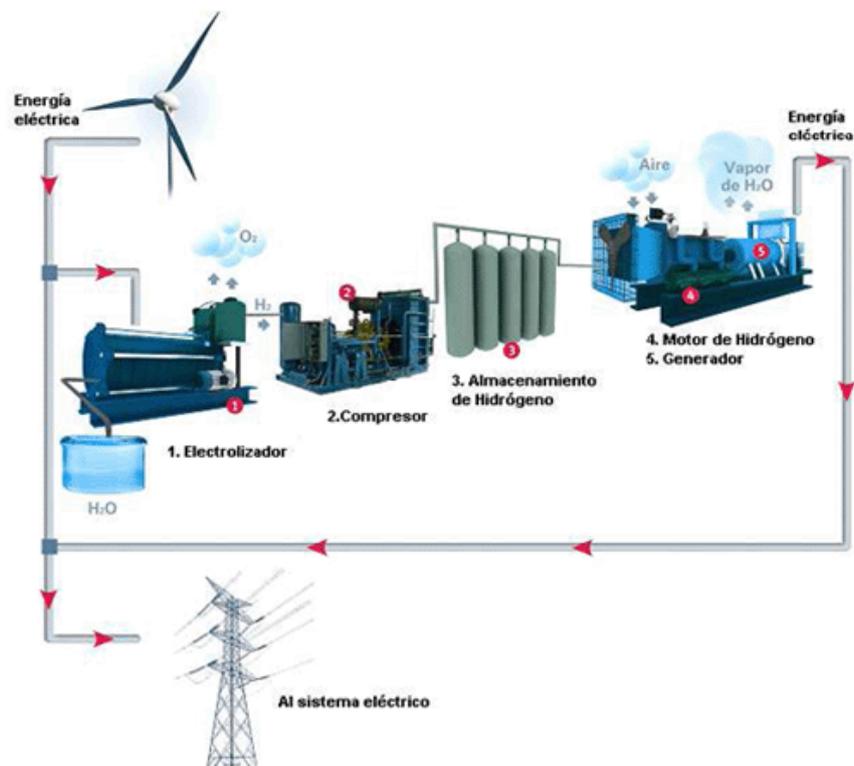


Ilustración 15 - Funcionamiento esquemático del proyecto en el Parque Experimental Sotavento. Fuente: sotaventogalicia.com

Entre 2005 y 2011 se llevó a cabo un proyecto piloto para este tipo de almacenaje de energía gracias al acuerdo entre Gas Natural y la Xunta de Galicia. Este proyecto, ubicado en el Parque Eólico Experimental Sotavento, funcionaba mediante un electrolizador alimentado por corriente eléctrica producida por los aerogeneradores del parque. Mediante un compresor se aumentaba la presión del hidrógeno generado hasta los 200bar para reducir el volumen. Posteriormente, con un motor de hidrógeno de 55kW se recuperaba parte de la energía almacenada [27].

A lo largo de este proyecto se mencionan en varias ocasiones el uso de hidrógeno como combustible, por ello cabe destacar su característica más desfavorable y esta es su inflamabilidad. Es destacable en este contexto comentar el accidente del dirigible alemán Hindenburg. En un exceso de confianza se incluyó incluso una sala de fumadores en el propio aparato. En el momento del accidente había una tormenta eléctrica, debido a la ionización del aire se produjo una descarga de efecto corona sobre el dirigible que provocó un incendio que en cuestión de segundos acabó con el aparato debido a la rápida propagación del fuego gracias al hidrógeno.

7.2.4 Centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo

Es el modo de almacenamiento que, actualmente, cuenta con mayor representación en todo el mundo. Al igual que las tipologías mencionadas anteriormente, su función es acumular energía en horas de exceso de generación para recuperar parte de ella en horas pico de consumo.

El funcionamiento de este tipo de centrales está en un estado de evolución considerable, ya que se han utilizado desde hace más de 100 años, y se puede distinguir en dos periodos:

- En las horas valle, utiliza el exceso de generación para proceder al bombeo del agua al embalse superior. De esta forma se almacena la energía.
- En las horas pico, esta agua se libera y pasa por turbinas hidráulicas, accionándolas y generando energía en función del caudal. En este paso es en el que se recupera parte de la generación.

Gracias a la capacidad de regulación y de respuesta de las máquinas eléctricas de este tipo de centrales las hace ideales para la regulación de generación y consumo, así como para apoyar a las energías no previsibles en caso de fallo.

Dependiendo de si disponen de aportación natural al embalse superior o dependen plenamente del bombeo podemos distinguir entre centrales de bombeo puro y centrales mixtas de acumulación. Para maximizar la viabilidad de un proyecto de este tipo se debe tener en cuenta el tamaño del embalse por la obra necesaria y por el impacto que este genere, para minimizar su tamaño se debe tener en cuenta la altura del salto. A la hora de comprobar su viabilidad una vez construida, es fundamental que el producto de la energía generada por el precio de su venta sea mayor al producto de la energía para bombear por el precio de la energía utilizada en el bombeo, cuanto mayor sea esta diferencia mayor rentabilidad tendrá.

Dado que dependen primero del bombeo y del posterior turbinado se tiene una duplicidad de las pérdidas. A pesar de esto, los rendimientos de las centrales hidroeléctricas reversibles rondan el 75% y los costos de su mantenimiento son muy bajos [28].

Aunque tienen grandes ventajas, el impacto paisajístico, la necesidad de una geografía muy concreta y las inversiones iniciales para su construcción tienen un gran papel a la hora de comprobar su viabilidad.

En España, el caso de mayor éxito es el de la central hidroeléctrica en El Hierro, perteneciente al archipiélago canario. En esta se usan los excedentes de la energía eólica para bombear agua al depósito superior, de esta forma se pueden ajustar los niveles de generación inestables de los aerogeneradores.

La central está compuesta por cinco aerogeneradores de 2,3MW situados en un punto cercano al depósito superior. Este, con una capacidad de 380.000 metros cúbicos y a unos 700 metros de altitud está emplazado en un cráter volcánico natural. Unas tuberías forzadas que salen de él acaban en el depósito inferior, con una capacidad de 150.000 metros cúbicos. Junto a él está la central hidroeléctrica, compuesta por cuatro turbinas de tipo Pelton que suman un total de 11,32MW de generación, además el grupo de bombeo compuesto por 8 bombas de diferentes características tiene una potencia total de 6MW. Finalmente, el sistema dispone junto al depósito inferior de la antigua central de gasóleo para operar en casos de emergencia [29].



Ilustración 16 - Sistema de El Hierro, Islas Canarias. Fuente: elpais.com

7.2.5 Almacenamiento térmico

Dado que en instalaciones de energía solar térmica de concentración se obtiene una gran cantidad de energía térmica que puede ser desaprovechada, el almacenamiento térmico es la mejor opción. Una aplicación interesante es la posibilidad de su transporte y, por tanto, de su aprovechamiento en puntos alejados de su zona de producción.

En función de los cambios sufridos por la sustancia que realice el almacenamiento tenemos dos tipos diferenciados:

- Almacenamiento térmico de calor sensible: en este la temperatura de la sustancia aumenta de temperatura sin superar las de cambio de fase, de manera que su estructura molecular y su estado permanecen sin cambios.

- Almacenamiento térmico de calor latente: el calor latente representa la energía necesaria para que se produzca el cambio de estado, como son los 100°C para la evaporación del agua líquida.

Una de las formas de almacenamiento térmico más conocidas y utilizadas es la de almacenamiento mediante sales fundidas. Este tipo funciona acumulando calor sensible y la cantidad de energía almacenada depende de factores como el aumento de temperatura conseguido o la capacidad térmica del medio. La “sal solar” utilizada consiste en una mezcla del 60% de nitrato de sodio y el 40% de nitrato de potasio.

En el caso de las sales fundidas, se tienen capacidades térmicas de 2800 kJ/m³K que es más baja que los 4200 kJ/m³K del agua. Sin embargo, las temperaturas que marcan el intervalo de estabilidad están entre los 240°C y los 600°C, entre las cuales se encuentran las temperaturas de operación de las centrales termosolares [30].

Uno de los grandes proyectos en España de este tipo es el de la central Gemasolar de Torresol Energy en Sevilla. Con una potencia máxima de 17MW, el campo circular de heliostatos concentra la energía solar sobre la torre de 140m de altura, donde las sales se calientan. Se almacenan en el tanque de sales calientes, desde donde van a enfriarse al generador de vapor para pasar al tanque de sales frías. Posteriormente estas son bombeadas al receptor de la torre para reiniciar el ciclo. Hay que tener en cuenta que, aunque se hable de sales frías, la temperatura mínima es de 290°C y la máxima de 565°C [31].

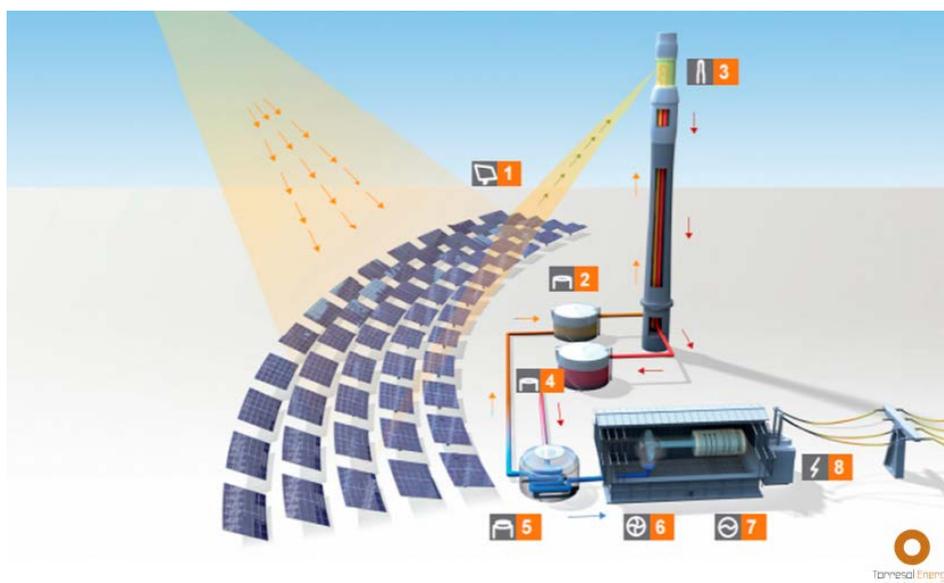
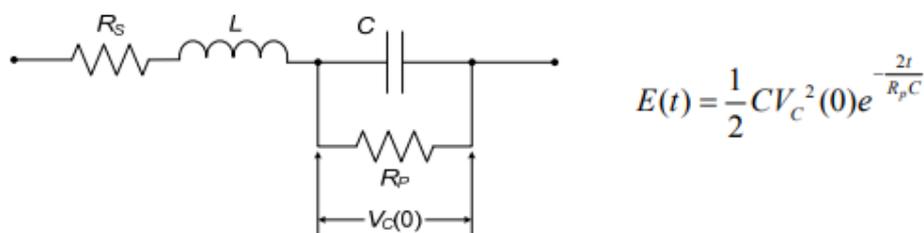


Ilustración 17 - Funcionamiento central Gemasolar, Sevilla. Fuente: torresolenergy.com

7.2.6 Almacenamiento mediante supercondensadores

Los supercondensadores representan una tecnología de almacenamiento de energía emergente y con gran proyección, ya que se pueden establecer en los actuales sistemas con ligeras modificaciones para sustituir a los bancos de condensadores convencionales. En este caso, el almacenamiento está basado en la acumulación de energía por parte de los condensadores en el campo eléctrico que se produce entre dos capas separadas por un material dieléctrico.



Dada la ecuación de la energía almacenada mostrada, sabemos que el almacenamiento de energía viene en gran medida determinado por el cuadrado de la tensión del condensador. Otros factores son la resistencia paralela R_p que representa las pérdidas de energía asociadas a la autodescarga y la capacidad, cuyo valor está influido por el dieléctrico del condensador, la forma de las placas o la distancia entre ellas.

Presentan altos valores de capacidad, flexibilidad en operación a distintas potencias desde los kW hasta los MW y rendimientos superiores al 95% [32]. El mantenimiento, al igual que en otras tecnologías, es mínimo y su vida útil es más que suficiente para su rentabilidad. Son capaces de trabajar en condiciones de temperatura adversa y, a diferencia de las baterías, pueden resistir corrientes altas de carga y ciclos rápidos de carga y descarga. A pesar de todas sus ventajas, los supercondensadores siguen teniendo un precio elevado y su capacidad de almacenamiento de energía es bastante limitada.

En la actualidad, los supercondensadores están ganando importancia en el sector de la movilidad. En Sevilla, por ejemplo, se planteó a la empresa CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles) el proyecto de introducir en la ciudad un sistema de tranvía sin catenaria. Dada la necesidad de una carga rápida se descartó un sistema de baterías y, finalmente, se optó por un sistema de supercondensadores que funciona desde 2007. Funciona gracias al sistema ACR (acumulador de carga rápida) que se recarga tras cada parada, permitiendo acumular la energía suficiente para alcanzar la siguiente. Más tarde, en 2011, Zaragoza incorporó el mismo sistema.

7.2.7 SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)

Al igual que con los supercondensadores, la principal característica del almacenamiento mediante superconductores es la alta eficiencia, que supera el 90% [33]. La superconductividad fue descubierta en 1911, cuando se estudiaba la resistencia del mercurio a temperaturas criogénicas, es decir, inferiores a las de ebullición del helio de -268.93°C. La superconductividad en la igualación a cero de la resistencia de paso de un material al enfriarlo por debajo de una temperatura crítica.

A través de un bobinado fabricado de un material superconductor en un entorno a temperaturas criogénicas se hacen pasar grandes corrientes que forman un campo magnético en el interior y es en este donde se produce el almacenamiento de la energía. Al tener una resistencia nula, la energía se almacena como corriente circulatoria que puede ser entregada con una respuesta casi instantánea y, además, por un tiempo virtualmente indefinido.

La energía total almacenada por un campo magnético viene dada por:

$$U_m = \frac{1}{2}LI^2$$

Ya que la inductancia L está limitada en su campo magnético en materiales ferromagnéticos a un valor de 3 Teslas, las bobinas superconductoras se colocan en aire o en vacío para aprovechar su permeabilidad magnética. Para maximizar el valor de la energía almacenada se debe tener en cuenta la geometría del bobinado, que puede ser un solenoide sencillo circular, una conexión serie de solenoides coaxiales o un toroide circular. A parte de la sección, también se depende del número de vueltas del bobinado.

Los tres elementos principales del sistema SMES son:

- Bobina superconductor: la aleación de Niobio y Titanio (NbTi) es, actualmente, la más utilizada en aplicaciones en sistemas de altos niveles de potencia. De las mencionadas anteriormente, la configuración toroidal de espiras sencillas tiene un campo exterior mínimo, esto permite que no afecte a otros sistemas o a la salud de las personas.
- Sistema de enfriamiento: tiene dos partes diferenciadas, una donde se prepara el refrigerante y la otra donde está situada la bobina, aislada y refrigerada. A parte de este enfriamiento directo, se pretende mediante el conocido como “escudo térmico” que la influencia externa a la temperatura sea mínima para que no se alcance la temperatura crítica en ningún momento. El refrigerante más habitualmente utilizado es el Helio y puede ser utilizado bañando el bobinado o mediante la circulación

forzada. Cabe destacar que, dado que el sistema necesita energía eléctrica para su operación, disminuye la eficiencia del mismo.

- Interfaz eléctrica: se trata de un rectificador inversor de dos puentes de tiristores de seis pulsos que transforma la corriente eléctrica que proviene de la red en energía continua que fluye a través de los bobinados para crear el campo magnético. Para cargar o descargar el inductor se hace positivo o negativo la tensión en la bobina. Se estiman en un 8% máximo las pérdidas de del convertidor en función de la energía total almacenada.

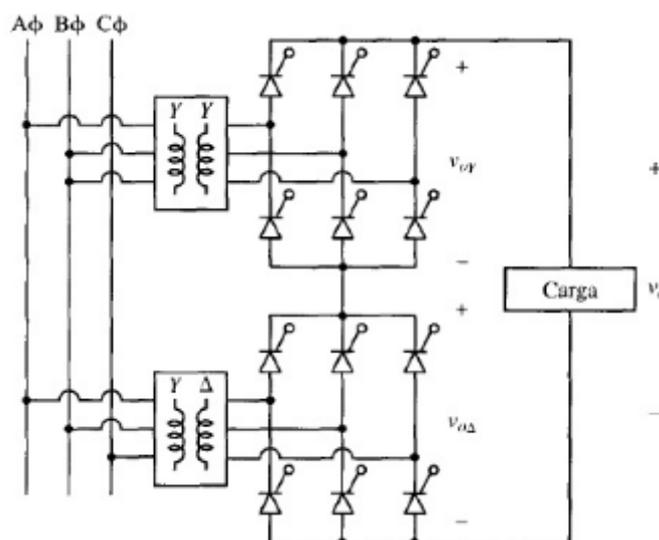


Ilustración 18 - Configuración típica para un rectificador en este tipo de aplicaciones. Fuente: Wikipedia.org

Estos sistemas SMES son altamente eficientes e ideales para proveer energía en caso de variación de demanda o pérdida de generación. Dotan al sistema de estabilidad al amortiguar y absorber oscilaciones durante transitorios y cambios bruscos en la tensión. Además, su tamaño es mucho más pequeño que el necesario en otras tipologías y no requiere de ubicaciones especiales como la hidroeléctrica o la de aire comprimido, por ejemplo.

7.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE BATERÍAS

Los sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías o BESS (Battery Energy Storage System) son los más masificados sin ningún tipo de duda, debido a su relación de coste y rendimiento. Tienen unas capacidades rápidas de respuesta, altas densidades de energía, grandes rendimientos cercanos al 80% y largas vidas útiles en general, cualidades que dependen del tipo de batería.

Las baterías almacenan la energía gracias a procesos electroquímicos. Se conectan en grupos en disposición serie o paralelo según su necesidad y, al igual que otros sistemas mencionados anteriormente, aprovechan las horas de generación sin consumo para llevar a cabo su carga que será utilizada en las horas de alto consumo o para equilibrar fallos en la generación.

Se conectan a la red mediante convertidores que, generalmente, suponen una desventaja dados los elevados precios de estos dispositivos. Otra gran desventaja es la necesidad de refrigeración que requieren, ocasionando un empeoramiento de la eficiencia.

Dada su gran importancia en el mercado masivo por sus aplicaciones en hogares, los sistemas de baterías están sufriendo una mejora continua gracias a las investigaciones que pretenden realizar mejoras en la densidad de la energía, los rendimientos y la vida útil de estos dispositivos.

7.4 TIPOS DE BATERÍAS

Actualmente las baterías de plomo y ácido son las que tiene un mayor recorrido, por lo que su madurez y su precio más competitivo hacen que sean las más utilizadas en aplicaciones de almacenamiento de energías renovables. Sin embargo, se está avanzando en la investigación de competidores, como las baterías de ion de litio que disponen de mayores rendimientos y densidades de energía.

- Baterías de plomo y ácido: cada celda dispone de un ánodo de plomo esponjoso y un cátodo de dióxido de plomo, sumergidos en ácido sulfúrico disuelto en agua. Dependiendo del estado de su carga obtendremos un número estimado de ciclos: su vida estará estimada en 2000 ciclos en el caso de mantener una profundidad de carga del 20% y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de carga sea del 50%. Su eficiencia ronda el 75% y tienen una vida aproximada de 15 años. A pesar de sus ventajas, las baterías de plomo son muy pesadas y ocupan un gran volumen de espacio. Dentro de este tipo de baterías podemos distinguir:
 - Sumergidas: se usa una solución acuosa de ácido sulfúrico. Durante su descarga, el dióxido de plomo del electrodo positivo se reduce a óxido de plomo que al reaccionar con el ácido sulfúrico forma sulfato de plomo. Por otro lado, el plomo esponjoso del electrodo negativo es oxidado y forma iones de plomo, que reaccionan con el sulfúrico para formar sulfato de plomo. Así producen la energía y, durante la carga, se revierte la reacción.
 - Reguladas por válvula: también conocidas como VRLA por sus siglas en inglés, usan el mismo principio que las baterías de plomo y ácido

sumergidas, salvo que están controladas por una válvula regulada por presión.

