



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE
ELECTRICIDAD EN BATERÍA MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES
CON CARACTERÍSTICA DE MODULARIDAD E INTERCAMBIABILIDAD
EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Enrique Miguel Tébar Martínez



Tesis

Doctorales

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

DPTO. DE FÍSICA, INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TEORÍA DE LA SEÑAL
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE
ELECTRICIDAD EN BATERÍA MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES
CON CARACTERÍSTICA DE MODULARIDAD E INTERCAMBIABILIDAD
EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.**

ENRIQUE MIGUEL TÉBAR MARTÍNEZ

**Tesis presentada para aspirar al grado de
DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

**Programa de Doctorado:
E014 / FÍSICA APLICADA A LAS CIENCIAS Y LAS TECNOLOGÍAS**

Dirigida por:
TOMÁS MARTÍNEZ MARÍN
JOSÉ MARÍA LÓPEZ MARTÍNEZ

Septiembre 2017

Resumen

La Tesis Doctoral que se presenta a continuación es sin duda un documento de investigación en el campo energético con clara aplicación a la batería del Vehículo Eléctrico y a las Energías Renovables, de una manera especial a la energía solar fotovoltaica bajo un modelo de autoconsumo con producción a pequeña escala e intercambio con la red para generar electricidad verde en el punto de recarga empleando la infraestructura adecuada. Prueba de ello es que ha sido clasificada con el código Unesco 332205 (Ciencias Tecnológicas - Tecnología Energética - Fuentes no convencionales de Energía).

También podríamos encuadrarla como una aportación a las alternativas energéticas sostenibles que existen y se están investigando para la movilidad urbana e interurbana. Más concretamente, el objetivo de la misma es mostrar, a partir de un balance energético dimensionable y contrastable, la viabilidad de un sistema de recarga de baterías de tracción de Vehículos Eléctricos de manera simultánea a la producción dentro de la llamada “ventana fotovoltaica”, como garantía de que la electricidad producida para la movilidad eléctrica no dependa de los combustibles fósiles que están inevitablemente presentes en el “share” energético global para, de esta manera, reducir el nivel de emisiones de CO₂ a la atmósfera por parte del sector del transporte. Y el intercambio de baterías es presentado como la alternativa para resolver el problema de la simultaneidad entre la producción fotovoltaica y la utilización del vehículo, y para vencer la barrera del tiempo de recarga.

Dicho de otra forma, el autor quiere demostrar que si el vehículo eléctrico está llamado a ser el sustituto natural del convencional y las energías renovables están llamadas a ser las sustitutas naturales de las convencionales, es necesario comprobar la viabilidad del binomio “Vehículo Eléctrico - Energías Renovables” y el desarrollo conjunto de ambas.

La Tesis busca la sencillez del modelo y la transición a un escenario de cero emisiones. Quedan por tanto fuera de la línea principal de investigación otros modelos de tracción como pueden ser los vehículos de hidrógeno, o bien modelos híbridos, híbridos enchufables y en general sistemas mixtos de tracción que obedecen a modelos combinados que han sido objeto de investigación de numerosos autores y que han sido implementados a día de hoy.

El autor es consciente de que el modelo de intercambio de baterías, también conocido por su nomenclatura anglosajona “*Battery Swapping*” es antagónico con las tendencias actuales de carga nocturna y carga rápida. No obstante, un Vehículo Eléctrico con recarga nocturna no es un verdadero sustituto del vehículo convencional actual ya que sería únicamente válido para realizar trayectos limitados por la autonomía de las baterías y además la recarga es efectuada en una franja horaria en la que no se dispone de aportación energética a partir de la radiación solar.

Por lo que respecta a la carga rápida, defendida por muchos expertos, es necesario indicar que bajo este modelo no se alcanza el 100% de la carga completa y además está demostrado que la vida útil de la batería disminuye respecto a una carga convencional. Además, la alta intensidad eléctrica necesaria para la carga rápida lleva asociada una alta potencia instantánea, con la consiguiente necesidad de provisión de infraestructura que en lugares de alta densidad de vehículos puede ser ciertamente complicado garantizar.

Para acabar este resumen, el autor quiere destacar 2 ideas primordiales del contexto actual: Por una parte, siendo una realidad que el Vehículo Eléctrico ya es un producto al alcance del gran público, no es menos cierto que el grado de penetración del mismo está teniendo lugar a un nivel infinitamente inferior al esperado, en parte como consecuencia del elevado coste del VE y la situación económica global, en parte porque la usabilidad del VE y el vehículo convencional no es la misma al no disponer el VE de autonomía, tiempo de recarga e infraestructura de recarga comparables a su homólogo convencional, y en parte como consecuencia del mantenimiento del *status-quo* existente entre los fabricantes de vehículos y las empresas suministradoras de combustibles fósiles que intentan frenar lo máximo posible el proceso de electrificación del sector de transporte.

Por otro lado, es también una realidad el drástico descenso en los costes de los equipos de producción de electricidad fotovoltaica en los últimos años, sobre todo los paneles solares y los onduladores DC-AC, de forma que cada Watio instalado viene a costar, en promedio, 5 veces menos que en 2007 y las instalaciones son rentables por sí mismas sin necesidad de mecanismos de subvención externos. Todo ello ha facilitado que a día de hoy dispongamos de un escenario de *Balance Neto* (Autoconsumo con intercambio con la red) viable que ha abierto la puerta a las *Smart Grids* en las cuales el punto de recarga del Vehículo Eléctrico es sin duda uno de los protagonistas del escenario futuro. Y puesto que tanto las instalaciones fotovoltaicas a pequeña escala como el vehículo eléctrico son 2 campos emergentes con mucho desarrollo todavía por delante, el autor ha querido relacionar ambos a nivel dimensional y justificar que el futuro crecimiento conjunto de ambos puede contribuir enormemente a la reducción progresiva de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera por parte del sector del transporte.

Abstract

The doctoral thesis presented below is a research paper on the field of energy with a clear application to electric vehicle batteries and renewable energies. More specifically, the research focuses on using solar photovoltaic energy under a model of self-consumption, with small-scale production and grid exchange, to ensure a supply of clean electricity at the recharging point by using the appropriate infrastructure. Proof of this is its classification with the Unesco code number 332205 (Technological Sciences - Energy Technology – Non-conventional Energy Sources).

We could also frame it as a contribution to the existing sustainable energy alternatives under research for urban and interurban mobility. More specifically, its objective is to show from a sizeable and testable energy balance, the viability of a system to recharge the traction batteries of electric vehicles simultaneously with the production of the so-called “photovoltaic window” to guarantee that the electricity produced for electric mobility is not dependent on the fossil fuels that are inevitably present in the global energy share and in order to reduce the level of CO₂ emissions to the atmosphere generated by the transport sector. Battery swapping is presented as the alternative to solve the problem of the simultaneity between the photovoltaic production and the vehicle use, as well as to overcome the recharging time barrier.

In other words, the author wants to demonstrate that if the electric vehicle is to become the natural substitute for the conventional one, and the renewable energies are to be the natural substitutes for fossil-based ones, it is necessary to check the feasibility of the duality between the electric vehicle and renewable energies as well as the joint development of both.

The thesis seeks to simplify the model and enable a transition to a “zero emissions” scenario. Therefore, other traction models, such as hydrogen-based vehicles, hybrid models, plug-in hybrids and in general mixed traction systems, which follow the combined models that have been investigated by many authors and have been implemented to date, are outside the main research line.

The author is aware that the battery exchange model, also known as “battery swapping” is antagonistic with the current trends of night time charging and fast charging. Nevertheless, an electric vehicle, rechargeable during the night, can never become a true substitute to the current conventional vehicle since it would only be feasible to make routes limited by the autonomy of the batteries and, in addition, the recharge is made inside a time frame which does not count with the energetic contribution from solar radiation.

Concerning fast charging, an option supported by a plethora of experts, it is necessary to indicate that, under this model, 100% of the full charge is not reached and it is also proved that the battery life decreases with respect to a conventional charge. In addition, the high electrical intensity required for fast charging is associated with high instantaneous power,

with the consequent need of provision of infrastructure that in places of high density of vehicles can be certainly difficult to guarantee.

The author began his research into the state of the art of electric vehicle and the standards of battery swapping in 2008, from the R+D+i Department of Prosolia, a promoting company of Photovoltaic Solar Energy projects. Since then, he has followed closely, from the attendance to several forums and conferences like International Advanced Mobility Forum (IAMF) of the Geneva Motor Show, or the Electric Vehicle Symposium (EVS) amongst others, and direct contact with diverse vehicle manufacturers, the evolution of electric vehicle sector from the perspective of energy suppliers, as well as the feasibility for a battery-swapping standard to enable the recharge of a battery extracted from the vehicle during the hours of electrical production, which in the case of photovoltaics usually coincides with the vehicle's greater using time.

In June 2009 he obtained the Proficiency in Academic Research inside the Doctorate Program "Mathematics and Scientific and Technical Applications" from the University of Alicante, consisting on a research for the application of the mathematical model of the Queuing Theory and Teletraffic to electric vehicles of A closed circuit fleet (golf circuit), addressing 2 charging scenarios: without and with battery swapping, to find the optimum numbers in terms of customers, servers and batteries. For this, the author worked with the actual data of EV's loan and return in a golf course in Alicante during 3 years.

From 2011, the author worked in the International Expansion Department of another company inside the solar photovoltaic sector (Diferro Energy), whose main vocation was aimed at the installation tasks. His work included a collaboration with several promoters and installers of photovoltaic car parks in France, with a highlight on Bonhomme Bâtiments Industriels, although for dimensioning reasons the EV's recharging could not be achieved directly from the solar panels but by taking electricity directly from the grid.

From all the research and experience acquired, the present Doctoral Thesis is divided into the introduction and 5 blocks or chapters with the following conducting threads:

In the second chapter the general aspects of an electric vehicle are taken for granted. Therefore, the starting point of the Thesis are the alternatives to the conventional battery-charging points in Electric Vehicles with single or three-phase alternating current to proceed to a deeper approach to Battery Swapping Systems in EVs, emphasizing how necessary they are to make the EV become a true substitute of the conventional one, and analysing the advantages and disadvantages of Battery Swapping with respect to its antagonistic solution, which is none other than the fast charging systems.

The third chapter will focus on the study of a self-consumption photovoltaic system connected directly to a traction battery without passing through an inverter. To this end, a study will be made to determine whether any of the traction batteries available in the market is compatible with the electrical characteristics of a photovoltaic field, or if the "PV

Modules-Inverter” and “Inverter-Traction Battery” sub-systems must always be considered as 2 completely independent subsystems for all purposes.

Subsequently, the fourth chapter will emphasize how to size an autonomous photovoltaic system with AC output to power a traction battery, how to scale it and how to consider several production and consumption scenarios, by applying a geographic coefficient (depending on the location of the system and therefore the production level of the photovoltaic plant), and also by adding increasing/decreasing coefficients according to the maximum energy storable by the EV, and the battery charge level before recharging. One of the research lines of this chapter is undoubtedly the dimensioning of the “single-user autonomous recharging system”; that is, a photovoltaic installation for the residential or small industrial area to make a direct battery charge of a single vehicle with no need to take any electricity from the mains. The PV plant sizing will be checked under certain radiation conditions and it will be determined whether it is viable or not. The concept of Net Metering will be also considered as a real need to make that the energy compensation between the moments when production is higher than consumption and vice versa becomes a reality, so the battery charging does not have to coincide simultaneously in time with the PV production.

The fifth chapter will be devoted to the devices that allow both switching and intelligent managing of the different loads present in our system, where the Electric Vehicle is undoubtedly one of the most important but not the only one to consider and manage. It will be analyzed how to approach the way to manage the batteries of the EV from the photovoltaic inverter by working in a scenario of switching between the photovoltaic system and the mains, and in a transparent way to the end user, how to manage the switching of both sources and loads, how it affects the network and how it must be adapted for a big-scale scenario, from the complete system dimensioning. With this objective, a study of typical loads including the Electric Vehicle will be shown, as well as several solutions to implement a prioritization of loads with a review of the devices that work under certain algorithms that are programmable by means of automatons, and a real average of annual consumption with a system projection by adding an EV with daily recharge and different features and load patterns. Besides, economic or tariff aspects for the switching of sources and loads will be discussed, as well as the regulatory environment that allows the figure of the “Load Manager” or Energy Reseller for EV’s recharging applications.

The Thesis is closed by the sixth chapter, which will compile the main research conclusions of the investigation made inside the previous chapters, but without ignoring other scenarios; basically two: On the one hand, the analysis of the complementary contribution of wind energy in a recharging system by studying the conditions under which it would be feasible to incorporate a wind generator into the system, and which would be a possible sizing thereof. On the other hand, the transfer of the Battery Swapping model to the Hydrogen Vehicle, and the study of the feasibility of the system. Moreover, the EV charging stations will be considered as queuing systems, since it will be necessary to manage the

inputs and outputs of users to a system in which not all users look for the same product (different standards of traction battery are present and some of them will exist), and perhaps the immediacy of the availability of the charged batteries will not completely guaranteed, as the EV charging station will not have a determined battery type required by a certain user, and fully charged for immediate use.

To finish this summary, the author wants to highlight 2 main ideas of the current context: On the one hand, the fact that the Electric Vehicle is already a product available to the general public is true, but it is also true that the penetration rate of the EV is taking place at an infinitely lower level than expected, partly as a consequence of the high cost of the EV and the global economic situation, partly because the usability of EV with respect to the conventional one is not the same since the EV does not count with autonomy, recharging time and recharging infrastructure comparable to its conventional counterpart, and partly as a result of the maintenance of the status quo between vehicle manufacturers and fossil fuel companies that try to stop as much as possible the electrification process inside the transport sector.

On the other hand, it is also a reality the drastic decrease in the costs of photovoltaic electricity production equipment in recent years, especially regarding solar panels and DC-AC inverters, so that every Watt installed costs today, on average, 5 times less than in 2007, and the installations are cost-effective by themselves, without the need for external subsidy regulations. All of this has made possible for us to have a feasible Net Metering model (Self-consumption with grid exchange) that has opened the door to the Smart Grids in which the EV recharging point is undoubtedly one of the leading themes of the future scenario. And since both small-scale photovoltaic installations and the Electric Vehicle are 2 emerging fields with a lot of development still ahead, the author wants to link both of them at a dimensional level and to justify that the future joint growth of both can contribute greatly to the progressive reduction of the emission of pollutant gases into the atmosphere by the transport sector.

Agradecimientos

Debo reconocer que mucha parte de culpa (en positivo) de que esta Tesis Doctoral sea una realidad os la debo a vosotros, han sido varios años de esfuerzos y momentos más y menos complicados, pero todos habéis puesto vuestro granito de arena. Gracias.

Gracias a mi familia, especialmente a mi hermana Pilar, persona experta en investigar, investigar e investigar, que sabe lo que es tirarse horas y horas descubriendo, aportando, describiendo, ... gracias por tus consejos.

Gracias a José Manuel Ferrándiz e Isabel Vigo, de la Universidad de Alicante. Con vosotros inicié los Cursos de Doctorado y la Suficiencia Investigadora que me han permitido llegar hasta aquí.

Gracias a Marcelino Bayarri, de Prosolia, que me dio la oportunidad de iniciar mi investigación en el campo de los Vehículos Eléctricos, el intercambio de baterías, y la generación fotovoltaica distribuida. Gracias por tantas horas compartidas.

Gracias a José María López, de la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil de la Comunidad de Madrid (INSIA), por la Dirección de la Tesis, por tu visión y tus imprescindibles aportaciones. Gracias también a Rosa Hernández y a Marta Merino por vuestras gestiones, tan necesarias siempre.

Gracias a Francisco Navarro, Daniel Boix y Juan Carlos Brotons, de la Universidad Miguel Hernández, por vuestras colaboraciones en esta investigación que también es vuestra.

Gracias a Ephraim Wambu y a Michael Martínez por vuestro apoyo lingüístico.

Gracias a Domingo Guinea, de CSIC, y Alfonso García, de la Universidad Politécnica de Madrid, por vuestras aportaciones con un alto grado de especialización y calidad.

Por último, gracias a Tomás Martínez, Juan José Galiana, José Antonio Reyes, David Mas, María del Mar Sáez, Maribel Fernández y Augusto Beléndez, también de la Universidad de Alicante. Vuestro apoyo ha sido clave para finalizar la Tesis y llevarla a buen puerto.

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	3
Agradecimientos.....	7
Índice de figuras y tablas.....	10
Términos específicos y abreviaturas.....	17
Capítulo 1 : Introducción.....	21
1.1 Motivación de la Tesis.....	21
1.2 Estructura de la Tesis.....	22
Capítulo 2 : Sistemas de intercambio de baterías en Vehículos Eléctricos.....	24
2.1 Sistemas de carga convencional del Vehículo Eléctrico.....	24
2.2 Planes de impulso al Vehículo Eléctrico en España y escenario de recarga nocturna.....	26
2.3. Carga rápida y Protocolo CHAdeMO.....	29
2.4 Inconvenientes de la integración de la Energía Solar Fotovoltaica en la carga rápida.....	31
2.5 El Intercambio de Baterías o “Battery Swapping”: Primeros sistemas.....	33
2.5.1 Mercedes- Benz (Años 70).....	33
2.5.2 Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de Shandong.....	35
2.6 Proyecto “Better Place”.....	35
2.6.1 Características del proyecto.....	37
2.6.2 Bancarrota.....	38
2.6.3 EasyBat.....	38
2.7 Proyectos europeos actuales menos ambiciosos.....	39
2.8 La infraestructura china.....	43
Capítulo 3 : Sistema Fotovoltaico Autónomo conectado a Batería de Tracción.....	47
3.1 Introducción.....	47
3.2 Elección de Baterías para nuestro Sistema.....	49
3.2.1 Tipos de baterías según su uso.....	49
3.2.2 Parámetros a considerar de las baterías.....	50
3.2.3 Tipos de Tecnologías de Baterías para vehículos eléctricos.....	52
3.2.4 Tecnologías de Baterías válidas para el sistema propuesto.....	56
3.3 Compatibilidad eléctrica entre ambos sistemas.....	58
Capítulo 4 : Dimensionamiento de la planta fotovoltaica y tiempos de recarga. Modelo de Balance Neto.....	64
4.1 Introducción.....	64
4.2 Modelos actuales: Recarga en función del horario y la fuente energética.....	65

4.3 Primer escenario: Recarga simultánea a la producción fotovoltaica	67
4.3.1 Cálculo de la potencia mínima necesaria y el número de Paneles	68
4.3.2 Cálculo de los efectos debidos a la temperatura.....	70
4.3.3 Redimensionado del sistema empleando hipótesis de Balance Neto.....	73
4.4 Segundo escenario: Recarga no simultánea y eliminación de la barrera de la autonomía	77
4.5 Otros escenarios.....	79
Capítulo 5 : Sistemas de Conmutación y Gestión Inteligente para la recarga de baterías de Vehículos Eléctricos	81
5.1 Introducción.....	81
5.2 Indicadores de impacto y proyección a la electrificación del sector del transporte.....	81
5.3 Equilibrio entre Generación y Demanda.....	84
5.4 Estudio de cargas tipo, incluyendo el Vehículo Eléctrico	87
5.5 Priorización de cargas.....	89
5.6 Conmutación por conveniencia tarifaria	95
5.7 Autómatas programables	97
5.7.1 Autómata CP1-E y principales dispositivos periféricos	98
5.7.2 Entorno de programación del Autómata CP1-E.....	102
5.7.3 Programación de CP1-E para algoritmos de priorización	109
5.8 Entorno regulador	112
Capítulo 6 : Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	114
6.1 Conclusiones	114
6.2 Futuras líneas de investigación	117
6.2.1 Futura usabilidad del Vehículo Eléctrico	117
6.2.2 Integración de la Energía Eólica	118
6.2.3 Traslación del Modelo de Hidrógeno con pila de combustible.....	120
Anexo : Hojas Técnicas de los principales componentes descritos	122
Vehículo Eléctrico Renault Fluence Zero Emissions	122
Panel Fotovoltaico Monocristalino RENESOLAR JC260M-24/BbV.....	122
Inversor fotovoltaico S3	122
Inversor fotovoltaico	122
Balance Neto del operador estadounidense Xcel Energy.....	122
Datalogger Seinon Mentus.....	122
Relé Circuitor WI	122
Relé Victron Transfer Switch ATS40V230.....	122
Relé Phœnix Contact PLC-BSC	122
Referencias.....	123

Índice de figuras y tablas

Figura 1: Ventas a nivel mundial de vehículos ligeros (en millones de unidades).

Fuente: EV/PHVE International Energy Agency.

Figura 2: Perfil de demanda para una penetración de un millón de vehículos eléctricos en 2014, recarga simultánea 8 horas (día tipo de invierno). En color verde se muestra la proyección de energía empleada para la recarga nocturna del vehículo eléctrico. Fuente: IDAE-Plan Movele.

Figura 3: Conector de recarga rápida empleado por el protocolo CHAdeMO.

Fuente: www.chademo.com.

Figura 4: Principales conectores de recarga rápida empleado por diferentes fabricantes.

Fuente: [MLa].

Figura 5: Sistema de recarga rápida gratuito para vehículos Tesla en Gilroy, California. El punto Tesla más cercano está ubicado en Fremont, a 68 km (42 millas). Fuente: www.tesla.com/supercharger.

Figura 6: Primera experiencia del Intercambio de Baterías, aquí se observa al técnico de Mercedes procediendo de manera rudimentaria al intercambio de la batería de este minibús. Fuente: www.plugincars.com.

Figura 7: Prototipo del sistema de intercambio desarrollado en el Instituto de la Energía Eléctrica de Shandong. Fuente: [Sha].

Figura 8: Sistema de intercambio adaptado al formato comercial por Better Place. Fuente: www.wired.com.

Figura 9: Primera Estación de Intercambio de Baterías Comercial de la Empresa Better Place ubicada a las afueras de Copenhague (Dinamarca). Fuente: www.autoblog.com.

Figura 10: Logotipo del Programa EasyBat. Fuente: www.egvi.eu.

Figura 11: Red Greenway de puntos de recarga e intercambio de baterías en Eslovaquia. Fuente: www.greenway.sk.

Figura 12: Vehículos eléctricos ofrecidos por Greenway, de los cuales la Citroën Jumper eléctrica contempla el intercambio de baterías. Fuente: www.greenway.sk.

Figura 13: Estación de intercambio de baterías Greenway, transpaleta para el intercambio, estanterías para dejar la batería descargada y tomar la cargada, e inserción de la batería cargada en el habitáculo de la furgoneta. Fuente: www.greenway.sk.

Figura 14: Documentación comercial del sistema de intercambio de baterías Battswap. Fuente: www.battswap.com.

Figura 15: Batería para Skoda Octavia eléctrico, sistema robotizado, vídeo cronometrado del intercambio rápido de baterías y demostración de intercambio de baterías a -15 °C. Fuente: www.battswap.com.

Figura 16: Autobús eléctrico de la ciudad china de Qingdao que funciona bajo el modelo de intercambio de baterías, colocado junto a estación de intercambio. Fuente: [Qin].

Figura 17: Proveedores de tecnología de intercambio de baterías presentes en China. Fuente: [Hua].

Figura 18: Batería y conector estandarizados para el intercambio rápido del proveedor Key Power . Fuente: [Hua].

Figura 19: Conector e intercambiador de baterías del proveedor XJ Group. Fuente: [Hua].

Figura 20: Repositorio de baterías y autobús eléctrico del proveedor DB Tech. Fuente: [Hua].

Figura 21: Estación de intercambio de baterías del proveedor HEPTSD. Fuente: [Hua].

Figura 22: Diagrama de bloques de un sistema de carga de batería de un vehículo eléctrico en modo DC a partir de un campo fotovoltaico. Fuente: [Bha].

Figura 23: Tabla que muestra las diferencias más relevantes entre las 3 principales tecnologías de baterías.

Figura 24: Comparativa entre los diferentes tipos de baterías en términos de densidad de potencia (W/kg) y energía (Wh/kg). Fuente: [ZEV].

Figura 25: Diferentes tipos de baterías: 1.Plomo-Ácido (como las baterías de arranque de los vehículos convencionales), 2. Níquel-Metal-Hidruro, 3.Zebra, 4.Litio-Ión-Polímero.

Figura 26: Batería de Zinc-Aire. Fuente: arpa-e.energy.gov.

Figura 27: Tabla que muestra la comparativa de las baterías según parámetros, donde señalamos las tecnologías que no hemos desestimado. Aparecen con una marca amarilla

las más favorables a nuestra elección: Iones de litio y Polímero de litio. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28: Baterías Li-Ión de alta densidad de carga para vehículos Tesla.

Figura 29: Gráfica que muestra las relaciones entre los niveles de tensión y corriente de salida de una célula fotovoltaica para diferentes valores de irradiancia. Fuente: [Vil].

Figura 30: Gráfica que muestra la relación entre los niveles de tensión y corriente de una célula fotovoltaica en función de la temperatura de trabajo. Fuente: [Vil].

Figura 31: Esquema electrónico de un convertidor DC/DC. Fuente: [Utu].

Figura 32: Esquema eléctrico básico que muestra la conexión entre los paneles y el acumulador con un regulador de carga intermedio. Fuente: [Vil].

Figura 33: Etapas por las que pasa la tensión tomada en una toma convencional hasta ser convertida en la tensión adecuada para la entrada en la batería de tracción. Fuente: [Cze].

Figura 34: Escenarios de recarga lenta nocturna (eficiente) y de recarga en horas punta (ineficiente). Fuente: Red Eléctrica Española [RE2].

Figura 35: Detalle de la estructura de generación (en MW) por componentes para todo el territorio español entre las 9 de la noche del 21 de Septiembre y las 3 de la madrugada del 23 de Septiembre de 2015. Fuente: Página web REE [RE3].

Figura 36: Tabla que muestra la información con cifras porcentuales correspondiente a la Figura 35 entre las 0 y las 21 horas del 22 de Septiembre de 2015. El orden de las filas coincide con el orden de los componentes. - Fuente: Página web REE [RE3].

Figura 37: Consumo eléctrico y generación fotovoltaica en una vivienda unifamiliar tipo a lo largo de un día laborable. La llamada "Energía Excedente" debería ser utilizada para recargar el vehículo eléctrico bajo un modelo 100% renovable en aquellos días en los que se disponga de radiación solar suficiente. - Fuente: [GPu].