- Baterías de sodio-azufre: constan de azufre fundido en el electrodo positivo y sodio fundido en el negativo separados por un electrolito de beta alumina. El electrolito solo permite el paso de los iones positivos de sodio para combinarse con el azufre y formar polisulfuros de sodio. En la descarga, los iones positivos de sodio pasan a través del electrolito y los electrones fluyen a través del circuito externo produciendo 2V, manteniendo la temperatura de 300°C necesaria para el proceso. De no ser por la sedimentación producida en las placa, el proceso podría revertirse y volverse a producir eternamente. Al sedimentarse también se pierde capacidad de almacenamiento al no formar parte ya esos materiales del proceso. Además de su gran eficiencia, estas baterías disponen de una alta densidad de energía y potencia, lo que las hace ideales para cubrir las puntas de demanda o desequilibrios. Los ciclos de vida estimados son de entre 5000 y 2000. Como desventajas: funcionan a temperaturas superiores a los 300°C, su precio es superior a otros tipos y, además, necesitan aislamientos por la corrosividad del sodio.
- Baterías de ion de litio: mientras que el ánodo es de grafito, el cátodo puede ser de óxido de cobalto, óxido de manganeso o trifilita. El electrolito está formado por sales de litio disueltas en carbonatos orgánicos. En el proceso de carga, el litio en el cátodo pasa a ser iones y se desplaza a través del electrolito hacia el grafito para combinarse con los electrones externos. Como en los tipos anteriores, el proceso de descarga consiste en revertirlo. Son una futura alternativa a las convencionales de plomo por su rendimiento cercano al 100% y sus mejoras en la densidad de energía, ausencia de efecto memoria y en la reducción del coste, incluyendo los de mantenimiento. Actualmente son más costosas, pero las evidentes ventajas, sumadas al menor impacto ambiental de sus componentes, están haciendo que se aumente la investigación en esta tecnología.
- Baterías metal-aire: los ánodos, comúnmente, son metales de gran disponibilidad con altas densidades de energía que, al ser oxidados, liberan electrones. Los cátodos están formados por estructuras porosas de carbón. El electrolito es un hidróxido metálico que se puede encontrar en forma líquida o sólida en una membrana polimérica. Su recarga es dificultosa y tiene una vida útil de 100 ciclos, por lo que no son muy rentables.
- Baterías de flujo: este tipo consiste en dos reservas de electrolitos desde los cuales se bombean hacia la celda electroquímica, compuestas también por ánodo, cátodo y una membrana separadora. El tamaño de los depósitos de los electrolitos

determinará la densidad de energía y la proporción de reacciones en el tiempo está relacionada con la potencia. Están basadas en el las reacciones reducción-oxidación.

- Polisulfuro de bromuro (PSB): este tipo de celda regenerativa funciona gracias a una reacción electromecánica reversible entre dos electrolitos de sal disuelta, uno de bromuro de sodio y otro de polisulfuro de sodio, separados en la celda por una membrana que solo permite el paso de iones de sodio.
- Batería redox de vanadio (VRB): durante la carga y descarga, los iones de hidrógeno se intercambian entre los dos depósitos de electrolitos, pasando a través de la membrana permeable a los iones de hidrógeno. Este tipo de baterías permiten muchos ciclos de carga y descarga profunda, por lo que tienen una vida útil superior a la media (estimada en más de 10 años). Tiene una gran eficiencia, cercana al 80%, pero su coste es muy alto y su densidad de energía muy baja.
- Batería de zinc-bromuro: dos electrolitos fluyen a través de electrodos de fibra de carbono. Separados en dos cámaras por una membrana microporosa de poliolefina. En la descarga los átomos de zinc y bromo se combinan en bromuro de zinc y en la carga el zinc se deposita como una pequeña lámina en un lado del electrodo.

7.5 BATERÍAS COMERCIALES PARA EL HOGAR

En los últimos años, el autoconsumo está ganando popularidad y se está posicionando como una alternativa de futuro para el consumo responsable y sostenible. Las mejoras en los dispositivos de generación para el hogar, los de almacenamiento y la legislación cada vez más favorable juegan a su favor.

Las empresas fabricantes han lanzado al mercado sus modelos siendo los más populares los modelos de ion litio. La ventaja de estas baterías en el caso de la autogeneración mediante paneles fotovoltaicos es que el almacenamiento es directo y el inversor que realice el cambio a corriente alterna puede ser compartido.

Una instalación básica dispondría del panel o paneles fotovoltaicos, el inversor fotovoltaico y el sistema de almacenamiento o ESS. Además, es fundamental el uso de un regulador de carga para controlar el flujo energético con el fin de controlar de manera continua el nivel de carga de nuestro sistema de baterías para así optimizar la vida del mismo. Dentro de este tipo de reguladores podemos diferenciar dos tipos:

- Reguladores MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia): son capaces de regular la generación fotovoltaica a la tensión propia de las baterías, sin necesidad de que sea la misma. De esta forma maximizan la eficiencia y la generación es la máxima continuamente. Se dimensionan en función de la potencia y la tensión, dando problemas en caso de superar la tensión máxima. Permiten añadir paneles en serie, obteniendo una tensión total superior a la de las baterías
- Reguladores PWM (modulación de ancho de pulso): son más baratos, pero necesitan que la tensión de los generadores fotovoltaicos y de las baterías sea la misma, en cualquier otro caso se necesitarían los MPPT. Estos se diseñan en función de la intensidad máxima y de la tensión, dando problemas una vez superada su intensidad nominal. Están limitados a tensiones de 12 y 24V.

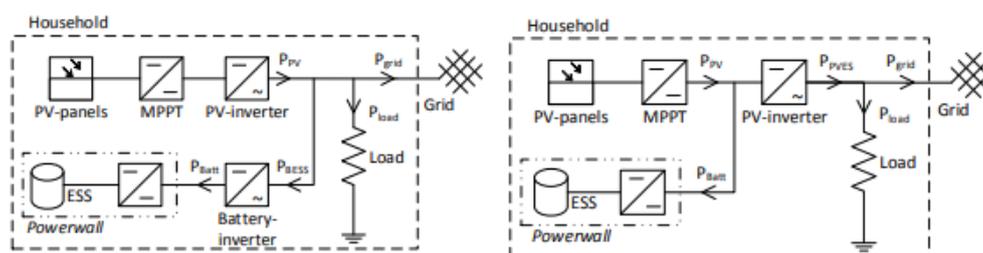


Ilustración 19 - Diferentes tipos de conexionado. Fuente: Technical University of Munich

En cuanto a popularidad alcanzada, el modelo Powerwall de Tesla es sin duda el ganador. Por utilizarlo de ejemplo, estas baterías de uso doméstico tienen eficiencias del 90% y capacidades de 13,5kWh. Aunque su potencia de suministro continuo esté en los 5kW, están preparadas para soportar picos de hasta 7kW [34].

7.6 LOS PROBLEMAS DE LA EXTRACCIÓN DE LITIO

Las baterías de ion de litio son las que están acaparando mayor atención por sus características ya definidas en apartados anteriores. Por esta razón la necesidad de litio en los últimos años ha crecido y los grandes productores intentan mantener su producción y, de ser posible, aumentarla para satisfacer el consumo.

Según el estudio anual del Servicio Geológico de los Estados Unidos, el 56% del litio importado por ese país se destina exclusivamente al mercado de las baterías. La dependencia en este país es total ya que, desde 2013, su producción es nula. Por este motivo, en 2009 el Departamento de Energía de este país invirtió 9,5M\$ en la construcción de unas instalaciones de reciclaje de baterías de ion de litio que opera desde 2015. En el mismo estudio, se detalla que el aumento de producción anual creció un 13% en 2017 y un 22% más en 2018 [35]. Se espera que en un futuro las cifras crezcan aún más debido al

aumento de las extracciones y de la aparición de nuevos productores, como Bolivia que apunta a ser uno de los máximos productores mundiales.

| | Producción (MT) | | |
|----------------------|-----------------|-------------|-------------|
| | <u>2016</u> | <u>2017</u> | <u>2018</u> |
| Argentina | 5800 | 5700 | 6200 |
| Australia | 14000 | 40000 | 51000 |
| Brasil | 200 | 200 | 600 |
| Chile | 14300 | 14200 | 16000 |
| China | 2300 | 6800 | 8000 |
| Portugal | 400 | 800 | 800 |
| Zimbabue | 1000 | 800 | 1600 |
| Namibia | - | - | 500 |
| Total mundial | 38000 | 69000 | 85000 |

Ilustración 20 - Productores mundiales de litio y producción total. Fuente: USGS (United States Geological Survey), elaboración propia

El litio se extrae de la salmuera de las salinas, para ello se bombea y se deja evaporar el agua de manera natural en depósitos, permitiendo la extracción química del carbonato de litio. Existen también en algunos lugares muy concretos, como Australia, Madagascar o Brasil, yacimientos de espodumena. Este mineral se utiliza como fuente de litio tras pasar por un proceso propio de aprovechamiento.

Más allá de los problemas de escasez, la extracción de litio causa problemas medioambientales y sociales. La contaminación producida en la explotación puede tener un impacto en el medioambiente, cultivos y, como cualquier explotación de extracción, de debilitación del suelo y daños sobre el mismo por posibles filtraciones o derrames.

Otros problemas sociales se derivan del uso del agua y la contaminación de la misma. Normalmente, estas explotaciones se encuentran en zonas áridas cercanas a zonas donde la necesidad de agua es vital. En países como Chile, Argentina o Bolivia ya se han tenido casos de contaminaciones de suministros de agua usados para regadío, cría de ganado e incluso para consumo humano.

7.7 ESCASEZ Y MONOPOLIO DEL COBALTO

A parte del litio, uno de los principales componentes de las baterías actuales para, principalmente, automóviles eléctricos es el cobalto. Es usado en aleación junto a otros metales para conseguir una mayor durabilidad en las baterías.

El principal país productor de cobalto es la República Democrática del Congo y su cliente mayoritario es China, casi en exclusividad ya que el comercio entre estos dos países supone un 40% del total mundial. Dado que el país africano siempre ha estado

caracterizado por su inestabilidad política, los precios de este mineral llegaron a quintuplicarse entre el año 2016 y el 2018. Tras las elecciones y la llegada de cierta estabilidad los precios han bajado y el precio se ha reducido a un tercio del que se tenía en el mismo mes del pasado año.



Ilustración 21 - Evolución del precio del cobalto. Fuente: *elEconomista.es*

Frente a los problemas surgidos por el uso del cobalto y la necesidad del mismo, las empresas se plantean no la sustitución del mismo sino un uso más eficiente. La compañía Tesla, uno de los principales protagonistas del mercado del transporte eléctrico, ha defendido el uso de las baterías de níquel, cobalto y aluminio (NCA) frente a las de níquel, cobalto y manganeso (NCM) que se usan actualmente. Esto se debe a que estas últimas contienen sobre un 20% de cobalto y las primeras mejorarían esa cifra al reducir la necesidad de este a un tercio.

Desde la aparición del Tesla Roadster en 2009 hasta el Model 3 en 2018 consiguieron reducir el contenido de cobalto de cada vehículo en, aproximadamente, un 59%. Ante la presentación de las nuevas generaciones de baterías NCM, Elon Musk, CEO de Tesla y firme defensor de la tecnología NCA, afirmó en 2018: *“El contenido de cobalto de nuestra química NCA es ya inferior a la de los cátodos de nueva generación producidos por otros fabricantes con un ratio de Níquel-Manganeso-Cobalto de 8:1:1.”* [36].

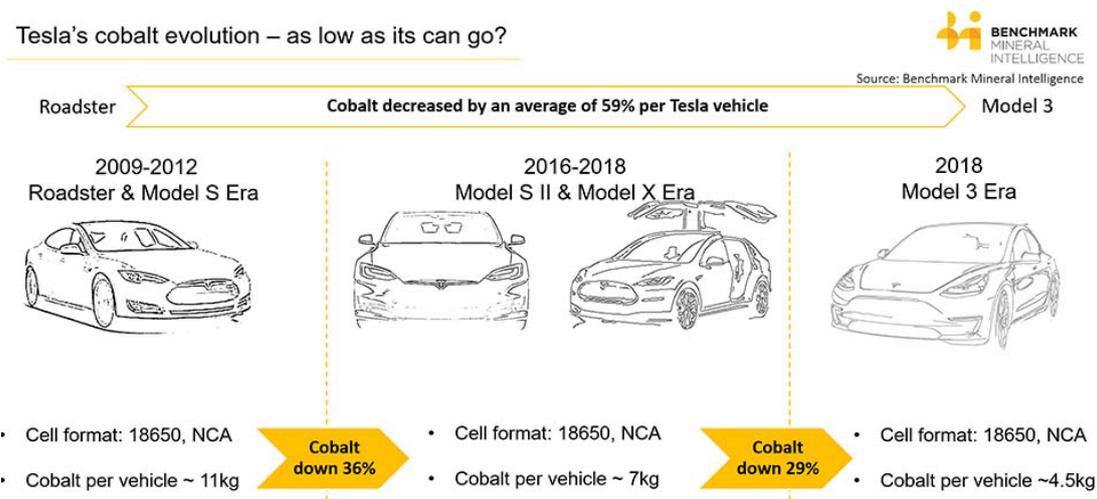


Ilustración 22 - Evolución del contenido de cobalto por vehículo Tesla. Fuente: Benchmark Mineral Intelligence

A pesar de lo ya mencionado sobre la menor necesidad del cobalto de la tecnología NCA que defienden Tesla y, recientemente, Toyota, las predicciones siguen siendo favorables a las NCM por su masificación y mayor apoyo. Benchmark Mineral Intelligence pronostica que para el año 2026 las baterías NCM representarán un total del 70% del volumen mundial de baterías de ion de litio. También estima que, a pesar de estar reduciendo su necesidad por vehículo, el aumento del volumen de cobalto demandado va a aumentar en un 300%.

7.8 IMPACTO ECOLÓGICO Y RECICLAJE DE BATERÍAS

Como se ha mencionado anteriormente, las baterías contienen sustancias que, de no ser debidamente tratadas, son muy perjudiciales para el medio ambiente. El rápido desarrollo de estas tecnologías hace que queden prácticamente obsoletas en cuestión de meses, por lo que son desechadas cuando se rentabilizan y sustituidas por dispositivos más modernos, problema idéntico al que ocurre con los paneles fotovoltaicos.

El porcentaje de reciclaje de las baterías de ion de litio en la Europa es extremadamente bajo, un estudio presentado por FoEE estimaba que solo un 5% de las baterías puestas en el mercado del continente pasaban por este proceso para su posterior reutilización en 2010 [37]. El 95% restante es depositado en vertederos o, en otros casos, incinerado. Varios años después la normativa se ha ido tornando más exigente pero queda mucho por mejorar el reciclaje de estas tecnologías, tanto en inversión como en legislación.

Dado que en China se empezaron a comercializar los coches eléctricos en 2009, en los próximos años se producirá una gran avalancha de residuos por la finalización de la vida útil de sus baterías. El hecho de que en Europa la tasa de ventas sea tan baja es, en parte, beneficioso porque no se enfrentará a un problema tan masivo e inminente (como sí lo hará el país asiático) y lo hará cuando las tecnologías de reciclaje ya estén más avanzadas.

7.9 EL FUTURO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

A pesar del aumento de la demanda y la especulación que se lleva a cabo con estos minerales, le precio de litio y cobalto no han sufrido grandes repentes y permanecen estables, incluso con ciertas bajadas. Dada la importancia de estos dos minerales, sobre todo la del litio, significa un argumento de positivismo para el futuro del almacenamiento de la energía en todas sus formas: automóviles, almacenamiento en el hogar, a gran escala...

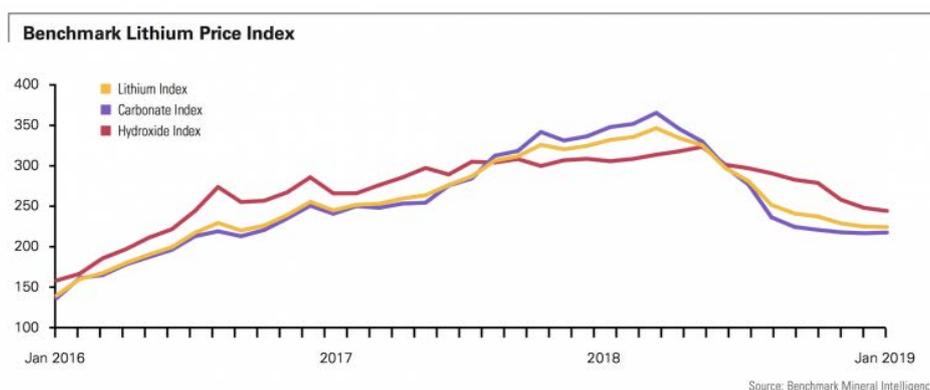


Ilustración 23 - Evolución del precio del litio en sus diferentes formas. Fuente: Benchmark Mineral Intelligence

Por otro lado, se realizan grandes inversiones continuamente para la búsqueda de competidores a las actuales tecnologías. Uno de los grandes focos de investigación es el campo del uso de metales “multivalentes” para sustituir al litio. En el caso de las baterías de ion de litio, por cada uno de estos transferido se transfiere un electrón. Al sustituir el litio por estos metales mencionados se tiene que serían capaces de transferir más de un electrón por ion, de manera que para un tamaño de almacenador igual se tiene un aprovechamiento mayor. Uno de los principales estudios se llevó a cabo en la University of Bath, donde en 2017 ya demostraron que modificando el dióxido de titanio podría utilizarse como electrodo en baterías multivalentes.

La mejora de los sistemas de almacenamiento de energía se plantea como uno de los pilares en la consecución de los objetivos sobre eficiencia energética, integración de renovables y calidad de la red. Las tecnologías en las que se basan avanzan a un ritmo cada vez más acelerado para satisfacer la demanda, sin embargo aún son muy limitadas para la introducción de medidas con bastante proyección, como el V2G. Se espera que en los próximos años el aumento de la demanda esté acompañado por una creciente mejora que dote de oportunidades al sistema y supere los obstáculos.

8 MOVILIDAD ELÉCTRICA Y V2G

8.1 INTRODUCCIÓN

Podemos afirmar que la época actual está definida por los profundos cambios, guiada por la necesidad de los mismos más que por una necesidad de cambio real. El modelo hegemónico de movilidad (basado en combustibles fósiles) está caracterizado por su estabilidad y buen rendimiento pero, sin embargo, tiene fecha de caducidad.

En épocas pasadas se creía que el final de este modelo iría marcado por el agotamiento de las reservas de este tipo de combustibles, ya que es un tipo de biomasa no recuperable a corto plazo como sí lo son la leña o el biodiesel. Pasado el tiempo y tras tomar conciencia la industria y la sociedad sobre el impacto ecológico que se produce por estas tecnologías, ha sido este el que ha precipitado el fin y la búsqueda de nuevas formas de movilidad.

La opción más viable, frente al impacto que siguen teniendo los biocombustibles o los automóviles híbridos, son los 100% eléctricos o BEV (Battery Electric Vehicle). A pesar de parecer tecnologías futuristas y la percepción de lejanía que se tiene aún hacia la adopción total del automóvil eléctrico, estos existen desde hace décadas, pero siempre han estado limitados por el poco apoyo y, por tanto, lento desarrollo. Para situar temporalmente la antigüedad de los automóviles eléctricos: el primer desarrollo de un automóvil (en aquella época más conocido como carruaje) eléctrico se atribuye al inventor escocés del siglo XIX Robert Anderson en una fecha sin determinar entre 1832 y 1839.

Las cifras de popularidad de vehículos eléctricos crecen cada año, según la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (Anfac) las matriculaciones del pasado año 2018 aumentaron un 61%, hasta alcanzar las 13.882 unidades [38].

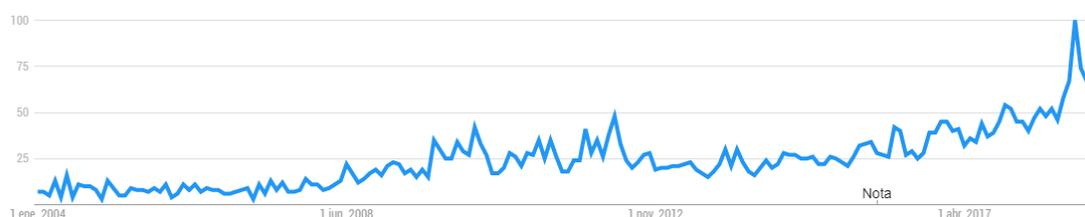


Ilustración 24 - Aumento de la popularidad de búsquedas sobre automóviles eléctricos. Fuente: Google Trends

8.2 LA NECESIDAD DEL AUMENTO DE LA ENERGÍA

Planteando la necesidad de un cambio de sistema surgen inmediatamente todos los puntos débiles que se derivan. La falta de desarrollo de las baterías que derivan en recargas cada “pocos” kilómetros frente a la duración de los combustibles convencionales y la falta de puntos de recarga, los precios con pocas expectativas de amortización, la poca madurez de las tecnologías de reciclaje de baterías, entre otros.

Uno de los grandes problemas es la necesidad del aumento de energía para lograr suplir la demanda a la que se enfrentará el sistema en los próximos años. Actualmente la red eléctrica es muy estable y satisface las necesidades plenamente, sin embargo en un futuro cercano se verá obligada a abastecer un suministro de unas dimensiones nunca antes vista en la historia. Este problema estará sumado a la entrada de las energías renovables, cuyo funcionamiento juega en contra de la operación segura y de calidad del sistema.

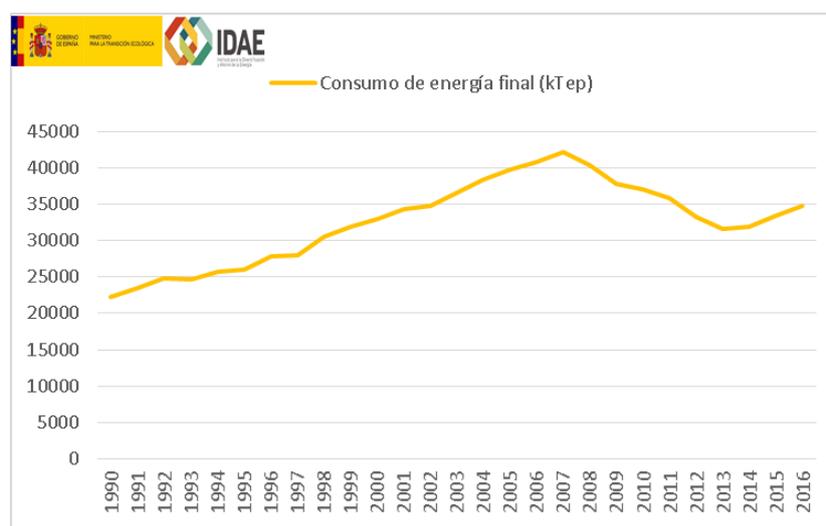


Ilustración 25 - Evolución del consumo de energía final en el transporte en kTep. Fuente: IDEA, elaboración propia

El consumo de energía final asociada al transporte (a pesar de haber tenido épocas de bajada en los últimos años) se prevé que siga aumentando. Esta necesidad de energía históricamente ha sido suministrada por combustibles fósiles, pero, como se ha comentado anteriormente, se requiere que sean sustituidos.

En caso de sustituir toda esta energía del transporte por energía eléctrica es necesario que los generadores sean limpios y renovables. Esto es debido a que el cambio carecería de sentido en el caso de utilizar centrales de régimen ordinario emisoras de gases de efecto invernadero para sustituir a los motores de combustión.

Como medida alternativa a una planificación al aumento de la potencia instalada para generación se plantea una planificación en función de la disponibilidad de recursos de generación, es decir, una planificación de la demanda en función de la generación. Para esto es necesario una mejora en la predictibilidad de las fuentes de generación previstas para operar en el futuro.

8.3 CONTAMINACION Y MIX ENERGÉTICO

Uno de los datos erróneos a favor de los automóviles eléctricos tiene que ver con la ausencia de contaminación de estos. Es cierto que durante su funcionamiento las emisiones son nulas, pero durante la generación de la energía que carga sus baterías y durante su producción las emisiones de CO₂ tienen gran importancia. A parte, la huella ecológica derivada del fin de la vida útil de las baterías tiene gran relevancia.

Dado que la contaminación asociada a la movilidad eléctrica proviene de la generación de la energías para la recarga de las baterías es de gran importancia el mix energético del sistema en el que se encuentra. Ya en 2009, un estudio sobre uso de la energía de automóviles determinó que los vehículos eléctricos con batería de ion de litio emitían cifras de CO₂ similares a vehículos de combustión de altas prestaciones en recorridos de 700 km (teniendo en cuenta que el estudio se hizo sobre el mix italiano) [39].

A pesar de que desde que se realizó el estudio el mix energético de los sistemas eléctricos ha evolucionado, como también lo han hecho los vehículos, nos permite conocer la importancia de un sistema basado en tecnologías de generación limpias.



Ilustración 26 - Evolución de las emisiones directas (t CO₂ equivalente). Fuente: Red Eléctrica Española

8.4 PROMOCIONAR EL USO DE ELÉCTRICOS

Dentro del marco para el clima y la energía para 2030 se establece que las emisiones de gases de efecto invernadero deben haberse reducido, al menos, un 40% respecto a las del año 1990. Además, el 28 de noviembre de 2018, la Comisión Europea planteó la estrategia para el año 2050 con el objetivo de alcanzar un futuro climáticamente neutro y mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C [40].

Con esta visión de futuro, se hace necesario la irrupción de los automóviles eléctricos con la mayor brevedad y mejor integración posible. Dadas las directrices europeas, los países tienden a usar la fiscalidad transitoria favorable como medida para incentivar la compra de estos vehículos.

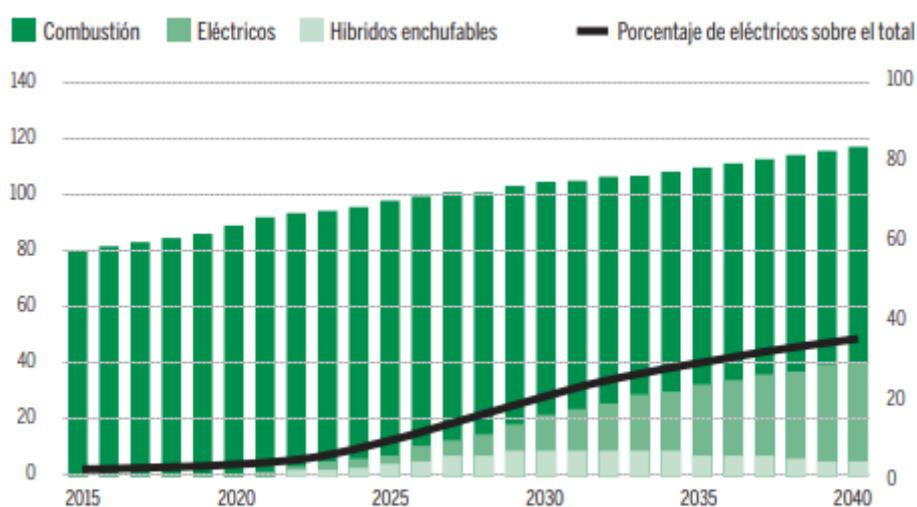


Ilustración 27 - Cuota del mercado mundial por tipo de vehículo. Fuente: CNMC, Acea y Bloomberg

En España, el plan MOVEA 2019 (Plan de Impulso a la Movilidad con Vehículos de Energías Alternativas) forma parte de la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) [41], planteado para el intervalo entre 2014 y 2020. Este plan, impulsado por el Ministerio de Economía y Empresa, pretende incentivar la compra de vehículos de energías alternativas como eléctricos, gas licuado del petróleo o gas natural comprimido. Existen dos partidas presupuestarias definidas: por un lado una de 67 millones de euros para promocionar la compra de los vehículos y otra para la mejora y aumento de las infraestructuras de recarga. Tras la no aprobación de los PGE (Presupuestos Generales del Estado) el plan permanece a la espera de su aprobación.

En general, todos los países de la Unión Europea están apostando por la renovación del parque automovilístico con la finalidad de reducir las emisiones. Un caso destacable es el de Francia, quien cuenta con un presupuesto de 600 millones de euros con este objetivo. La ayuda básica de 1.000 euros de su plan estará destinada a las personas que retiren de la circulación sus vehículos de gasolina con matriculación previa al año 1997 y los de diésel matriculados antes del 2001. Además, se han aplicado otras medidas sociales, como 1.000 euros adicionales en función de la renta del solicitante, 2.000 euros más en el caso de demostrar estos solicitantes que recorren más de 60 km diarios para trabajar o ayudas adicionales en el caso de optar por la compra de un vehículo 100% eléctrico [42].

Conociendo las diferencias notables entre el plan español y los de los países de nuestro entorno es deseable que se igualen. Como afirma Pedro González, Director de Regulación de Aelec (Asociación de Empresas de Energía Eléctrica), en el artículo “Algunas ideas para el impulso del vehículo eléctrico”: *“La adopción de una política encaminada a un despliegue que nos esquipare con los países de nuestro entorno es una herramienta fundamental”*. Además, en el mismo artículo, destaca con respecto a la apuesta segura que suponen estas ayudas que *“los efectos positivos deberían compensar las ayudas que se establezcan: mejora de la calidad del aire en las ciudades, cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, impulso industrial y [...] una mayor entrada de renovables, acelerando por tanto la descarbonización de la economía”*.

8.5 ELECTROLINERAS Y REPOSTAJE

La limitación técnicas de las actuales baterías utilizadas en los vehículos eléctricos hace ganar importancia a la existencia de una buena red de puntos de recarga a nivel mundial. En España la red de electrolinerar es aún escasa y juega en contra de la promoción de la de compra y uso de los BEV.

En este punto es necesario destacar que existen diferencias entre los puntos de recarga y las electrolinerar. Estas últimas son puntos de recarga, pero no necesariamente todos los puntos de recarga son electrolinerar. Diferenciaremos por tanto entre los puntos de recarga urbanos y las electrolinerar puras o gasolineras adaptadas con punto de recarga para vehículo eléctrico.

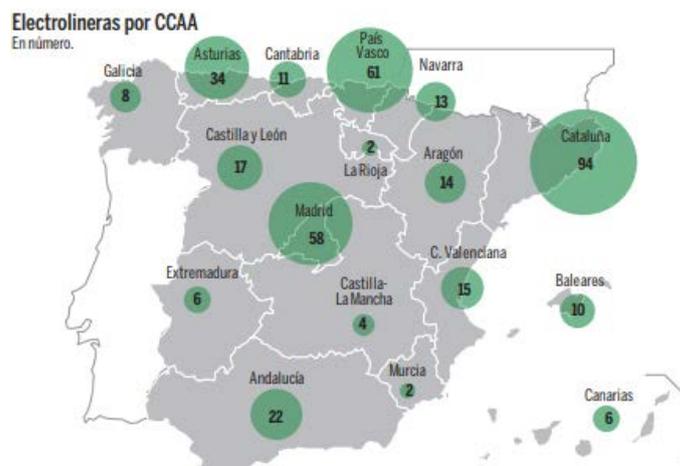


Ilustración 28 - Número de electrolineras por Comunidad Autónoma. Fuente: CNMC, Acea y Bloomberg

Mientras que comunidades autónomas como Catalunya (25%), País Vasco (16%), Madrid (15%) o, incluso, Asturias (9%) poseen la mayoría de las electrolineras del país, la el resto del territorio, que supone una extensión mayor, sigue sin tener una red adecuada [43].

Mientras que las electrolineras sirven para cargas puntuales en desplazamientos largos, los BEV de uso diario suelen ser cargados en horas nocturnas (en el caso de disponer de un dispositivo de carga en la vivienda). Esto, actualmente, al ser el parque eléctrico reducido no supone ningún problema, sin embargo, la red no está preparada para que el total sea sustituido ya que se ocasionarían problemas.

En España el volumen de puntos de carga, inferior a 5.500, choca con el número de gasolineras que ronda las 11.500 [44], es decir, más del doble. Otro problema asociado es el escaso porcentaje de estos puntos que dispone de carga rápida. Esto, más que un problema de nuestro país se eleva a nivel mundial. El porcentaje de puntos rápidos que en España es de 3% es similar en otros puntos de Europa como Noruega (6%), Reino Unido (6%), Francia (4,5%) o Alemania (3%). Todos estos datos, claro está, relativos al volumen total de puntos de recarga de cada país mencionado.

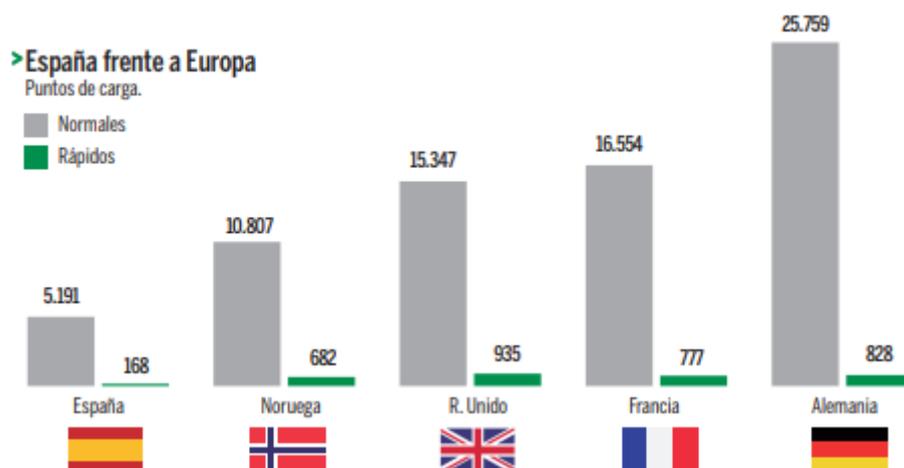


Ilustración 29 - Puntos de carga: España frente a Europa. Fuente: CNMC, Acea y Bloomberg

La modalidad de recarga estándar es una adaptación del modelo previo, pero se han ido planteando alternativas con la finalidad de modificarlo buscando una mejora del sistema. Los ejemplos más populares dentro de las alternativas son dos: los cambios integrales de batería y el repostaje de combustible de la pila. La ventaja principal que aportan es la velocidad de repostaje.

Respecto a los cambios integrales de batería, la empresa NIO Power con el sistema de intercambio de baterías Power Swap es la protagonista. La estación de cambio de baterías está completamente automatizada, realizando todo el proceso de alineación, retirada de batería descargada e instalación de la recargada. El proceso completo es de 3 minutos, mejorando considerablemente los tiempos de recarga habituales. Las mayores desventajas de este sistema son la necesidad de un volumen mayor de baterías en circulación o el espacio ocupado por los módulos donde se realiza la sustitución, que ocupan aproximadamente el equivalente a tres plazas de aparcamiento. NIO Power tiene planteado la construcción de 1.100 estaciones de este tipo para 2020 [45].

Por otro lado, existen otros tipos de repostaje diferentes. Por ejemplo, el modelo Mirai de la japonesa Toyota funciona con hidrógeno que se repostea directamente. En este caso el proceso de repostaje es igual al convencional de los motores de combustión, con la única diferencia de que la manguera representa la conexión hembra y el depósito del automóvil la macho. El tiempo de recarga depende de la capacidad del depósito y se estima entre 3 y 5 minutos. El depósito tiene una vida útil estimada por Toyota en 15 años por los desgastes previsible del estrés sufridos por los materiales en los ciclos de carga y descarga.

La variedad de ideas en cuanto a posibles sistemas de repostaje plantea diferentes escenarios y es, por ese lado, beneficiosa. Sin embargo, la falta de un estándar retrasa la construcción masiva de un tipo de concreto. Esto perjudica a las ventas ya que, como se ha comentado anteriormente, la falta de puntos de recarga suficientes afecta negativamente.

8.6 EL COCHE ELÉCTRICO AL SERVICIO DE LA RED: V2G

La irrupción del automóvil eléctrico supone no solo un aumento de la energía media sino que es previsible que introduzca nuevas zonas de consumo punta en la curva de la demanda. Para lograr un sistema con una operación más sencilla es deseable que la curva de la demanda tenga una apariencia más plana, sin repuntes de consumo.

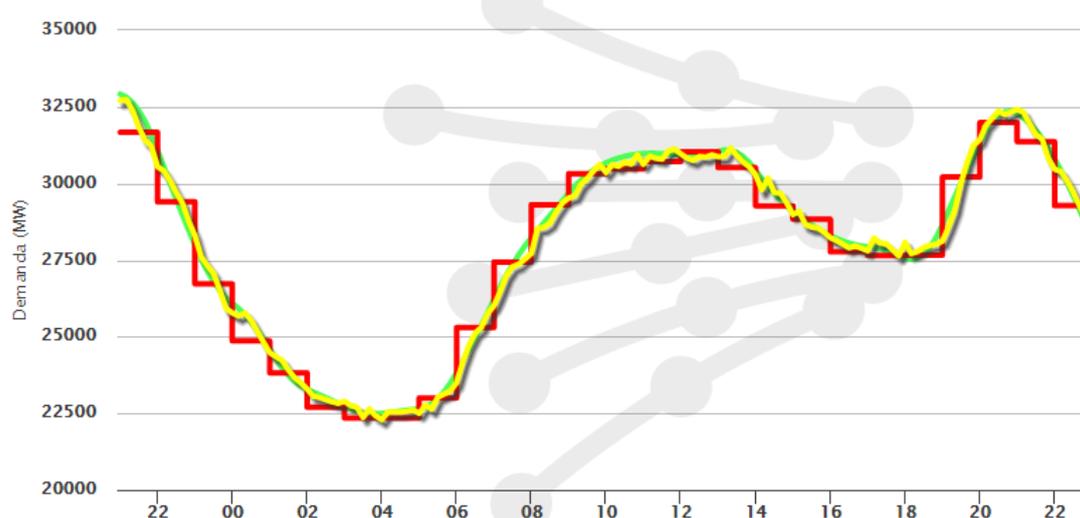


Ilustración 30 - Desarrollo de la curva de la demanda a lo largo de un día. Fuente: Red Eléctrica Española

Dado que el vehículo es una herramienta de uso cotidiano, la estimación más correcta sobre el posible periodo horario en el que se efectuasen las cargas de estos vehículos estaría comprendida aproximadamente entre las 22:00 y las 8:00 por ser franjas horarias en las que los desplazamientos son mínimos. Con el comienzo de la jornada laboral, en horarios entre las 8:00 hacia las 22:00 estarían en uso.

Con un control adecuado para no provocar un repunte de consumo al realizar la carga simultánea del conjunto del parque automovilístico, el horario anteriormente señalado supondría un aplanamiento de la curva de la demanda en las horas valle nocturnas.

Otra gran ventaja con respecto al impacto en la curva de la demanda del vehículo eléctrico es la tecnología V2G (vehicle-to-grid). Esta plantea la posibilidad de que el automóvil no sirva solo como consumidor de energía en las horas valle para cargarse, sino que pueda

estar conectado en las horas de consumo punta y suministrar la energía que almacenan las baterías al sistema.



Ilustración 31 - Proyectos V2G en Europa. Fuente: Nissan

Para dar una visión del alcance de este tipo de tecnología, Eduardo Mascarell, responsable de V2G y almacenamiento estacionario de Nissan Europa, afirmó en Santander en el año 2018 en su conferencia “Como el vehículo eléctrico ha dejado de ser simplemente un vehículo” que “si se utilizaran todos los vehículos eléctricos que hay en el Reino Unido, la energía de esos [...] sería suficiente para suministrar la energía del país por tres días” y, además, que utilizando todo el parque de vehículos de ese país, incluyendo los de combustión, supondría “la energía suficiente como para suministrar a Francia, Alemania y Reino Unido”. Define también a los vehículos en este sistema como “plantas virtuales de generación deslocalizadas”. En lo referente al atractivo económico de la cesión del uso de las baterías por parte del usuario, menciona que, actualmente, se están generando “el equivalente a 1.300€ por coche y por año” en un proyecto de V2G llevado a cabo en Dinamarca.

9 BLOCKCHAIN PARA LA GESTIÓN DE INTERCAMBIOS DE ENERGÍA

9.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos meses la posibilidad de un sistema eléctrico basado en la autogeneración distribuida ha ganado fuerza, haciendo que empiecen a aparecer los primeros proyectos basados en estos sistemas.

Desde la perspectiva del cliente medio, el mayor atractivo de la posibilidad de enviar energía almacenada a la red es la idea de una retribución en retorno por esta, sin embargo, la operación de un sistema de este tipo no es para nada sencilla y la gestión de los pagos a miles de pequeños generadores resulta caótica, es aquí donde entra blockchain.

El caso más cercano de un sistema de este tipo es ioCAT impulsado por la Generalitat catalana a través del Icaen (Instituto Catalán de Energía). En este proyecto se pretenden crear redes aisladas de la red comercial compuestas por clientes que, a su vez, son también pequeños generadores de energía solar. Con este sistema se busca premiar a aquellos que consuman por debajo de la media y a aquellos que intercambien excedentes de energía con sus vecinos (ante la imposibilidad de venderla a la red nacional). Lo más curioso de este proyecto es su implementación a través de la red de Ethereum, que realizará pagos a los generadores emitiendo un token que funcionará como moneda de intercambio y su finalidad será el pago de impuestos y tasas locales.