Figura 38: Tabla de datos solares de radiación de la ciudad de Alicante en Horas Solares Pico (kWh por kW instalado). - Fuente: [PVg].

Figura 39: Tabla de parámetros eléctricos del panel RENESOLAR JC260M-24/BbV. - Fuente: [RSo].

Figura 40: Tabla de parámetros eléctricos del panel RENESOLAR JC260M-24/BbV en función de la temperatura ambiente en Alicante - Fuente: [RSo].

Figura 41: Comparativa entre la irradiancia media diaria para un sistema fotovoltaico ubicado en Alicante a lo largo del año y el valor medio anual. Durante los meses de abril a septiembre (en verde) la producción es superior a la media, siendo inferior en el resto del año. Como podemos observar, las respectivas áreas de superávit y déficit de producción se deberían compensar entre sí para que el balance neto anual sea 0. Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Potencias de generador fotovoltaico (en kW) para recarga de vehículos eléctricos de gama baja, media y alta en una jornada de condiciones de irradiancia media y bajo hipótesis de Balance Neto. Se aplican coeficientes geográficos, así como 2 hipótesis de carga: Batería inicialmente cargada / Recarga al 50%, y Recarga completa. Fuente: Elaboración propia.

Figura 43: Disposición del motor eléctrico y la batería de tracción en el Renault Fluence Z.E. Fuente: [RLe].

Figura 44: Vehículo Eléctrico con Extensor de Alcance. Fuente: www.evalbum.com.

Figura 45: Tabla de caracterización de los tipos de carga para un vehículo eléctrico en función de su utilización. Fuente: [FBa].

Figura 46: Evolución del consumo energético por sectores en la Unión Europea entre 1990 y 2014, en el que el transporte aparece en segunda posición. Fuente: [Jor].

Figura 47: Modelo de instalación fotovoltaica a pequeña escala de autoconsumo con intercambio con la red, y vehículo eléctrico. Fuente: [LFN].

Figura 48: El “Simil de la bicicleta tándem” es una curiosa manera de explicar el equilibrio entre generación y demanda en el sistema eléctrico. La bicicleta tándem (red eléctrica) se está moviendo a velocidad constante (frecuencia de red). El objetivo es mantener a los pasajeros de color azul (cargas) en movimiento (alimentadas). Los ciclistas de color rojo son las estaciones generadoras. Este símil también muestra analogías con otros fenómenos que se pueden producir en el sistema eléctrico, como por ejemplo la compensación de la potencia inductiva, la distorsión armónica, las variaciones de frecuencia o la transformación de energía eléctrica en calor. Fuente: [Fas].

Figura 49: Elementos principales de un generador síncrono en el control de frecuencia. Fuente: [Led].

Figura 50: Ejemplo de curvas programada y real para el pasado 8/2/2017. Fuente: [ESi].

Figura 51: Evolución de la producción energética por fuentes primarias en la Unión Europea entre 1990 y 2014, en la que las renovables con un 25,4% alcanzan la segunda posición, justo tras la Energía Nuclear. Fuente: [Jor].

Figura 52: Tabla que muestra el inventario de consumos eléctricos habituales para una vivienda unifamiliar que dispone de Vehículo Eléctrico – Fuente: Elaboración propia.

Figura 53: Conexión del Piko BA Sensor al inversor. Fuente: [Sel].

Figura 54: Instantánea de monitorización del autoconsumo con inyección cero mediante la visualización en PIKO Solar Portal. Fuente: [Sel].

Figura 55: Comparación de diferentes características y patrones de carga para un RFZE y una instalación fotovoltaica de 3 kW. Dado que la energía de almacenamiento total para este EV es de 22 kWh, varias posibilidades son viables dependiendo de los valores de tensión y corriente de carga, tal y como se muestra en la figura. Fuente: Elaboración propia.

Figura 56: Ejemplo de una instalación con INGECON EMS Manager. Este sistema de gestión energética implementa estrategias basadas en los diferentes dispositivos conectados al sistema y en la configuración previa establecida por el usuario. Fuente: [Ing].

Figura 57: Instantánea de la monitorización mediante el software de gestión energética Seinon. Fuente: [Sei].

Figura 58: Comparativa entre las tarifas 2.0A y 2.0DHA del operador eléctrico Iberdrola. Fuente: [Ibe].

Figura 59: Placa de circuito impreso Arduino Uno. Fuente: www.arduino.cc.

Figura 60: Autómata CPE-1. Fuente: www.omron.es.

Figura 61: Relé ATS40V230 Victron Transfer Switch 5kVA / 10kVA. Fuente: www.victronenergy.de.

Figura 62: Esquema de funcionamiento del Relé de Estado Sólido. Fuente: www.infootec.net.

Figura 63: Pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. Fuente: Fuente: www.omron.es.

Figura 64: Esquema con los distintos tipos de conexionado posibles en la pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. Fuente: Fuente: www.omron.es.

Figura 65: Entorno de trabajo de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 66: Tipos de datos empleados en CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 67: Ventana emergente de CX-Programmer para la inserción de nuevo símbolo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 68: Ventana principal de CX-Programmer tras la inserción de nuevo símbolo. Fuente: [OM2].

Figura 69: Símbolo de Contacto normalmente abierto en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 70: Inserción de Contacto normalmente abierto en CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 71: Símbolo de Contacto normalmente cerrado en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 72: Símbolo de Entrada de bobina en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 73: Ejemplo de Entrada de bobina en CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 74: Ejemplo de combinación de Contacto normalmente abierto, Contacto normalmente cerrado y Entrada de bobina en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 75: Símbolo de Instrucción SET/RSET en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 76: Ejemplo de Instrucción SET/RSET en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 77: Símbolo de Entrada de instrucciones de temporizador en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 78: Ventana emergente de CX-Programmer para la inserción de instrucciones de temporizador. Fuente: Elaboración propia.

Figura 79: Ventana “Ayuda Instrucción” con información sobre los tipos de temporizadores en CX-Programmer. Fuente: [OM2].

Figura 80: Ejemplo de desactivación de salida física mediante un contacto abierto de forma temporizada en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 81: Ventana emergente de programación de un interruptor de 1 bit en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 82: Ejemplo de programación en la priorización de cargas cuando el vehículo eléctrico está conectado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 83: Aspecto de la pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. En la parte derecha, los 3 modos de funcionamiento disponibles. Fuente: Elaboración propia.

Figura 84: Activación de carga de 3 modos posibles definidos por el usuario en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 85: Activación/desactivación del modo automático para el Vehículo Eléctrico en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Figura 86: Smart Grid compuesta por Campo Fotovoltaico, Convertidor DC-DC, Cargador Bidireccional, Inversor Bidireccional, Batería del Vehículo Eléctrico, Batería intermedia de almacenamiento (ESU) y Red Eléctrica. Un modelo más complejo incluiría también la Batería intermedia de almacenamiento (ESU). Fuente:[Bha].

Figura 87: Modelo Erlang-C (sistema con esperas) de la Teoría de Colas, aplicado a una centralita telefónica. Para el caso de las electrolinerías, la probabilidad de bloqueo (todos los servidores ocupados) iría aumentando a medida que el parque de vehículos eléctricos fuera creciendo y la tasa de clientes que abandonan sin recibir el servicio (flecha roja) iría aumentando a medida que la red de electrolinerías fuera haciéndose cada vez mayor. En el caso de una electrolinería la probabilidad de reintento es prácticamente despreciable. Fuente:[Ar1].

Figura 88: Modelos actuales de sistemas mini-eólicos de eje vertical (izquierda) y horizontal (derecha). Fuente: Catálogos de Pramac y AV Aerovironment.

Figura 89: Reclamo publicitario mediante 2 molinos eólicos sistema “Eva Savonius” en el Campus de Espinardo de la Universidad de Murcia.

Figura 90: Esquema de funcionamiento del vehículo de Hidrógeno con pila de combustible. Fuente: www.ecolisima.com.

Figura 91: Hidrogenera en el Parque Tecnológico Walqa, situado en Cuarte (Huesca). Fuente: www.heraldo.es.

Términos específicos y abreviaturas

ANFAC: Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones

APU (Auxiliary Power Unit): Cargador de batería que suministra electricidad al motor del vehículo eléctrico, también conocido como tren de transmisión híbrido. Las APUs más comúnmente usadas son motores de combustión interna, aunque también se pueden emplear células de combustible u otros tipos de motores.

ARDUINO: Compañía de hardware libre y comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware y software de código totalmente abierto, compuesta respectivamente por un circuito impreso que integra un microcontrolador a un coste muy competitivo, y un entorno de desarrollo en el que se programa cada placa.

AUTODESCARGA: Proceso de descarga espontánea y lenta que se produce en todas las baterías, incluso si se hallan desconectadas de la instalación eléctrica del vehículo. Existen 2 procesos de autodescarga: El interno de la propia batería, debido a la corrosión lenta de las rejillas y a las impurezas (suciedad, grasa, aceite) que caen en la batería durante su reaprovisionamiento con agua destilada, y el externo, debido a una deficiente protección de los terminales (húmedos, recubiertos de óxido o no protegidos con vaselina).

BALANCE NETO FOTOVOLTAICO: Escenario en el cual un productor de electricidad mediante su propia instalación, y que es a la vez consumidor de energía eléctrica de la red puede compensar los saldos productor y consumidor de manera instantánea o diferida, compatibilizando así sus curvas de producción y demanda.

BETTER PLACE: Empresa respaldada por capital de riesgo con sede en Palo Alto, California, cuyo objetivo era reducir la dependencia del petróleo a nivel global a través de la creación de una infraestructura de transporte basada en vehículos eléctricos y su intercambio rápido de baterías mediante estaciones robotizadas. Se desarrolló sobre todo en Israel entre 2008 y 2013, cuando se declaró en bancarrota.

BEV (Battery Electric Vehicle): Vehículo Eléctrico de Baterías (o Vehículo Totalmente Eléctrico).

BUS CAN (Acrónimo del inglés “Controller Area Network”): Protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. Además ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPUs (unidades centrales de proceso), ofrece alta inmunidad a las interferencias, habilidad para el autodiagnóstico y la reparación de errores de datos, reduce considerablemente el cableado y elimina las conexiones punto a punto, excepto en los enganches.

CCS (“Combo Charging System”): Protocolo de recarga de baterías para vehículos eléctricos que agrupa a diversos fabricantes de automóvil alemanes y estadounidenses.

CHAdEMO ("CHArge de MOve"): "Carga para moverse", protocolo de recarga de baterías para vehículos eléctricos que agrupa a diversos fabricantes de automóvil japoneses y que suministra hasta 62,5 kW de corriente continua DC de alto voltaje a través de un conector eléctrico. Se presenta como un estándar global por la asociación del mismo nombre.

EASYBAT: Proyecto titulado "Models and generic interfaces for easy and safe battery insertion and removal in electric vehicles", que tenía por escenario la investigación y desarrollo previo a la estandarización de las baterías en vehículos eléctricos para su intercambio rápido.

ELECTROLINERA: Denominación de la estación de carga para vehículos eléctricos, en analogía con el término convencional "Gasolinera", mediante diferentes procedimientos generalmente comparables en tiempo a los repostajes convencionales, tales como la recarga rápida o el intercambio de baterías.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: Fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, a partir de la conversión de los fotones incidentes y procedentes de la radiación solar en electrones mediante un dispositivo semiconductor, habitualmente célula fotovoltaica o célula solar de película fina.

EREV (Extended-Range Electric Vehicle): Vehículo Eléctrico de Largo Alcance. Es aquel BEV que incluye una unidad auxiliar de potencia (APU), generalmente a modo de remolque del vehículo, conocida como expansor de alcance ("Range Extender").

ERGO (Electric Recharge Grid Operator): Operador de Red de Recarga Eléctrica.

ESU (Del inglés *Energy Storage Unit*): Unidad de almacenamiento energético. Habitualmente, una batería. El concepto ESU se presenta en la Tesis cuando surgen los sistemas de control y entre el sistema fotovoltaico de producción eléctrica y la batería de tracción del Vehículo Eléctrico se introduce un dispositivo intermedio de almacenamiento para compensar las variaciones en la producción del sistema FV.

FV: Abreviatura de "Fotovoltaico".

HEV (Hybrid Electric Vehicle): Vehículo Híbrido.

HIDROGENERA: Estación de servicio de hidrógeno dispensado por kilogramos en pilas de combustible o como materia prima, para dar servicio a los vehículos de hidrógeno.

HSP (Hora Solar Pico): Unidad que mide la irradiación solar y que se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 3,6 MJ/m² o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m².

INVERSOR FOTOVOLTAICO: Convertidor que transforma la corriente continua procedente de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

MOVELE: Plan de Acción 2010-2012 dentro de la Estrategia Integral de Impulso al Vehículo Eléctrico en España 2010-2014.

MPP (“Maximum Power Point”): Punto que maximiza en una célula solar la tensión de trabajo y el tiempo frente a la intensidad; o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

NF (Network Frequency): Frecuencia de trabajo de la red eléctrica

PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle): Vehículo Híbrido Enchufable.

PLC (Programmable Logic Controller): Computadora utilizada en Ingeniería Automática para automatizar procesos electromecánicos tales como el control de maquinaria en líneas de montaje o atracciones mecánicas. A diferencia de las computadoras de propósito general, un PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

PRODUCCIÓN ENERGÉTICA CENTRALIZADA: Generación de energía eléctrica en centrales de combustible fósil (carbón, petróleo, gas natural), nucleares e incluso renovables (hidroeléctricas, parques eólicos o fotovoltaicos). Son excelentes a escala de rendimientos económicos, pero transmiten la electricidad normalmente a muy grandes distancias y el rendimiento energético y medioambiental es bajo. Se suelen ubicar en lugares determinados en función de ciertos factores económicos, de seguridad, logísticos o medioambientales, entre otros, que provocan que la mayoría de las veces la energía se genere muy lejos de donde se consume.

PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DISTRIBUIDA: También conocida como generación in-situ o embebida, consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por parte de pequeños productores para autoconsumo o inyección a red por medio de muchas pequeñas fuentes de energía en lugares lo más próximos posibles a las cargas. Reduce las pérdidas en la red, al reducir los flujos de energía por la misma y su energía vertida no revierte flujos hacia la red de transporte.

QUICKDROP: Sistema robotizado para el intercambio rápido de baterías con el que cuentan diversos vehículos eléctricos como el Renault Fluence Zero Emissions.

RED ELÉCTRICA INTELIGENTE: Integración dinámica de los desarrollos en ingeniería eléctrica, almacenamiento energético y tecnologías de la información y comunicación (o TIC), dentro de la cadena de valor de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución, almacenamiento y comercialización), incluyendo las energías renovables y alternativas, permitiendo que el balance de producción y consumo, las protecciones, el control, la instrumentación, la medida, la calidad y la administración de energía sean integradas en un solo sistema con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía.

REPARTO DE FUENTES ENERGÉTICAS: Conocido habitualmente por el término anglosajón “SHARE ENERGÉTICO”, muy utilizado en el sector de la producción, hace referencia al conjunto de fuentes que componen la energía que es enviada a los consumidores finales, con sus correspondientes cifras porcentuales por fuente.

RFZE (Renault Fluence Zero Emissions): Vehículo eléctrico de gama media del fabricante Renault que incorpora la característica de intercambio rápido de baterías mediante el sistema robotizado “QuickDrop”.

SLI (Starting Lighting Ignition): Batería de arranque; es decir, batería para alimentar el motor de arranque, las luces y el sistema de ignición del motor.

SMART GRID: Término anglófono que se emplea habitualmente para referirse a la Red Eléctrica Inteligente.

STC (Standard Test Conditions): Condiciones de trabajo para un panel solar de 25 °C de temperatura y 1000 W/m² de irradiancia con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Corresponden a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal, posición que representa aproximadamente la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño. También conocidas por sus siglas en español “CEM” (Condiciones Estándar de Medida)

TONC (o NOCT): Temperatura de Operación Nominal de la Célula Fotovoltaica, y por extensión, del panel solar.

V2G (Vehicle-To-Grid): Sistema en el cual la energía almacenada en un vehículo eléctrico o híbrido enchufable puede ser transferida a la red eléctrica cuando está conectado a la red para su recarga en los momentos que no se use para el transporte. Alternativamente, cuando las baterías del coche necesiten ser recargadas, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red al vehículo.

V2H (Vehicle-To-Home): Variante del V2G que tiene como objetivo alimentar la instalación eléctrica de una vivienda a partir de la energía almacenada en un vehículo eléctrico.

VE: Vehículo Eléctrico.

VEA: Vehículo impulsado con Energías Alternativas

VENTANA FOTOVOLTAICA: Intervalo horario de producción fotovoltaica. Dentro de la ventana, la radiación solar se considera útil ya que puede ser convertida en energía eléctrica al encontrarse operativos los inversores fotovoltaicos. Fuera de la ventana fotovoltaica, la radiación solar es residual ya que se encuentra por debajo del umbral de activación del inversor.

Capítulo 1 :

Introducción

1.1 Motivación de la Tesis

El autor comenzó su investigación en el estado del arte del Vehículo Eléctrico y los estándares de intercambio de baterías en 2008, desde el Departamento de I+D+i de *Prosolia*, empresa promotora de proyectos de energía solar fotovoltaica. Desde entonces ha seguido de cerca, a partir de la asistencia a diversos foros y jornadas como *International Advanced Mobility Forum* del Salón del Automóvil de Ginebra o el *Electric Vehicle Symposium* entre otros y el contacto directo con diversos fabricantes, la evolución del sector del Vehículo Eléctrico desde la perspectiva del proveedor energético del mismo, así como la viabilidad de un estándar para el intercambio de baterías que posibilitara una recarga de la batería extraída del vehículo durante las horas de producción eléctrica, que en el caso de la fotovoltaica suelen coincidir con las horas de mayor utilización del vehículo.

En Junio de 2009 obtuvo la Suficiencia Investigadora dentro del Programa de Doctorado "*Matemáticas y aplicaciones científico-técnicas*" de la Universidad de Alicante con un trabajo de investigación que versaba sobre la aplicación del modelo matemático de la teoría de colas y teletráfico a vehículos eléctricos de una flota de circuito cerrado (campo de golf), abordando 2 escenarios: carga sin intercambio y carga con intercambio de baterías, para encontrar los óptimos en cuanto a número de clientes, servidores y baterías. Para ello el autor trabajó con los datos reales de préstamo y devolución de vehículos eléctricos en un campo de golf de Alicante durante 3 años.

A partir de 2011, el autor trabajó en el Departamento de Expansión Internacional de otra empresa del sector solar fotovoltaico (Diferro Energy) pero con una vocación mucho más orientada a la instalación, colaborando con diversos promotores e instaladores de parkings fotovoltaicos en Francia entre los que destaca *Bonhomme Bâtiments Industriels*, si bien por motivos de dimensionamiento la recarga del vehículo no se pudo llegar a

realizar directamente a partir de los paneles solares sino tomando la electricidad directamente de la red.

De toda la investigación y experiencia adquirida surge la presente Tesis Doctoral, dividida en los 5 grandes bloques o capítulos que se presentan en el punto siguiente.

1.2 Estructura de la Tesis

Los 5 capítulos presentan los siguientes hilos conductores:

En el segundo capítulo se dan por sentados los aspectos generales de un vehículo eléctrico. Por tanto, el punto de partida de la Tesis son las alternativas a los puntos de carga convencional de las baterías en los vehículos eléctricos mediante corriente alterna monofásica o trifásica para pasar a abordar en mayor profundidad los sistemas de intercambio de baterías en vehículos eléctricos, haciendo especial hincapié en su necesidad para que el Vehículo Eléctrico sea un verdadero sustituto del vehículo convencional y analizando sus ventajas e inconvenientes respecto de su solución antagónica, que no es otra que los sistemas de carga rápida.

El tercer capítulo se centrará en el estudio de un sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado directamente a una batería de tracción sin pasar por un ondulator o inversor. Para ello se estudiará si alguna de las baterías de tracción disponibles en el mercado es compatible con las características eléctricas de un campo fotovoltaico, o si por el contrario los subsistemas “paneles-inversor” y “inversor-batería de tracción” deben ser considerados siempre como 2 subsistemas completamente independientes a todos los efectos.

Posteriormente, el cuarto capítulo hará énfasis en cómo dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo con salida en AC para alimentar una batería, escalarlo y plantear diversos escenarios de producción y consumo, aplicando un coeficiente geográfico (que dependen de la ubicación del sistema y por tanto del nivel de producción de la planta fotovoltaica), de mayoración/minoración en función de la máxima energía almacenable por el vehículo, y del nivel de carga existente en la batería previo a la recarga. Una de las líneas de investigación del capítulo es sin duda el dimensionamiento del “*sistema de recarga autónomo monousuario*”; es decir, una instalación fotovoltaica del ámbito residencial para cargar directamente la batería de un único vehículo sin necesidad de tomar electricidad de la red. Se comprobará cuál debe ser el tamaño del campo fotovoltaico bajo determinadas condiciones de radiación y se determinará si es viable o no. También se considerará el concepto de *Balance Neto* como una verdadera necesidad para que la compensación energética entre los momentos de mayor producción que consumo y viceversa sea una realidad, y la carga de la batería no tenga que coincidir simultáneamente en el tiempo con la producción.

El quinto capítulo estará dedicado a los dispositivos que permiten tanto la conmutación como la gestión inteligente de las diferentes cargas presentes en nuestro sistema, donde el vehículo eléctrico es sin duda uno de los más importantes pero no el único a considerar y gestionar. Se analizará cómo abordar la forma de gestionar las baterías del vehículo desde el inversor fotovoltaico trabajando en régimen de conmutación entre el sistema fotovoltaico y el consumo de la red, de manera transparente al usuario final, cómo gestionar la conmutación de fuentes y cargas, cómo afecta a la red y cómo debe adaptarse a un escenario a gran escala, desde el punto de vista del dimensionamiento completo del sistema. Con este objetivo, se mostrará un estudio de cargas típicas incluyendo el vehículo eléctrico, varias soluciones para implementar una priorización de cargas con una revisión de los dispositivos que trabajan bajo determinados algoritmos programables mediante autómatas con especial atención al CP1-E de Omron y su entorno de programación CX-Programmer, y un promedio real de consumos anuales con una proyección del sistema mediante la adición de un vehículo eléctrico con recarga diaria y diferentes características y patrones de carga. También se abordarán aspectos económicos o tarifarios para la conmutación de fuentes y cargas, así como el entorno regulador que permite la figura del gestor de cargas o revendedor de energía para aplicaciones de recarga de vehículos eléctricos.

Cierra la Tesis el sexto y último capítulo, que recopilará las principales conclusiones de la investigación de los capítulos anteriores y planteará escenarios para nuevas líneas de investigación, básicamente tres:

Por una parte, la futura usabilidad del vehículo eléctrico; es decir, si los hábitos sociales lo convertirán o no en un auténtico sustituto del vehículo convencional con usabilidad completa, y la investigación asociada a esta usabilidad, en la que cabría destacar la consideración de las “*electrolineras*” como sistemas de colas, ya que será necesario gestionar las entradas y salidas de usuarios a un sistema en el que no todos los usuarios buscan el mismo producto (existen y existirán diferentes estándares de batería de tracción), y quizá la inmediatez de la disponibilidad del mismo no esté completamente garantizada, al no disponer la electrolinera de baterías del tipo requerido por un determinado usuario y completamente cargadas para su uso inmediato.

Por otra la análisis de la aportación complementaria de la energía eólica a pequeña escala en un sistema de recarga.

Por último, la traslación del modelo del vehículo de hidrógeno con pila de combustible al modelo de autoconsumo con producción a pequeña escala e intercambio con la red empleando la infraestructura correspondiente.

Capítulo 2 : Sistemas de intercambio de baterías en Vehículos Eléctricos

2.1 Sistemas de carga convencional del Vehículo Eléctrico

Entendemos por Vehículo Eléctrico a todo aquel vehículo propulsado total o parcialmente por un motor eléctrico alimentado por baterías que se recargan a través de una toma de corriente [End]¹. Podremos hablar por tanto de turismos eléctricos, furgonetas eléctricas, autobuses eléctricos, camiones eléctricos, cuadriciclos eléctricos, motocicletas eléctricas e incluso bicicletas eléctricas, si bien de manera prácticamente instintiva se tiende a identificar el concepto de Vehículo Eléctrico con el turismo eléctrico por ser también el turismo el vehículo más común en la actualidad.

Por otra parte, no debemos confundir el *Vehículo Totalmente Eléctrico*, que es aquél propulsado únicamente a partir de las baterías de tracción, con el llamado *Vehículo Híbrido*, que dispone de un motor de combustión interna y un motor eléctrico cuyas baterías se alimentan a partir del llamado “freno regenerativo” transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Ni tampoco con el *Vehículo Híbrido Enchufable* que incorpora la posibilidad de cargar directamente las baterías a partir de la red eléctrica, como si de un *Vehículo 100% Eléctrico* se tratara.

La presente Tesis Doctoral contemplará la transición a un “*modelo generalizado de cero emisiones*” y se centrará, a efectos de dimensionamiento y usabilidad en el **turismo 100% eléctrico**, si bien no es difícil generalizar la investigación realizada al resto de vehículos mediante las equivalencias correspondientes.

En la figura siguiente se muestran las ventas y previsiones anuales de vehículos ligeros según el tipo de tecnología entre 2000 y 2050:

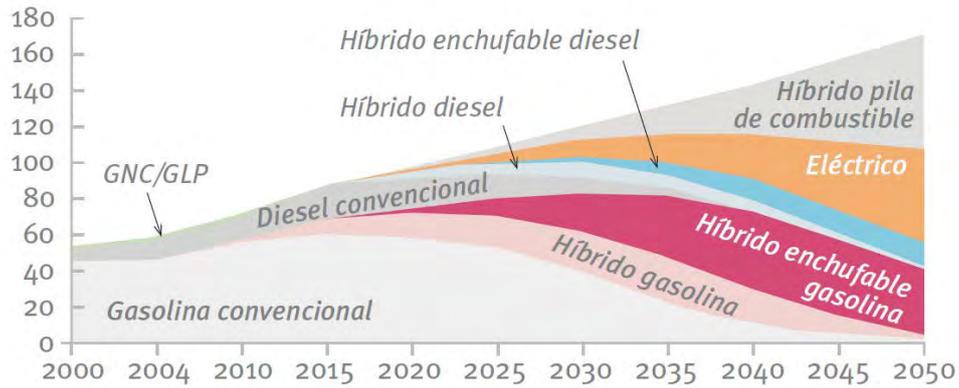


Figura 1: Ventas a nivel mundial de vehículos ligeros (en millones de unidades).