9.2 ¿QUÉ ES EL BLOCKCHAIN?

El blockchain es un sistema en el cual bloques de información encriptados mediante funciones incorruptibles forman cadenas. La información de las transacciones realizadas dentro de ese sistema se va acumulando en bloques hasta que estos alcanzan su límite (en bitcoin es de, aproximadamente, 2.400 transacciones [46]), después son encriptados para posteriormente añadir un nuevo bloque con el objetivo de seguir almacenando datos de nuevas transacciones. Además, la trazabilidad es total y permiten gran transparencia, lo que sin el debido control y anonimato de los usuarios se puede traducir en problemas de privacidad.

La principal diferencia de este sistema con los tradicionales métodos de intercambio es que no requiere intermediarios para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, en el caso de un blockchain como el de la criptomoneda Bitcoin elimina la participación de los bancos.

A pesar de ser un sistema relativamente joven, se nutre de miles de programadores alrededor del mundo que creen en su potencial y trabajan en conjunto y código abierto para su desarrollo. Esto está provocando un aumento a pasos agigantados del know-how, fundamental para conocer las debilidades y así poder convertirlas en posibilidades.

9.3 NODOS Y MINERÍA

Los nodos en una red blockchain son todos aquellos computadores conectados a la red, comprendiendo esto desde grandes servidores hasta pequeñas tarjetas gráficas dedicadas. Todos ellos forman una red descentralizada donde en cada uno de los nodos existe una copia de la cadena de bloques.

Es muy dificultoso corromper la cadena, ya que para ello sería necesario modificar la de todos los nodos. En referencia a esto, es destacable mencionar que esa modificación de la cadena es complicada pero no imposible. Los ataques del 51% pueden suceder cuando una persona o agrupación con un mismo objetivo controla más de la mitad de los nodos, haciéndose así con el control de la cadena. Aunque estos ataques son posibles, el concepto de equilibrio de Nash de la teoría de juegos explica que una situación de equilibrio supone un aprovechamiento máximo individual de los participantes, aunque no del conjunto [47].

Los mineros son también computadores, pero, a diferencia de los anteriores, aportan poder computacional para verificar las transacciones realizadas. Cada 14 segundos (en Ethereum) reciben un problema matemático basado en cálculos aleatorios, la solución de este resulta en la validación de un bloque. Como recompensa, el primer minero recibe una cantidad establecida de tokens (haciendo interesante la minería).

9.4 LAS CRIPTOMONEDAS O TOKENS

Son representaciones de valor relacionadas directamente con el sistema blockchain al que se atribuyen. En el caso del proyecto del Icaen comentado anteriormente, pueden ser usadas como moneda para pagos de tasas e impuestos, sin embargo, no tienen por qué ser tan limitadas y pueden tener equivalencias con monedas corrientes.

Dentro de la categoría de tokens se pueden diferenciar dos tipos según la funcionalidad de estos:

- Tokens de utilidad o utility tokens: su propósito es el de crédito canjeable por servicios de la compañía o pago asociados a la misma, como es el caso de las tasas e impuestos mencionados anteriormente. Evidentemente estos tokens no otorgan ningún tipo de control sobre las decisiones de la compañía en ningún caso.

- Tokens de valor o security tokens: están más asociados al concepto clásico de participaciones en la empresa, de manera que poseer tokens de este tipo da capacidad de voto. Al obtener su valor de activos externos están regulados por los reglamentos de cada país.

Cabe destacar que ambos tipos pueden experimentar incrementos en su valor en relación con las fluctuaciones en la demanda que puedan sufrir. Por todos es conocido el caso del bitcoin, el cual logró alcanzar el increíble precio de 20.000 USD en diciembre de 2017, cayendo (o estabilizándose, como prefieren referirse algunos expertos) hasta alcanzar el valor hoy de, aproximadamente, 5.000 USD (Mayo 2019). El economista y profesor de Harvard Kenneth Rogoff sitúa el probable valor de estabilización en una cifra cercana a los 100 USD [48].

9.5 TOKEN CROWDSALES O ICOs (INITIAL COIN OFFERINGS)

Similar al concepto de micro financiación o crowdfunding: una empresa que crea una criptomoneda para cualquier tipo de transacción puede pre-venderla una vez haya establecido su valor. De esta manera los usuarios inversores cuentan con una cantidad equivalente a su inversión para el futuro proyecto, proveyéndoles liquidez, y los creadores cuentan con un presupuesto para desarrollarlo, sin necesidad de financiarse mediante otros intermediarios que añadan interés a la devolución de su préstamo.

9.6 SMART CONTRACTS

El sistema blockchain permite los smart contracts o contratos inteligentes, que son muy parecidos a los contratos convencionales. Tienen la particularidad de que no necesitan la intermediación de un notario, ya que la base de inviolabilidad y transparencia que fundamenta la cadena de bloques es la que garantiza su cumplimiento.

Su potencial es innegable, con el simple hecho de eliminar organismos intermediarios se obtienen muchas ventajas: acortamiento de tiempos de proceso, disminución de burocracia, costes asociados a tramitación... Pese a todo, son tecnologías con menos de 10 años de desarrollo y aún se encuentran en fases de mejora.

Tal y como se ha definido puede parecer que los contratos inteligentes están limitados a acuerdos de tipo préstamo, pero ya se está aplicando en registros de cambios de propiedad, seguros, apuestas, propiedad intelectual y, lo que más nos interesa en este caso, para transacciones energéticas.

9.7 ETHEREUM Y EL BLOCKCHAIN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

A pesar de las limitaciones del sistema blockchain de Bitcoin, se empezó a pensar en su versatilidad y en las posibilidades más allá de la economía, surgen entonces los blockchain “turing-complete”. Este término, nombrado así por Alan Turing, viene a definir sistemas no limitados sino capaces de computar todo, siempre y cuando la memoria sea suficiente. Por tanto, Ethereum crea una gran máquina de Turing distribuida, permitiendo todo tipo de aplicaciones.

La empresa canadiense BTL, dedicada a la creación de soluciones energéticas basadas en blockchain y fundada en 2015, logró cotizar en la bolsa de Toronto tras conseguir cerrar grandes acuerdos con empresas multinacionales como Visa, Gazprom o BP. Su aplicación Interbit facilita la gestión de las numerosas transacciones energéticas que realizan estas grandes compañías, representando uno de los casos más sonados de éxito.

KEPCO, la segunda compañía eléctrica más importante de Japón, se asoció con la empresa australiana desarrolladora de soluciones energéticas mediante blockchain Power Ledger para desarrollar un proyecto de intercambio de energía P2P. El objetivo de este acuerdo es poder ofrecer un servicio más económico e incentivar la generación renovable permitiendo la venta de excedentes.

A parte de este caso anterior, la empresa australiana ha colaborado en otros proyectos similares. En el último año ha trabajado en un programa financiado por el gobierno australiano y varios socios adicionales que busca implementar la tecnología del blockchain en la gestión energética de la ciudad de Fremantle, situada al suroeste de Australia. Se pretende crear una sinergia entre el sistema de gestión de aguas y el energético, de manera que el excedente de generación del segundo pueda ser empleado en el tratamiento de aguas.

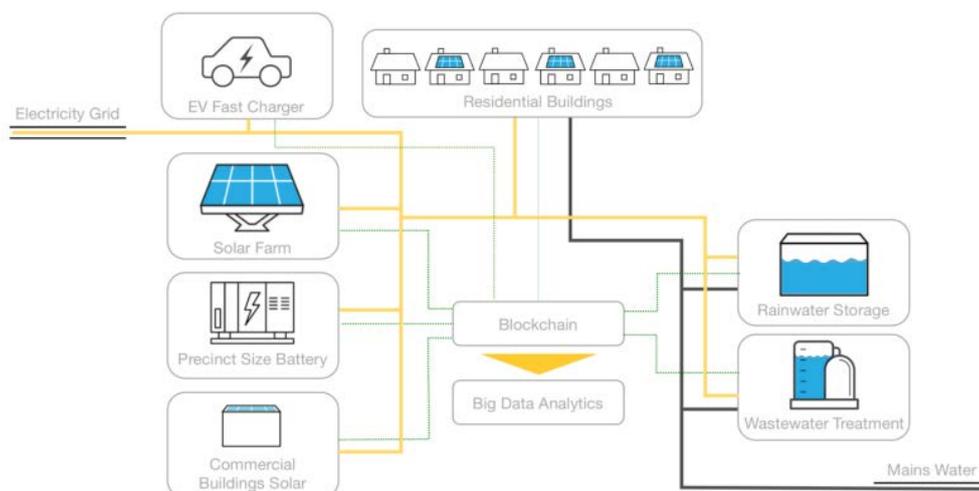


Ilustración 32 - Esquema del proyecto en Fremantle. Fuente: medium.com

Otro caso interesante es el Brooklyn Microgrid (BMG) llevado a cabo por LO3 Energy. Las metas de este proyecto son optimizar la distribución de energía, la mejora de las infraestructuras y proteger a las comunidades y economías locales en caso de emergencia ya que, como ellos mismos comentan, damos por garantizado el servicio eléctrico, pero en una época de incremento de inundaciones masivas, tormentas o ciberataques el sistema clásico de gestión de la energía no es del todo seguro. A parte, se pretende incentivar la generación de energía limpia e impulsar la creación de empleos.

9.8 EL FUTURO DE BLOCKCHAIN

Actualmente muchas voces de sectores como el tecnológico o financiero comparan la revolución que podría resultar de la introducción del blockchain en el sistema con la que resultó de la masificación de los ordenadores personales en 1975 o el comienzo de internet en 1993.

Según el estudio *“Blockchain está aquí. ¿Cuál es su próximo movimiento?”* de PwC, los principales problemas para la aceptación del sistema son la falta de confianza de los consumidores, la necesidad de certeza de los organismos reguladores y la insuficiencia de capacidad para crear una red [49].

Las posibilidades son incontables, es sencillo pensar en situaciones en las que una red blockchain podría solucionar problemas cotidianos, ya no solo refiriéndonos a cuestiones económicas sino a las prácticas también. Por ejemplo, en el caso de historiales médicos, centralizados totalmente en la base de datos del sistema autonómico de salud. Esto nos dificulta, en el caso de ir a otra comunidad o a otro país, la accesibilidad a nuestros datos y,

por tanto, al personal médico a realizar diagnósticos más precisos. Este problema nos hace pensar en una red blockchain global en la que nuestros datos estuviesen siempre disponibles, en cualquier parte del mundo.

Tal es la importancia que se prevé que puede adquirir que los grandes bancos y grupos inversores están organizando asociaciones para llevar a cabo proyectos como el Hyperledger Project y el R3CEV, formado por los 40 bancos más grandes del mundo. Estos proyectos pretenden solucionar problemas de la banca tradicional y sus procesos mediante blockchain para conseguir una adaptación al sistema.

Es evidente que la aplicación del blockchain en nuevos sistemas podría tener resultados muy interesantes, sin embargo, es necesario mostrarse escéptico en muchos casos. En múltiples artículos se muestra como una solución ante problemas inexistentes, cuando es más una herramienta para superar problemas presentes y futuros.

10 DISEÑO DEL GESTOR ENERGÉTICO

10.1 DESCRIPCIÓN POR ELEMENTOS Y FUNCIONALIDADES

10.1.1 Python

El código completo está basado en Python, a través del entorno Spyder. Interpreta unas señales de entrada y, a partir de sus valores, produce una salida que actuará sobre el resto de los elementos del sistema.

Los valores medidos como entradas son:

- Consumo en kW
- Autogeneración en kW
- Nivel de las baterías instaladas en %
- Nivel de batería del automóvil en %
- Disponibilidad de venta al sistema eléctrico convencional
- Disponibilidad del automóvil para conexión V2G
- Necesidad de forzar la carga del automóvil

A parte de estas entradas, el programa es capaz de leer la hora en ese instante e interpretarla de modo que se conocerá el periodo horario en el que se encuentra y, a partir de este, se actuará de una forma u otra ya que el precio de la energía fluctúa dependiendo del mismo.

Además de la parte funcional del código, se ha desarrollado una interfaz gráfica que permite ver de manera intuitiva los valores medidos y el estado actual del sistema.

10.1.2 Raspberry Pi

Se trata de un SBC u ordenador de placa simple de bajo coste y representa la parte hardware de este sistema, dentro del mismo se encuentra el código anteriormente mencionado.

Dispone de un set de pines a lo largo de uno de los laterales de la placa, entre los cuales hay varios de tipo GPIO (General Purpose Input/Output). Estos son pines genéricos que pueden ser utilizados tanto para el envío de señales como para la recepción de las mismas, es decir, como entrada y como salida.

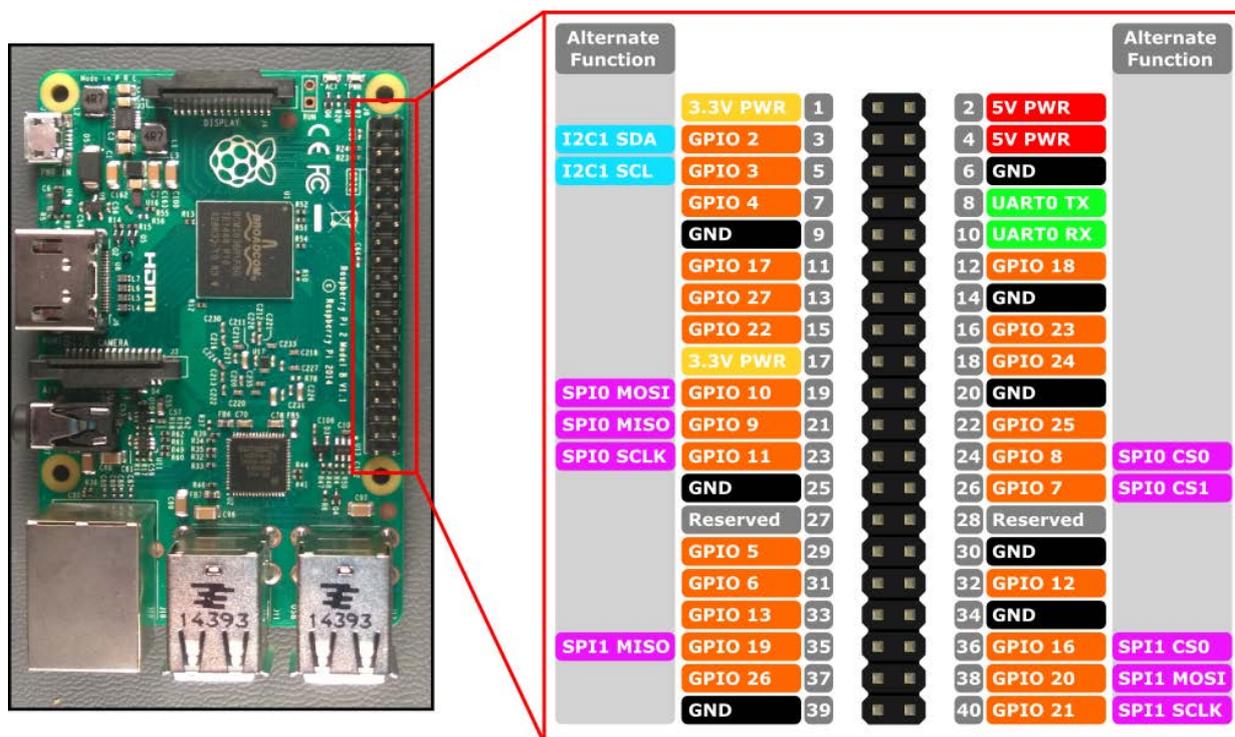


Ilustración 33 - Disposición de los pines GPIO en Rpi 3. Fuente: raspberry.org

Como podemos comprobar en la imagen, está compuesto por: dos pines de alimentación a 5V (rojo), dos pines de alimentación a 3,3V (amarillo), ocho conexiones GND (negro), dos pines reservados (gris), veintiséis pines de propósito general configurables como entrada/salida cuyo nivel alto es 3,3V (naranja) entre los cuales también hay dos conexiones mediante protocolo I2C (azul), dos conexiones UART (verde) y ocho conectores para comunicación mediante protocolo SPI (morado). A parte de esto, también se tienen a disposición cuatro puertos USB, un puerto HDMI o un puerto de Ethernet.

Entre los mencionados son destacables los puertos USB por su gran utilidad y los pines GPIO 3 y 5 por la posibilidad de realizar un conexionado para comunicación mediante I2C.

10.1.3 Tarifa

Como tarifa para este proyecto concreto se ha elegida una de discriminación horaria en tres periodos, sin embargo, como se comenta en las líneas futuras, añadir nuevas tarifas da más posibilidades al sistema.

Esta tarifa pertenece a las de tipo mercado libre, en las cuales el cliente contrata un servicio fijo e invariable con la compañía comercializadora. Por otro lado, las tarifas de precio voluntario para el pequeño consumidor o PVPC, varían en función de la situación del mercado mayorista.

Las tarifas de discriminación horaria en tres periodos distinguen, de mayor precio a menor precio entre:

- Periodo punta: conviene evitar el consumo en estas horas, el sistema opone un rechazo a consumir energía de la red en este periodo salvo por máxima necesidad. De este modo se priorizan el autoconsumo tanto de la generación como de las baterías o, incluso, del automóvil eléctrico.
 - Desde las 13:00 hasta las 23:00h.
 - Precio: 0,161604 €/kWh.
- Periodo valle: en el caso de las tarifas de discriminación horaria de dos periodos representa el de mínimo coste, sin embargo, en esta tarifa es un punto intermedio. Se prioriza el consumo en esta a la punta, pero de ser posible se evita en favor del tercer periodo.
 - Desde las 7:00 hasta las 13:00h y desde las 23:00 hasta la 1:00h.
 - Precio: 0,083916 €/kWh.
- Periodo supervalle: es el periodo de mínimo consumo y, por tanto, más atractivo para conseguir ahorrar al desplazar el consumo al mismo.
 - Desde la 1:00 hasta las 7:00h.
 - Precio: 0,056259 €/kWh.

Dado que los horarios en los que se sitúan estos periodos y los precios del consumo dependen de la compañía comercializadora se han tomado los de una tarifa de discriminación horaria en tres periodos de Iberdrola.

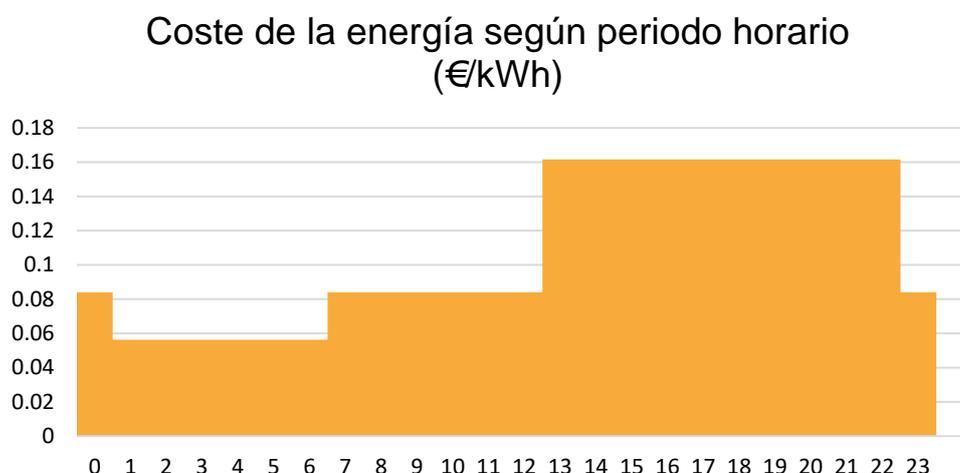


Ilustración 34 - Evolución del precio del kWh a lo largo del día. Fuente: Iberdrola, elaboración propia

10.1.4 Generadores

Existen varios tipos de generación a nivel doméstico o, en general, a pequeña escala. Las condiciones del entorno en el que se realice la instalación hacen que sea más productivo un sistema u otro. Algunas formas de generación destacables son:

- Paneles fotovoltaicos: con la regulación actual de España es el sistema es el método de autoconsumo más eficaz. Además, a parte de la regulación, las condiciones climáticas favorecen este tipo de instalaciones.
- Mini-hidráulica: este sistema está pensado para aprovechar pequeños caudales residuales. Un ejemplo de instalación es por el aprovechamiento de caudales de desagüe como, por ejemplo, el de una ducha. Al ser caudales reducidos y no continuos tienen una generación muy reducida.
- Aerogeneradores: al tener un funcionamiento similar a los aerogeneradores convencionales presentan problemas similares como la necesidad de ciertas velocidades viento mínimas y máximas, el espacio requerido para su instalación o la generación asíncrona y su necesidad de conversión para almacenar en baterías.
- Biomasa: su uso es uno de los conceptos de obtención de energía para el hogar más antiguos que se conocen. La quema de materia orgánica, como madera, genera una obtención de energía instantánea pero con niveles de eficiencia menores a los de otras tecnologías y un impacto medioambiental superior.

Por los motivos anteriormente mencionados se ha seleccionado para este proyecto la instalación de paneles fotovoltaicos. La energía solar tiene un grado de predictibilidad superior al de la energía eólica y la generación en energía continua permite un almacenamiento directo en las baterías.

Antes de realizar una instalación de este tipo se deben tener en cuenta múltiples factores. El consumo que se debe cubrir es el principal antes de realizar los cálculos de dimensionamiento. Conociendo el anterior y realizando un estudio de la radiación solar de la zona se puede calcular el número de paneles.

10.1.5 Almacenamiento

En la actualidad es de gran importancia el sistema de almacenamiento en las instalaciones de autoconsumo ya que, al tener precios muy elevados, tiene un gran impacto en el precio final de la instalación.

Tras la entrada en vigor del Real Decreto 24/2019 para el autoconsumo y contemplarse la posibilidad de negociar el balance neto con la empresa comercializadora puede hacer que en el contexto actual el almacenamiento de energía pierda cierta importancia.

Sin embargo, es posible que en horas de máxima generación con mínimo consumo en el sistema exista un exceso de generación inyectada que provoque inestabilidades en el sistema. Esto es por el desequilibrio entre generación y consumo que se traduce en problemas con la frecuencia. Considerando los posibles problemas que se puedan generar en el sistema por este motivo es presumible que la regulación cambie.

Teniendo en cuenta lo anterior y en un contexto futuro en el cual la evolución de la tecnología produzca una bajada en sus precios e, hipotéticamente, exista una retribución al generador, almacenar la energía en horas de máxima generación para inyectarlas en horas de máximo consumo (cuyo precio del kWh es superior, como se describió en el apartado “Tarifa”) produce una aceleración de la rentabilidad del sistema.

Dado que los sistemas de almacenamiento mediante batería y los de generación fotovoltaica operan en corriente continua, se requiere un inversor en la instalación para poder inyectarla y consumirla. Además, estas instalaciones necesitan reguladores de carga para un adecuado control.

10.1.6 Automóvil

Para realizar una instalación de este tipo es necesario que el automóvil seleccionado para la misma sea compatible con la tecnología V2G. Esta, explicada en detalle en el capítulo quinto del presente proyecto, contempla los flujos bidireccionales de energía en el vehículo eléctrico, es decir, de carga y descarga.

Un modelo ideal es el Nissan Leaf, pionero en la tecnología mencionada. A parte de lo mencionado, este vehículo presenta ventajas adicionales:

- El nivel 2 de conducción autónoma permite el auto-pilotaje en autovía al ser capaz de regular su velocidad, distinguir la distancia a los vehículos y mantenerse dentro del carril.
- Al ser un vehículo completamente eléctrico se reduce la contaminación y contribuye a la lucha contra la aceleración del cambio climático. Además, las principales ciudades europeas están bloqueando el uso de vehículos de combustión por lo que un vehículo de este tipo se hará necesario en los próximos años.
- Su recarga utilizando tecnologías renovables favorece la reducción de la dependencia energética de países poseedores de petróleo.

- Permitir al sistema su uso en el V2G, con las retribuciones derivadas del mismo, reduce el TCO (costo total de propiedad).

Otro motivo de importancia para haber elegido el modelo mencionado es el programa de Nissan para reutilizar las baterías de vehículos como dispositivos de almacenamiento en el hogar. En una instalación de este tipo puede resultar bastante útil ya que una batería de segunda vida, aparte de ser ecológicamente más eficiente, reduce el precio de la instalación.

10.1.7 Cargador y conector

A la hora de seleccionar el cargador es imprescindible comprobar la compatibilidad con el modelo de vehículo seleccionado. Además, en este caso, debe permitir la bidireccionalidad de la energía por el uso del V2G.

Actualmente no existe un modelo único de conectores para cargadores ya que cada fabricante, individualmente, elige el modelo que considera más acertado. Alguno de los principales modelos se muestran a continuación.

El conector Schuko es el más conocido por el público europeo ya que es el enchufe convencional para los conectores estandarizados, aunque no regulados, CEE 7 en el continente. A pesar de sus ventajas por la masiva distribución de la que dispone, no permite cargas rápidas al soportar un máximo de 16 amperios.



Ilustración 35 - Conector Schuko (CEE 7/4). Fuente: Amazon

El conector CCS o conector único combinado compite tanto en el mercado europeo (sobre todo en Alemania) como en el norteamericano por convertirse en el estándar y es compatible con varias marcas, entre ellas varias del grupo Volkswagen o BMW. A diferencia

del Schuko permite la recarga rápida y, obviamente, la lenta. El CCS Combo europeo dispone de cinco bornes, de los cuales los dos inferiores son la toma de corriente continua y de los otros tres conectores: uno para comunicación, otro para el bloqueo y el último para la protección a tierra.

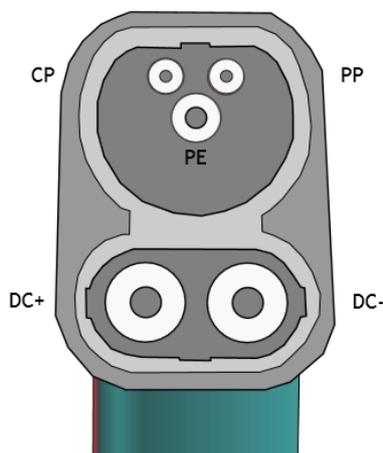


Ilustración 36 - Conector CCS Combo europeo. Fuente: hibridosyelectricos.com

El conector tipo 1 o SAE J1772 dispone también de cinco bornes (dos de corriente, tierra, detección de proximidad y de comunicación) pero orientados a la corriente alterna. Por un lado soporta una carga de 16 amperios, siendo esta su recarga lenta, y por otro lado llega a 80 amperios. Siendo uno de los conectores de mayor participación en el mercado, este tipo es compatible con modelos del grupo PSA, Toyota, Renault Nissan, entre otros.



Ilustración 37 - Conector SAE J1772. Fuente: BizLink

Otro de los más comunes es el conector tipo 2, IEC 62196 o Mennekes. Similar al tipo 1, también soporta 16 amperios para su recarga lenta, en monofásica. Por otro lado, para la recarga rápida, se realiza a 63 amperios de corriente trifásica. Es compatible, por ejemplo,

con modelos del grupo Daimler AG, Volvo, BMW o Tesla. De sus siete bornes, cuatro son para la corriente, dos para las comunicaciones y uno para la conexión a tierra.



Ilustración 38 - Conector Mennekes. Fuente: evexpert.com

Finalmente, el modelo CHAdeMO es el modelo estándar para las marcas japonesas como Nissan. Estos conectores permiten realizar recarga rápida en corriente continua al admitir hasta 200 amperios. De los diez pins de los que dispone el conector, dos son los de corriente o potencia, dispone de cuatro para la señal analógica, dos para digital y una conexión a tierra. Al tener tantos conectores, este modelo es el de mayor diámetro del mercado.



Ilustración 39 - Conector CHAdeMO. Fuente: Chademo Association

Dado que el modelo de vehículo en este proyecto es el Nissan Leaf por su compatibilidad V2G, el conector para su carga rápida es el CHAdeMO. La estación de carga, por tanto,

deberá ser compatible con este tipo de conector, aparte de con la bidireccionalidad del flujo de corrientes.



Ilustración 40 - Conectores Nissan Leaf 2011: CHAdeMO a la izquierda y Tipo 1 a la derecha. Fuente: wired.com

Actualmente, debido a lo novedoso de la tecnología, no se están desarrollando cargadores comerciales para el sector doméstico, pero si para algunos entornos urbanos. Por ello se ha seleccionado el modelo MC V2G 1.5 de la empresa portuguesa Magnum Cap, el cual dispone de un conector CHAdeMO. Este equipo ya ha sido utilizado en el primero proyecto de V2G realizado en España, en Santa Perpètua de Mogoda en enero de 2019.

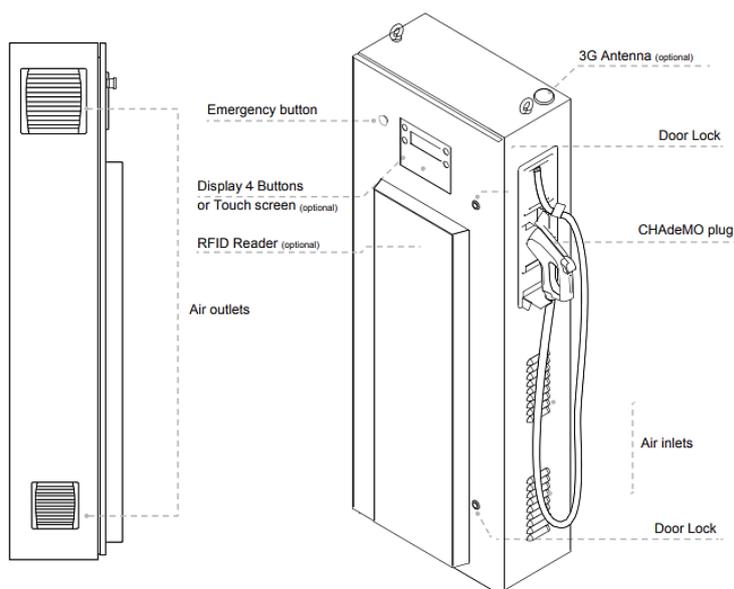


Ilustración 41 - Vista exterior del MC V2G 1.5. Fuente: Magnum Cap, fabricante

10.1.8 Medidores

Es necesario medir la generación realizada por el sistema de autoconsumo y el consumo total generado por el sistema para realizar los cálculos que van a controlar las acciones realizadas. Mediante medidores de corriente y conociendo la tensión nominal en corriente alterna junto con la frecuencia de medición se puede conocer la magnitud del consumo instantáneo en kWh, kW o cualquier otra unidad, realizando una conversión.

Existen en el mercado dispositivos preparados para realizar estas mediciones. Para seleccionar un modelo es esencial conocer la corriente máxima que puede medir. Se ha situado esta corriente en función de la potencia máxima que entrega el cargador, esta es de 10kW:

$$I_{max} = \frac{10.000 W}{230 V} \approx 43,5 A$$

Dado que estamos calculando la corriente máxima, es necesario redondear la de diseño hacia arriba para no incurrir en problemas en la medición. La corriente de diseño superior a la calculada y más cercana es de 50 Amperios.

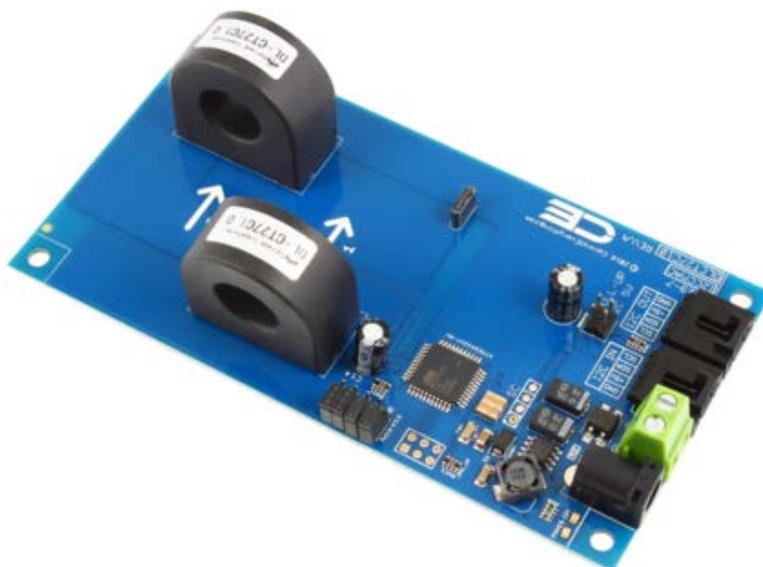


Ilustración 42 - Medidor de dos canales seleccionado. Fuente: controleverything.com

Este medidor, aparte de cumplir las necesidades de corriente máxima, incluye dos canales de medición. Esto es una gran ventaja ya que, al necesitar medir exactamente dos magnitudes, no necesitaremos instalar medidores adicionales o conectar varios en paralelo. Además, mediante un adaptador como se muestra en la siguiente imagen o directamente, permite una conexión sencilla con la Raspberry Pi.

El precio del medidor de dos canales es de 70,95€ y del adaptador de conexión a i2c de 11,95€.

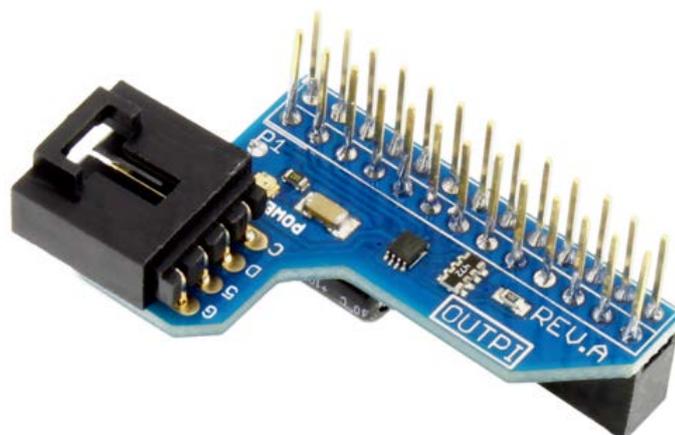


Ilustración 43 - Adaptador para conexión a i2c. Fuente: controleverything.com

10.1.9 Actuadores

El inversor elegido permite su uso como actuador dentro del sistema, es decir, para poder seleccionar los puntos de suministro y, en caso de efectuar la carga de las baterías o del automóvil, de consumo. Además de esto, abarata costes por integrar la entrada fotovoltaica para inversor y la de baterías, sin necesidad de duplicar elementos.

Por otro lado, el cargador V2G está directamente conectado a la red. Este está preparado para realizar la recarga y, en caso de necesidad de la red, para abastecer a la misma. Es decir, es capaz de conocer las necesidades de la red y actuar en consecuencia.

Referente al inversor seleccionado, la empresa fabricante permite, opcionalmente, añadir módulos de comunicaciones para su control. En nuestro caso, el protocolo de control para este dispositivo se realizará mediante TCP, aunque podría utilizarse de igual manera el RS-485. De la misma forma, el cargador V2G incluye un puerto de este tipo para la comunicación de parámetros del mismo.

Finalmente, con un conexionado sencillo a los pines GPIO de un interruptor se va a permitir enviar la señal de la necesidad de “forzar la carga” del vehículo en caso de necesidad. Esto es evitando las condiciones del sistema que favorecen su carga en horas de bajo coste.

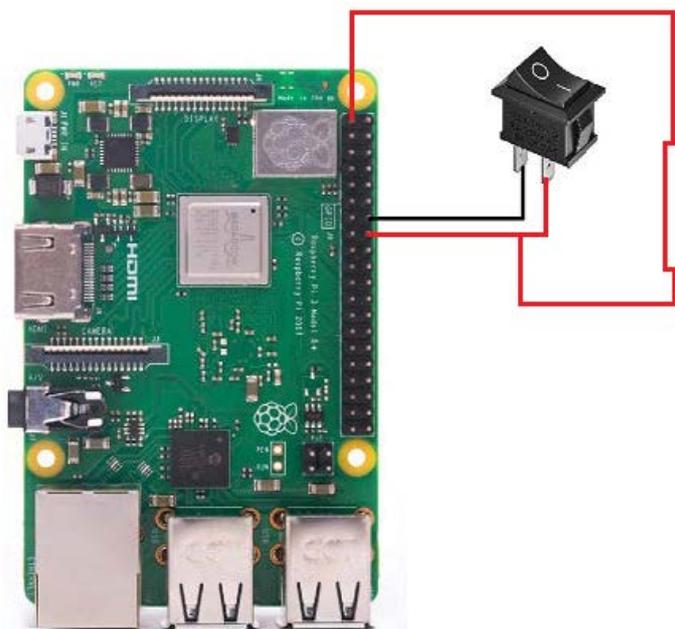


Ilustración 44 - Conexión de interruptor con resistencia pull para forzar la carga del vehículo. Fuente: elaboración propia

10.1.10 Comunicación

La comunicación inicial se realiza mediante el protocolo i2c o inter-integrated circuit. El principal problema de este protocolo serie es la imposibilidad de realizar comunicaciones a media o larga distancia. Por esto debemos situar el dispositivo de control cercano a aquellos con los que se comunique de esta forma o instalar amplificadores para aumentar la distancia permitida. Este protocolo lo usaremos para comunicar los medidores de corriente instantánea con la Raspberry Pi.

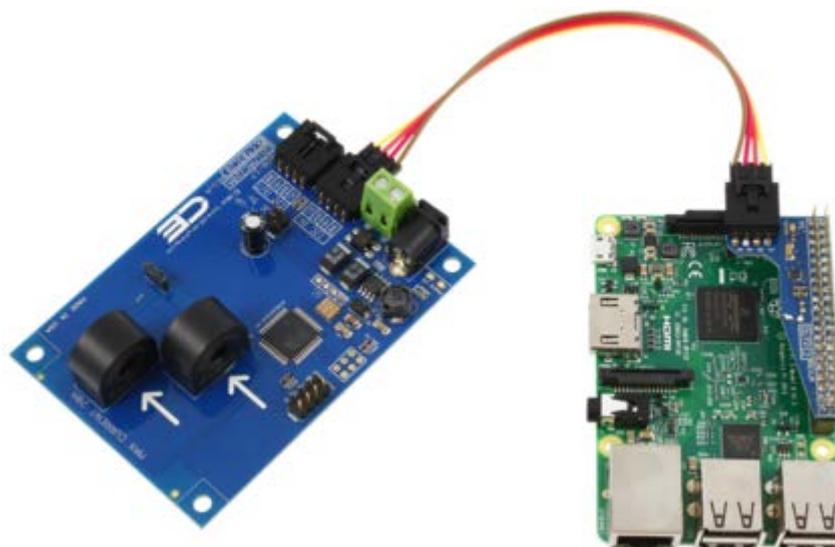


Ilustración 45 - Conexión ejemplo del medidor a la Raspberry Pi. Fuente: controleverything.com

Posteriormente, mediante TCP, se produce las comunicaciones de la Raspberry Pi con el inversor y el cargador a través de un cable Ethernet. Además, por el mismo protocolo de comunicación, un voltímetro nos permite conocer los niveles de carga del sistema de acumulación mediante baterías.



Ilustración 46 - Voltímetro de +/- 70V comunicado mediante TCP/IP. Fuente: digital-measure.com

Como se ha comentado, también podría utilizarse el protocolo RS-485 pero conllevaría un coste superior. Para utilizar este protocolo es necesario un convertor de UART a RS-485. Este utiliza los pines GPIO 14 y 15 de la Raspberry Pi (también nombrados como 8 y 9) para añadir un puerto DB9, para la compatibilidad con RS-485 transforma los 3,3V del puerto UART a voltajes compatibles. Su precio es de 13,95€.



Ilustración 47 - Conversor UART a RS-485. Fuente: AB Electronics, fabricante

10.2 GENERACIÓN: DIMENSIONAMIENTO Y COSTE APROXIMADO

Es necesario realizar un dimensionamiento adecuado al consumo y las previsiones de instalación según la zona de instalación. Un sobredimensionamiento hace que se incurran en gastos superiores a los necesarios en la instalación y un dimensionamiento por debajo de las necesidades supone una insuficiencia en la generación que no saca el máximo partido a las posibilidades.

Para empezar el dimensionamiento debemos conocer las características de nuestra instalación. Consiste en una vivienda en el área de Cantabria por lo que, según el mapa del código técnico de edificación mostrado a continuación, sabemos que nos encontramos en la zona I de radiación solar. El factor solar de esta zona es de 1,35.