Fuente: EV/PHVE International Energy Agency

En la actualidad, el nascente escenario comercial del Vehículo Eléctrico en España establece diferentes opciones tecnológicas de recarga que se contemplan hoy en día, según Endesa:

- RECARGA CONVENCIONAL (16 A / 8 h / 100% de profundidad de carga)
- RECARGA SEMI-RÁPIDA (32 A / 4 h / 100% de profundidad de carga)
- RECARGA RÁPIDA (50 kW / 15 min / 65% de profundidad de carga)

La carga convencional monofásica emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel que la propia vivienda, es decir, 16 Amperios y 230 Voltios. Esto implica que la potencia eléctrica instantánea que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 3,7 kW. Con este nivel de potencia, el proceso de carga de la batería tarda unas 8 horas. Por tanto, desde el punto de vista del usuario, dista mucho de sus hábitos actuales de repostaje con un vehículo de combustión

Esta solución es óptima, fundamentalmente, para recargar el vehículo eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda unifamiliar o garaje comunitario.

La carga semi-rápida tan sólo se diferencia de la convencional en que la intensidad dobla a la anterior, de forma que la potencia eléctrica que puede entregar el punto de carga es de aproximadamente 7,3 kW por lo que el tiempo de carga de la batería puede reducirse a la mitad. Por lo demás no hay ninguna diferencia con el caso anterior ya que la profundidad de carga también es del 100%.

El modelo de recarga rápida será analizado en el punto 2.3.

Por último, conviene mencionar 2 fenómenos que aparecen como consecuencia de la introducción del Vehículo Eléctrico, y por extensión de todos aquellos vehículos impulsados con energías alternativas o VEAs:

- La “Ansiedad de Autonomía” (más conocido por su equivalente en inglés “Range Anxiety”), que es la preocupación que le puede surgir a los usuarios (conductor y pasajeros) del VE por no disponer de un punto de recarga dentro de su trayecto. Es comparable a la preocupación del conductor de un vehículo convencional que comprueba que el depósito de su vehículo se encuentra en reserva y que la estación de servicio más cercana se encuentra a mayor distancia que aquella que puede recorrer su vehículo antes de llegar a la misma.

- La “Ansiedad de Tiempo de Carga”, que es la preocupación que le puede surgir a los usuarios (conductor y pasajeros) del VE por no disponer del tiempo necesario para la recarga de la batería de su vehículo, a pesar de que sí que disponga del punto de recarga. Es comparable a la preocupación del conductor de un vehículo convencional con prisas y con el depósito en reserva que comprueba que en la única estación de servicio disponible para el repostaje hay una larga cola de vehículos antes del suyo, y por tanto va a necesitar mucho más tiempo del previsto inicialmente.

De manera intuitiva podemos afirmar que todos aquellos sistemas de recarga del vehículo eléctrico que permitan equiparar los tiempos de recarga con los tiempos socialmente aceptados para el repostaje del vehículo convencional, y que además se apoyen sobre infraestructuras universales de recarga (básicamente la red de estaciones de servicio) o equivalentes (una red alternativa con un grado de presencia similar por lo que respecta al número de puntos de servicio y la distancia entre éstos) permitirán el crecimiento del vehículo eléctrico bajo una perspectiva de “vehículo sustituto del vehículo convencional”, ya que eliminarán ambos tipos de ansiedad. Y sin duda los sistemas que mejor se adaptan a este escenario son la recarga rápida (tiempo de 10 minutos o similar) y el intercambio de baterías. Ambos son analizados en los puntos siguientes.

2.2 Planes de impulso al Vehículo Eléctrico en España y escenario de recarga nocturna

El Plan MOVELE, nombre que recibía el *Plan de Acción 2010-2012*, se enmarcaba dentro de la *Estrategia Integral de Impulso al Vehículo Eléctrico en España 2010-2014* [Mov]². Este Plan estaba compuesto por una serie de medidas a implementar durante el periodo 2010-2012 para incentivar de manera decisiva la introducción del vehículo eléctrico de diferentes maneras:

- Fomentar la demanda del Vehículo Eléctrico.
- Apoyar la industrialización e I+D de esta tecnología
- Facilitar la adaptación de la infraestructura eléctrica para la correcta recarga y gestión de la demanda
- Potenciar una serie de programas transversales relacionados con la información, comunicación, formación y normalización de estas tecnologías.

El objetivo de la citada Estrategia era alcanzar la cifra de 250.000 vehículos eléctricos a final de 2014 circulando por nuestras calles y carreteras, de los cuales entre 2011 y 2014 tan sólo se vendieron 2748 según datos de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC).

Dentro del marco regulatorio de MOVELE se aprobaron un conjunto de medidas para impulsar el vehículo eléctrico que se concretan en tres líneas principales:

- RD 648/2011. Ayudas directas a la compra: El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio destinó 72 millones de euros a la concesión de ayudas directas para la adquisición de vehículos eléctricos durante 2011.
- RD 647/2011. Gestor de carga: Regulación de la figura del gestor de carga como consumidor capacitado para vender electricidad para la recarga de vehículos. Esta nueva figura deberá impulsar la instalación de puntos de recarga en espacios públicos como aparcamientos o centros comerciales y privados (viviendas), cuyos propietarios, sean personas físicas o jurídicas, se convierten en gestores de carga.
- RD 647/2011. Tarifa de acceso “supervalle”: Tarifa ligada a ofertas de energía con discriminación horaria cuyo destino es incentivar la recarga nocturna (de 1 de la madrugada a 7 de la mañana) a precios más atractivos.



Figura 2: En color verde se muestra la proyección de energía empleada para la recarga nocturna del vehículo eléctrico. Fuente: IDAE-Plan Movele

El escenario de recarga nocturna no conseguirá hacer del Vehículo Eléctrico un sustituto natural del vehículo convencional, ya que limita el vehículo a una autonomía limitada diurna (para recarga nocturna), y estará mayoritariamente al alcance de aquéllos que dispongan de garaje individual o colectivo con toma eléctrica.

Además, la recarga nocturna es incompatible con el aprovechamiento instantáneo (sin acumulación intermedia) de la electricidad producida por la energía solar fotovoltaica.

Posteriormente ha sido impulsado una nueva Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020) [VEA]³, que también apuesta por la recarga en horario nocturno. Así, cita textualmente:

“La recarga de un VE tiene la particularidad de realizarse cuando el vehículo está parado, en un parking particular o de una empresa, en general en horas nocturnas. Por ello el usuario necesita instalar un Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico (SAVE). Este punto de recarga puede costar para un vehículo ligero entre 700 -1.400 € al que debemos sumar el coste de la instalación.

Adicionalmente a estos puntos de recarga vinculados al vehículo, donde se van a realizar el 90% de las recargas, se necesita instalar unos puntos de recarga de acceso público para salvaguardar la posible ansiedad psicológica del conductor por la escasa autonomía de los VE.

En España hay unos 1.000 puntos de recarga de acceso público en funcionamiento más un importante número que necesita actualización, lo cual representa el 6,93% del total de puntos en Europa. Parte de estos puntos de recarga fueron instalados como proyecto de demostración antes de la normalización de las conexiones por lo que se necesita realizar una mínima transformación para seguir funcionando. Estos puntos suelen estar gestionados por un Gestor de Recarga que es la figura legal autorizada para revender electricidad de recarga de VE.

La necesidad de la infraestructura de recarga se puede dividir en 3 ámbitos: la carga vinculada por la cual cada vehículo necesita un punto de recarga; la carga de apoyo ubicada en zonas de rotación de aparcamientos de estancia media-larga (centros comerciales, parking empresas, zonas de ocios, estaciones de tren, parking públicos...) y la infraestructura de emergencia de carga rápida situada en zonas estratégicas de la ciudad.”

También aborda la introducción de la “Tarifa Súper Valle” de los operadores eléctricos, en los términos siguientes:

“En 2011, entró en vigor la Tarifa Súper Valle con el objetivo de fomentar la recarga de Vehículo Eléctrico en horas nocturnas aprovechando el bajo consumo eléctrico entre la 01:00 y las 07:00 y con la visión de aplanar la curva de la demanda. Esta tarifa, junto con la eficiencia de los VE, permite disminuir los costes de desplazamiento hasta 1,5 €/100 km.”

Por tanto, y como hemos podido comprobar, los planes de impulso al Vehículo Eléctrico en España contemplan a nivel de infraestructuras y hábitos un escenario de recarga nocturna, con las consiguientes limitaciones de usabilidad del Vehículo Eléctrico, y sin posibilidad de utilizar la energía solar fotovoltaica de forma instantánea para la recarga.

2.3. Carga rápida y Protocolo CHAdeMO

A diferencia de los sistemas de carga convencional del Vehículo Eléctrico analizados en el punto 2.1, el modelo de recarga rápida supone que en 15 minutos se puede cargar el 65% de la batería. Ello se debe a que el punto de carga entrega la energía en corriente continua de alta intensidad (del orden de 100 A), obteniéndose una potencia de salida del orden de 50kW.

La mayoría de los vehículos eléctricos (VE) tienen un cargador incorporado que usa un rectificador para transformar la corriente alterna (AC) de la red eléctrica a una corriente continua (DC) apropiada para la recarga de las baterías. Condicionantes de temperatura y de coste limitan cuánta potencia puede manejar el rectificador, de modo que para más de 240 VAC y 75 A es mejor que una estación de recarga externa suministre corriente continua (DC) directamente al paquete de baterías del vehículo.

Para estandarizar la recarga rápida existen diversos estándares de cargador o protocolos a nivel físico de entre los cuales podemos destacar CHAdeMO¹, nombre registrado de protocolo de recarga de baterías para vehículos eléctricos que suministra hasta 62,5 kW de corriente continua DC de alto voltaje a través de un conector eléctrico. Se presenta como un estándar global por la asociación del mismo nombre [CHA]⁴ constituida por fabricantes japoneses de automóviles, formada en 2010 e incluyendo a Nissan, Mitsubishi, el conglomerado Fuji Heavy Industries (propietario de la marca Subaru) y Toyota. Debido a que el Nissan Leaf ha sido un coche eléctrico pionero, su protocolo está presente en muchas estaciones de carga.

CHAdeMO tiene un controlador que recibe comandos desde el VE vía bus CAN, y el cargador fija la corriente para cumplir con los valores de consigna del VE. A través de este mecanismo, la carga rápida y óptima es posible en respuesta al rendimiento de la batería y el entorno de uso. El cargador rápido CHAdeMO usa transmisión de señal analógica y una comunicación digital vía bus CAN. Esta combinación y diseño redundante asegura una operación segura del cargador. En el diseño del conector DC, además de tener suficiente margen de seguridad con una distancia de aislamiento entre los pins de potencia, se han implementado cuatro pins de señal analógica, dos pins de señal digital, y un pin de tierra para que las señales de control sean transferidas apropiadamente entre el vehículo y el cargador.

¹ CHAdeMO es el acrónimo de "CHArge de MOve", que se traduce como "carga para moverse". El nombre es un juego de palabras de "O cha demo ikaga desuka" en japonés, que se puede traducir como "¿Tomamos un té?", en referencia al tiempo que se tardaría en recargar las baterías de un vehículo eléctrico. CHAdeMO puede recargar un vehículo en menos de media hora y, la carga ultrarrápida, en menos de quince minutos, generalmente en diez.

DC charging

DC Charging Connector CHV-03

(Conforming to CHAdeMO 0.9 specifications)

- DC charging connector for EV, usable in Japan, America and Europe.
- Charging is performed by inserting the plug into a vehicle-side inlet conforming to CHAdeMO specifications.
- Conforming to the European ELV and RoHS directives.



Figura 3: Conector de recarga rápida empleado por el protocolo CHAdeMO.

Fuente: www.chademo.com

No obstante, conviene aclarar que aunque CHAdeMO es un protocolo muy estandarizado no es el único existente. Así, existe otra iniciativa de los fabricantes de motor alemanes denominada *Combo Charging System* o CCS [CCS]⁵. Aquí también han entrado algunas compañías estadounidenses, pues el protocolo se ha desarrollado en torno al conector SAE J1772, que ya se usaba en Estados Unidos cuando se fijó esta tecnología de carga. BMW, Daimler, las marcas del grupo Volkswagen, General Motors y Ford acordaron fabricar con este estándar de carga.

Por su parte, Tesla ha desarrollado su propia tecnología, los llamados “supercargadores” [Sup]⁶. No son compatibles con el resto de protocolos, aunque sus vehículos se pueden conectar a puntos de carga CCS a través de un adaptador. Tesla también suministra otro adaptador para que sus vehículos puedan conectarse a las estaciones con el protocolo CHAdeMO. Sin embargo, no ha construido ningún adaptador en sentido contrario, que permita a otros vehículos usar sus supercargadores.

En China se ha desarrollado otro protocolo, el GB/T, que también difiere del resto y se orienta a su mercado interno. Todas son opciones válidas pero cada una marca su propio camino en lugar de dirigirse hacia la constitución de un estándar de carga.

La recarga rápida es la solución que, desde el punto de vista del usuario, se asemeja a sus hábitos actuales de repostaje con un vehículo de combustión. Sin embargo, no todas las tecnologías de baterías admiten carga rápida, y la carga rápida puede reducir el tiempo de vida de la batería [Vie]⁷. Por otra parte, las exigencias a nivel eléctrico son mayores que en la recarga convencional, lo que puede implicar la necesidad de adecuación de la red eléctrica existente.

Por todo ello, es difícil encontrar en los sistemas de carga (convencional o rápida) del Vehículo Eléctrico un sustituto del sistema de repostaje convencional actual en cuanto a tiempo y disponibilidad, y que a su vez no comprometa el dimensionamiento actual de las redes eléctricas, no dañe las baterías de tracción del vehículo y sea adaptable a todo tipo de baterías.

Connector Type	Diagram	Number of pins	maximum voltage	maximum current	regulation	
Mode 1		2 L1, L2/N	250 V (A.C.) single-phase	16 A single-phase	CEE 7/4 Tipo F (Schuko)	
Mode 2		5 L1, L2/N, PE, CP, CS	250 V (A.C.) single-phase	32 A single-phase	IEC 62196-2	
Mode 3		7 L1, L2, L3, N PE, CP, PP	250 V (A.C.) single-phase 500 V (A.C) triphasic	32 A single-phase 63 A three-phase	IEC 62196-2	
Mode 3		4,5 or 7 L1, L2, L3, N PE, CP, PP	250 V (A.C.) single-phase 500 V (A.C) three-phase	16/32 A single-phase 32 A three-phase	IEC 62196-2	
Mode 4		9 2 Power, 7 of signal	500 V (d.c.)	120 A (d.c)	IEC 62196-1 UL 2551	
CCS		5 + 2	500 V (d.c)	200 A (d.c)	IEC 62196-3	
CCS		7 + 2	500 V (d.c)	200 A (d.c)	IEC 62196-3	

Figura 4: Principales conectores de recarga rápida empleado por diferentes fabricantes.

Fuente: [MLa]⁸

2.4 Inconvenientes de la integración de la Energía Solar Fotovoltaica en la carga rápida

Cualquier opción de recarga que no sea la carga rápida (o el intercambio de baterías), imposibilita un repostaje eléctrico en términos similares al repostaje convencional por cuestiones de dinamismo, comodidad y ergonomía para el usuario del vehículo eléctrico. Dicho de otra manera, estas opciones no están socialmente aceptadas ya que un usuario no puede esperar *in situ* durante varias horas a que su vehículo esté cargado para hacer uso de éste.

El tipo de recarga rápida no encaja con nuestro propósito, que no es otro que recargar las baterías del vehículo eléctrico con energías renovables (principalmente solar fotovoltaica), por diferentes motivos:

-La alimentación en carga rápida requiere una salida de 50 kW (o en el caso CHAdeMO 62,5 kW), con lo cual tendríamos que tener un campo fotovoltaico de magnitud considerable para concentrar una intensidad (y por tanto una potencia nominal) tan elevada a la salida del mismo.

-La energía fotovoltaica depende de las horas solares y la climatología, por tanto no podríamos asegurar de una manera fácil y barata disponer en cualquier momento de tal cantidad de potencia nominal adquirida con energía solar de manera instantánea.

- Tendríamos que convertir la corriente continua generada en los paneles fotovoltaicos en corriente alterna para utilizar este tipo de repostaje, ya que el rendimiento de los equipos del vehículo eléctrico a tanto amperaje se reduciría considerablemente. Además el transporte de tal cantidad de potencia debería tener lugar en corriente alterna, lo cual introduciría pérdidas de rendimiento adicionales en la carga por la colocación de un rectificador.

Cabe reseñar que en la actualidad la **marca de vehículos eléctricos TESLA** apuesta decididamente por la carga rápida, los vehículos que ha lanzado a la venta son vehículos de alta gama que necesitan albergar unas prestaciones de potencia de 400 a 500 CV. Es importante reseñar que el precio de estos vehículos ronda los 80.000 euros.



Figura 5: Sistema de recarga rápida gratuito para vehículos Tesla en Gilroy, California. El punto Tesla más cercano está ubicado en Fremont, a 68 km (42 millas).

Fuente: www.tesla.com/supercharger

La energía que se suministrará en estos puntos proviene de la red, y por tanto del reparto o “share” energético total, que incluye una componente de fuentes no renovables. Además, no olvidemos que la potencia instantánea que necesita cada punto de carga rápida es enorme (por tanto la fotovoltaica no será más que un pequeño

porcentaje del total) y como se ha expuesto anteriormente es antieconómico y muy complicado.

Como conclusión, si realmente la energía viene de la red y además proviene de una fuente no renovable podíamos asegurar por las pérdidas de conversión y transporte que el balance de sostenibilidad es negativo con respecto al vehículo convencional.

2.5 El Intercambio de Baterías o “Battery Swapping”: Primeros sistemas

A partir de las conclusiones de los apartados anteriores podemos afirmar que la opción más viable y definitiva para la carga del vehículo eléctrico basada en energía solar fotovoltaica es el **Sistema de Intercambio de Baterías**, por los siguientes motivos:

-Este “repostaje” (que en realidad es un intercambio de baterías) se realiza en un tiempo relativamente corto, equivalente al tiempo socialmente aceptado para llenar un depósito de combustible.

-La recarga de la batería y la utilización del vehículo pueden realizarse de forma simultánea con baterías diferentes. El periodo de recarga depende de la potencia que nuestra infraestructura eléctrica puede suministrarle a la batería durante la carga. En el capítulo 3 se realiza un estudio para una instalación fotovoltaica de pequeña escala.

-Además cabe la posibilidad de realizar la recarga en corriente continua con una eficiencia aceptable al no tener que recurrir a la conversión CC-CA ni a una alta intensidad, como se abordará en el capítulo siguiente

-Por último conviene reseñar que este sistema ya ha sido implementado en la actualidad, existiendo algunos proyectos piloto entre los que destacan “Better Place” como veremos a continuación.

Si queremos utilizar la Energía Fotovoltaica para la movilidad eléctrica, debemos tener en cuenta las limitaciones de este tipo de tecnología, como la dependencia con la climatología (que puede ser suplida con el soporte de la red) y la necesidad de la infraestructura para las instalaciones solares. En los casos en los que el propietario del vehículo no pueda ser propietario de la instalación sería necesario recurrir a “electrolineras” o centros de intercambio de baterías, para los cuales se puede recurrir a la infraestructura actual de gasolineras, o bien a parkings fotovoltaicos en centros comerciales o similares.

2.5.1 Mercedes- Benz (Años 70)

Así, cabe reseñar que Mercedes-Benz ya experimentó este tipo de tecnología en los años 70 diseñando un rudimentario sistema manual en un prototipo de autobús eléctrico. Las

baterías se intercambiaban con un dispositivo similar a las transpaletas convencionales como podemos observar en la siguiente figura.



Figura 6: Primera experiencia del Intercambio de Baterías, aquí se observa al técnico de Mercedes procediendo de manera rudimentaria al intercambio de la batería de este minibús. Fuente: www.plugincars.com

Sin embargo, el sistema no funcionó y Mercedes no lo desarrolló comercialmente debido a varias razones [Ber]⁹:

1. Extracción y repuesto de las baterías muy dificultosa; en algunos casos es necesario desmontar el vehículo para reemplazarlas (suelen ir situada bajo los asientos).
2. No es una única batería, sino un sistema de baterías interconectadas entre sí, y cuya conexión (rectangular, en “U”, en “L”, etc.) suele depender de la geometría del vehículo.
3. Para extraerlas, sería necesario además emplear máquinas especializadas o un grupo de personas, ya que el peso del sistema de baterías imposibilita ser sostenido por una sola persona.
4. Riesgo eléctrico en la manipulación.
5. Ausencia de un estándar, cada clase de EV emplea baterías de un fabricante diferente, con diferentes prestaciones y tiempos de recarga.
6. Elevado precio de las baterías, lo cual dificulta en gran medida el intercambio de las mismas y que pasen “de mano en mano” como si de bombonas de butano se tratara.
7. Esta dificultad se acrecienta todavía más en las baterías de litio, en las que se puede alcanzar fácilmente la ratio 1:2 entre los costes de las baterías y del vehículo completo.

8. Sería necesario crear la legislación correspondiente a la responsabilidad civil de las baterías en caso de mal uso o deterioro, ya que una batería que va a ser intercambiada ha podido ser utilizada durante mucho tiempo por el usuario anterior. Además, es complicado chequear el estado de la batería en poco tiempo, una vez el usuario la entrega al hipotético “centro de intercambio de baterías”.

2.5.2 Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de Shandong

Años más tarde el *Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de Shandong* (China) desarrolló el primer sistema de sustitución automática de la batería de los vehículos eléctricos en un tiempo de 4 minutos. El proyecto tenía fines de investigación, y sirvió para comprobar la viabilidad, el rendimiento y la estabilidad del sistema [Sha]¹⁰.



Figura 7: Prototipo del sistema de intercambio desarrollado en el Instituto de la Energía Eléctrica de Shandong. Fuente: [Sha]¹⁰

Además, el proyecto introdujo un sistema para el paquete de baterías intercambiables en vehículos eléctricos, de forma que cada unidad de carga de la batería comprende una carcasa para el compartimiento de la batería, un estante de soporte de la batería y un bastidor que a su vez contiene un conjunto de paquetes de baterías moduladas anidadas.

2.6 Proyecto “Better Place”

El proyecto más importante, éste ya con un marcado carácter comercial, que se ha llegado a implantar utilizando la tecnología de intercambio de baterías, es el llamado “Proyecto Better Place”, ejecutado por una empresa con el mismo nombre que intentó implantar de forma paulatina una red de estaciones e introducir un nuevo concepto de

repostaje para los usuarios utilizando un Sistema de Intercambio de Baterías que además se cargarían de baterías mediante energía renovable.



Figura 8: Sistema de intercambio adaptado al formato comercial por Better Place. Fuente: www.wired.com



Figura 9: Primera Estación de Intercambio de Baterías Comercial de la Empresa Better Place ubicada a las afueras de Copenhague (Dinamarca). Fuente: www.autoblog.com

No obstante y a pesar de que el proyecto Better Place fracasó y entró en bancarrota, como explicamos a continuación, hay algunos aspectos interesantes del mismo para analizar.

2.6.1 Características del proyecto

Better Place era una empresa respaldada por fondos de capital riesgo con sede en Palo Alto, California, cuyo objetivo era reducir la dependencia del petróleo a nivel global a través de la creación de una infraestructura de transporte fundamentada en el libre mercado que sirva de apoyo a los vehículos eléctricos, ofreciendo a los consumidores una alternativa de transporte personal, económica, limpia y sostenible. La compañía se declaró en quiebra en mayo de 2013 tras completar la implementación de redes de cambio de baterías en Israel y Dinamarca.

La firma fue lanzada públicamente por Shai Agassi el 29 de octubre de 2007 y hasta abril de 2009 la firma ya había recaudado 400 millones de dólares de capital. En enero de 2008, Better Place anunció la firma de un acuerdo con Renault-Nissan para construir el primer modelo en el mundo de operador de una red de recarga eléctrica (en inglés: Electric Recharge Grid Operator -ERGO-) para el transporte limpio en Israel. Bajo este acuerdo Better Place construiría la red de servicios de recarga para vehículos eléctricos, y Renault-Nissan desarrollaría los vehículos eléctricos.

Tengamos en cuenta el contexto de este país de oriente próximo: pequeño tamaño, beligerante con sus países vecinos, menor presión de los lobbys de las compañías petroleras y gran extensión en el desierto del Neguev para la instalación de sistemas de captación de energía solar. Todos estos condicionantes favorecieron la irrupción de Better Place en Israel, donde la primera estación de recarga eléctrica funcional fue inaugurada en diciembre de 2008.

Better Place escogió además Dinamarca y Hawaii con el propósito de realizar otras dos pruebas de mercado debido al menor tamaño de su territorio, al desarrollo de la energía eólica en Dinamarca y a la extrema insularidad de Hawaii.

Por último, Better Place se basaba en los siguientes puntos de partida:

- **Modelo de cero emisiones en la producción de la electricidad:** La electricidad requerida será generada exclusivamente de fuentes de energía renovable proveniente de paneles solares y parques eólicos.
- **Vehículos 100% eléctricos:** Objetivo cero emisiones con vehículos de idénticas prestaciones a las de un equivalente de gasolina 1.6 l. Además, equipados con batería de litio-ión, asegurando su autonomía y longevidad.
- **Modelo económicamente innovador:** Suponía una experiencia piloto en la adquisición del vehículo y las baterías por separado. De esta forma los consumidores compraban su vehículo y suscribían un contrato para su provisión de energía, que incluirá la utilización de la batería, en régimen de arrendamiento, ya que el usuario se desprende de ésta con el intercambio por otra. Además, de esta forma se abarata el coste del vehículo ya que en el caso de las baterías de litio, el coste de la batería es equiparable al del resto del vehículo.

- **Un mercado ideal:** en Israel, donde el 90% de los automovilistas recorren menos de 70 kilómetros diarios y donde la distancia entre los principales centros urbanos no supera los 150 km., el vehículo eléctrico podría ser el medio de transporte ideal y podría responder a la mayoría de las necesidades de la población en materia de transportes.