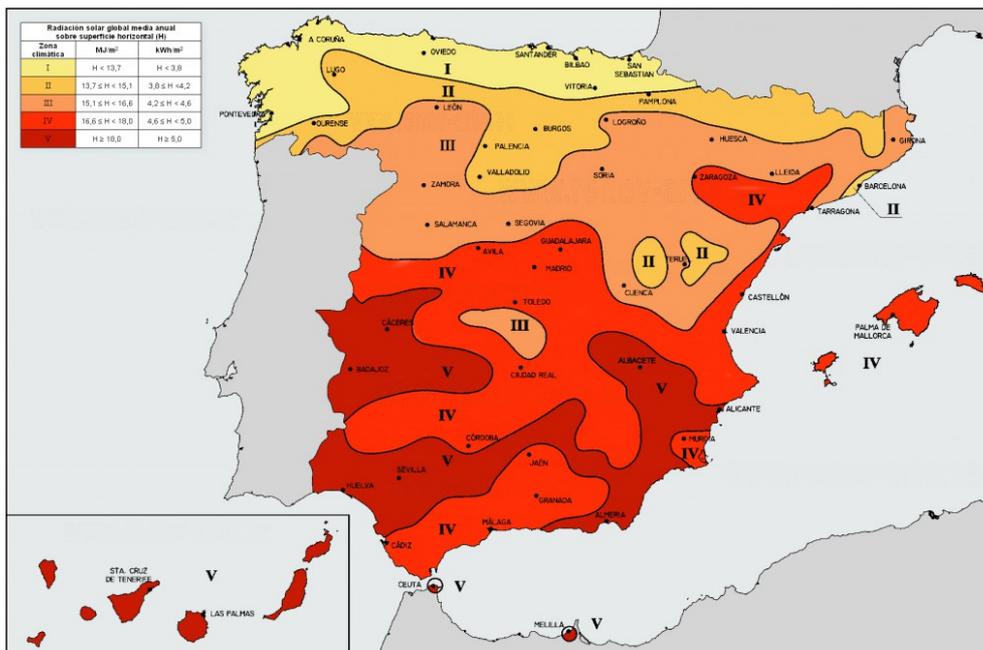


Ilustración 48 - Zonas de radiación solar en España. Fuente: CTE

Conocemos el consumo de esta vivienda, cuyo acumulado anual es de 2885kWh. A partir de este dato obtenemos el consumo medio diario:

$$\text{Consumo medio diario} = \frac{2885 * 1000}{365} = 7904 \text{ Wh/día}$$

Hemos seleccionado el modelo de batería de litio LG Chem RESU de 10kWh. Con el consumo medio diario y el rendimiento del 95% (aportado por el fabricante), calculamos la energía diaria ponderada:

$$\text{Energía ponderada} = \frac{7904}{0.95} = 8320 \text{ Wh/día}$$

Ahora, por las condiciones climáticas de Cantabria, elegimos una capacidad de dos días de autonomía y, por las condiciones de la batería, una profundidad de descarga del 85%. Esto lo usamos para realizar el cálculo de la necesidad de capacidad de las baterías:

$$\text{Capacidad de las baterías} = \frac{8320 * 2}{0.85} = 19576 \text{ Wh} = 19.576 \text{ kWh}$$

Dado que el modelo seleccionado tiene una capacidad de 10 kWh, se pueden colocar dos baterías de este modelo para abastecer al sistema.

48V



| Modelos | RESU10 |
|--|-----------------|
| Energía total [kWh] | 9.8 |
| Energía utilizable [kWh] | 8.8 |
| Capacidad [Ah] | 189 |
| Tensión nominal [V] | 51.8 |
| Rango de voltaje [V] | 42.0-58.8 |
| Potencia máxima [kW] | 5.0 |
| Pico de potencia [kW] (durante 3 seg) | 7.0 |
| Dimensión [H x A x P, mm] | 452 x 483 x 227 |
| Peso [kg] | 75 |

Ilustración 49 - Características de la ficha técnica. Fuente: LG, fabricante

Para los paneles de generación fotovoltaica debemos seleccionar un tipo de paneles para realizar los cálculos pertinentes. En este caso hemos acudido a un análisis del mercado realizado por la OCU (Organización de Consumidores y Usuarios) y se ha seleccionado el modelo sugerido por este estudio. El modelo es el SunPower SPR-X1-345, cuya potencia es de 345 W.

| Electrical Data | | |
|--|-----------------------|-------------|
| | 5PR-X22-360 | 5PR-X21-345 |
| Nominal Power (P _{nom}) ⁷ | 360 W | 345 W |
| Power Tolerance | +5/0% | +5/0% |
| Panel Efficiency | 22.1% | 21.2% |
| Rated Voltage (V _{mpp}) | 59.1 V | 57.3 V |
| Rated Current (I _{mpp}) | 6.09 A | 6.02 A |
| Open-Circuit Voltage (V _{oc}) | 69.5 V | 68.2 V |
| Short-Circuit Current (I _{sc}) | 6.48 A | 6.39 A |
| Max. System Voltage | 1000 V IEC & 600 V UL | |
| Maximum Series Fuse | 15 A | |
| Power Temp Coef. | -0.29%/°C | |
| Voltage Temp Coef. | -167.4 mV/°C | |
| Current Temp Coef. | 2.9 mA/°C | |

Ilustración 50 - Tabla 2 - Datos eléctricos del panel. Fuente: SunPower, fabricante

Sabiendo la capacidad de las baterías, la potencia y añadiendo un 23% de sobredimensionamiento por las posibles pérdidas (sobredimensionamiento según consideración personal) se calcular el factor de los paneles:

$$\text{Factor de paneles} = \frac{19576}{345} + \frac{19576}{345} * 0.23 = 69.79$$

A partir de este cálculo y aproximando la hora solar pico (HSP) a 3.75 y con el factor de zona de 1.35, obtenemos el número de paneles necesarios:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{69.79}{3.75 * 1.35} = 13.77 \text{ paneles}$$

Redondeando, para tener un número entero, tenemos 14 paneles.

Finalmente, para seleccionar un regulador de carga, calculamos la corriente de operación con este número de paneles y la corriente funcionamiento de los paneles:

$$I = 14 * 6.09 \approx 85A$$

Con la tensión de funcionamiento en corriente continua de diseño de 48V y la corriente calculada podemos encontrar una serie de reguladores de carga. El seleccionado es el regulador BlueSolar MPPT 150/85 que es totalmente compatible.



Ilustración 51 - Regulador de carga. Fuente: Victron Energy, fabricante

Finalmente, debemos seleccionar un inversor para la instalación. Tiene que comprobarse, de nuevo, la compatibilidad en función de la potencia, tensión de diseño... Para este ejemplo de instalación, el inversor Ingeteam Sun Storage 6TL cumple los requerimientos.



Ilustración 52 - Inversor. Fuente: Ingeteam, fabricante.

Realizando un rápido estudio sobre el coste aproximado de este sistema de generación, será el siguiente:

| ELEMENTO | UNIDADES | COSTE | |
|-------------------------|----------|--------------|-----------------|
| | | UNITARIO | ACUMULADO |
| LG Chem RESU 10 KWh | 2 | 5550.75 | 11101.5 |
| SUNPOWER SPR-X21-345 | 14 | 441.65 | 6183.1 |
| BlueSolar MPPT 150/85 | 1 | 730.01 | 730.01 |
| Ingecon Sun Storage 6TL | 1 | 2700 | 2700 |
| | | TOTAL | 20714.61 |

Ilustración 53 - Coste aproximado de la instalación de generación y almacenamiento. Fuente: elaboración propia

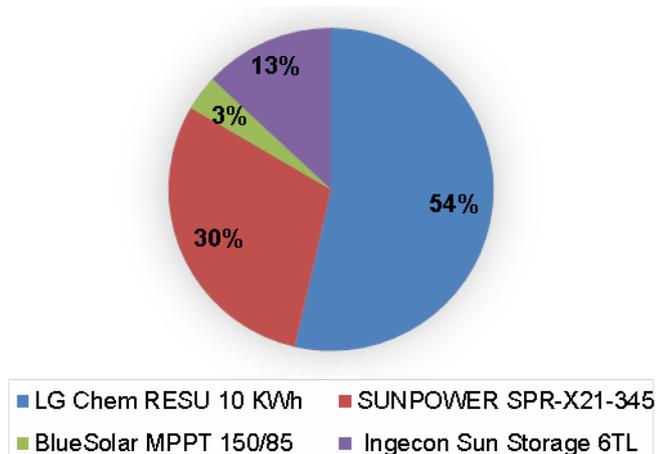


Ilustración 54 - Reparto sobre el total del coste de la instalación. Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la representación gráfica, el sistema de almacenamiento representa más de la mitad de la instalación de generación y los paneles algo menos de un tercio. Es de gran importancia dimensionar adecuadamente las instalaciones por los costes adicionales de un sobredimensionamiento innecesario.

10.3 DESARROLLO

10.3.1 Infografía del funcionamiento

FUNCIONAMIENTO

Comienza el bucle tras pulsar el botón "iniciar", en este punto se comprueba el idioma y la tarifa del sistema

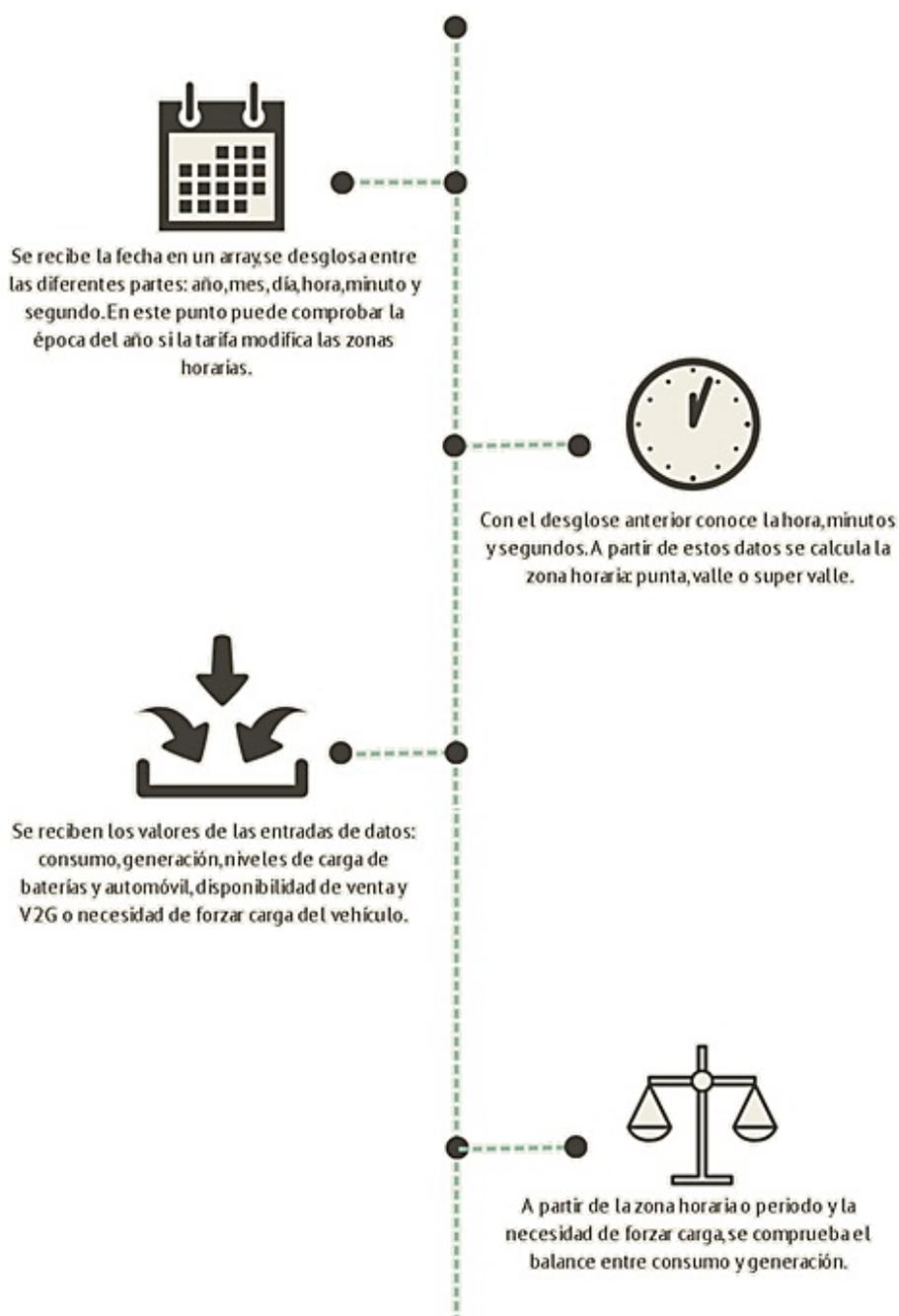


Ilustración 55 - Infografía del funcionamiento del sistema (primera parte). Fuente: elaboración propia

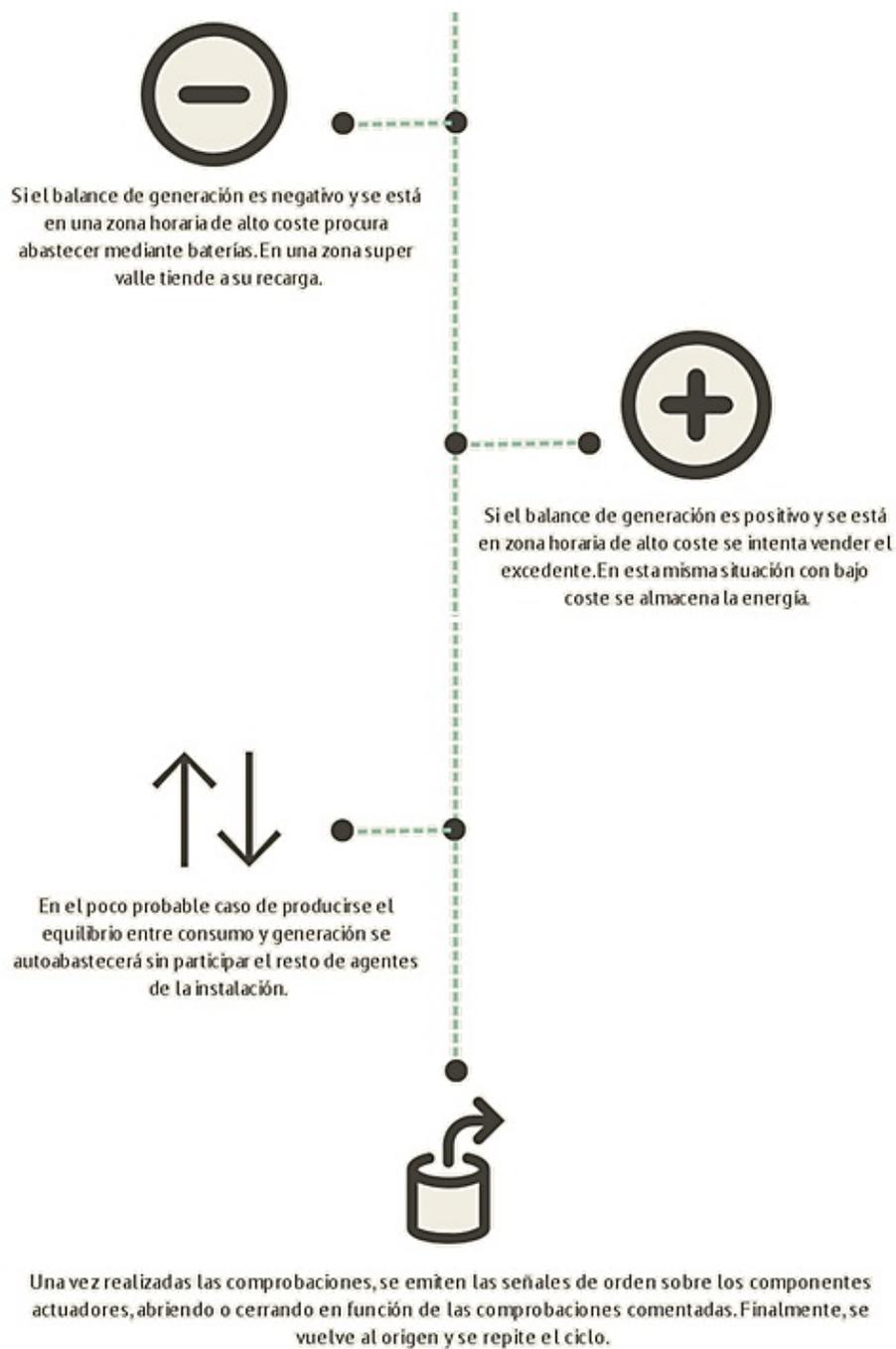


Ilustración 56 - Infografía del funcionamiento del sistema (segunda parte). Fuente: elaboración propia

10.3.2 Metodología e instalación

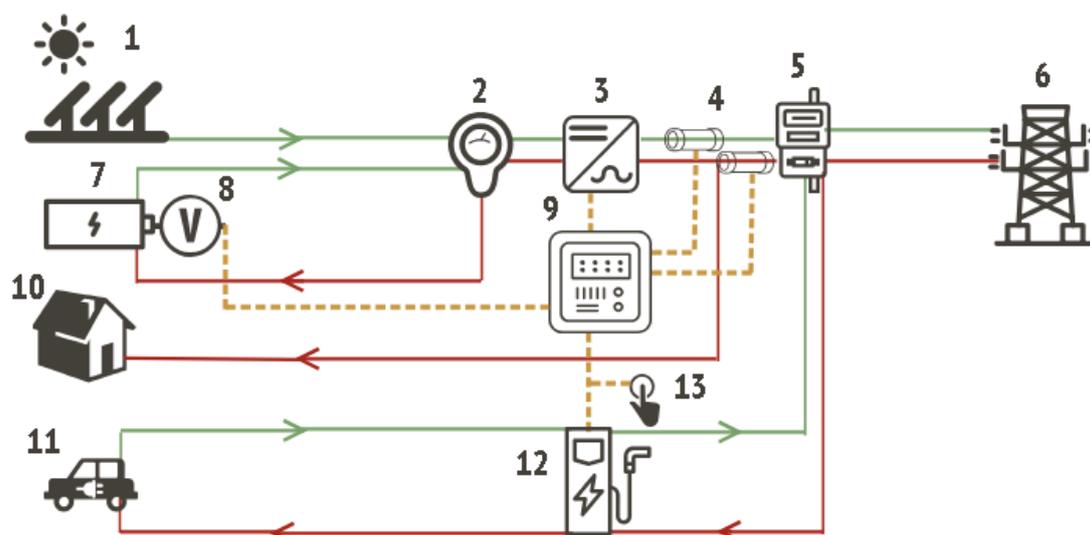


Ilustración 57 - Esquema visual general de la instalación. Fuente: elaboración propia

Se ha realizado la representación gráfica mostrada en la imagen superior para mostrar de una forma más visual la situación de los diferentes elementos del sistema. Los elementos mostrados son:

1. Generación del sistema: en este caso representan los catorce paneles fotovoltaicos utilizados, pero podría ser de otro tipo.
2. Regulador de carga: dependiendo del tipo de batería, esta puede ir conectada directamente al inversor.
3. Inversor: con su operación bidireccional nos permite realizar el paso de corriente alterna a continua y viceversa.
4. Medidores de corriente: estos nos permiten conocer los valores de generación y consumo instantáneos. Podría realizarse una conexión también con el contador electrónico para tomar datos de consumo.
5. Contador electrónico convencional: aunque se aprovechen los dos canales del medidor de corriente por I2C para realizar la medición de consumo y generación, el contador, mediante un conector USB-P1, puede ser una alternativa para realizar estas mediciones.
6. Red eléctrica
7. Sistema de acumulación por baterías: representa las dos baterías del sistema.
8. Voltímetro DC: con la hoja de características de la batería y su medición se puede estimar el nivel de carga de las mismas.
9. Raspberry Pi: como se ha comentado funciona como el cerebro del sistema, recibe señales y emite salidas para la correcta operación.

10. Consumo clásico: la representación de la casa simboliza el consumo convencional, este es aquel relativo a electrodomésticos, luces...
11. Vehículo eléctrico: debido a su gran consumo tiene un conexionado aislado del resto del sistema.
12. Cargador V2G: este nos va a permitir la conexión del vehículo bidireccionalmente. Por un lado permitiendo su carga y por el otro el volcado de energía a la red, como respuesta a este volcado se producen o compensaciones económicas o un retorno de energía mediante el balance neto en caso de necesidad.
13. Pulsador de carga prioritaria: este pulsador, en caso de necesidad, nos va a permitir realizar la carga del vehículo eléctrico evitando las condiciones prioritarias a esta en caso de necesidad. El sistema contempla que la carga se realice en horas nocturnas, sin embargo la disponibilidad del vehículo es de vital importancia y puede requerirse su carga.

En la imagen, además, se representan de color verde y rojo los flujos de energía eléctrica positivos y negativos respectivamente. Por un lado el cableado verde representa el aporte de energía, los elementos capaces de esto son:

- Paneles fotovoltaicos: solo disponen de la capacidad de aportar, obviamente. Su generación puede ir a la carga de baterías, al consumo doméstico, a la red eléctrica...
- Sistema de baterías: aportan energía en caso de necesidad, procurando que el aporte se realice en horas punta para rentabilizar costes.
- Vehículo eléctrico: con el cargador que permite el V2G, el automóvil es capaz de realizar aportes de energía para estabilizar la red y que esta se mantenga en valores de calidad.