2.6.2 Bancarrota

Desafortunadamente, el 26 de mayo de 2013, Better Place inició los trámites formales de bancarrota en Israel. Siguiendo la decisión de la Junta Directiva de la compañía global, Better Place Denmark A/S también inició trámites para declararse en quiebra en la misma fecha.

No obstante, el fracaso de Better Place no fue causado por dificultades técnicas sino financieras derivadas de la alta inversión que requirieron el desarrollo e implementación de la infraestructura de recarga y cambio de baterías, cerca de 850 millones de capital privado, y una penetración de mercado significativamente más baja que la originalmente proyectada por Shai Agassi, quien esperaba vender 100.000 vehículos eléctricos en Israel para 2010. Menos de 1.000 vehículos Fluence Z.E. fueron vendidos en Israel y cerca de 400 en Dinamarca. [Gun]¹¹

2.6.3 EasyBat

No podemos finalizar el capítulo dedicado a Better Place sin hacer una mención a un proyecto de investigación, ya extinguido, y coordinado por Better Place, cuyo fin era desarrollar un estándar de modularidad e intercambiabilidad de baterías de vehículos eléctricos.

Se trata del proyecto “Models and Generic Interfaces for Easy and Safe Battery Insertion and Removal in Electric Vehicles”, más conocido por su nombre abreviado “EASYBAT” [Eas]¹² y que tenía por escenario la investigación y desarrollo previo a la estandarización de las baterías en vehículos eléctricos para su intercambio rápido.



Figura 10: Logotipo del Programa EasyBat. Fuente: www.egvi.eu

El proyecto EASYBAT pertenecía al 7º Programa Marco de la Unión Europea y estaba formado por un consorcio de 11 socios europeos provenientes de diferentes campos operacionales, industriales y académicos:

- Better Place (Israel), en calidad de coordinador.
- Ernst & Young (Israel), en calidad de administrador.
- Renault (Francia).
- RWTH Aachen (Alemania).
- DNV KEMA (Países Bajos).
- Fraunhofer Institute für Produktionstechnik und Automatisierung (Alemania).
- Danish Technological Institute (Dinamarca).
- Technische Universität München (Alemania).
- TÜV Rheinland (Alemania).
- University of Haifa (Israel).
- Continental Engineering Services GmbH (Alemania).

La duración de EASYBAT fue de 2 años y medio, desde el 1 de Enero de 2011 hasta el 30 de Junio de 2013, y la aportación de la Comisión Europea al mismo fue de 2,2 Millones de Euros.

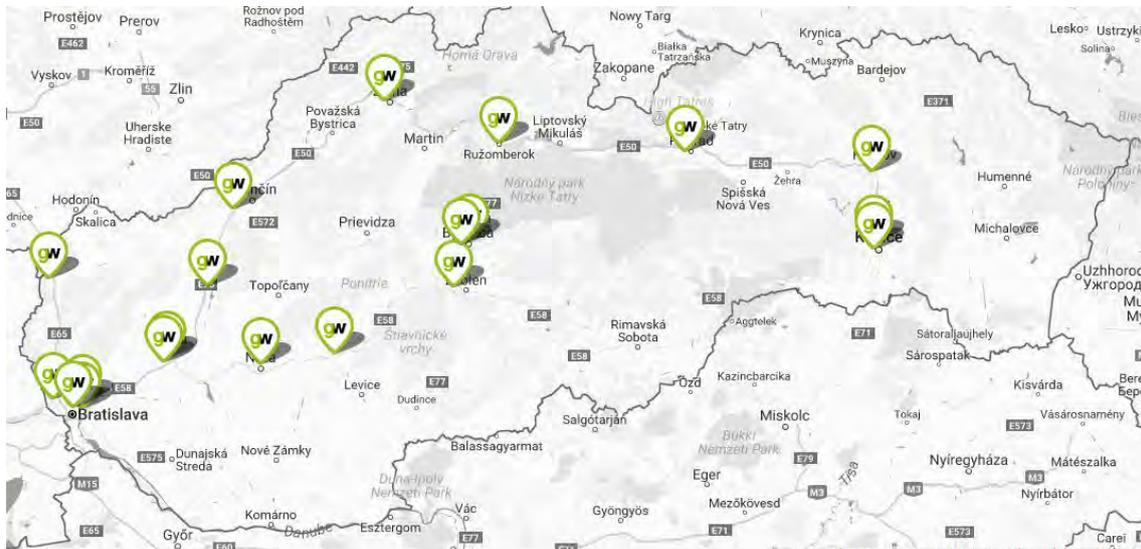
Existe muy poca información sobre los resultados de la investigación proveniente del proyecto EasyBat², y la información confirmada al autor es que los resultados de la investigación son únicamente los que figuran en la web oficial del programa Cordis de la Unión Europea: reflexiones, opiniones y líneas básicas de trabajo sobre el interfaz entre el vehículo y el sistema de intercambio.

2.7 Proyectos europeos actuales menos ambiciosos

A pesar de la quiebra de Better Place, en la actualidad siguen existiendo proyectos actuales de intercambio de baterías menos ambiciosos y sencillos de implementar, ya que requieren menor inversión inicial: Greenway, en Eslovaquia [Gre]¹³ y Battswap en la República Checa [Bsw]¹⁴.

² El autor ha intentado, sin éxito, obtenerla a través de RedOTRI, por lo que contactó directamente con Jos van der Burgt, que aparece en la web oficial del programa Cordis de la Unión Europea como persona de contacto del proyecto EasyBat.

El proyecto Greenway ha implementado diversos puntos de recarga que son a su vez centros de intercambio de baterías, como se muestra en el mapa siguiente:



*Figura 11: Red Greenway de puntos de recarga e intercambio de baterías en Eslovaquia.
Fuente: www.greenway.sk*

Greenway ofrece a sus clientes 2 vehículos eléctricos: un turismo Nissan Leaf y una versión eléctrica de la furgoneta Citroën Jumper, modificada por el grupo checo EVC. [EVC]¹⁵.

El intercambio de baterías a día de hoy está únicamente contemplado para Citroën Jumper eléctrica, con batería de tracción ubicada en el habitáculo interior y mediante sistema de transpaleta, también propiedad de Greenway, como se muestra en la figura siguiente.

Según Greenway, el tiempo medio necesario para el intercambio de baterías de la Citroën Jumper eléctrica es de 7 minutos.

Por lo que respecta a Battswap, esta firma checa ha querido desmarcarse de Better Place dejando claro en su documentación comercial que la inversión necesaria para la instalación de una estación de intercambio de baterías es 10 veces menor que el sistema robotizado de la compañía israelí.

DETAILS ON VEHICLES IN OUR OFFER BACK-UP #20

Key facts and figures



Proprietary designed vehicle outruns current market offering with exceptional range and battery swapping system.

LIGHT COMMERCIAL VEHICLE EVV-122 (NIII category)

- vehicle based on Citroen Jumper -L2H2
- retrofit by EVC Group (Czech Rep)
- average range 190 km and maximum 220 km
- 100 kW engine / 60 kWh replacable battery
- payload 800 kg and cargo volume 10 - 12 m³
- available as refrigerated truck and other special eqioment



Car of the year 2011 and the world best selling EV in its 2nd generation.

PASSENGER CAR Nissan Leaf

- series vehicle readily available on the market
- car of the year 2011 in it's 2nd generation
- Best selling EV woldwide (as of sept. 2013)
- average range 150 km and maximum 175 km
- 80 kW engine / 24 kWh battery
- fully competitive top speed (160 km/h), trunk volume (370 l) and payload (400 kg) with same sized combustion vehicles



greenway

Figura 12: Vehículos eléctricos ofrecidos por Greenway, de los cuales la Citroën Jumper eléctrica contempla el intercambio de baterías. Fuente: www.greenway.sk



Figura 13: Estación de intercambio de baterías Greenway, transpaleta para el intercambio, estanterías para dejar la batería descargada y tomar la cargada, e inserción de la batería cargada en el habitáculo de la furgoneta. Fuente: www.greenway.sk

Por otra parte, Battswap muestra vídeo demostrativo de intercambio rápido de baterías (30 segundos) en un turismo Skoda Octavia eléctrico, donde se observa la forma de la batería y el sistema robotizado. También está disponible un video del intercambio a -15°C , con el objeto de mostrar el amplio rango de operación a pesar de las variaciones térmicas extremas.



Electric car revolution

INSTANT BATTERY SWAP WITHOUT WAITING

- ✔ BattSwap is FAST - automatic battery swap within 30 seconds
 - ✗ Instead of 2 hours charging
- ✔ BattSwap is CHEAP - 10times cheaper than Better Place solution
 - ✗ Instead of 1M USD station investment
- ✔ BattSwap DISRUPTS EV market - zero emissions in the city
 - ✗ Instead of 10 kg daily pollution per vehicle

Figura 14 : Documentación comercial del sistema de intercambio de baterías Battswap.
Fuente: www.battswap.com



Figura 15: Batería para Skoda Octavia eléctrico, sistema robotizado, vídeo cronometrado del intercambio rápido de baterías y demostración de intercambio de baterías a -15°C . Fuente: www.battswap.com

2.8 La infraestructura china

El caso chino es sin duda el más significativo por lo que respecta al desarrollo de centros de intercambio de baterías. Bajo un contexto muy significativo y bajo el angustioso problema de la contaminación, el gobierno del “gigante asiático” se ha visto obligado a introducir medidas contundentes para reducirlo, entre las cuales destaca el plan de promoción del uso de autobuses y taxis eléctricos.

Así, el fabricante de automóviles chino BAIC BJEV, finalizó en octubre de 2016 la instalación de las primeras estaciones de conmutación de baterías para el taxi eléctrico en Pekín, y hasta el momento estas estaciones forman la red de mayor escala del mundo para la carga y el intercambio de baterías de taxis eléctricos.

El lanzamiento de este programa es un hito de la utilización de conmutación de baterías en China, así como una señal prometedora para su desarrollo futuro [Bbj]¹⁶.

Por otra parte, la ciudad china de Qingdao está realizando una electrificación progresiva de su flota de autobuses, que funcionan también bajo el modelo de intercambio de baterías [Qin]¹⁷, tal y como se muestra en la figura siguiente.

Por último y tal y como se detalla en [Hua]¹⁸, diversos proveedores de tecnología de intercambio de baterías están presentes en China en la actualidad, entre los que destacan Key Power Tech, XJ Group (el único sin participación privada), DBTech y HEPSTD, siendo la “State Grid Corporation of China” cooperadora de todos ellos. Los 4 han realizado pruebas piloto en diversas ciudades chinas y disponen de conectores estandarizados para el intercambio rápido, como se puede observar en las figuras siguientes.



Figura 16: Autobús eléctrico de la ciudad china de Qingdao que funciona bajo el modelo de intercambio de baterías, colocado junto a estación de intercambio. Fuente: [Qin]¹⁷

Battery Swapping Technology Suppliers in China

Company	Logo	Belongs to	Battery Swapping Tech. Provide	Cooperator
Key Power Tech.		Independent	For Passenger Vehicle	
XJ Group		Belongs to State Grid	For Bus	
DB Tech.		Independent	For Commercial Vehicle	
HEPSTD		Belongs to State Grid	For Passenger Vehicle	

Figura 17: Proveedores de tecnología de intercambio de baterías presentes en China.

Fuente: [Hua]¹⁸

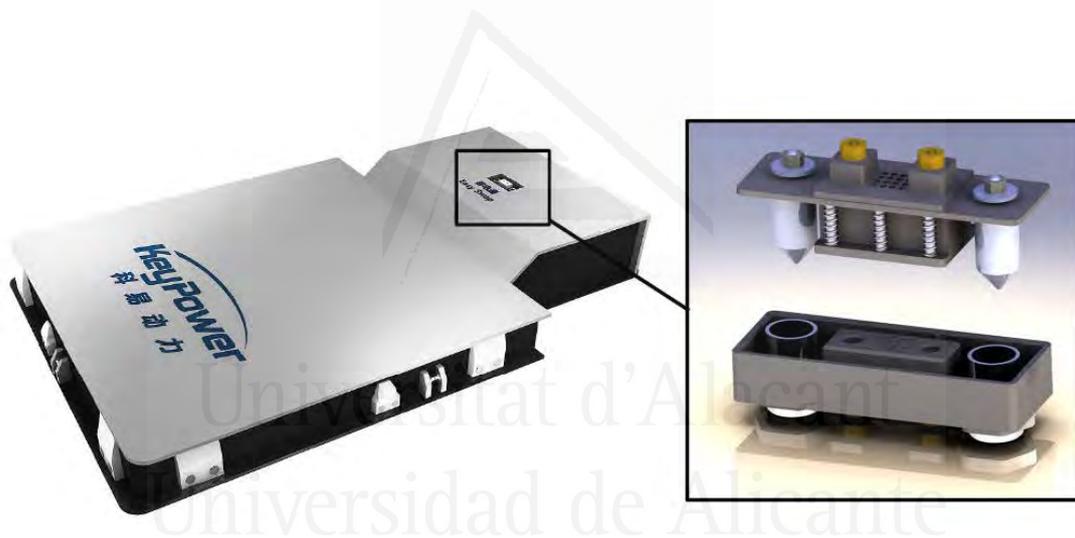


Figura 18: Batería y conector estandarizados para el intercambio rápido del proveedor Key Power. Fuente: [Hua]¹⁸



Connector for Swapping



Battery Swapping Machine

Figura 19: Conector e intercambiador de baterías del proveedor XJ Group. Fuente: [Hua]¹⁸



Figura 20: Repositorio de baterías y autobús eléctrico del proveedor DB Tech. Fuente: [Hua]¹⁸



*Figura 21: Estación de intercambio de baterías del proveedor HEPTSD.
Fuente: [Hua]¹⁸*

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 3 : Sistema Fotovoltaico Autónomo conectado a Batería de Tracción

3.1 Introducción

En la actualidad se están comercializando vehículos eléctricos cuya fuente de recarga es una toma eléctrica de corriente alterna. En este segundo capítulo vamos a plantear la sustitución de la toma de la red por un generador fotovoltaico sin conversión DC-AC.

Es por tanto en sí mismo una investigación sobre la viabilidad del sistema compuesto por una batería de tracción extraída de un vehículo eléctrico alimentado a partir de un sistema fotovoltaico sin conversión DC-AC. Este concepto es mostrado en [Bha]¹⁹ con la nomenclatura “PV-Standalone” y llega a conclusiones similares a las que mostramos al final del capítulo.

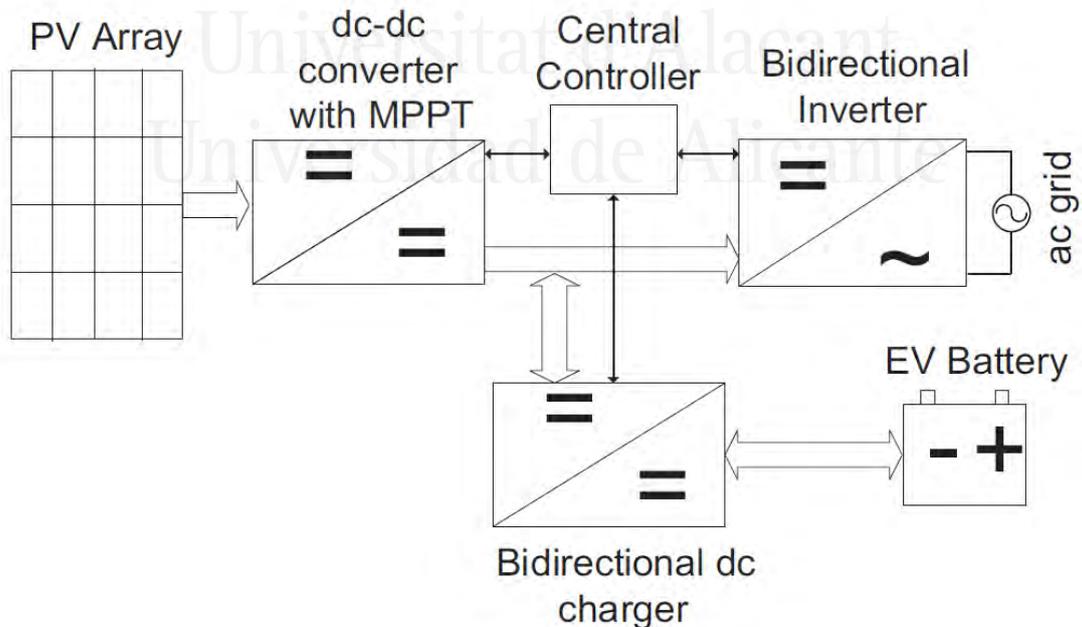


Figura 22: Diagrama de bloques de un sistema de carga de batería de un vehículo eléctrico en modo DC a partir de un campo fotovoltaico. Fuente: [Bha]¹⁹

En la Figura 22 se muestra un diagrama de bloques que incluye también un inversor bidireccional que, desde el punto de vista de la batería, convertiría a DC la electricidad proveniente de la red en caso de no disponer de energía eléctrica proveniente del campo fotovoltaico, tal y como se describe ampliamente en [Bha]¹⁹ mediante diversos modos de funcionamiento de un sistema de carga directa en función del sentido del flujo eléctrico entre campo fotovoltaico, red eléctrica y batería de tracción. Para nuestro propósito en el resto del capítulo nos centraremos en el camino directo entre los paneles solares hasta las baterías de tracción, sin intervención de la red eléctrica.

De esta forma vamos a abordar una comparativa de todos los dispositivos (mostrando ventajas e inconvenientes y eligiendo la opción adecuada) de la cadena tecnológica para transformar la energía lumínica del sol en energía mecánica para aplicar tracción a un automóvil.

Entenderemos la viabilidad como un estudio de la compatibilidad eléctrica. Dicho de otra forma, se pretende analizar si una batería de tracción de las diferentes tecnologías existentes en el mercado (principalmente Plomo-Ácido, Níquel-Cadmio, Níquel-Metal-Hidruro, Zebra, Litio-Ión, Litio-Polímero) puede ser cargada directamente a partir de un sistema fotovoltaico dentro del dominio de la corriente continua, evitando de esta forma las pérdidas de conversión DC-AC.

En caso de no compatibilidad, entenderemos a partir de ahora al sistema fotovoltaico únicamente como un “OUTPUT AC” y a la batería como un “INPUT AC”, de forma independiente entre sí, tal y como se entiende en la actualidad de forma generalizada.

Por tanto, analizaremos:

- Las características eléctricas de los valores de entrada de una batería convencional de una fotovoltaica para autoconsumo.
- Las características eléctricas de los valores de entrada de una batería de tracción.

Y estableceremos una comparativa entre ambas.

-Las características eléctricas de los valores de salida de una instalación fotovoltaica y los posibles dispositivos de adaptación, en caso de ser necesarios.

Y por último realizaremos un estudio de la compatibilidad de las diferentes tecnologías de baterías y elaboración de conclusiones.

Resumiendo, se pretende comprobar la viabilidad a nivel eléctrico y en términos de economía de potencia de un sistema fotovoltaico autónomo en el que las baterías de almacenamiento convencional para uso estacionario son sustituidas temporalmente (durante el tiempo de carga de las mismas) por baterías de tracción, evitándonos así la conversión DC-AC que realizaría un inversor y que convertiría al sistema fotovoltaico en un punto más de la red AC.

Y puesto que se pretende estudiar la compatibilidad en términos de niveles eléctricos, supondremos también estabilidad en la producción fotovoltaica; es decir, que la característica de radiación se mantiene constante, lo cual como se detalla en el punto 3.3 no siempre se cumple ya que la variación del nivel de incidencia de la radiación solar en el módulo fotovoltaico a lo largo del día, así como las perturbaciones temporales causadas por las nubes intermitentes, variarán también los niveles eléctricos de salida del campo fotovoltaico, de manera especial la intensidad que atraviesa la serie o *string* de paneles conectados entre sí. Estas variaciones podrían ser corregidas por baterías solares, de característica estacionaria, y un regulador o controlador de carga, que por el momento no consideraremos para nuestro análisis.

3.2 Elección de Baterías para nuestro Sistema

En principio vamos a exponer y analizar qué tipo de baterías son las adecuadas tanto para recibir energía del campo fotovoltaico como para suministrar a la batería que proporcione tracción a nuestro VE, y las clasificaremos según el tipo de tecnología, realizando la correspondiente comparativa.

3.2.1 Tipos de baterías según su uso

- **Baterías de arranque:** Diseñadas especialmente para arrancar los motores de combustión, son utilizadas en automóviles, camiones, motocicletas, tractores, embarcaciones y aeronaves, entre otros. Las baterías de arranque están diseñadas para suministrar una gran intensidad eléctrica en pocos segundos y resistir profundidades de descarga no mayores del 10-20%. En inglés es habitual el acrónimo SLI (Starting Lighting Ignition), que quiere decir que la batería alimenta el motor de arranque, las luces y el sistema de ignición del motor.

- **Baterías de tracción:** Especialmente construidas para suministrar energía a vehículos eléctricos tales como grúas, horquillas, apiladores eléctricos, carros de golf y sillas de ruedas. Las baterías de tracción están diseñadas para suministrar cantidades relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, soportando un elevado número de ciclos profundos de carga y descarga. En [Can]²⁰ se muestra cómo una vez el nivel de envejecimiento de la batería de tracción le impide su uso para el propósito para el que fue diseñada, existe la posibilidad de reutilizarlas para aplicaciones estacionarias de menor exigencia en términos de potencia instantánea entregada.

Las baterías de tracción poseen electrodos muy gruesos con rejillas pesadas y un exceso de material activo.

- **Baterías estacionarias o de reserva:** Están diseñadas para aplicaciones en sistemas de alarma de incendios, alumbrado de emergencia, sistemas de alimentación

ininterrumpida (SAI ó UPS), telecomunicaciones y acumulación de energía renovable (solar o eólica principalmente) entre otros. Se llaman así porque se instalan en lugares donde se quedan estáticas, no se mueven con los vehículos como el resto.

Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas para compensar la pérdida de capacidad por autodescarga, y están construidas para resistir descargas profundas esporádicas.

<i>Tipo De Batería</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tracción</i>	<i>Estacionaria/Reserva</i>
Aplicación de movilidad	Sí	Sí	No
Alta intensidad en pocos segundos	Sí	No	No
Gran profundidad de descarga	No	Sí, habitualmente	Sí, esporádicamente
Carga continuada durante el uso de la batería	Sí	No	Sí

Figura 23: Tabla que muestra las diferencias más relevantes entre las 3 principales tecnologías de baterías.

Para un sistema fotovoltaico autónomo se emplean baterías estacionarias, ya que están dimensionadas para trabajar habitualmente con poca profundidad de descarga; es decir descargar una parte pequeña de su capacidad total y volver a cargar de forma intermitente.

Para un vehículo eléctrico se utilizan obviamente baterías de tracción, que trabajan con una alta profundidad de descarga.

Por tanto, en nuestro sistema la batería va ser alimentada por un sistema fotovoltaico, pero su empleo no va a ser para un sistema fotovoltaico autónomo al sino para alimentar la batería de un vehículo que puede ser conectada y desconectada al sistema fotovoltaico manualmente o bien mediante un sistema de conmutación automática que permita, una vez cargada la batería de tracción, volver a conectar el sistema fotovoltaico a sus propias baterías estacionarias.

A continuación analizaremos una serie de conceptos importantes a la hora de analizar la tecnología de baterías que necesitamos para nuestro sistema.

3.2.2 Parámetros a considerar de las baterías [Bat]²¹

- **Efecto Memoria:**

Consiste en la disminución de capacidad de la batería cuando por cualquier motivo no se realizan cargas completas. Este fenómeno se da principalmente en baterías de Níquel y

en menor medida las de Litio. Sin embargo, las baterías de plomo-ácido no sufren efecto memoria.

- **Autodescarga:**

Toda batería totalmente cargada, está sujeta a la acción de una lenta y paulatina auto-descarga (*self-discharge*), que en otras palabras es el efecto de que el voltaje de las baterías va disminuyendo y por tanto, la batería va perdiendo energía.

- **Tensión:**

La tensión o potencial (en voltios) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso al cual se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del *par redox* utilizado; suele estar entre 1 y 4 V por elemento.

Se obtiene de calcular el trabajo W requerido para transferir una cantidad de carga que a través de una sección transversal de un elemento (el conductor o cable) contra la fuerza eléctrica que producen las otras cargas del conductor. La unidad de voltaje es el voltio.

Matemáticamente:

$$V = \frac{dW(t)}{dq(t)}$$

Donde:

$V = \text{voltaje}; W = \text{trabajo}; q = \text{carga}; t = \text{tiempo}$

- **Corriente**

Es la variación neta de la carga q (medida en culombios) transferida a través de una sección transversal de un conductor.

Matemáticamente:

$$I = \frac{dq(t)}{dt}$$

Donde:

$I = \text{corriente}; q = \text{carga}; t = \text{tiempo}$

3.2.3 Tipos de Tecnologías de Baterías para vehículos eléctricos

En la actualidad se están realizando grandes esfuerzos por parte de los fabricantes de baterías en adaptar las tecnologías existentes a la movilidad eléctrica. En [Yon]²² se realiza un estudio enfocado a caracterizar el modelo de estructura, el método de diseño y el mecanismo de conducción de las baterías eléctricas; asimismo analiza el estado del electrodo, la conductividad y la estructura eléctrica de los principales tipos de baterías, llegando a la conclusión de que un factor crítico para satisfacer la creciente demanda de vehículos eléctricos es mejorar la densidad de energía eléctrica de las baterías.

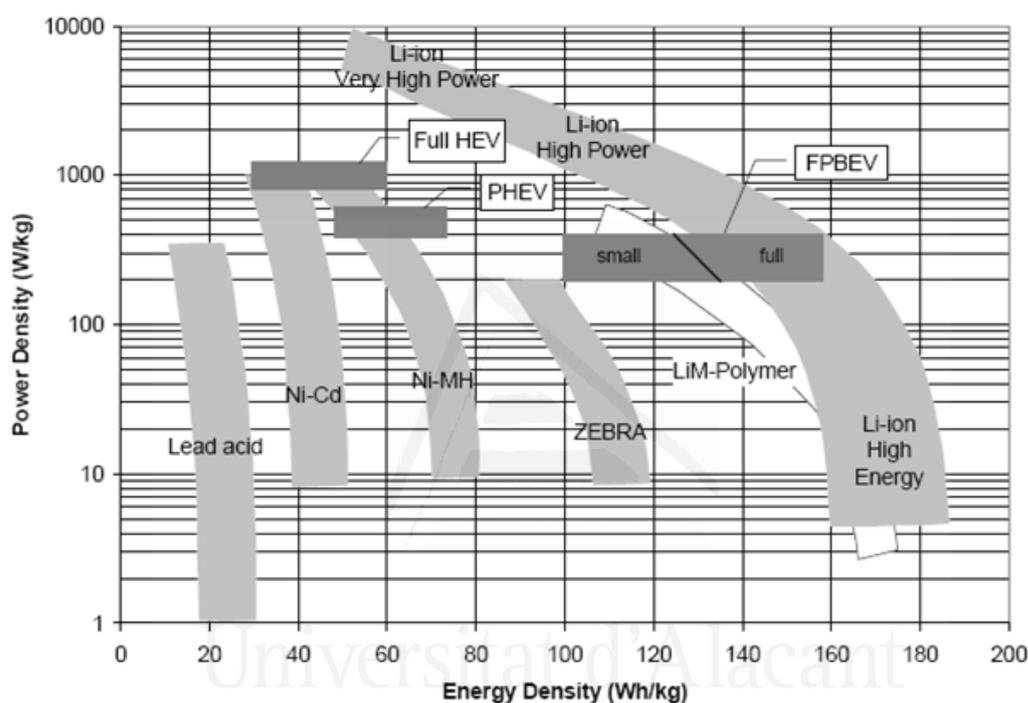


Figura 24: Comparativa entre los diferentes tipos de baterías en términos de densidad de potencia (W/kg) y energía (Wh/kg). Fuente: [ZEV]²³

Las principales tecnologías de baterías con aplicación a la tracción son las siguientes:

Plomo-ácido:

Las baterías de plomo-ácido inundadas son las baterías de tracción más baratas y más comunes disponibles. Son las baterías clásicas que se han utilizado para la movilidad de vehículos eléctricos gracias a su relación rendimiento/coste. El inconveniente que presentan es su baja densidad energética.



Figura 25: Diferentes tipos de baterías: 1.Plomo-Ácido (como las baterías de arranque de los vehículos convencionales), 2. Níquel-Metal-Hidruro, 3.Zebra, 4.Litio-Ión-Polímero

Níquel-Metal-Hidruro:

Se consideran relativamente tecnología madura . Aunque es menos eficiente (60-70%) en la carga y descarga que incluso plomo-ácido, cuentan con una densidad de energía de 30-80 Wh/kg, mucho más alta que en el caso de las baterías de plomo-ácido.

Cuando se utilizan correctamente, las baterías de NiMH pueden tener vidas excepcionalmente largas, como se ha demostrado en su uso en vehículos híbridos que todavía funcionan bien después de más 150.000 km y 10 años de servicio.

Los inconvenientes de esta tecnología son básicamente baja eficiencia, alta autodescarga, ciclo de carga muy meticuloso, y bajo rendimiento en climas fríos.

Níquel-Cadmio:

La batería de níquel-cadmio (comúnmente abreviado como "NiCd") es una batería recargable de uso doméstico e industrial.

Cada vez se emplean menos (a favor de las baterías de NiMH), debido a su efecto memoria y al uso del cadmio, que es muy contaminante). Sin embargo, poseen algunas ventajas sobre el NiMH, como por ejemplo el número de ciclos de carga y descarga que oscilan entre los 1.000 y 1.500. Poseen una muy baja tasa de auto descarga.

Cloruro de Sodio-Níquel (Zebra):

Las baterías “Zebra” utilizan un cloroaluminato sodio fundido (NaAlCl_4) como electrolito. Esta composición química también es conocida como “sal caliente”.

Se han utilizado en varios vehículos eléctricos, principalmente del fabricante suizo de vehículos eléctricos convertidos Mes-Dea [Mes]²⁴, inventor de las mismas, y del fabricante noruego Think.

Constituyen una tecnología relativamente madura, cuentan con una densidad de energía de 120Wh/kg y una resistencia en serie razonable.

Sin embargo presentan como principal inconveniente que deben trabajar a altas temperaturas (en torno a 270 °C) por lo que deben mantenerse siempre calientes y presentan dificultades en el almacenamiento a largo plazo. Además, poseen una densidad de potencia relativamente baja, por debajo de los 200 W/kg. **Por todo ello las descartaremos para nuestro estudio de viabilidad de sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a batería de tracción.**

Iones de Litio:

Las baterías de iones de litio, ampliamente conocidas por su uso en ordenadores portátiles y electrónica de consumo, dominan el grupo más reciente de baterías para vehículos eléctricos.

La química de iones de litio tradicional consiste en un cátodo compuesto por óxido de cobalto-litio y un ánodo de grafito, que produce células con una alta densidad de energía (por encima de 200 Wh/kg) y buena densidad de potencia, y entre un 80 y 90% de eficiencia de carga/descarga.

Las principales desventajas de las baterías tradicionales de iones de litio son sus cortos tiempos de vida (del orden de cientos a pocos miles de ciclos de carga) y una degradación significativa con el tiempo de vida, así como la toxicidad de su cátodo y los riesgos para la seguridad contra incendios en caso de perforación del material protector o de un proceso incorrecto de carga.

Polímero de Litio:

Son baterías de litio con un polímero sólido como electrolito.

Disponen una densidad de energía de entre 5 y 12 veces las de NiCd ó NiMH, a igualdad de peso. A igualdad de capacidad, las baterías de Li-Po son, típicamente, cuatro veces más ligeras que las de Ni-Cd de la misma capacidad.

La gran desventaja de estas baterías es que requieren de un trato mucho más delicado al ser más frágiles, existe riesgo de deterioro irreversible o, incluso, llegara producir su ignición o explosión.

Celdas de Combustible:

Una pila, célula o celda de combustible es un dispositivo electroquímico en el cual un flujo continuo de combustible y oxidante sufren una reacción química controlada que suministra directamente corriente eléctrica a un circuito externo, y emite vapor de agua.

La tensión en circuito abierto de cada celda es de aproximadamente 1,2 Voltios.

Aunque el sistema puede parecer beneficioso para el medio ambiente al no emitir gases con contenido en carbono, puede ser perjudicial si su uso se realiza de forma masiva ya que el agua en estado gaseoso en las capas bajas de la atmósfera produce un aumento en la temperatura al absorber la energía incidente de los rayos del sol.

Otro inconveniente medioambiental proviene de la utilización del platino como catalizador, ya que se trata de un mineral escaso en el medio ambiente y a la vez muy utilizado. Aproximadamente un 20% de los productos que se fabrican en el mundo contienen platino o lo usan en su síntesis, y su incorporación en el mercado del automóvil a gran escala puede seguir mermando las reservas existentes de platino a niveles muy bajos.

Por tanto, esta tecnología puede ser interesante para nichos tecnológicos reducidos como la propulsión de submarinos o el transporte especial pero se trata de una opción antieconómica si buscamos la integración del vehículo eléctrico en nuestro parque automovilístico a gran escala. **También las descartaremos para nuestro estudio de viabilidad de sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a batería de tracción.**

Aire-Zinc:

Con una fabricación más barata y capacidades que pueden superar en un factor 3:1 a las baterías de Ion de Litio, el principio de funcionamiento de las baterías de Zinc-Aire se

basa en la utilización del oxígeno almacenado en un compartimento como electrodo, mientras la batería contiene un electrolito y el electrodo de Zinc permite que el aire circule logrando la creación de un flujo eléctrico.

Las pilas a base de zinc tienen como principal ventaja la posibilidad de ser recicladas sin perder sus propiedades físicas y químicas.

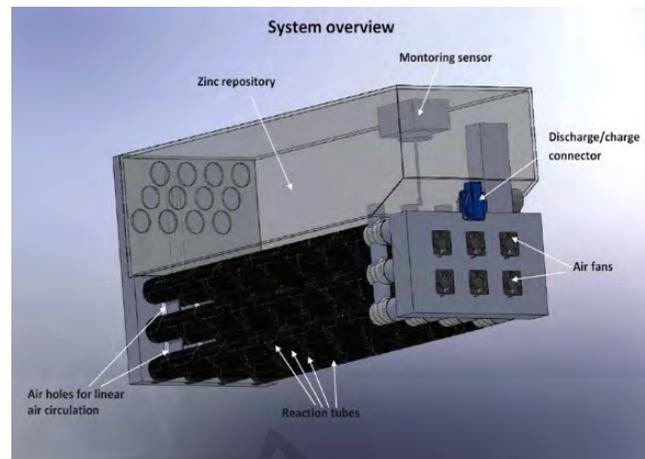


Figura 26: Batería de Zinc-Aire. Fuente: arpa-e.energy.gov

El fabricante ReVolt ha trabajado en la implementación de las baterías de Zinc-Aire para su uso en vehículos eléctricos. Sin embargo para ello será necesario incrementar el número de ciclos de carga en 10.000, cifra lejana todavía para los prototipos que sólo alcanzan un número de entre 300 y 500 cargas y descargas. En la actualidad este fabricante se encuentra en bancarrota, y el proyecto “Zinc Flow Air Battery (ZFAB), The Next Generation of Energy Storage for Transportation” del Departamento de Energía de EE.UU finalizó en Junio de 2012 [Arp]²⁵. **Por todo ello también descartaremos para nuestro estudio de viabilidad de sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a batería de tracción.**

3.2.4 Tecnologías de Baterías válidas para el sistema propuesto

Una vez hemos desestimado a priori las tecnologías que no se podrían implantar vamos a analizar algunos parámetros de las tecnologías que han quedado y ver cuál encajaría en el sistema propuesto:

Pb-ácido: Son las baterías clásicas y más utilizadas por su bajo precio y se adaptarían sin ningún tipo de problema a cualquier sistema fotovoltaico y a un vehículo de tracción.

Prueba de ello es que las baterías estacionarias para almacenamiento de energía convencional en sistemas fotovoltaicos autónomos pueden ser de esta tecnología.

Su tensión por celda es de 2 V, uno de los voltajes más bajos. Ello limitará la potencia que inyecte al motor eléctrico de tracción, además su baja densidad eléctrica no nos daría una autonomía razonable para un VE de características similares a las de un utilitario.

Ni-Cd: Tiene el voltaje menor a la anterior, una densidad energética insuficiente. Y todo ello acentuado con un índice importante de autodescarga.

Ni-Mh: Autonomía insuficiente y un voltaje muy pequeño.

Li-Ión: Este tipo de tecnología es la más interesante junto a la de polímero de litio. Con una tensión de 3,16 V por elemento es factible para suministrar una potencia adecuada a un vehículo. Además es la tecnología con mayor densidad energética y por tanto va a proporcionar la mayor autonomía al vehículo eléctrico.

Li-Po: Esta tecnología es interesante por su rendimiento voltaico por celda de 3,7 V y además posee una autodescarga menor que la de Li-Ión. A pesar de ello, la autodescarga va a ser uno de los parámetros menos significativos para nuestro proceso porque se prevee un uso relativamente habitual del vehículo.

En la tabla mostrada en la Figura 27 se muestran los principales parámetros de las 5 tecnologías analizadas.

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
<u>Li-ion</u>	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
<u>Li-Po</u>	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

Figura 27: Tabla que muestra la comparativa de las baterías según parámetros, donde señalamos las tecnologías que no hemos desestimado. Aparecen con una marca amarilla las más favorables a nuestra elección: Iones de litio y Polímero de litio. Fuente: Elaboración propia.

Puestos a elegir entre Litio-Ión o Polímero de Litio, podemos considerar también el mayor riesgo de la tecnología Li-Po, como el de ignición o una autodescarga completa y en el peor de los casos una explosión. Por tanto seleccionaremos la tecnología de Litio-

ión para alimentar nuestro vehículo eléctrico y recibir energía de un sistema fotovoltaico autónomo.

Esta elección conlleva los siguientes condicionantes:

- Las baterías de Li-Ión poseen alta profundidad de descarga, y están concebidas como Baterías de Tracción.
- El valor de tensión por elemento es alto (3,16 V). Tengamos presente que de este valor dependerá la potencia que puede generar el motor de nuestro vehículo eléctrico, con una alta densidad energética, y por tanto mayor autonomía y sencillez en la operatividad para el usuario.



Figura 28: Baterías Li-Ión de alta densidad de carga para vehículos Tesla.

En [Gib]²⁶ se muestra un estudio de carga directa de batería de Litio-Ión de un Chevrolet Volt a partir de una instalación solar fotovoltaica en condiciones óptimas de trabajo.

3.3 Compatibilidad eléctrica entre ambos sistemas

Primeramente debemos tener presente que en un sistema fotovoltaico los valores tanto de tensión como de corriente son generados en corriente continua pero son variables con respecto a determinados parámetros climáticos.

La potencia de salida de una célula fotovoltaica varía considerablemente en función de la irradiación solar que se esté recibiendo, la temperatura ambiente y la temperatura de la célula solar, tal y como se muestra en la figura siguiente:

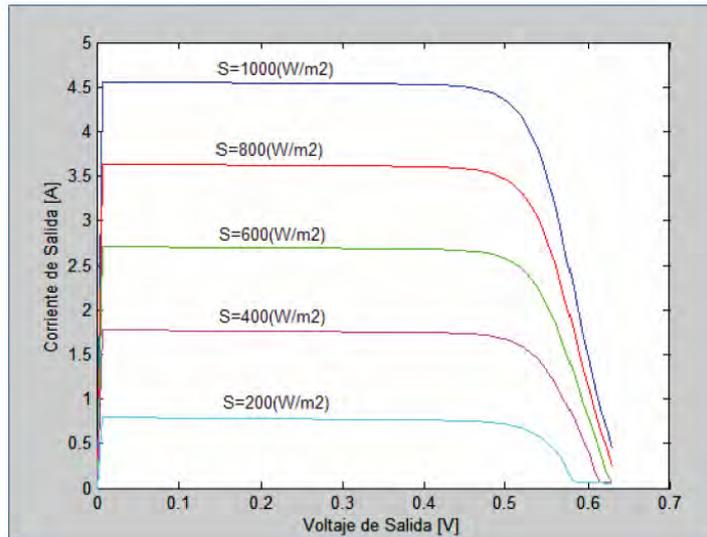


Figura 29: Gráfica que muestra las relaciones entre los niveles de tensión y corriente de salida de una célula fotovoltaica para diferentes valores de irradiancia. Fuente: [Vil]²⁷.

Es evidente la influencia que la radiación solar ejerce sobre la eficiencia de la celda, e incluso podemos comprobar que la relación es lineal, pues una reducción de un 20% en la irradiación produce también una reducción de un 20% de la corriente de salida. De igual modo se puede observar que al aumentar el voltaje de la celda sobre su valor nominal máximo se produce un fuerte descenso de la corriente de salida.

Y además de la irradiancia solar, la temperatura de la celda también ejerce una influencia importante sobre la tensión de salida. En la figura siguiente se muestra el comportamiento de la celda para distintas temperaturas y una irradiación de 1000 W/m².

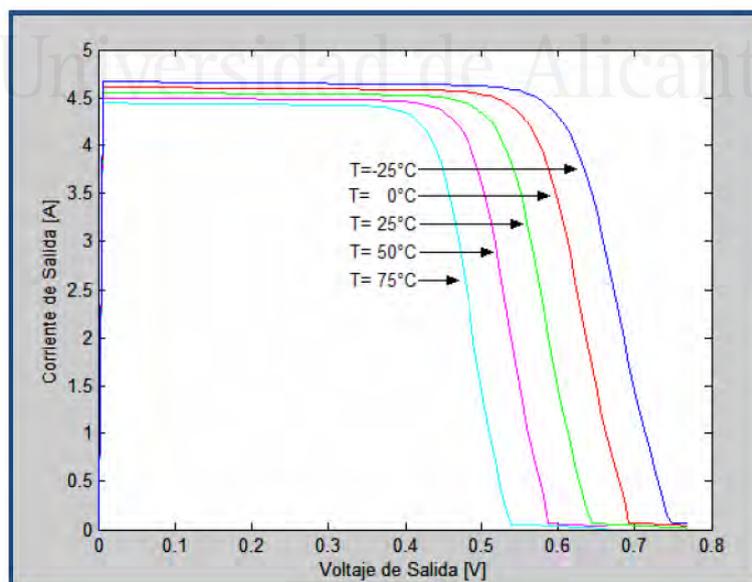


Figura 30: Gráfica que muestra la relación entre los niveles de tensión y corriente de una célula fotovoltaica en función de la temperatura de trabajo. Fuente: [Vil]²⁷.

Como se puede observar a partir de las figuras anteriores:

- La potencia entregada por el sistema fotovoltaico será mayor conforme mayor sea la irradiancia; dicho de otra manera, variará ligeramente en función de la posición del sol (y por tanto de la hora del día) y puede variar bruscamente en días soleados con nubes ocasionales.
- De igual forma, la potencia entregada por el sistema fotovoltaico también será mayor conforme mejor refrigerado se encuentre el módulo solar.

Y obviamente, esta potencia entregada por el panel también estará relacionada con la tensión e intensidad de entrada a la batería de tracción. Y estas variaciones en los parámetros eléctricos de entrada podrían dañarla. Una forma de protegerla podría ser mediante el uso de baterías intermedias con característica estacionaria o bien mediante la utilización de un convertidor DC-DC, como se muestra en la figura siguiente:

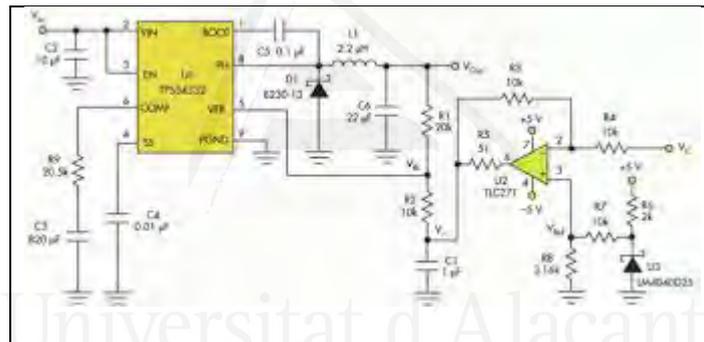


Figura 31: Esquema electrónico de un convertidor DC/DC. Fuente: [Utu]²⁸

El convertidor DC-DC simplifica la alimentación de un sistema porque permite generar las tensiones donde se necesitan, reduciendo la cantidad de líneas de potencia necesarias.

Su funcionamiento consiste en tomar la señal DC de los paneles solares, después crea un algoritmo que convierte esta señal a corriente alterna a alta frecuencia y de nuevo a otro voltaje y corriente DC que coincide con la carga, en nuestro caso una batería. Además, dispone un controlador para evitar la sobrecarga y sobredescarga de la batería [Utu]²⁸.

El convertidor DC-DC puede funcionar de las dos maneras siguientes:

- **Boost converter:** significa que la tensión de entrada es menor que el voltaje de la batería en el sistema.

- **Buck converter:** significa que la tensión de entrada es mayor que el voltaje de la batería en el sistema.

En el caso de que la batería tenga una tensión nominal de 24 V y nuestro sistema de paneles suministre 48 V funcionará como Buck converter.

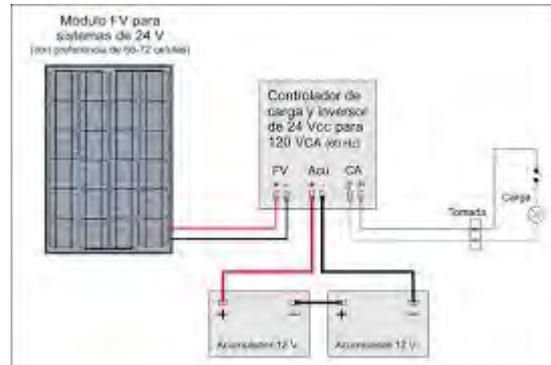


Figura 32: Esquema eléctrico básico que muestra la conexión entre los paneles y el acumulador con un regulador de carga intermedio. Fuente: [Vil]²⁷

No obstante, el convertidor DC-DC no trabaja solo sino que es una etapa de un proceso más complejo, ya que la secuencia y las fases por las que pasa la tensión tomada en una toma convencional hasta convertirla en la tensión adecuada para la entrada de la batería de tracción son las siguientes [Cze]²⁹:

1. Alisado de la tensión de la toma: El filtro pasivo elimina los parásitos de la toma doméstica (Posibles armónicos).
2. Convertidor: La tensión es pasada de alterna a continua.
3. Mejora del factor de potencia: Para disminuir las pérdidas del transformador y limita la tensión de entrada del transformador.
4. Conversión DC/AC: La tensión continua se convierte en tensión alterna con un seccionador. Como la señal continua no se puede amplificar, es necesario realizar la conversión.
5. Transformador elevador de tensión: La tensión alterna se amplifica. Pasa del valor doméstico a un valor de 330 Vac valor de tensión nominal de la batería.
6. Convertidor: La tensión pasa de alterna a continua.
7. Filtrado: La señal de salida del puente de diodo no es continua del todo, se debe alisar con una etapa de filtrado.

Tal y como se muestra en la figura siguiente:

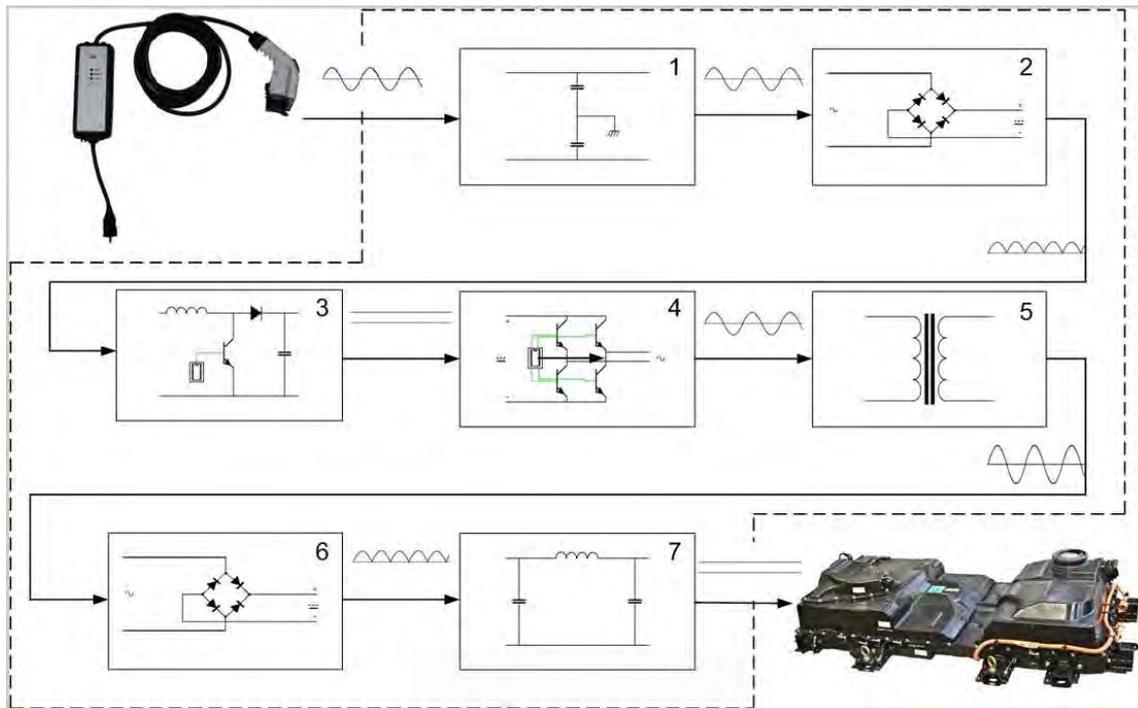


Figura 33: Etapas por las que pasa la tensión tomada en una toma convencional hasta ser convertida en la tensión adecuada para la entrada en la batería de tracción. Fuente: [Cze]²⁵

De esta secuencia de procesos de transformado de la corriente eléctrica, los cuales son indispensables para asegurar una carga adecuada, se encarga un cargador especializado, ya que la batería puede tener un valor nominal de entrada mayor o menor. Como podemos observar entre los procesos del cargador a bordo existe una conversión de alterna a continua, de continua a alterna (para amplificar) y nuevamente con la tensión transformada de alterna a continua, y así ya se puede suministrar a la batería.

Como hemos comprobado en ambos análisis la diferencia entre ambos sistemas energéticos de repostaje es mínima. Por tanto las únicas ventajas asociadas al repostaje con un sistema fotovoltaico con respecto al repostaje desde una toma AC, son las siguientes:

- Nos ahorramos la primera conversión de alterna a continua (Etapa 2), las demás conversiones son imprescindibles en ambos casos.

- El ahorro energético; tanto de energías no renovables en consumo del vehículo eléctrico por el usuario como por parte de las pérdidas por transporte de la central al punto de repostaje.

Y la desventaja: La carga de la batería del vehículo tan sólo puede producirse en franja diurna y con un nivel de irradiancia solar aceptable para nuestro propósito.

Por tanto, podemos considerar que, pese a que este modelo es viable técnicamente, apenas introduce una economía en potencia que justifique su implementación.

De esta forma abordaremos a partir de ahora los sistemas “batería” y “generador fotovoltaico” como 2 sistemas independientes, y conectados entre sí por una toma AC.

El capítulo 4 tendrá como objeto el dimensionamiento del “generador fotovoltaico” para conseguir la carga diurna de la batería en función de nuestras necesidades, tomando ambos sistemas como independientes.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 4 : Dimensionamiento de la planta fotovoltaica y tiempos de recarga. Modelo de Balance Neto.

4.1 Introducción

Como se ha abordado en capítulos anteriores, el avance de la movilidad eléctrica debe ir unido de forma solidaria a las Energías Renovables. Si uno de los principales motivos para justificar la electrificación del transporte es reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, de nada sirve esta reducción si las fuentes que componen la generación energética para producir la electricidad que recargará las baterías del vehículo eléctrico están ligadas a los combustibles fósiles como el carbón (fuente cuya presencia en el conjunto o “share” más ha crecido entre 2014 y 2015 según el informe anual de Red Eléctrica de España) [RE1]³⁰ o el petróleo.