Por otro lado, el cableado rojo representa los consumos de energía eléctrica. Los elementos consumidores de este sistema son:

- Sistema de baterías: de la misma forma que se descarga, puede cargarse en horas de bajo consumo y energía barata o equilibrando los excesos de generación.
- Consumo doméstico: como se ha comentado, representa el consumo tradicional de energía eléctrica.
- Vehículo eléctrico: de la misma forma que las baterías, procura su carga en horas de coste bajo de energía. Ya que al tener grandes baterías, triplicando en algunos casos el coste de su recarga, representaría un gran problema de amortización.

Como se representa con la red eléctrica, este agente externo al sistema puede funcionar tanto como consumidor para estabilizar la señal como generador, mediante el sistema convencional de distribución.

Finalmente, en amarillo se representan las diferentes comunicaciones llevadas a cabo por nuestro sistema. El sistema se sirve de tres protocolos diferentes de comunicación en función de las necesidades. Los dispositivos que se comunican con la Raspberry Pi o reciben órdenes de la misma son:

- Inversor: la comunicación circula desde la Raspberry Pi hacia este, de modo que actúa en función de las órdenes que recibe. El protocolo de comunicación, como ya se comentó anteriormente, es el TCP o Transmission Control Protocol.
- Medidores de corriente: efectúan la medida de la corriente instantánea. Mediante factores de conversión, el conocimiento del voltaje nominal y la tasa de medición se puede conocer la potencia en unidades de kWh, kW o cualquiera equivalente. La comunicación se realiza mediante I2C o Inter-Integrated Circuit.
- Voltímetro en baterías: mide la tensión en bornes del sistema de baterías. Conociendo, gracias a la hoja de características, el rango de tensiones, se puede estimar el porcentaje de batería. Si la tensión fuese próxima a 58,8V en la batería estaría cerca de su carga máxima y con 42V estaría descargada. Conociendo pues estos valores e interpolando se halla el porcentaje de carga. Este dispositivo utiliza un protocolo de comunicación TCP también.
- Botón de carga: con una conexión simple al pin GPIO y a tierra, este botón nos permite mediante una señal digital conocer la necesidad de carga.
- Cargador V2G: dada su gran versatilidad, comunicándonos con este dispositivo, podemos conocer los valores de nivel de carga del vehículo y, además, al estar preparado para el V2G, permite al operador de la línea comunicar las necesidades de la red para obtener energía por escasez de generación o desequilibrios. Al igual que el voltímetro y el inversor, utiliza el protocolo TCP para comunicarse con la Raspberry Pi.

10.3.3 Simulación y código final

Para la simulación y demostración del funcionamiento de nuestro sistema se ha diseñado un programa que, a partir de entradas aleatorias, nos ofrezca salidas del sistema. La interfaz gráfica permite una correcta visualización de lo que está ocurriendo en tiempo real y tiene un funcionamiento muy intuitivo. Al ofrecernos mediciones aleatorias podemos comprobar los distintos funcionamientos en cualquier situación.

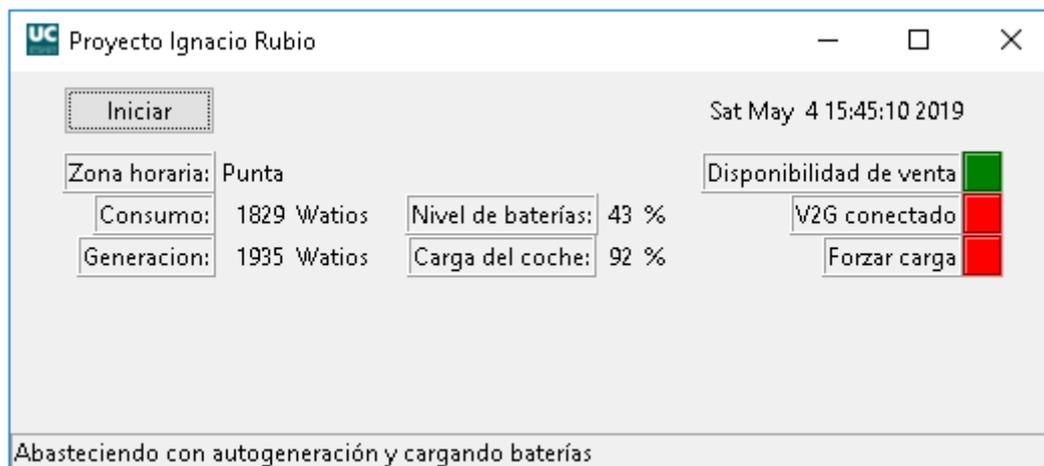


Ilustración 58 - Interfaz del proyecto. Fuente: elaboración propia

Posteriormente, para realizar el código final funcional se deben adaptar las salidas y entradas a los protocolos de comunicación utilizados. A parte de adaptar la toma de datos en el código, se deben convertir los valores obtenidos para hallar el valor real.

Entre el código final y el realizado para la simulación no existen diferencias más allá de lo comentado, sin embargo, para mejorar el código final y su funcionalidad, se comentan en un capítulo posterior las líneas futuras de mejora del sistema.

10.3.4 Ejemplos de funcionamiento

A continuación se muestran tres ejemplos del funcionamiento de la instalación con unos valores aleatorios para mostrar sus distintos funcionamientos. Sin tener en cuenta, por ejemplo, la relación con la realidad de valores de generación o consumo con las zona horaria del día mostrada.

Ejemplo 1

Los parámetros de entrada de datos serán los siguientes:

- Forzar carga: desactivado
- Generación: 2500W
- Consumo: 2000W
- Zona horaria: Valle, 7:00 horas
- Nivel de carga de baterías: 70%

El proceso que seguiría sería el siguiente:

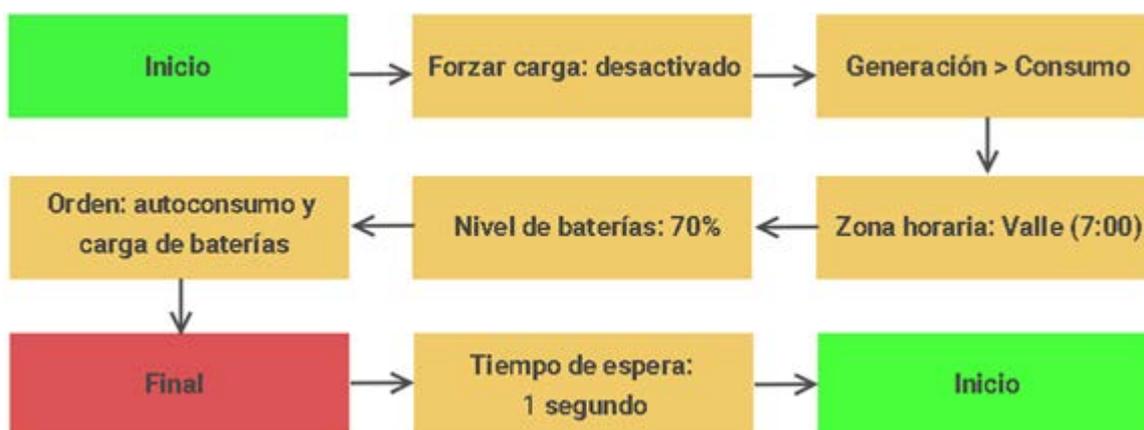


Ilustración 59 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 1. Fuente: elaboración propia

Por lo que el sistema operaría de la siguiente forma:

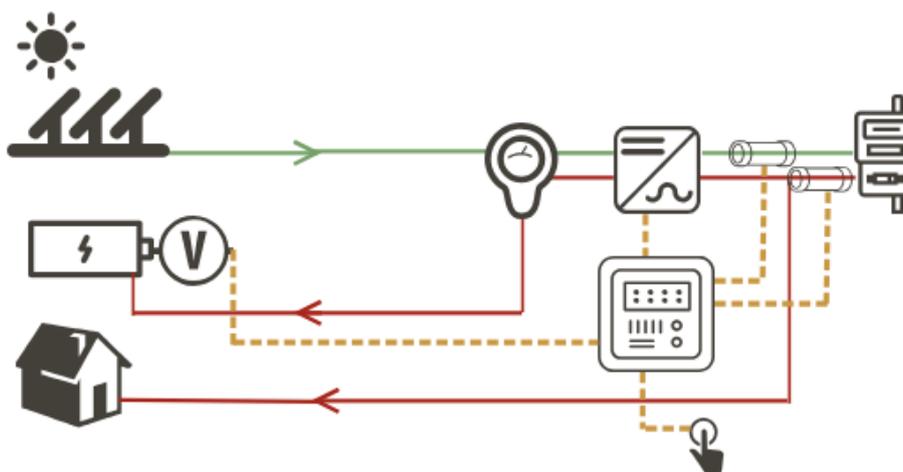


Ilustración 60 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 1. Fuente: elaboración propia

Ejemplo 2

Los parámetros de entrada de datos serán los siguientes:

- Forzar carga: activado
- Generación: 1000W
- Consumo: 2200W
- Zona horaria: Supervalles, 1:00 horas
- Nivel de carga de baterías: 70%

El proceso que seguiría sería el siguiente:

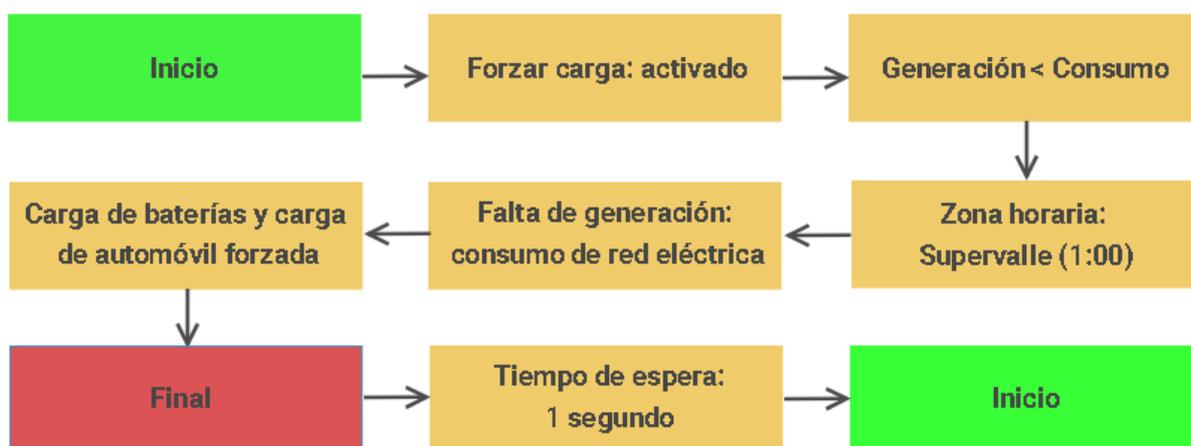


Ilustración 61 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 2. Fuente: elaboración propia

Por lo que el sistema operaría de la siguiente forma:

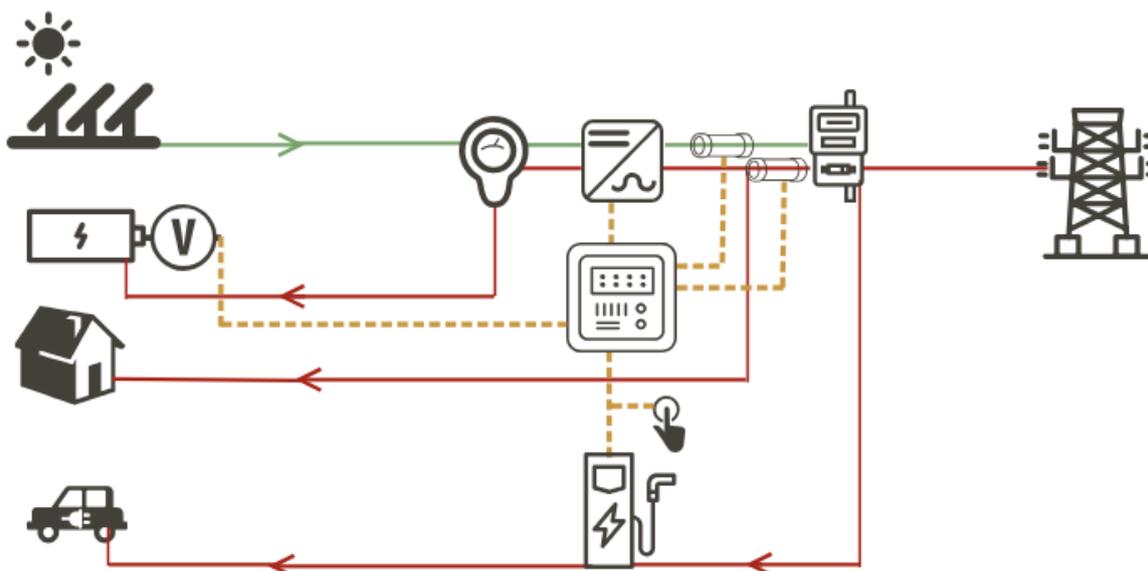


Ilustración 62 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 2. Fuente: elaboración propia

Ejemplo 3

Los parámetros de entrada de datos serán los siguientes:

- Forzar carga: desactivado
- Generación: 2800W
- Consumo: 1000W
- Zona horaria: Punta, 17:00 horas
- Nivel de carga de baterías: 80%
- Venta: disponible
- V2G: conectado

El proceso que seguiría sería el siguiente:

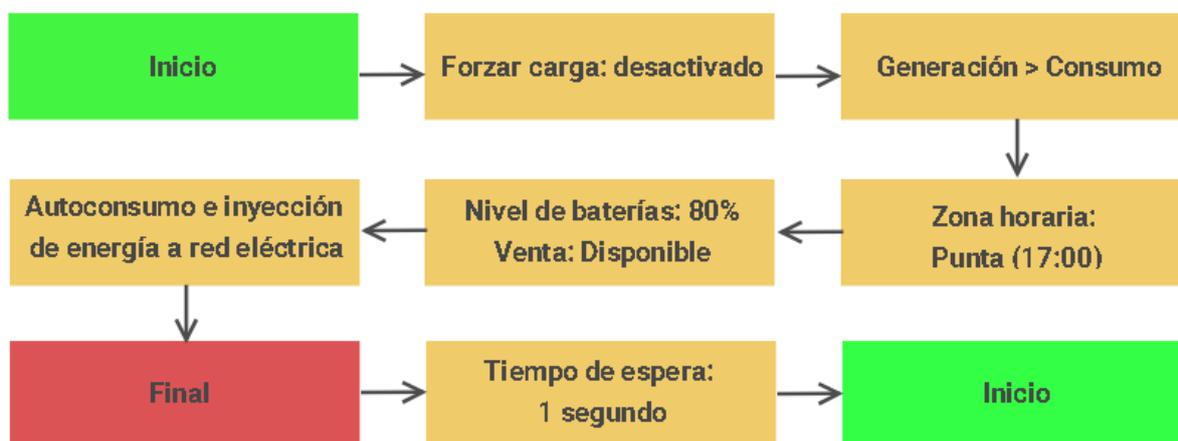


Ilustración 63 - Proceso de funcionamiento: ejemplo 3. Fuente: elaboración propia

Por lo que el sistema operaría de la siguiente forma:

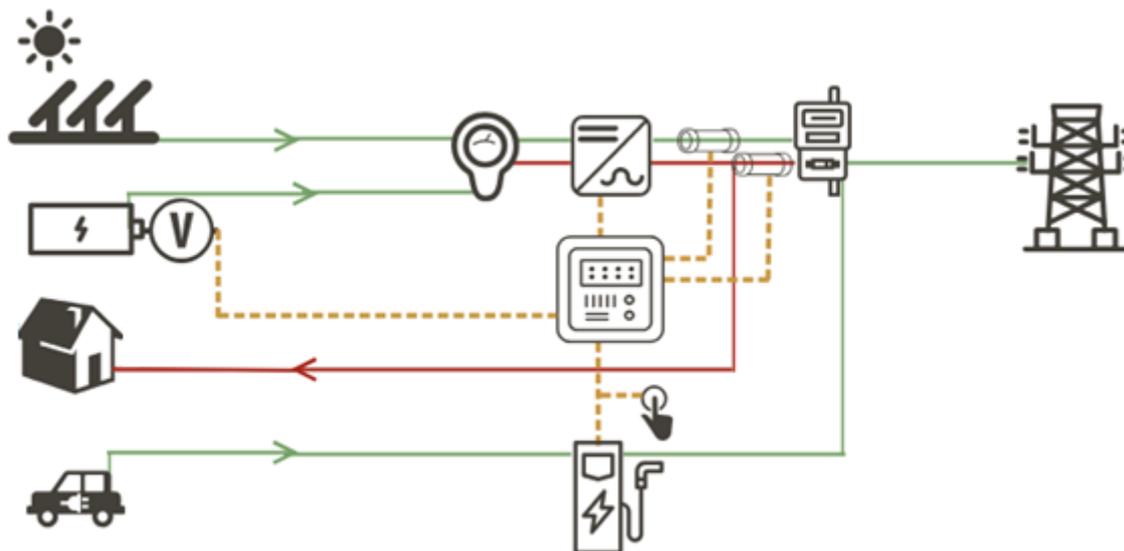


Ilustración 64 - Esquema visual del funcionamiento: ejemplo 3. Fuente: elaboración propia

10.4 LÍNEAS FUTURAS

10.4.1 Graficado de señales

Dado que el sistema está diseñado para un hogar, es altamente probable que el usuario del mismo no disponga de conocimientos técnicos. Para evitar problemas es deseable que la accesibilidad sea apropiada y el diseño de la interfaz sea intuitivo.

Añadir una representación gráfica de los eventos en la interfaz permite visualizar en detalle y en todo momento lo que está ocurriendo, facilitando su comprensión. Representa en tiempo real las curvas que generan las magnitudes de consumo y generación como se muestra en la siguiente imagen.

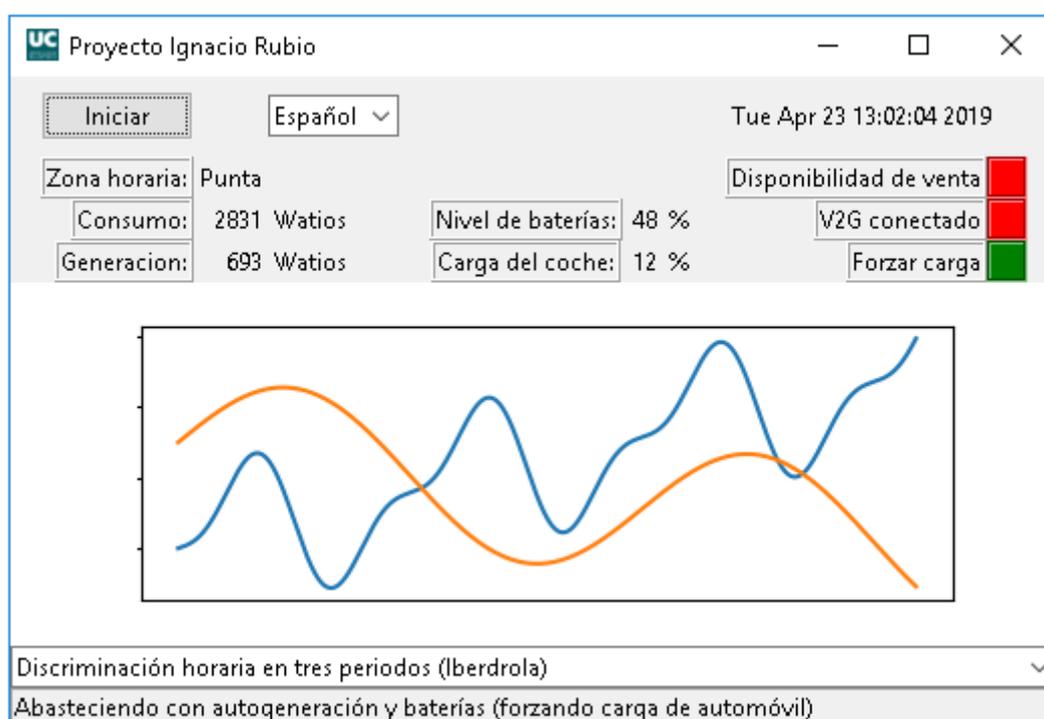


Ilustración 65 - Interfaz con gráfica de consumo/generación. Fuente: imagen propia

10.4.2 Traducción

Con el objetivo de mejorar la accesibilidad, de nuevo, la traducción a diferentes idiomas lo hace notablemente. Dado que la eficiencia energética es un problema global y el autoconsumo apunta a extenderse, la adición de la opción de poder elegir entre varios idiomas puede ser de gran valor.

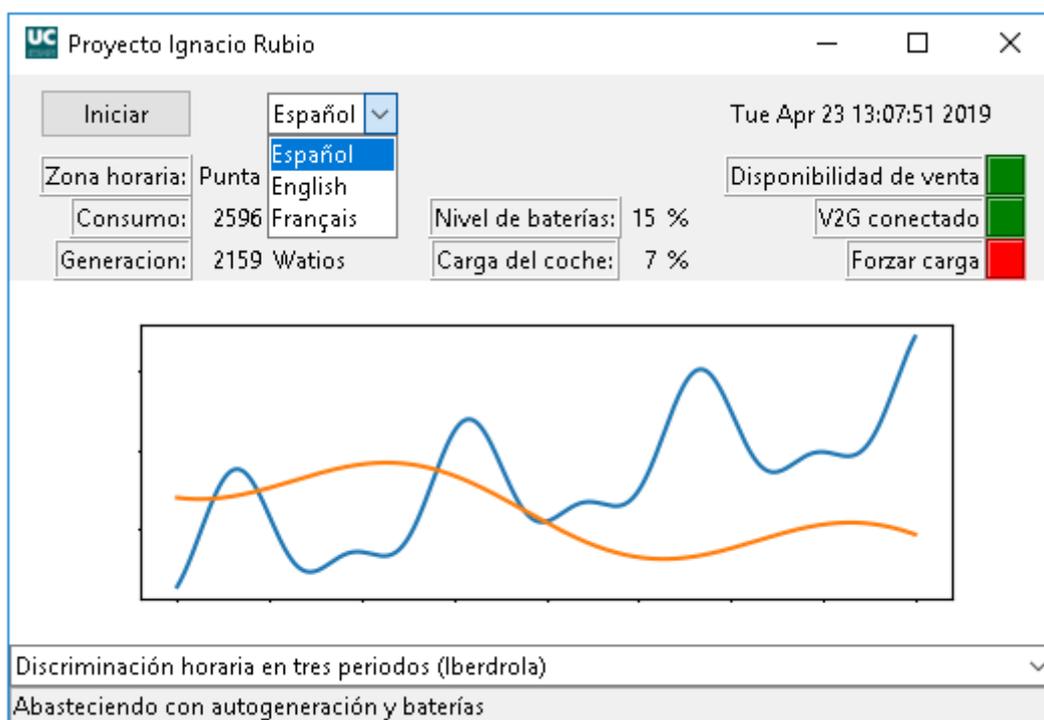


Ilustración 66 - Interfaz desplegando selector de idiomas. Fuente: imagen propia

10.4.3 Tarifas adicionales

La oferta variada de tarifas por partes de las comercializadoras es cada vez más extensa, adaptándose a las necesidades del propio consumidor. En este proyecto, se adapta la gestión de la energía a un tipo concreto de tarifa de una compañía eléctrica. Añadiendo más tipos de tarifas, como se muestra en la imagen inferior, se haría más atractivo el sistema de gestión.

En cuanto a esta línea futura, es muy habitual que las condiciones de la tarifa estén negociadas personalmente con el cliente, por lo que pueden variar de las originales. Por esta razón, sería interesante añadir un modo de introducción de datos de la tarifa manualmente o la modificación de tarifas estándar.

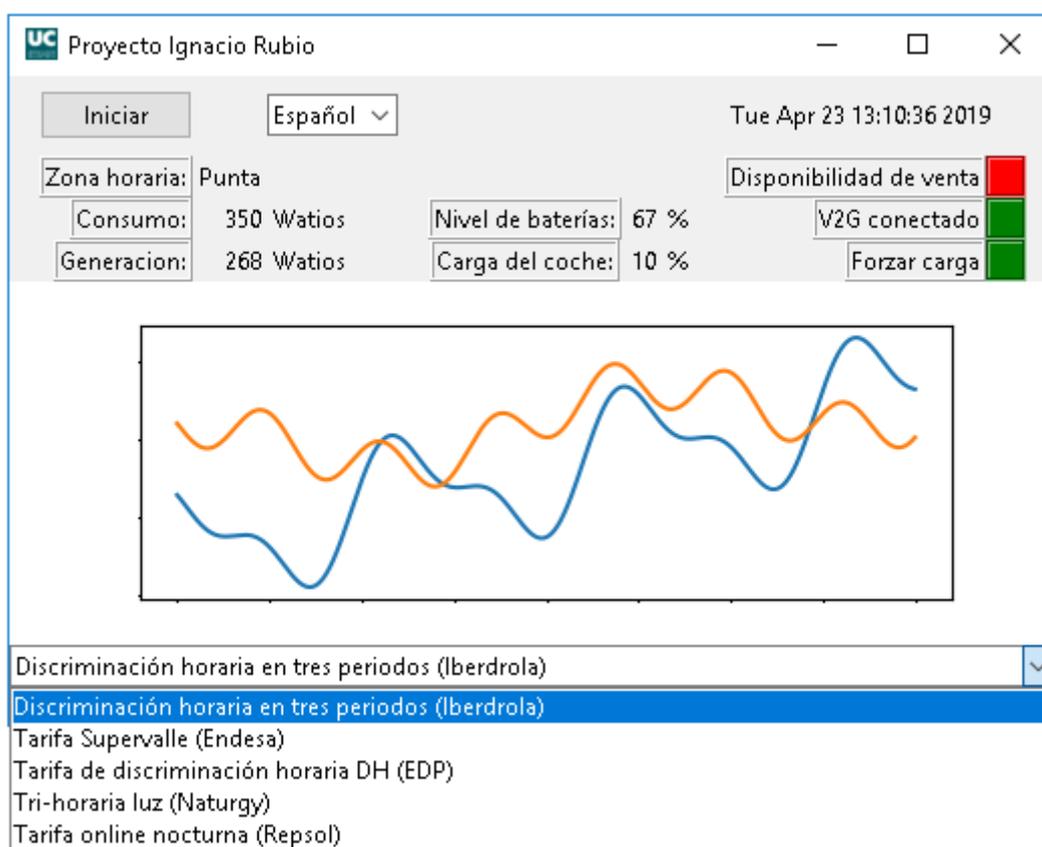


Ilustración 67 - Interfaz desplegando el selector de tarifas. Fuente: imagen propia

10.4.4 Calculadora de recibo de tarifa

El recibo de la luz es el apartado de mayor importancia para el usuario cuando se refiere a eficiencia energética. Conseguir consumir menos significa que los costes asociados al consumo descienden y, con una tarifa que siempre va en aumento, tiene especial interés.

Añadir representaciones de previsiones en función del histórico o, por ejemplo, la época del año hace que el usuario pueda estimar y controlar los gastos en función de sus necesidades o estimaciones.

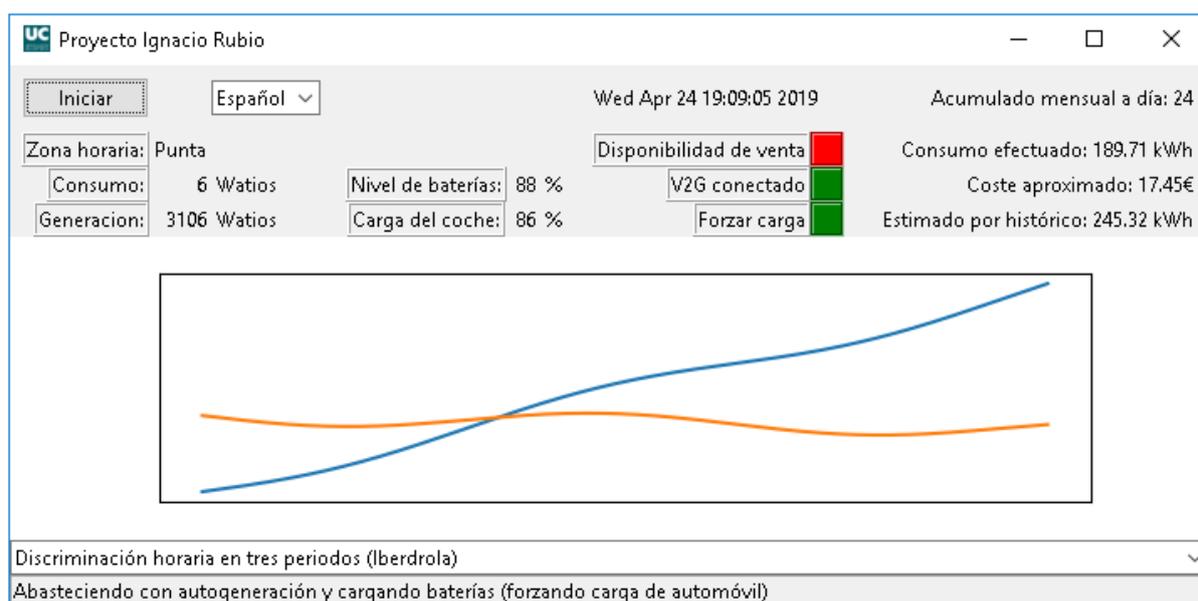


Ilustración 68 - Interfaz con módulo dedicado al consumo, coste y estimación. Fuente: imagen propia

10.4.5 Aplicación móvil

Ya que actualmente los smartphones están presentes en el día a día de todas las personas, una aplicación directa para el control remoto del sistema a través de uno de estos podría incrementar la eficiencia energética conseguida.

Esta aplicación puede ser útil para realizar acciones como el cambio de idioma, de tarifa o la posibilidad de activar la opción de forzar la carga del automóvil a distancia (entre otras).

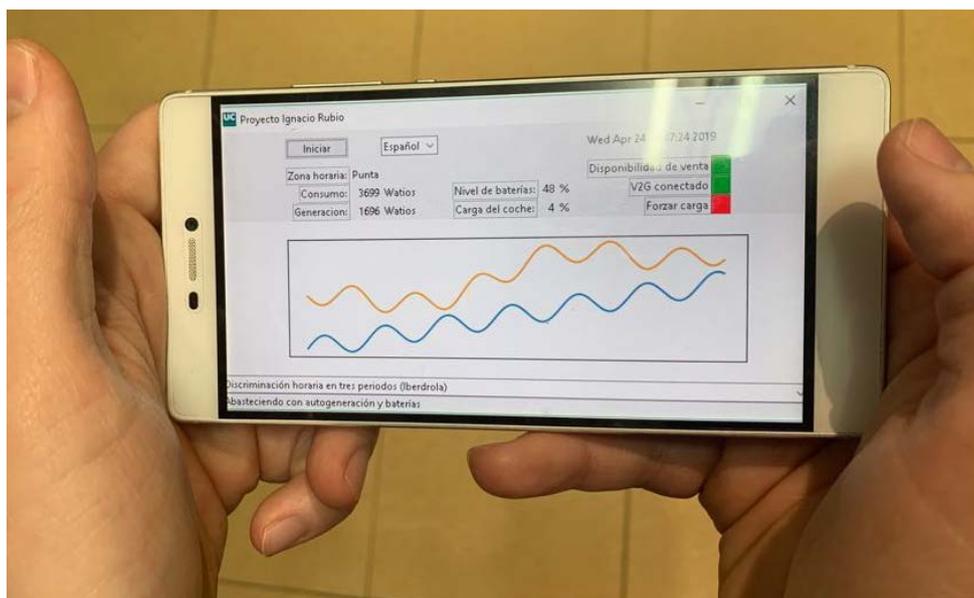


Ilustración 69 - Interfaz mostrada en un Smartphone. Fuente: imagen propia.

11 REFERENCIAS

- [1] M. Ragheb, «Historical Wind Generators Machines,» 2019. [En línea]. Available: <https://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Historical%20Wind%20Generators%20Machines.pdf>. [Último acceso: 2019 Abril 25].
- [2] I. Mártel, «CdeComunicación.es,» 5 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2016/10/05/limitaciones-de-las-energias-renovables/>. [Último acceso: 15 Octubre 2018].
- [3] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, *Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial*, Gobierno de España, 2007.
- [4] Jefatura del Estado, *Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cog*, Gobierno de España, 2012.
- [5] L. Morais, «Canary Islands to hold wind power call for 180 MW,» *Renewables Now*, 4 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://renewablesnow.com/news/canary-islands-to-hold-wind-power-call-for-180-mw-638472/>. [Último acceso: 20 Abril 2019].
- [6] Gabinete de prensa - Ministerio para la Transición Ecológica, *El Consejo de Ministros convoca ayudas para impulsar las instalaciones de energía renovable en las Islas Canarias*, Gobierno de España, 2018.
- [7] Eurostat, «Estadísticas de energía renovable,» 2016. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics/es. [Último acceso: 15 Enero 2019].
- [8] ECOticias.com, «En 2022 España será el segundo país en el ranking de energía eólica,» 21 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/187742/2022-Espana-sera-segundo-pais-ranking-energia-eolica>. [Último acceso: 20 Noviembre 2018].
- [9] B. Bouqata, *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017 Symposium*, Washington (DC): National Academy of Engineering, 2018.
- [10] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con*

-
- autoconsumo*, Gobierno de España, 2015.
- [11] Jefatura del Estado, *Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores*, Gobierno de España, 2018.
- [12] Tribunal Constitucional de España, *SENTENCIA 68/2017, de 25 de mayo*, 2017.
- [13] Eurostat, «Estadísticas sobre vivienda,» Mayo 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics/es. [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [14] Jefatura del Estado, *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*, Gobierno de España, 2013.
- [15] Ministerio para la Transición Ecológica, *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*, Gobierno de España, 2019.
- [16] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, *Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica*, Gobierno de España, 2011.
- [17] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación*, Gobierno de España, 2014.
- [18] Ministerio de Industria y Energía, *Orden de 19 de febrero de 1988 por la que se regula la retribución de las Empresas eléctricas integrantes del sistema eléctrico peninsular*, Gobierno de España, 1988.
- [19] Ministerio de Industria y Energía, *Orden de 20 de febrero de 1987 por la que se establecen tarifas eléctricas*, Gobierno de España, 1987.
- [20] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, *Real Decreto 485/2009, de 3 de abril, por el que se regula la puesta en marcha del suministro del suministro de último recurso en el sector de la energía eléctrica*, Gobierno de España, 2009.
- [21] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, *Resolución de 9 de mayo de 2018, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se aprueban las reglas de funcionamiento de los mercados diario e intradiario de producción de energía eléctrica*, Gobierno de España, 2018.
- [22] A. I. J. P. H. Ibrahim, «Energy storage systems—Characteristics and comparisons,»
-

-
- Enero 2007. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000238>. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [23] ABB, «La tecnología de ABB mantiene encendidas las luces en La Gomera, una de las más pequeñas de las Islas Canarias,» 7 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.abb.es/cawp/seitp202/4b8777a3717198a1c1257d89003d2d36.aspx>. [Último acceso: 5 Octubre 2018].
- [24] M. H. A. Escobar, *Energy Storage Systems in Renewable Power Generation*, Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
- [25] McIntosh Power Plant, *Compressed Air Energy Storage*, McIntosh, Alabama, EEUU: PowerSouth Energy Cooperative, 2017.
- [26] F. Crotofino, «Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful Operation,» 15 Abril 2001. [En línea]. Available: http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2003H/AKE2003H_Vortraege/AKE2003H03c_Crotofino_ea_HuntorfCAES_CompressedAirEnergyStorage.pdf. [Último acceso: 3 Enero 2019].
- [27] Parque Eólico Experimental Sotavento, «Sistema de generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.sotaventogalicia.com/es/proyectos/sistema-de-produccion-de-hidrogeno-con-eolica>. [Último acceso: 6 Enero 2019].
- [28] Energy Storage Association, «Pumped Hydroelectric Storage,» [En línea]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/pumped-hydroelectric-storage>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [29] «Gorona del Viento El Hierro,» [En línea]. Available: <http://www.goronadelviento.es/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2018].
- [30] R. Bayón, «Almacenar electricidad en sales fundidas,» Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales, 4 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2015/12/Roc%C3%ADo-Bay%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [31] Torresol Energy, «Gemasolar,» [En línea]. Available: <http://torresolenergy.com/gemasolar/>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [32] E. R. M. M. V. M. E. G. M. A. Guerrero, «Aplicación de Sistemas de Almacenamiento de Energía con Supercondensadores en Plantas de Generación Fotovoltaica,» Universidad de Extremadura, [En línea]. Available: <http://peandes.unex.es/archives/P124.pdf>. [Último acceso: 10 Diciembre 2018].
-

-
- [33] G. González, «Almacenamiento de energía magnética por superconducción,» *Prisma Tecnológico*, vol. 4, nº 1, 2013.
- [34] M. N. R. C. K. M. M. A. J. H. C. H. Cong Nam Truong, «Economics of Residential Photovoltaic Battery Systems in Germany: The Case of Tesla's Powerwall,» 8 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/2313-0105/2/2/14>. [Último acceso: 15 Enero 2019].
- [35] United States Geological Survey, «Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey,» 28 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf. [Último acceso: 16 Marzo 2019].
- [36] Benchmark Mineral Intelligence, «Panasonic reduces Tesla's cobalt consumption by 60% in 6 years,» 3 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.benchmarkminerals.com/panasonic-reduces-teslas-cobalt-consumption-by-60-in-6-years/>. [Último acceso: 20 Enero 2019].
- [37] Friends of Earth Europe, «Lithium,» [En línea]. Available: https://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/13_factsheet-lithium-gb.pdf. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [38] europapress, «Las matriculaciones de vehículos eléctricos crecen un 61% en 2018, hasta 13.882 unidades,» 3 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/motor/coches-00640/noticia-matriculaciones-vehiculos-electricos-crecen-61-2018-13882-unidades-20190103135341.html>. [Último acceso: 15 Enero 2019].
- [39] S. M. G. G. d. I. I. F. Campanari, «Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations,» vol. 186, 2009.
- [40] Comisión Europea, «Estrategia a largo plazo para 2050,» 28 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [41] J. R. Herrerías, «Estrategia de impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España,» 15 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://anavam.com/wp-content/uploads/2017/02/4-MT-ANAVAM-Jos%C3%A9-Rodríguez-Herrer%C3%ADas.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [42] A. Granell, «El Plan VEA o Plan MOVEA 2019 podría entrar en vigor próximamente ¿Qué lo diferencia del Plan de ayudas francés?,» 9 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.ro-des.com/blog/plan-vea-o-plan-movea-2019-en-vigor-proximamente-y-diferencia-plan-ayudas-frances/>. [Último acceso: 28 Enero 2019].
-

-
- [43] I. H. M. Á. Patiño, «Comienza la gran batalla por las 'electrolineras',» 21 Octubre 2018. [En línea]. Available: <http://www.expansion.com/empresas/energia/2018/10/21/5bccca20aca4741707a8b45f5.html>. [Último acceso: 15 Enero 2019].
- [44] J. G. Navarro, «En España se abre una gasolinera nueva cada día y suman ya 11.495,» 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.abc.es/economia/abci-espana-abre-gasolinera-nueva-cada-y-suman-11495-201808150246_noticia.html. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [45] J. Martín, «Cambio de baterías en 3 minutos: Así es como NIO ya compite contra Tesla en el uso del coche eléctrico,» 4 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/cambio-baterias-3-minutos-asi-como-nio-compite-tesla-uso-coche-electrico>. [Último acceso: 19 Febrero 2019].
- [46] C. Arcila, «ABC del bitc in,» 28 Noviembre 2017. [En línea]. Available: https://sistemas.uniandes.edu.co/images/forosisis/revista/8/pdf/FBLOCK4_ABC_del_bitcoin.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2018].
- [47] Bit2Me, «Ataque del 51% en Bitcoin,» [En línea]. Available: <https://academy.bit2me.com/ataque-del-51/>. [Último acceso: 9 Marzo 2019].
- [48] bankinter, «"El bitcoin no valdría m as de 100 dólares en una década", según el ex economista del FMI, Kenneth Rogoff,» 7 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://blog.bankinter.com/economia/-/noticia/2018/3/7/bitcoin-valdra-mas-100-dolares-una-decada-segun-economista-del-fmi-kenneth-rogoff>. [Último acceso: 28 Octubre 2018].
- [49] Criptoinforme, «Encuesta mundial de PwC: las empresas se preparan para el gran impulso en blockchain,» 27 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://criptoinforme.com/encuesta-mundial-de-pwc-las-empresas-se-preparan-para-el-gran-impulso-en-blockchain/>. [Último acceso: 28 Octubre 2018].