Es necesario por tanto, y de forma paralela al desarrollo del vehículo eléctrico, poner en valor una infraestructura para la recarga de baterías que asegure de forma rápida y decidida un mayor porcentaje de fuentes de energía limpia en la recarga que el existente mediante la conexión del vehículo a la red. No olvidemos tampoco que la electrificación del parque de vehículos conlleva una necesidad de mayor producción eléctrica, con lo cual la respuesta del mercado debe ser proporcionar este incremento de la producción mediante fuentes renovables.

Además, un beneficio colateral para una futura industria de recarga de baterías basada en fuentes renovables es la creación de empleo y desarrollo económico en un sector, el de las renovables, inmerso en una grave crisis debida al retroceso en la potencia instalada y las políticas llevadas a cabo en los últimos años, totalmente contrarias a su avance.

Y tal y como concluía el capítulo anterior, a partir de ahora consideraremos los sistemas “batería” y “generador fotovoltaico” como 2 sistemas independientes, y conectados entre sí por una toma AC.

4.2 Modelos actuales: Recarga en función del horario y la fuente energética

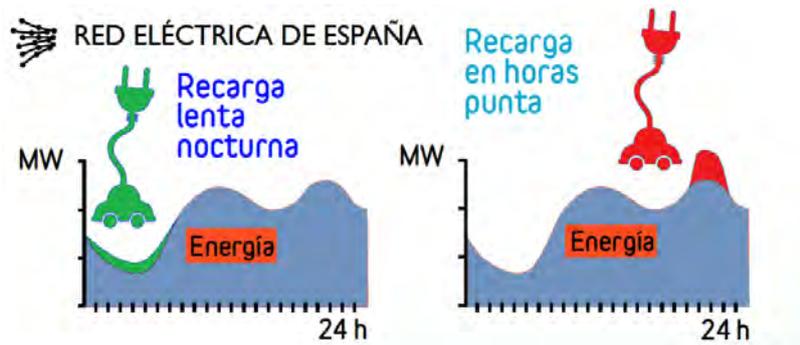


Figura 34: Escenarios de recarga lenta nocturna (eficiente) y de recarga en horas punta (ineficiente). Fuente: Red Eléctrica Española [RE2]³¹.

Los modelos actuales para la recarga de baterías en vehículos eléctricos en España contemplan un escenario de recarga nocturna, aprovechando las horas de menor consumo eléctrico, tal y como se muestra en la Figura 34. Un argumento adicional es que en la franja horaria de madrugada la energía eléctrica presente en la red proviene de fuentes renovables en un porcentaje mayor que en otras horas del día [RE3]³² con lo cual el problema queda resuelto de forma parcial ya que las fuentes convencionales siguen presentes en el “share de la recarga”.

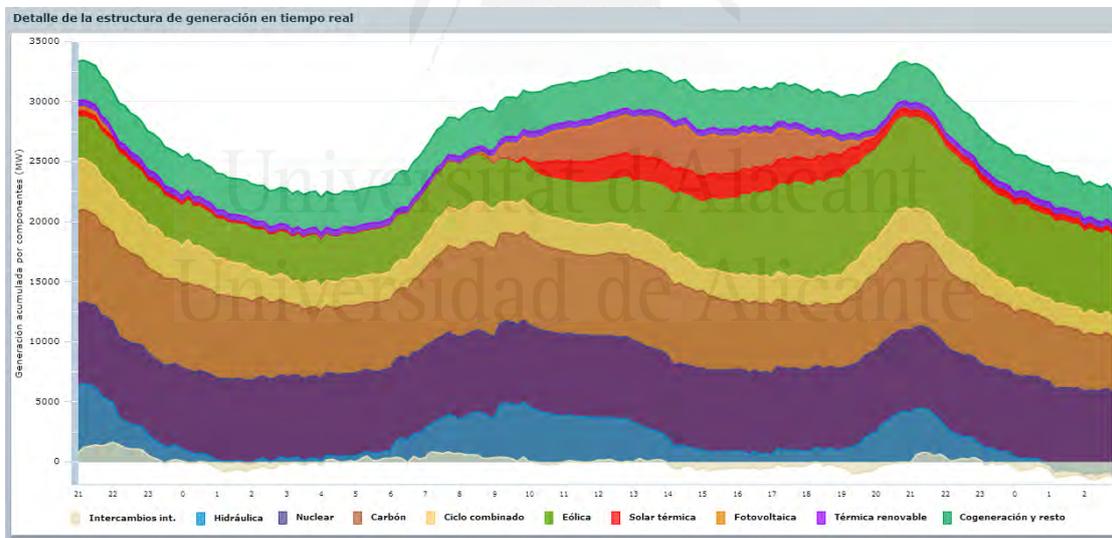


Figura 35: Detalle de la estructura de generación (en MW) por componentes para todo el territorio español entre las 9 de la noche del 21 de Septiembre y las 3 de la madrugada del 23 de Septiembre de 2015. Fuente: Página web REE [RE3]³².

Hora	0:00	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Cogeneración y resto	12,7%	13,2%	12,5%	11,1%	10,2%	10,5%	10,4%	9,9%
Térmica renovable*	2,3%	2,4%	2,4%	1,8%	1,7%	1,8%	1,8%	1,7%
Fotovoltaica*	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	9,3%	10,5%	6,5%	0,1%
Solar térmica*	1,2%	0,7%	0,3%	0,2%	6,0%	6,9%	6,7%	2,0%
Eólica*	12,8%	15,7%	16,3%	12,6%	11,0%	17,9%	25,1%	22,7%
Ciclo Combinado	12,3%	9,6%	9,9%	11,2%	7,9%	5,8%	7,5%	8,6%
Carbón	27,5%	27,0%	24,8%	25,0%	20,8%	20,8%	17,2%	21,8%
Nuclear	27,1%	30,3%	29,8%	23,6%	21,5%	22,4%	22,2%	20,9%
Hidráulica	3,8%	1,9%	2,9%	11,1%	10,9%	4,9%	3,6%	12,4%
Intercambios internacionales	0,3%	-0,8%	1,2%	1,2%	0,5%	-1,5%	-1,1%	-0,1%
TOTAL RENOVABLES* (%)	16,3%	18,8%	19,0%	16,8%	28,1%	37,1%	40,2%	26,6%

Figura 36: Tabla que muestra la información con cifras porcentuales correspondiente a la Figura 35 entre las 0 y las 21 horas del 22 de Septiembre de 2015. El orden de las filas coincide con el orden de los componentes. Fuente: Página web REE [RE3]³².

Los datos mostrados en las Figuras 35 y 36, obtenidos de la página web de Red Eléctrica Española para el 22 de Septiembre de 2015, equinoccio de otoño y por tanto nivel medio de radiación solar, en el que tampoco hubo anomalías meteorológicas que pudieran justificar unas cifras diferentes a las esperadas, revelan efectivamente una presencia de la energía eólica en un porcentaje de entre un 13 y un 16% para la franja nocturna, y si bien la eólica constituye una fuente renovable, no es menos cierto que no es igual de predecible como la solar fotovoltaica y tampoco está igual de desarrollada como la esta última, sobre todo a pequeña y mediana escala [Snz]³³. Este hecho no facilita de ninguna manera el crecimiento de los modelos de generación distribuida, también denominados de “democratización de la producción”, por los que se está apostando en los últimos años [Tre]³⁴ debido al escenario actual de paridad con la red y la creciente tendencia al autoconsumo por parte de productores-consumidores de electricidad proveniente de fuentes renovables. Este escenario es consecuencia de la llegada al llamado “Punto de Paridad de Red”, en el que los costes de comprar la energía eléctrica a la compañía distribuidora y de producirla mediante infraestructura propia se equiparan. [GPu]³⁵.

Podemos además obtener otras conclusiones, como que por ejemplo la ausencia de producción fotovoltaica en la franja horaria nocturna reduce la participación de las renovables en el “share” global de este intervalo horario, y que no es la noche la franja horaria más “verde” ni en cifras absolutas ni relativas.

Se da además la circunstancia de que las horas de producción fotovoltaica coinciden habitualmente con las horas de mayor actividad profesional, y con un consumo energético menor en el segmento residencial. Por este motivo, si los hábitos de recarga del usuario se pueden ajustar a la recarga simultánea con la producción, podríamos tener un modelo de recarga basado un 100% en la fotovoltaica, con la salvedad de días nublados o muy cercanos al solsticio de invierno, en los que la radiación solar disminuye, como veremos en cifras en el punto siguiente. Por el contrario, si no es posible coordinar producción y recarga, es necesario plantear un modelo alternativo, por ejemplo el intercambio de baterías, como se abordará en el punto 4.4.

4.3 Primer escenario: Recarga simultánea a la producción fotovoltaica

Este escenario contempla la recarga diurna a partir de la electricidad producida de forma instantánea por la instalación fotovoltaica, y no tomando la electricidad de la red. Se adaptará, por rangos de potencia producida y consumida, a una vivienda unifamiliar. No obstante, empleando diferentes coeficientes de mayoración podemos adaptarlo a otros escenarios, como se describirá en el punto 4.5.

Se trata por tanto, como se muestra en la Figura 37, de adaptar las curvas de producción fotovoltaica y recarga del vehículo, y no tiene por tanto nada que ver con el escenario de “recarga en horas punta” presentado por REE como ejemplo de no eficiencia, máxime cuando la infraestructura de recarga sería desarrollada “ad-hoc” para recargar las baterías, del vehículo eléctrico a partir como se ha expuesto en el punto 4.1.

Como ha quedado expuesto en el capítulo 3, una posibilidad podría ser la conexión directa del vehículo al campo fotovoltaico, para de esta forma aprovechar la corriente continua de alta intensidad producida por los paneles solares de un sistema fotovoltaico autónomo, pudiendo prescindir del inversor con su consiguiente ahorro en costes y conseguir así una recarga más rápida, evitando de esta manera las pérdidas producidas por la doble conversión a corriente alterna y de nuevo a continua. No obstante, ha quedado demostrado que no merece la pena este modo de funcionamiento, ni siquiera en condiciones de máxima adaptación eléctrica entre los módulos solares y las baterías del vehículo, ya que las pérdidas producidas por el inversor en la conversión DC-AC-DC son siempre menores que las pérdidas de eficiencia debidas a las variaciones térmicas a lo largo del día que obligan al módulo solar a funcionar en la conexión directa en un punto diferente al de máxima potencia.

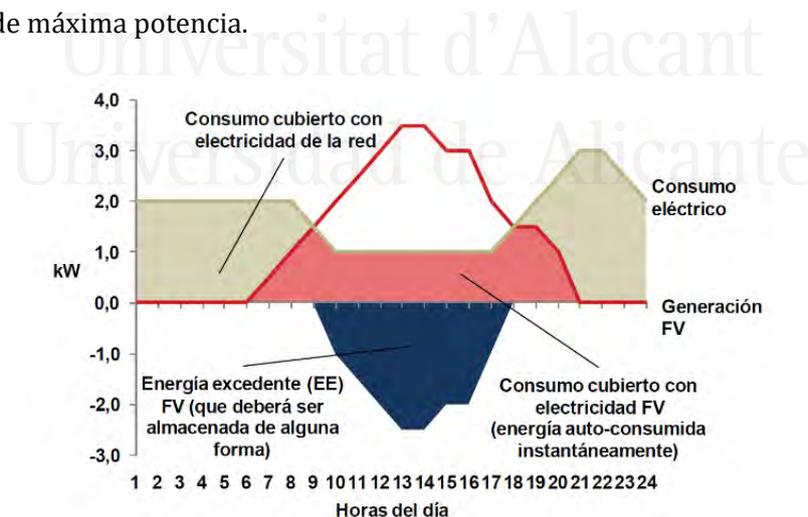


Figura 37: Consumo eléctrico y generación fotovoltaica en una “vivienda unifamiliar tipo” a lo largo de un día laborable. La llamada “Energía Excedente” debería ser utilizada para recargar el vehículo eléctrico bajo un modelo 100% renovable en aquellos días en los que se disponga de radiación solar suficiente. Fuente: [GPu]³⁵.

Por tanto, se descarta este modelo para partir del supuesto de que siempre tendremos un inversor fotovoltaico conectado a la red y que funcionará en el llamado “régimen de conmutación” [SID]³⁶ [Sel]³⁷; es decir, proporcionará a las baterías la energía proveniente de los módulos cuando la producción sea superior al consumo y conmutará en 10 milisegundos con la red eléctrica para que las baterías queden alimentadas con ésta en caso contrario (generalmente, días nublados o bien horas de baja radiación solar).

Por simplicidad del modelo, y teniendo en cuenta que podremos aplicar coeficientes de mayoración y minoración que nos permiten sistematizarlo con facilidad, presentamos a continuación un escenario tipo “Vehículo-Infraestructura de recarga”.

Por interés de nuestra investigación, como vehículo elegimos el Renault Fluence Zero Emissions (Z.E), con una energía máxima acumulable en el sistema de baterías de 22 kWh [RLe]³⁸, de forma que suponiendo un consumo normalizado de 0,14 kWh por kilómetro recorrido le proporciona una autonomía de 157 km, similares a los mencionados en [Mil]³⁹. Los motivos de la elección son dos: Por una parte porque se trata de un turismo eléctrico de gama media con lo cual resulta más sencillo extrapolar resultados a otros vehículos de prestaciones superiores e inferiores. Por otra porque además este vehículo dispone del sistema robotizado "QuickDrop" para sustituir la batería descargada por una cargada en unos 3 minutos, y nuestra investigación se completa, como se comprobará en el punto siguiente, con el modelo de intercambio de batería para los casos que así lo justifiquen.

4.3.1 Cálculo de la potencia mínima necesaria y el número de Paneles

Este dimensionamiento consiste en calcular la instalación necesaria para alimentar la batería de un vehículo eléctrico en una jornada diurna.

La infraestructura de recarga consistirá en un generador fotovoltaico autónomo ubicado en la ciudad de Alicante, cuya potencia mínima necesaria la determinaremos en función de la citada carga de 22 kWh y de los siguientes supuestos:

- *Carga completa de 22 kWh; es decir, la batería se encuentra totalmente descargada.*
- *Inclinación de los módulos solares de 45°, para conseguir la captación óptima posible en el mes de diciembre (peor caso) y totalmente orientados al sur geográfico.*

Datos de radiación solar (HSP) de la ciudad de Alicante tomados de la aplicación Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [PVg]⁴⁰ como se muestra en la tabla siguiente:

Mes	Valor medio diario (HSP)	Valor medio mensual (HSP)
Enero	3,56	110
Febrero	4,11	115
Marzo	4,73	147
Abril	4,54	136
Mayo	4,61	143
Junio	4,71	141
Julio	4,77	148
Agosto	4,79	148
Septiembre	4,49	135
Octubre	4,25	132
Noviembre	3,56	107
Diciembre	3,23	100
Media Anual	4,28	130
TOTAL		1562

Figura 38: Tabla de datos solares de radiación de la ciudad de Alicante en Horas Solares Pico (kWh por kW instalado). Fuente: [PVg]⁴⁰.

- Es decir; 1562 horas solares de máxima radiación (“horas solares pico”, cociente entre kWh producidos por kW instalado) en la ciudad de Alicante a lo largo del año con 3,23 HSP diarias en el mes de diciembre (peor caso).
- Pérdidas totales del sistema del 24,4% [PVg]⁴⁰, distribuidas de la siguiente manera:
 - o Pérdidas debidas a la temperatura de trabajo: 10,3%.
 - o Pérdidas por reflexión: 2,6%.
 - o Otras pérdidas (cables, inversor etc.): 11,5%.
- Paneles solares de 260 W [RSo]⁴¹ de tecnología monocristalina con una superficie de 1,63 m² y los siguientes valores típicos de mercado:

Parámetros Eléctricos del Panel	Valores para el panel RENESOLAR JC260M-24/BbV en STC (Condiciones estándar)
Intensidad de cortocircuito (I_{sc})	9,09 A
Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{MPP})	8,56 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	37,6 V
Tensión en el punto de máxima potencia (V_{MPP})	30,4 V

Figura 39: Tabla de parámetros eléctricos del panel RENESOLAR JC260M-24/BbV. Fuente: [RSo]⁴¹.

- Temperaturas mínima, media y máxima históricas de -5, 25 y 45 °C respectivamente.
- No existirán otros elementos generadores.

A partir de los supuestos anteriores, la potencia mínima del el generador autónomo se obtendrá a partir de la siguiente expresión [Cas]⁴²:

$$PG_{\min} \text{ (kW)} = \frac{E_d}{G_{dm}} \cdot \frac{G_{CEM}}{PR} = \frac{22}{3,49} \cdot \frac{1}{0,6} = 10,49 \text{ kW.}$$

Que es directamente proporcional a:

- E_d (Energía demandada): 22 kWh.
- G_{CEM} (Irradiancia en condiciones estándar de medida o STC): 1 kW/m².

E inversamente proporcional a:

- G_{dm} : Valor medio mensual (en kWh/m²) de irradiancia diaria en el peor caso (mes de diciembre) en las condiciones de partida: 3,49.
- PR (Performance Ratio): Rendimiento energético de la instalación, con valor típico de 0,6.

Una vez calculada la potencia pico necesaria para asegurarnos la recarga de nuestra batería de 22 kWh, podemos dividirla entre la potencia pico de cada panel para obtener el número de paneles de la instalación.

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{10490}{260} = 40 \text{ paneles.}$$

4.3.2 Cálculo de los efectos debidos a la temperatura

Debemos considerar también otros posibles efectos debidos a la temperatura. De esta forma, calcularemos los valores de I_{sc} y V_{oc} que entrega el panel para las 3 hipótesis de temperatura en la ciudad de Alicante: -5°C (temperatura mínima histórica), 25°C (condiciones estándar) y 45°C (temperatura máxima histórica).

Así, obtendremos otros puntos de trabajo (tensión/corriente) para cada temperatura, de la siguiente manera [IDA]⁴³:

T_c (Temperatura de las células solares, en °C) se obtendrá de la siguiente manera:

$$T_c = T_{amb} + \frac{T_{ONC} - 20}{800} \cdot G$$

Siendo:

- T_{amb} : Temperatura ambiente.
- TONC: Temperatura de Operación Nominal de la Célula Fotovoltaica, que tiene un valor aproximado de 46.
- G: Irradiancia en W/m².

Con lo cual, la nueva tensión en el punto de máxima potencia para la temperatura modificada se podrá calcular como:

$$V_{MPP}(T_{mod}) = V_{MPP}(T_{STC}) + T_k(V_{MPP}) \cdot (T_{mod} - T_{STC})$$

Esta expresión es igualmente válida para la tensión de circuito abierto:

$$V_{OC}(T_{mod}) = V_{OC}(T_{STC}) + T_k(V_{OC}) \cdot (T_{mod} - T_{STC})$$

Siendo:

- T_k : Coeficiente térmico adimensional, que tiene un valor de $-0,3\%/^{\circ}\text{C}$.
- T_{STC} : Temperatura en las Condiciones Estándar de Medida, que podemos aproximar a 25°C .

Por último, la Intensidad en el punto de máxima potencia I_{mpp} para la temperatura modificada en el punto de máxima potencia se podrá calcular a partir de la I_{mpp} en las condiciones STC como:

$$I_{MPP}(T_{mod}) = \frac{I_{MPP}(T_{STC})}{1000} \cdot G$$

Esta expresión es igualmente válida para las Intensidades de cortocircuito.

$$I_{sc}(T_{mod}) = \frac{I_{sc}(T_{STC})}{1000} \cdot G$$

Con todo ello, vamos a calcular los nuevos valores de las tensiones e intensidades de trabajo a las diferentes temperaturas a considerar (-5 , 25 y 45°C):

- Hipótesis de -5°C

- $T_{amb} = -5^{\circ}\text{C}$
- $T_{ONC} = 46$
- $G = 600 \text{ W/m}^2$ (Valor típico)
- $T_c = T_{amb} + \frac{T_{ONC} - 20}{800} \cdot G = -5 + \frac{46 - 20}{800} \cdot 600 = -5 + 19,5 = 14,5^{\circ}\text{C}$
- $V_{MPP}(T_{mod}) = V_{MPP}(T_{STC}) + T_k(V_{MPP}) \cdot (T_{mod} - T_{STC}) = 30,4 - 0,003 \cdot (-5 - 25) = 30,49 \text{ V}$
- $I_{MPP}(T_{mod}) = \frac{I_{MPP}(T_{STC})}{1000} \cdot G = \frac{8,56}{1000} \cdot 600 = 5,13 \text{ A}$

- Hipótesis de 25°C

En este caso suponemos las condiciones de trabajo estándar:

- $G = 1000 \text{ W/m}^2$ (Valor típico)
- $T_c = T_{\text{amb}} + \frac{TONC-20}{800} \cdot G = 25 + \frac{46-20}{800} \cdot 1000 = 25 + 32,5 = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- $V_{\text{MPP}}(T_{\text{mod}}) = V_{\text{MPP}}(T_{\text{STC}}) = 30,4 \text{ V}$
- $I_{\text{MPP}}(T_{\text{mod}}) = I_{\text{MPP}}(T_{\text{STC}}) = 8,56 \text{ A}$

- Hipótesis de 45 °C

- $T_{\text{amb}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- $TONC = 46$
- $G = 1367 \text{ W/m}^2$ (Fuente [PVg]⁴⁰)
- $T_c = T_{\text{amb}} + \frac{TONC-20}{800} \cdot G = 45 + \frac{46-20}{800} \cdot 1367 = 45 + 44,43 = 89,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- $V_{\text{MPP}}(T_{\text{mod}}) = V_{\text{MPP}}(T_{\text{STC}}) + T_k(V_{\text{MPP}}) \cdot (T_{\text{mod}} - T_{\text{STC}}) = 30,4 - 0,003 \cdot (45-25) = 30,34 \text{ V}$
- $I_{\text{MPP}}(T_{\text{mod}}) = \frac{I_{\text{MPP}}(T_{\text{STC}})}{1000} \cdot G = \frac{8,56}{1000} \cdot 1367 = 11,70 \text{ A}$

Llegando finalmente a los siguientes parámetros de trabajo para cada temperatura ambiente:

Temperatura ambiente (°C)	-5	25	45
Temperatura de trabajo del panel (°C)	14,5	57,5	89,4
V_{MPP} (V)	30,49	30,4	30,34
I_{MPP} (A)	5,13	8,56	11,70

Figura 40: Tabla de parámetros eléctricos del panel RENESOLAR JC260M-24/BbV en función de la temperatura ambiente en Alicante. Fuente: [RSO]⁴¹.

Lo cual nos muestra que los valores extremos de temperatura nos podrán variar el punto de trabajo, si bien para variaciones estándar lo mantendrán en valores cercanos a los 30,4 V y 8,56 A que corresponden a las condiciones estándar de medida.

4.3.3 Redimensionado del sistema empleando hipótesis de Balance Neto

Del cálculo realizado en el apartado 4.3.1 se deduce que un sistema fotovoltaico de 10,49 kW compuesto por módulos de 260 W debería disponer de 40 módulos. Esta potencia no corresponde con la que podría tener una instalación autónoma en cubierta para la “vivienda unifamiliar tipo” de la figura 37, cuyas potencias instaladas suelen estar en torno a los 3 kW (entre 10 y 15 módulos, en función de la potencia de los mismos), tanto por las superficies habitualmente disponibles en las cubiertas de las viviendas unifamiliares como por los hábitos de consumo de éstas, por lo que es de difícil aplicación al segmento residencial de autoconsumo. No es este el caso del segmento comercial-industrial, que suele disponer de mayores superficies en sus cubiertas.

Sin embargo, podemos partir de algunos supuestos que nos permitirán, de forma proporcional, reducir la potencia del generador a valores mucho más alcanzables desde el punto de vista de la inversión económica necesaria y de los valores habituales para las superficies disponibles en las cubiertas del segmento residencial unifamiliar. Son los siguientes:

- *La batería no está totalmente descargada, sino al 50% de su capacidad. Este supuesto es realista a partir de los estudios realizados por Renault y GM en el ámbito de la Unión Europea, que demostraban que un 80% de los conductores europeos recorren diariamente un trayecto inferior a 60 km con su vehículo [ESt]⁴⁴. Por otra parte, el estudio experimental en recorrido urbano realizado en [Dia]⁴⁵ muestra cómo un comportamiento adecuado por parte del conductor del vehículo eléctrico puede aumentar la autonomía del mismo en un 25% respecto a otro conductor que no aplica técnicas de conducción eficiente en acelerada y frenada.*
- *Como no va a ser descargada completamente, tampoco será necesario cargar el 50% que le falta para la carga completa.*
- *Hemos considerado el valor de G_{dn} para el mes de diciembre; sin embargo, ahora consideraremos el **valor medio anual**, que no es 3,49 kWh/m² sino 8,03; es decir, más del doble.*

El tercer supuesto se basa en el concepto de “Balance Neto Anual”; es decir, en los meses con mayor radiación solar habrá un excedente de producción que puede ser aprovechado conectando la instalación a la red eléctrica, y compensado con el déficit de producción de los meses de menor radiación. Este concepto (conocido como “*Net metering with 1 year rolling credits*” en la nomenclatura anglosajona) [Duf]⁴⁶ existe como tal, y está íntimamente relacionado con los derechos adquiridos por la energía inyectada, que pueden utilizarse durante un año. En [Xce]⁴⁷ disponemos de un estudio económico-comercial de la operadora estadounidense Xcel Energy, que ya aplica este modelo en diversos estados de EEUU para aquellos clientes que tienen contratada la correspondiente modalidad de suministro.

En la Figura 41 se muestra gráficamente este concepto que sin duda, una vez el escenario legal y los hábitos de uso en nuestro país lo conviertan en una realidad, puede marcar un antes y un después en el escenario de la recarga del vehículo eléctrico mediante autoproducción fotovoltaica.

Un cálculo aproximado de la nueva potencia mínima de generador a partir del primer y el tercer supuesto (el segundo es más complejo de cuantificar ya que incorpora otras consideraciones sobre tendencias de carga y descarga) sería:

$$PG_{\min} \text{ (kW)} = \frac{E_d}{G_{dm}} \cdot \frac{G_{CEM}}{PR} = \frac{11}{8,03} \cdot \frac{1}{0,6} = 2,28 \text{ kW}$$

O bien un valor mayor para porcentajes mayores al 50% de carga de la batería, con 4,57 kW para carga completa.

En la Figura 42 se muestra una generalización de los 2,28 y 4,57 kW obtenidos para Alicante a las 52 capitales españolas, a partir de los datos de radiación solar mostrados en [Cas]⁴² y a vehículos de gama inferior (Por ejemplo, el Renault Twizy, con 6 kWh de energía máxima acumulable en el sistema de baterías) y superior (Por ejemplo, el Tesla Roadster, con 70 kWh).

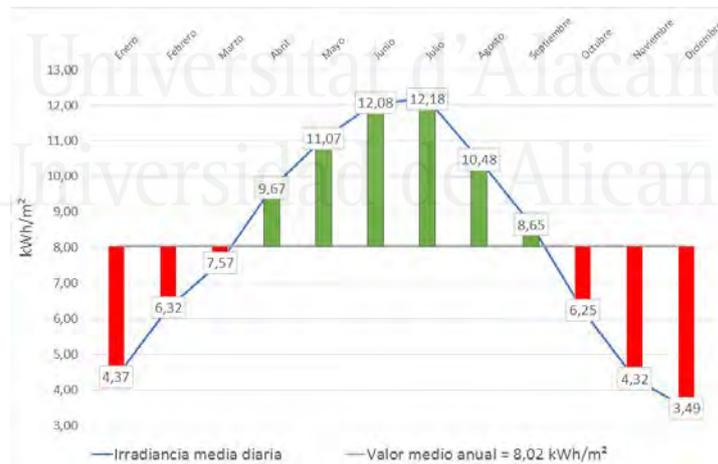


Figura 41: Comparativa entre la irradiación media diaria para un sistema fotovoltaico ubicado en Alicante a lo largo del año y el valor medio anual. Durante los meses de abril a septiembre (en verde) la producción es superior a la media, siendo inferior en el resto del año. Como podemos observar, las respectivas áreas de superávit y déficit de producción se deberían compensar entre sí para que el balance neto anual sea 0. Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que el balance neto no constituye en ningún momento una venta con ánimo de lucro de la electricidad excedentaria, ya que ésta tan solo puede ser compensada en términos de energía. Por este motivo, no tiene ningún sentido sobredimensionar nuestro generador fotovoltaico ya que si el balance neto anual siempre es positivo para nosotros estaremos literalmente regalando a la compañía eléctrica nuestra energía no consumida.

Es evidente que durante los meses de déficit en la producción no estamos garantizando que el 100% de la energía necesaria para cargar las baterías del vehículo eléctrico proceden de fuentes renovables. Sin embargo sí que garantizamos que a lo largo del año desde nuestro generador fotovoltaico estamos produciendo la misma energía que la que necesitamos para cargar nuestro vehículo desde un modelo de cero emisiones.

Por otra parte, si la potencia producida por nuestro generador fotovoltaico es menor al valor obtenido, bien por no disponer de la superficie necesaria, bien por estar ubicado en otro emplazamiento con menor irradiancia media a la del ejemplo en Alicante, podremos igualmente recargar las baterías de nuestro vehículo eléctrico aunque no cumpliremos al 100% el escenario de cero emisiones.

Debemos remarcar también que hemos considerado un sistema fotovoltaico de autoconsumo dedicado a la recarga de las baterías del vehículo. En un caso real, el sistema podría alimentar otros electrodomésticos, sistemas de iluminación y otros tipos de cargas, si bien en este caso también podríamos realizar otras consideraciones a partir de la Figura 37. Por ejemplo, partir de la base que normalmente en el segmento residencial para “hogares tipo” los consumos eléctricos durante las horas de jornada laboral (y por tanto las de producción fotovoltaica) suelen ser más reducidos ya que los miembros del hogar se suelen encontrar fuera del mismo, aumentando durante la franja de la tarde-noche. De cualquier forma, la consideración de nuestra instalación como de autoconsumo conectada a red nos permite suplir el déficit energético en cualquier momento a partir de la red.

Para los usuarios de vehículos eléctricos que no dispongan de infraestructura propia de recarga, también es posible un escenario de cero emisiones en la misma utilizando una estación de carga alimentada con energía solar fotovoltaica. En este sentido, SIRVE [SIR]⁴⁸ y RECARGO [REC]⁴⁹ son 2 proyectos piloto para este tipo de sistemas. Por otra parte, algunas diversas iniciativas colaborativas existentes en la red para compartir puntos de recarga entre usuarios también serían extrapolables a un modelo de recarga bajo este escenario.

Ciudad	Batería inicialmente cargada / Recarga al 50%			Recarga completa		
	VE de 6 kWh	VE de 22 kWh	VE de 70 kWh	VE de 6 kWh	VE de 22 kWh	VE de 70 kWh
Albacete	0,72	2,63	8,38	1,44	5,28	16,79
Alicante	0,62	2,28	7,25	1,25	4,57	14,54
Almería	0,64	2,33	7,43	1,28	4,68	14,88
Ávila	0,74	2,73	8,69	1,49	5,47	17,42
Badajoz	0,72	2,65	8,42	1,45	5,30	16,87
Barcelona	0,74	2,72	8,65	1,49	5,45	17,33
Bilbao	1,19	4,38	13,93	2,39	8,77	27,91
Burgos	0,84	3,10	9,85	1,69	6,21	19,75
Cáceres	0,61	2,24	7,12	1,22	4,49	14,27
Cádiz	0,59	2,15	6,84	1,18	4,31	13,71
Castellón de la P.	0,69	2,53	8,06	1,39	5,08	16,16
Ceuta	0,63	2,31	7,36	1,26	4,64	14,76
Ciudad Real	0,72	2,65	8,44	1,45	5,31	16,91
Córdoba	0,69	2,52	8,03	1,38	5,06	16,09
Coruña, A	0,95	3,48	11,08	1,90	6,98	22,21
Cuenca	0,78	2,85	9,05	1,56	5,70	18,15
Girona	0,81	2,95	9,40	1,61	5,92	18,84
Granada	0,77	2,83	9,01	1,55	5,67	18,05
Guadalajara	0,87	3,18	10,11	1,74	6,37	20,26
Huelva	0,62	2,28	7,25	1,25	4,57	14,54
Huesca	0,73	2,66	8,48	1,46	5,34	16,99
Jaén	0,68	2,48	7,88	1,35	4,96	15,80
León	0,74	2,71	8,63	1,48	5,43	17,29
Lleida	0,70	2,55	8,12	1,40	5,12	16,28
Logroño	0,72	2,63	8,38	1,44	5,28	16,79
Lugo	1,03	3,77	12,00	2,06	7,56	24,05
Madrid	0,70	2,56	8,14	1,40	5,13	16,32
Málaga	0,64	2,35	7,49	1,29	4,72	15,01
Melilla	0,61	2,23	7,11	1,22	4,48	14,24
Murcia	0,61	2,22	7,06	1,21	4,45	14,16
Ourense	1,02	3,75	11,92	2,05	7,51	23,89
Oviedo	1,00	3,66	11,64	2,00	7,33	23,32
Palencia	0,77	2,82	8,96	1,54	5,64	17,96
Palma de Mallorca	0,66	2,42	7,69	1,32	4,84	15,41
Palmas de G.C, Las	0,78	2,88	9,15	1,57	5,76	18,34
Pamplona	0,93	3,41	10,84	1,86	6,83	21,72
Pontevedra	0,78	2,85	9,05	1,56	5,70	18,15
Salamanca	0,76	2,78	8,85	1,52	5,57	17,73
San Sebastián	1,09	4,01	12,75	2,19	8,03	25,55
Santa Cruz de T.	0,64	2,35	7,49	1,29	4,72	15,01
Santander	1,07	3,92	12,47	2,14	7,86	25,00
Segovia	0,81	2,97	9,45	1,62	5,95	18,94
Sevilla	0,68	2,48	7,90	1,36	4,98	15,83
Soria	0,84	3,10	9,85	1,69	6,21	19,75
Tarragona	0,78	2,85	9,05	1,56	5,70	18,15
Teruel	0,81	2,96	9,42	1,62	5,94	18,89
Toledo	0,74	2,71	8,63	1,48	5,43	17,29
Valencia	0,70	2,55	8,12	1,40	5,12	16,28
Valladolid	0,75	2,75	8,73	1,50	5,50	17,51
Vitoria	1,00	3,68	11,72	2,01	7,38	23,48
Zamora	0,75	2,74	8,71	1,50	5,49	17,46
Zaragoza	0,71	2,59	8,26	1,42	5,20	16,55

Figura 42: Potencias de generador fotovoltaico (en kW) para recarga de vehículos eléctricos de gama baja, media y alta en una jornada de condiciones de irradiancia media y bajo hipótesis de Balance Neto. Se aplican coeficientes geográficos, así como 2 hipótesis de carga: Batería inicialmente cargada / Recarga al 50%, y Recarga completa. Fuente: Elaboración propia.

Por último, si el modelo de balance neto aplicado no contempla la equivalencia entre los precios de compra y venta de la energía sino que el precio de venta al operador es menor por el correspondiente peaje de uso de la red, se podrían poner en práctica por parte del Gobierno oportunos mecanismos de incentivación para el desarrollo de este tipo de sistemas de recarga que posibilitaran una exención del pago de este tipo de peaje a los usuarios de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos mediante autoproducción fotovoltaica.

4.4 Segundo escenario: Recarga no simultánea y eliminación de la barrera de la autonomía

El escenario descrito en el punto anterior tiene dos importantes barreras. Estas lo son a su vez para el desarrollo del vehículo eléctrico: la autonomía y el tiempo de recarga, que en condiciones normales puede tardar en torno a 4-8 horas [End]¹ a 220 V e intensidades entre 10 y 16 A para el peor y mejor caso respectivamente. Un sistema de conversión DC-AC sencillo como el SMA Sunny Boy 3800 [SMA]⁵⁰ puede dar respuesta a estos requerimientos.

Existe también una tercera barrera, que es la posible desadaptación entre la recarga simultánea con la producción y las necesidades de uso del vehículo por parte del usuario, principalmente por coincidencia con el horario laboral habitual.

Pese a que en la actualidad el vehículo eléctrico está considerado una alternativa de transporte tan solo para trayectos de corto alcance [EUC]⁵¹, no es menos cierto que esta consideración es debida fundamentalmente al hecho de no disponer en la actualidad de una infraestructura adecuada para recarga de las baterías.

La barrera del tiempo de recarga para la modalidad convencional puede ser vencida con 2 alternativas: la carga rápida y la sustitución de la batería descargada por otra cargada [lb1]⁵². La primera alternativa, llevada a cabo por el fabricante Tesla, tal y como se ha expuesto en el punto 2.4, y que permite la recarga en un tiempo aproximado de 15 minutos mediante un sistema trifásico de 380 V a 120 A presenta como principal inconveniente la dificultad de conseguir estos elevados niveles de potencia eléctrica en un sistema fotovoltaico de autoconsumo. Otro debate es si las redes eléctricas en España están preparadas para este tipo de recarga si en un futuro es el sistema empleado de forma masiva por los usuarios.

Queda por tanto la segunda alternativa, el intercambio de baterías, que como ha sido analizado en el capítulo 2 ya ha sido implementado en diversos proyectos como Better Place en Israel, desafortunadamente en bancarrota por la complejidad del sistema y sus elevadas necesidades de financiación, entre otras razones [Gun]¹¹, Greenway en Eslovaquia [Gre]¹³, con un proyecto mucho más modesto de sustitución de baterías en furgonetas eléctricas mediante transpaleta o Keypower en China [Hua]¹⁸, con especial

aplicación a flotas de transporte público. Se trata sin duda de la alternativa que dota de universalidad al vehículo eléctrico, ya que el proceso de recarga tendría lugar en la batería extraída del vehículo, de manera que la recarga y el uso del vehículo pasan a ser procesos totalmente independientes.

Conviene aclarar no obstante que no todos los vehículos eléctricos admiten la característica de intercambiabilidad de baterías, ya que la mayoría de éstos han sido diseñados con las baterías integradas en el propio vehículo, generalmente en la zona inferior de los asientos traseros y parte del maletero. Entre los pocos que sí la admiten podemos encontrar al ya mencionado Renault Fluence Z.E con su sistema Quick Drop que sustituye la batería por la parte inferior del vehículo, o al Tesla S [Tes]⁵³. En estos modelos, la sustitución es posible gracias a la disposición de la batería como un único bloque en el vehículo, tal y como se muestra en la Figura 43.



Figura 43: Disposición del motor eléctrico y la batería de tracción en el Renault Fluence Z.E. Fuente: [RLe]³⁸.

Ya se contemplan en España diversos programas de ayuda a la instalación de estaciones de sustitución de baterías, como la actuación T29B del “Programa de Ayudas a la Movilidad Sostenible y Ahorro y Eficiencia Energética en el Sector del Transporte 2016” del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), que subvenciona hasta el 40% del coste de la instalación de una estación de sustitución de baterías para vehículos eléctricos, con un coste subvencionable máximo de 60.000 € [IVA]⁵⁴.

A nivel de dimensionamiento, un sistema de baterías intercambiables podría reducir todavía más el tamaño del generador fotovoltaico en función del factor $1/n$, siendo n el número de días entre recargas o frecuencia de intercambio. Y en caso de disponer de la batería totalmente cargada, se puede revertir el proceso y emplear la batería para alimentar otros dispositivos (escenario “Vehicle to Grid”) [V2G]⁵⁵.

Como alternativa al intercambio y para viajes largos en los que no habrá estaciones de sustitución de baterías, existe también la posibilidad de instalar al vehículo eléctrico un suplemento, a modo de remolque o APU (del inglés “Auxiliary Power Unit”), para ampliar la autonomía del mismo, tal y como se muestra en [REx]⁵⁶ y en la figura 44.

Por último, existe otro escenario prometedor para la recarga de baterías intercambiables mediante energía solar fotovoltaica. Se trata de los vehículos convertidos, en los que se sustituye el motor convencional y el depósito de combustible por un sistema de tracción eléctrica (motor y baterías) con un centro de gravedad adecuado [GBa]⁵⁷. Este escenario es todavía muy residual por sus elevados costes ya que se trata de un proceso totalmente artesanal pero cuenta con interesantes programas de financiación colectiva o “crowdfunding” como los de la empresa Zevna para conseguir la homologación de los diferentes modelos convertidos [ZEN]⁵⁸. Por la propia arquitectura del vehículo al ser convertido, es posible ubicar las baterías para su extracción desde un lugar de fácil acceso como por ejemplo el maletero, lo cual facilita en gran medida la sustitución rápida de las mismas con una transpaleta o mecanismo similar.



Figura 44: Vehículo Eléctrico con Extensor de Alcance. Fuente: www.evalbum.com.

4.5 Otros escenarios

Escenarios más complejos llevarían a estudios más detallados sobre los hábitos de uso como el mostrado en la tabla de la Figura 45.

Más allá de clasificar las cargas y los lugares elegidos para las mismas en función de la utilización [FBa]⁵⁹, podemos contemplar la compartición de infraestructura de recarga entre varios usuarios (por ejemplo, comunidades de vecinos), mediante el denominado “Balance Neto Compartido” [Ayu]⁶⁰.

Ejemplo de uso para un VE con 125-150 km de autonomía

UTILIZACIÓN	IDA Y VUELTA A UNA DISTANCIA EQUIVALENTE A UNA CARGA	IDA Y VUELTA CON UNA RECARGA EN DESTINO	CARGA DURANTE TRAYECTO LARGO
CARGA	CONVENCIONAL	OPORTUNIDAD /EMERGENCIA	AUTONOMÍA EXTENDIDA
LUGAR DE RECARGA	CASA TRABAJO BASE DE FLOTAS	CENTRO COMERCIAL SUPERMERCADO PARKING VIA PÚBLICA...	ESTACIÓN DE SERVICIO
REQUISITOS	100% EN 6-8H	50% / 30 MINUTOS (CARGA DE OPORTUNIDAD) 20 KM / 10 MINUTOS (EMERGENCIA)	80% / 10 MINUTOS
TIPO DE RECARGA	LENTA	LENTA / SEMI RÁPIDA	RÁPIDA

Fuente : Pedro Silva (Efacec). CIVINET Torres Vedras.

Figura 45: Tabla de caracterización de los tipos de carga para un vehículo eléctrico en función de su utilización. Fuente: [FBa]⁵⁹.

En el segmento comercial e industrial los órdenes de magnitud en superficies disponibles para las instalaciones fotovoltaicas pueden variar respecto al modelo descrito en los puntos anteriores para el segmento residencial unifamiliar. Este es el caso de las cubiertas de naves industriales, que también pueden posibilitar la recarga simultánea de varios vehículos, y desde el punto de vista económico pueden suponer ingresos extra a las empresas propietarias de las cubiertas.

Los aparcamientos de centros comerciales pueden ser también puntos de recarga e incluso estaciones de sustitución de baterías. En este caso no debemos olvidar el concepto de *doble uso*, en el que la marquesina sobre la cual se instalan los módulos solares también proporciona sombra a los vehículos estacionados. En la actualidad existen interesantes modelos de pérgolas para parkings que, mediante técnicas de integración arquitectónica de los paneles, constituyen también llamativos elementos de comunicación [Sun]⁶¹, [Par]⁶².

No olvidemos tampoco el posible aprovechamiento de la energía eólica para centros de intercambio de baterías a gran escala, en los que también sería aprovechable la eólica nocturna.

Por último, cabría citar las emergentes Baterías de Grafeno. A medida que éstas se desarrollen y conozcamos sus posibilidades en el campo de la movilidad eléctrica podremos conocer en profundidad sus características de carga y descarga y determinar así la aplicabilidad del modelo descrito para esta tecnología [Gra]⁶³.

Capítulo 5 :

Sistemas de Conmutación y Gestión Inteligente para la recarga de baterías de Vehículos Eléctricos

5.1 Introducción

En el presente capítulo partiremos de un modelo para recargar las baterías de un vehículo eléctrico de una planta solar fotovoltaica a pequeña escala en la que la energía inyectada en las baterías se obtiene simultáneamente con la producción, sin necesidad de almacenamiento entre ellas. Se pretende mostrar los dispositivos que permiten tanto la conmutación como la gestión inteligente de las diferentes cargas presentes en nuestro sistema, donde el vehículo eléctrico es sin duda uno de los más importantes pero no el único a considerar y gestionar.

Por lo tanto, nuestros objetivos serán cómo abordar la forma de gestionar las baterías del vehículo desde el inversor fotovoltaico trabajando en régimen de conmutación entre el sistema fotovoltaico y el consumo de la red, de manera transparente al usuario final, cómo gestionar la conmutación de fuentes y cargas, cómo afecta a la red y cómo debe adaptarse a un escenario a gran escala, desde el punto de vista del dimensionamiento completo del sistema.

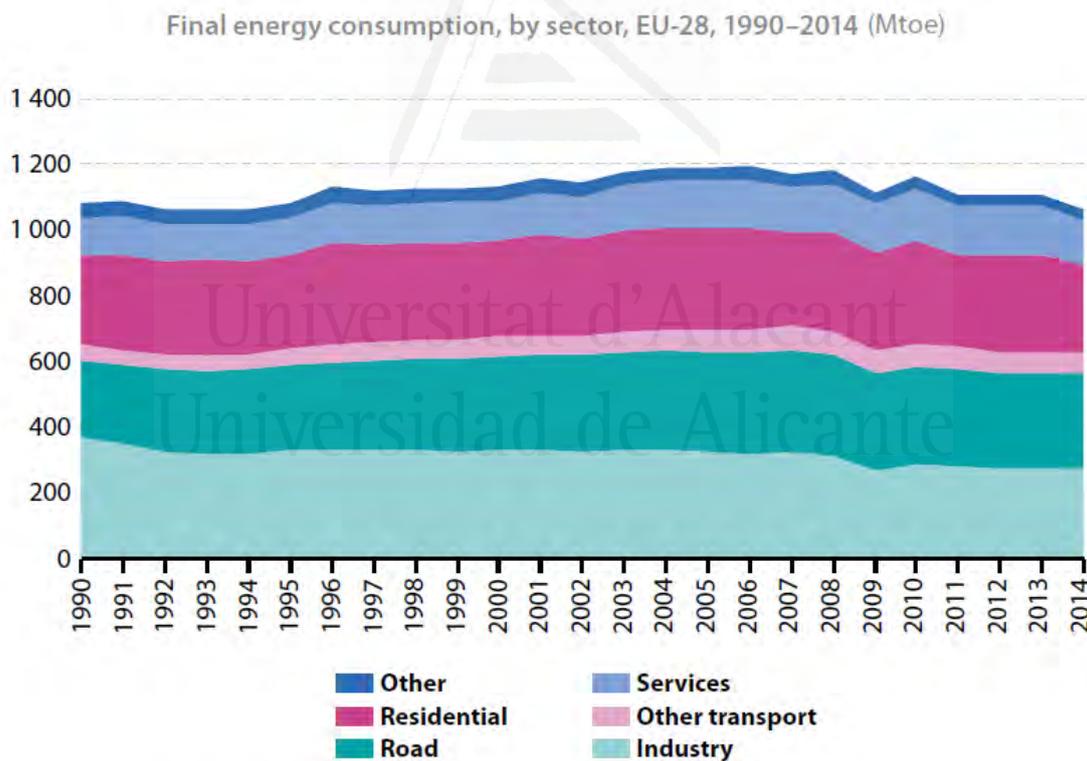
Con este objetivo, se mostrará un estudio de cargas típicas (incluyendo el vehículo eléctrico), varias soluciones para implementar una priorización de cargas (con una revisión de los dispositivos que trabajan bajo algoritmos de priorización) y un promedio real de consumos anuales con una proyección del sistema mediante la adición de un vehículo eléctrico con recarga diaria y diferentes características y patrones de carga.

5.2 Indicadores de impacto y proyección a la electrificación del sector del transporte

A modo de indicador global de cómo la tendencia de electrificación del sector del transporte por carretera afectaría al consumo de energía global, podemos tomar su impacto dentro de la estructura final como punto de partida. De este modo, la última

edición de los Indicadores de Energía, Transporte y Medio Ambiente publicada por Eurostat muestra cómo en 2014 el Transporte por Carretera constituía el primer sector en consumo de energía final con un 27,3% de la cuota global, seguido de cerca por la Industria (25,9%) y el sector Residencial (24,8%) [Jor]⁶⁴, tal y como podemos comprobar en la Figura 46.

Ello significa que, si queremos que el sector del transporte por carretera se vuelva progresivamente eléctrico, las redes deben estar preparadas para ver incrementada su capacidad de absorber este crecimiento del consumo. Sin embargo, también es cierto que la eficiencia energética de un vehículo eléctrico es entre 3 y 4 veces mayor que la de su equivalente convencional (basado en combustibles fósiles), como se explica en detalle en [Ib2]⁶⁵. Por otra parte, los pasos intermedios entre la producción y el consumo de energía son también significativamente menores para un vehículo eléctrico [GPa]⁶⁶. Y el caso más eficiente en cuanto a menor número de pasos intermedios es sin duda el autoconsumo eléctrico basado en energías renovables con generación distribuida, en el que la producción de energía y la carga de la batería se producen exactamente en el mismo lugar.



Source: Eurostat (online data code: nrg_100a)

Figura 46: Evolución del consumo energético por sectores en la Unión Europea entre 1990 y 2014, en el que el transporte aparece en segunda posición. Fuente: [Jor]⁶⁴.

Además, si nos trasladamos a un escenario compuesto por una planta solar fotovoltaica de pequeña escala (por ejemplo, para una vivienda unifamiliar) en régimen de

autoconsumo con intercambio de red, la incorporación de un vehículo eléctrico de batería únicamente implica la adición de un nuevo electrodoméstico a la instalación eléctrica, con altas necesidades de consumo y un uso especial, pero no deja de ser otro electrodoméstico.

En el capítulo anterior se ha descrito un modelo para recargar las baterías de un vehículo eléctrico a partir de una planta fotovoltaica a pequeña escala solar, considerando que la energía inyectada en las baterías es obtenida en el instante de la producción, sin necesidad de almacenamiento intermedio. Para el dimensionamiento de la planta fotovoltaica se ha considerado que el balance neto anual equipara generación y demanda a lo largo de 365 días por lo que al final se aplica un modelo 100% basado en energías renovables.

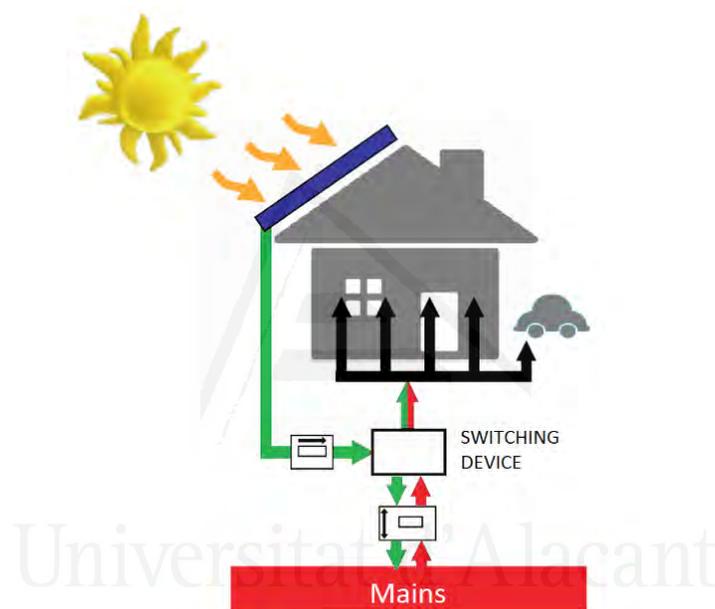


Figura 47: Modelo de instalación fotovoltaica a pequeña escala de autoconsumo con intercambio con la red, y vehículo eléctrico. Fuente: [LFN]⁶⁷.

El objetivo era doble: por una parte, conseguir un modelo de cero emisiones para el abastecimiento energético del vehículo eléctrico, imposible de obtener de la carga nocturna u otros escenarios. Por otra, facilitar un escenario de generación distribuida que posibilite la llamada “democratización de la producción” y la reducción de costes para el usuario/consumidor.

Nuestro propósito de modelar este escenario de la forma más cercana posible a un sistema cero emisiones proviene de un punto de partida muy claro: El avance de la movilidad eléctrica debe hacer su camino de manera conjunta con las energías renovables. Si una de las principales razones para justificar la electrificación del transporte es la reducción de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, esta electrificación no tiene sentido si las fuentes que componen el “share energético” que produce la electricidad para recargar las baterías del vehículo eléctrico todavía provienen de combustibles fósiles.

5.3 Equilibrio entre Generación y Demanda

Tal y como se describe en [Fas]⁶⁸, el sistema que suministra electricidad a los usuarios y que conocemos como Red Eléctrica, es altamente complejo, pero debe garantizarse en todo momento un equilibrio entre generación y demanda, de forma que la potencia generada en cada momento debe ser exactamente compensada por las cargas. Mantener este equilibrio significa controlar muchos parámetros. El reto más difícil es que tanto la frecuencia de la red como el nivel de tensión eléctrica permanezcan estables y teniendo en cuenta también que permanentemente se estarán dando situaciones que perturben el equilibrio entre generación y demanda.

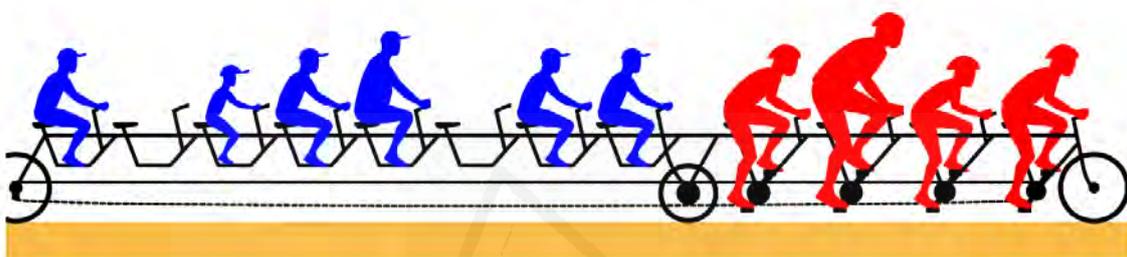


Figura 48: El “Simil de la bicicleta tándem” es una curiosa manera de explicar el equilibrio entre generación y demanda en el sistema eléctrico. La bicicleta tándem (red eléctrica) se está moviendo a velocidad constante (frecuencia de red). El objetivo es mantener a los pasajeros de color azul (cargas) en movimiento (alimentadas). Los ciclistas de color rojo son las estaciones generadoras. Este símil también muestra analogías con otros fenómenos que se pueden producir en el sistema eléctrico, como por ejemplo la compensación de la potencia inductiva, la distorsión armónica, las variaciones de frecuencia o la transformación de energía eléctrica en calor. Fuente: [Fas]⁶⁸.

De igual manera, la frecuencia de trabajo de la red (50 ó 60 Hz, dependiendo del país) y su mantenimiento sin variaciones está estrechamente relacionada con el equilibrio entre generación y demanda.

Ello se debe a que en régimen permanente todos los generadores de la red eléctrica funcionan de manera sincronizada a la frecuencia de red. Sin embargo, si aumenta la generación la frecuencia eléctrica aumenta y si aumenta la demanda, la frecuencia eléctrica disminuye. Este fenómeno se debe a los principios básicos de producción, transformación y consumo de energía en un sistema de turbinas rotativas, tal y como se describe en [Led]⁶⁹.

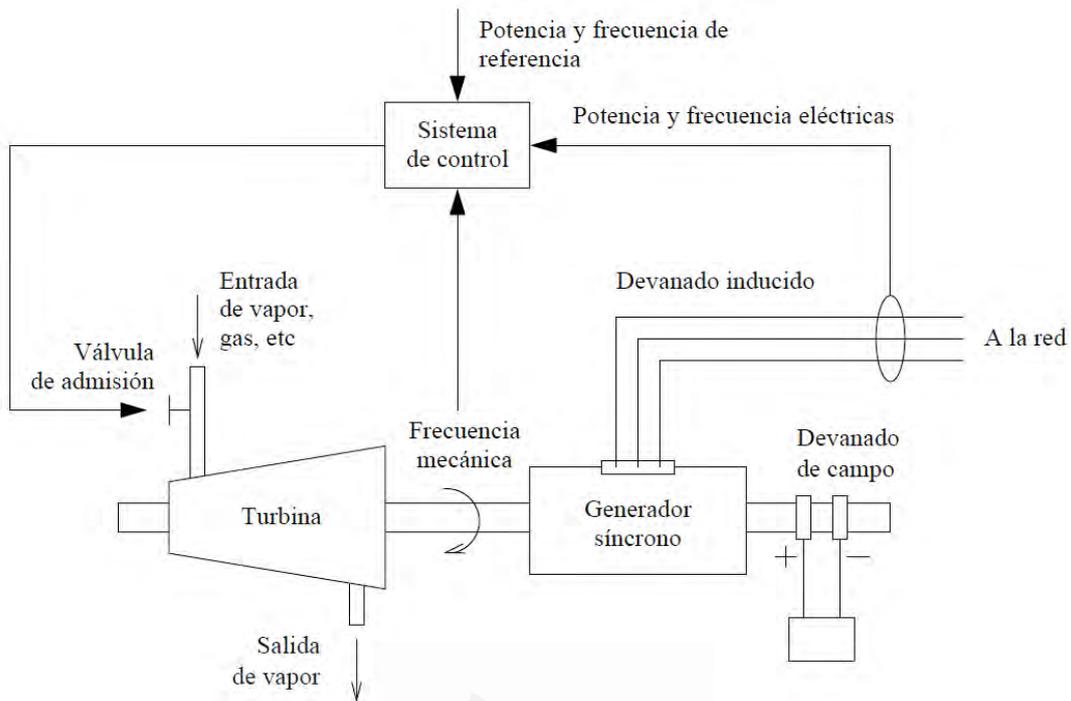


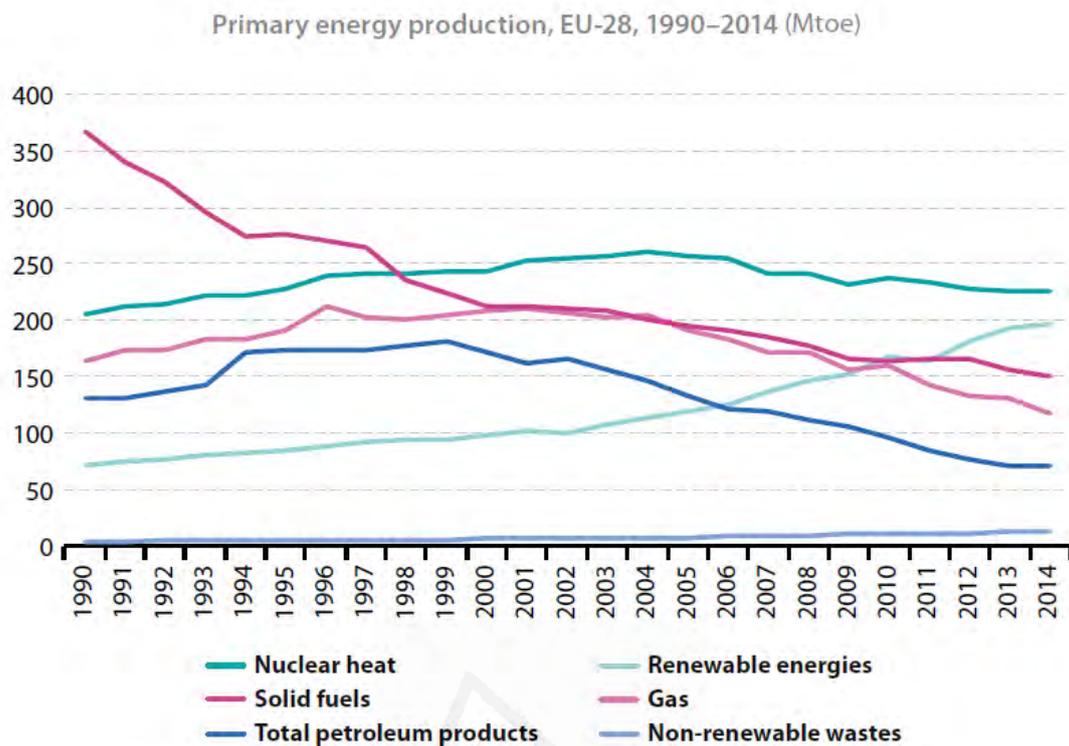
Figura 49: Elementos principales de un generador síncrono en el control de frecuencia.
Fuente: [Led]⁶⁹.

Por lo tanto, si comparamos las líneas de gráfico mostradas en la figura 50 [ESi]⁷⁰ podemos comprobar cómo la Demanda Programada (línea quebrada, en color rojo), sigue a la Demanda Real (línea continua, en color amarillo) tanto como sea posible.



Figura 50: Ejemplo de curvas programada y real para el pasado 8/2/2017. Fuente: [ESi]⁶⁸.

Tengamos en cuenta también que el crecimiento progresivo de las fuentes de energía renovables (como podemos ver en la Figura 51) y la generación distribuida implican variaciones mayores para asegurar el equilibrio entre carga y generación, ya que cuanto mayor sea el volumen que las renovables representan dentro del share energético, mayor será la variabilidad y la incertidumbre, como se explica ampliamente en [Ver]⁷¹.



Source: Eurostat (online data code: nrg_100a)

Figura 51: Evolución de la producción energética por fuentes primarias en la Unión Europea entre 1990 y 2014, en la que las renovables con un 25,4% alcanzan la segunda posición, justo tras la Energía Nuclear. Fuente: [Jor]⁶⁴.

Por ello, para poder responder a las crecientes variaciones tanto de generación como de demanda, es imprescindible que la Red Eléctrica se apoye en complejos mecanismos de control de frecuencia para mantener este equilibrio necesario entre generación y carga, así como la frecuencia de referencia del sistema (Frecuencia de Red), los compromisos de intercambio de energía entre zonas vecinas y la salvaguarda de una reserva suficiente de energía. Todo ello, además, debe organizarse dentro del marco normativo vigente que corresponde a un mercado energético competitivo.

Por lo tanto, debemos considerar el equilibrio entre generación y demanda para nuestro sistema eléctrico desde nuestro modelo de producción y consumo de electricidad. Se trata de analizar cómo las baterías de un vehículo eléctrico y el resto de las cargas presentes en nuestro sistema (una planta fotovoltaica a pequeña escala) se pueden alimentar instantáneamente y sin interrupción a través de la producción fotovoltaica, sin mencionar el intercambio con la red (en función del Balance Neto) y mantener el equilibrio entre generación y demanda en todo momento.

Finalmente, y como se explica en [Ric]⁷², los Vehículos Eléctricos pueden reducir significativamente la cantidad de energía renovable producida en exceso en un sistema eléctrico. Por tanto, el VE puede ser también un buen aliado para mantener el equilibrio entre generación y demanda, siempre que podamos posponer la recarga dentro de una

ventana temporal que pueda ser a su vez programada en función de nuestras necesidades y preferencias. En [Ash]⁷³ se describen y analizan 9 escenarios de modo de carga teniendo en cuenta la matriz fotovoltaica con su controlador MPPT, la Unidad de Almacenamiento de Energía o “ESU” (del inglés *Energy Storage Unit*), el inversor, la red AC, el cargador DC y el VE, y teniendo en cuenta toda la casuística que puede estar presente en el sistema. Es una versión ampliada de los 5 modos descritos en [Bha]¹⁹ incorporando el dispositivo de almacenamiento intermedio o ESU y la casuística correspondiente a la incorporación del nuevo elemento.

5.4 Estudio de cargas tipo, incluyendo el Vehículo Eléctrico

La tabla mostrada en la figura 52 detalla las cargas más comunes que podemos encontrar en el área residencial y sus necesidades energéticas aproximadas, las condiciones diarias de uso y, por tanto, la energía total consumida durante el día.

Electrodoméstico	Potencia (W)	Uso diario (h)	Energía diaria (kWh)
4 bombillas de 60 W	240	5	1,20
Aire Acondicionado mediano	2200	5	11
Cargadores (Portátil, Smartphones)	30	4	0,12
Ordenador	300	2	0,60
Lavavajillas	1300	0,50	0,65
Secadora de ropa	1800	0,67	1,20
Horno Eléctrico	1000	0,50	0,50
Secador de pelo	400	0,67	0,27
Plancha	1000	0,20	0,20
Lámpara fluorescente de cocina	36	5	0,18
Horno Microondas	850	0,60	0,51
Nevera y Congelador	400	24	9,60
Tostadora	1200	0,20	0,24
TV y dispositivos asociados	150	6	0,90
Lavadora	1500	0,67	1
RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	3000	3,67	11
		Total (kWh)	39,17

Figura 52: Tabla que muestra el inventario de consumos eléctricos habituales para una vivienda unifamiliar que dispone de Vehículo Eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Como última carga, hemos incluido la recarga total de las baterías de un coche eléctrico de gama media como el Renault Fluence Zero Emissions [RLe]³⁸, por las razones expuestas en capítulos anteriores: Por un lado porque es un coche eléctrico de gama media, por lo que extrapolar resultados a otros vehículos de rendimiento superior e inferior (tal y como se ha hecho en la tabla mostrada en la Figura 42) es más sencillo. Por otro lado, porque este vehículo está preparado para el intercambio de baterías gracias al

sistema robotizado "QuickDrop", una característica interesante en caso de que queramos romper la barrera de simultaneidad entre la producción fotovoltaica y el uso del vehículo.

Hemos escogido una vivienda unifamiliar con autoconsumo fotovoltaico (planta fotovoltaica de 3 kW) e intercambio con la red, ya que puede ser un buen punto de partida para escenarios más complejos como por ejemplo una comunidad de propietarios, un edificio industrial o un centro comercial, siempre provistas de una planta fotovoltaica en régimen de autoconsumo e intercambio con la red. En resumen, se trata de considerar más parámetros y una mayor variabilidad e incertidumbre para la producción y demanda.

Como se explica en el punto 4.3.3 del capítulo anterior, suponiendo una carga de la batería de hasta el 50% de su capacidad, tan sólo serían necesarios 11 kWh en un día para un turismo eléctrico de gama media como el Renault Fluence Zero Emissions (RFZE). Otros escenarios que prevean más de un día para la recarga reducirían los 11 kWh a valores más pequeños que serían a su vez inversamente proporcionales al número de días entre recargas. Sea como fuere, está claro que nos enfrentamos a una carga (el vehículo eléctrico) que por sí solo consume alrededor del 25-30% de la carga total del sistema, basándonos en la información mostrada en la tabla de la Figura 52.

Dado que nuestra planta fotovoltaica no dispone de baterías (ya que se basa en el intercambio con la red), nuestro objetivo de aumentar el porcentaje de "energía verde" en la movilidad eléctrica consiste en efectuar la recarga del VE cuando los módulos solares están produciendo electricidad. Esto es totalmente factible, incluso en un caso en el que el vehículo es utilizado simultáneamente a la producción de la planta fotovoltaica, gracias al intercambio de baterías. Esta solución rompe la barrera de simultaneidad entre la producción fotovoltaica y el uso del vehículo. Para nuestro modelo, si la batería se extrae o no del vehículo mientras se está cargando no es relevante: Simplemente estamos considerando que la recarga del VE debe tener lugar dentro de la llamada "ventana fotovoltaica" (dicho de otra manera, durante los tiempos en que los módulos solares están produciendo electricidad).

Nuestra siguiente pregunta es: ¿Qué sucede con el resto de las cargas con respecto a la "ventana fotovoltaica"? Y la respuesta es que dependerá de sus necesidades. Así, algunos electrodomésticos como la nevera y el congelador necesitan electricidad 24 horas al día, 7 horas a la semana, por lo que estos siempre se apoyarán en la red, al menos para el consumo nocturno. Otros, como la lavadora, la secadora y el lavavajillas, son fácilmente programables para ser utilizados dentro de la "ventana fotovoltaica". Los otros aparatos se emplean cuando son necesarios, por lo que estos se utilizarán dentro de la "ventana fotovoltaica" o no, dependiendo de sus horas y necesidades de uso.

Por tanto y como consecuencia de los órdenes de magnitud entre el consumo de energía del vehículo eléctrico y las otras cargas del sistema, podemos concluir que si queremos estar lo más próximos posible de un escenario de cero emisiones para el suministro de energía del VE, podemos diseñar el sistema de acuerdo con las necesidades del vehículo

y el resto de las cargas serán alimentadas desde el sistema fotovoltaico o la red, basándonos en los niveles de producción y consumo, como veremos en el punto siguiente.

5.5 Priorización de cargas

Una vez que conocidas nuestras necesidades eléctricas, tanto de nuestro inventario de electrodomésticos como aquéllas asociadas a nuestro estilo de vida, nuestro objetivo debe ser determinar cuándo deben alimentarse los electrodomésticos.

En primer lugar, debemos utilizar un inversor fotovoltaico adaptado para el autoconsumo y el intercambio con la red. La mayoría de los inversores disponibles en el mercado incluyen un interruptor automático incorporado (con un tiempo típico de conmutación de 10 ms) que permite el “bypass” interno de la electricidad procedente de la red a través del inversor cuando el consumo de cargas es mayor que la producción fotovoltaica.

Algunos fabricantes de inversores como Kostal han ido un paso más allá y han implementado un sensor programable denominado “Piko BA”, el cual puede ser montado dentro de un inversor de nueva generación, permitiendo la monitorización remota del autoconsumo y el intercambio con la red, e incluso controlando cuánta potencia puede ser inyectada en la red [Sel]⁷⁴.

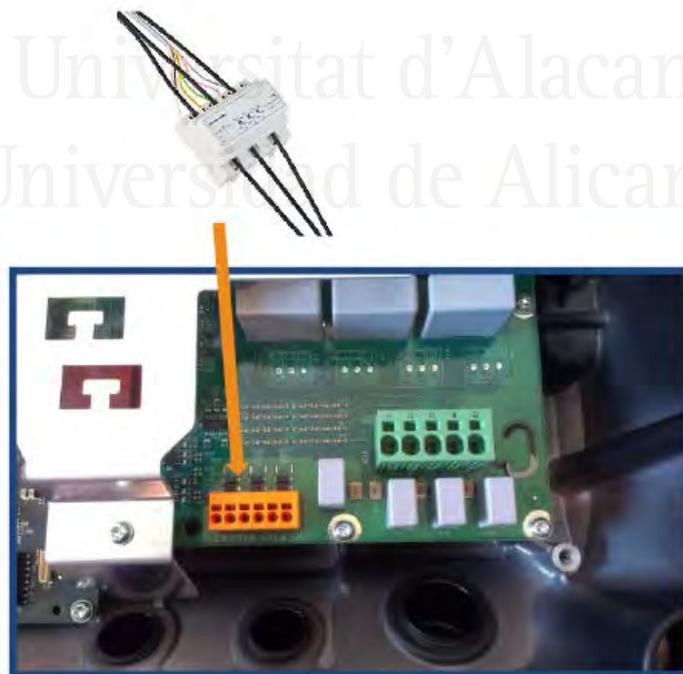


Figura 53: Conexión del Piko BA Sensor al inversor. Fuente: [Sel]⁷⁴.

El Piko BA permite el paso de una corriente máxima por su terminal primario 3 x 50 A, equivalente a 35 kW de consumo, y se conecta directamente en los inversores trifásicos de este fabricante. Permite realizar una monitorización del autoconsumo mediante la visualización en PIKO Solar Portal y PIKO Solar App, controlando así la potencia de inyección a red y permitiendo la inyección cero, como se muestra en la figura siguiente:

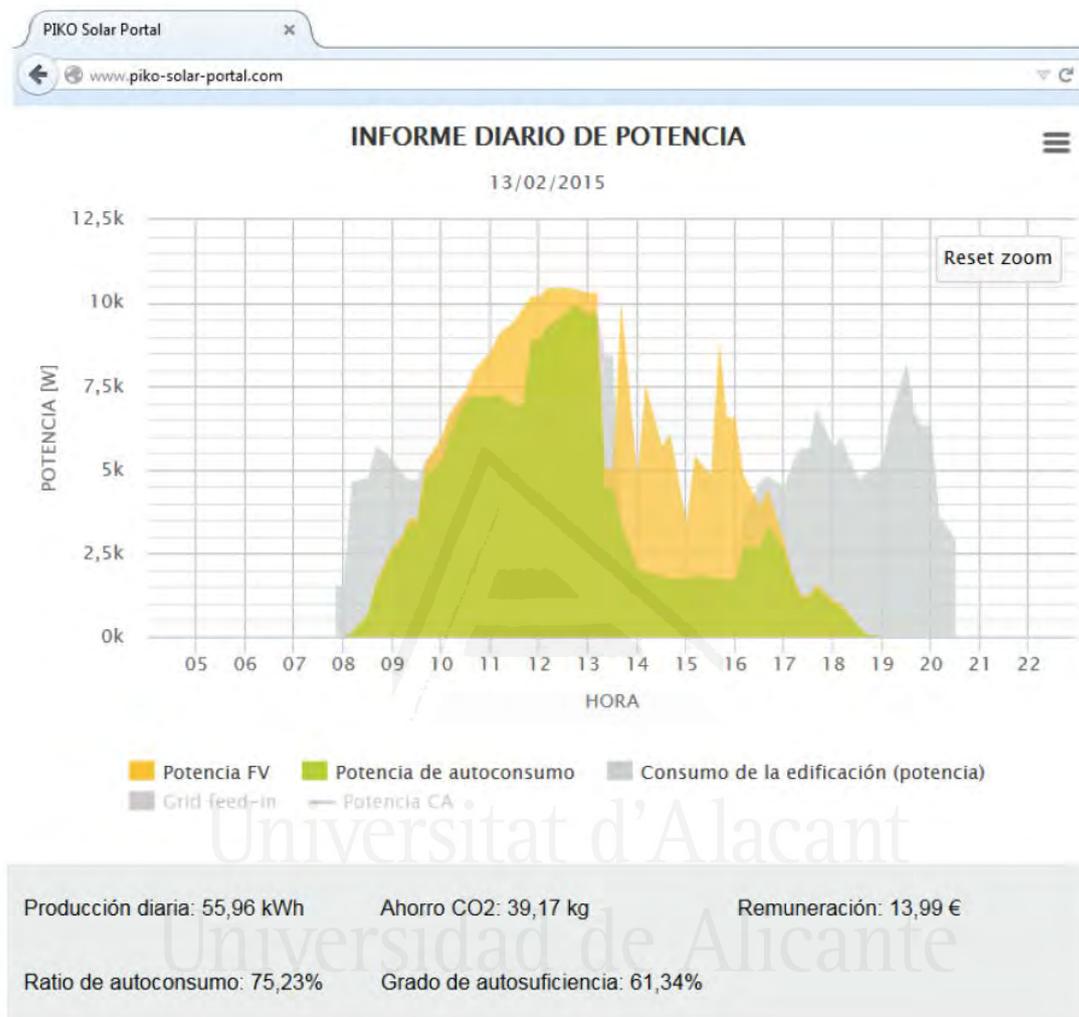


Figura 54: Instantánea de monitorización del autoconsumo con inyección cero mediante la visualización en PIKO Solar Portal. Fuente: [Sel]⁷⁴.

Sin embargo, estos inversores no son capaces de determinar qué cargas son prioritarias para ser alimentadas desde nuestros módulos fotovoltaicos, únicamente conmutan si es necesario, dependiendo de nuestro consumo total. Por tanto, debemos establecer nuestros criterios de prioridad entre nuestras cargas y nuestras fuentes o generadores.

Nuestros generadores, en orden de prioridad, son primero la planta fotovoltaica y a continuación la red, en caso de que nuestra tarifa eléctrica no incluya discriminación horaria. De lo contrario, nuestros generadores en orden de prioridad serán: planta fotovoltaica, red en “tarifa valle”, red en “tarifa media” y finalmente red en “tarifa punta”, debemos tratar de evitar en la medida de lo posible.

Algunos estudios muestran diferentes posibilidades para el algoritmo de gestión de potencia para la carga del VE basado en la energía solar fotovoltaica, como el que se muestra en [Gol]⁷⁵, teniendo en cuenta la topología distribuida y utilizando una única estrategia de control que se apoya a su vez en el sensor de tensión de enlace DC, que decide la dirección del flujo de potencia. A su vez, el algoritmo que se muestra en [Mia]⁷⁶, se basa en la obtención de varios servicios "Vehicle-To-Grid", tales como la regulación de tensión, la rotación de reserva, el desplazamiento de la carga, el recorte del pico de carga y la nivelación de carga. A su vez, también presenta un diagrama relacional para tipos de V2G, servicios V2G, objetivos de optimización y restricciones.

Los autores de [Fax]⁷⁷ también han desarrollado un algoritmo de control de carga con priorización para instalaciones fotovoltaicas autónomas mediante el cual se obtiene una mejor eficiencia en la gestión de la energía, y con ello prolongar la vida útil de la batería, al clasificar las cargas en cuatro categorías generales en función de su prioridad (convenientes, esenciales, críticas y de emergencia).

La principal diferencia entre este escenario y el nuestro es que en [Fax]⁷⁷ se asume un sistema fotovoltaico autónomo con baterías, mientras que para nuestro caso hemos considerado desde el principio un sistema sin batería con intercambio con la red. Sin embargo, puesto que queremos garantizar un escenario de cero emisiones para la carga de nuestra batería de tracción, también podemos centrarnos en una gestión de energía tan eficiente como sea posible para garantizar el suministro de energía limpia para nuestro VE.

Las gráficas de la Figura 55 que se presenta a continuación muestran el promedio anual de producción (verde), consumo (rojo), y vertido a red (azul, diferencia de ambas) de una vivienda unifamiliar real, situada en la costa de Alicante (concretamente en el municipio de Pilar de la Horadada), equipada con una instalación fotovoltaica real de 3 kW de potencia pico instalada.

La primera gráfica muestra el escenario real actual (a partir de los datos de la monitorización remota de los contadores de producción fotovoltaica y el consumo doméstico), y los siguientes hacen una proyección del sistema mediante la adición de un Renault Fluence Zero Emissions con recarga diaria y diferentes características y patrones de carga:

- Las gráficas segunda y tercera asumen una carga total de 21 kWh, con diferentes potencias horarias (6 horas para la segunda gráfica, 12 horas para la tercera).
- Las gráficas cuarta y quinta asumen una carga total de 10,5 kWh, con diferentes potencias horarias (6 horas para la cuarta gráfica, 3 horas para la quinta).

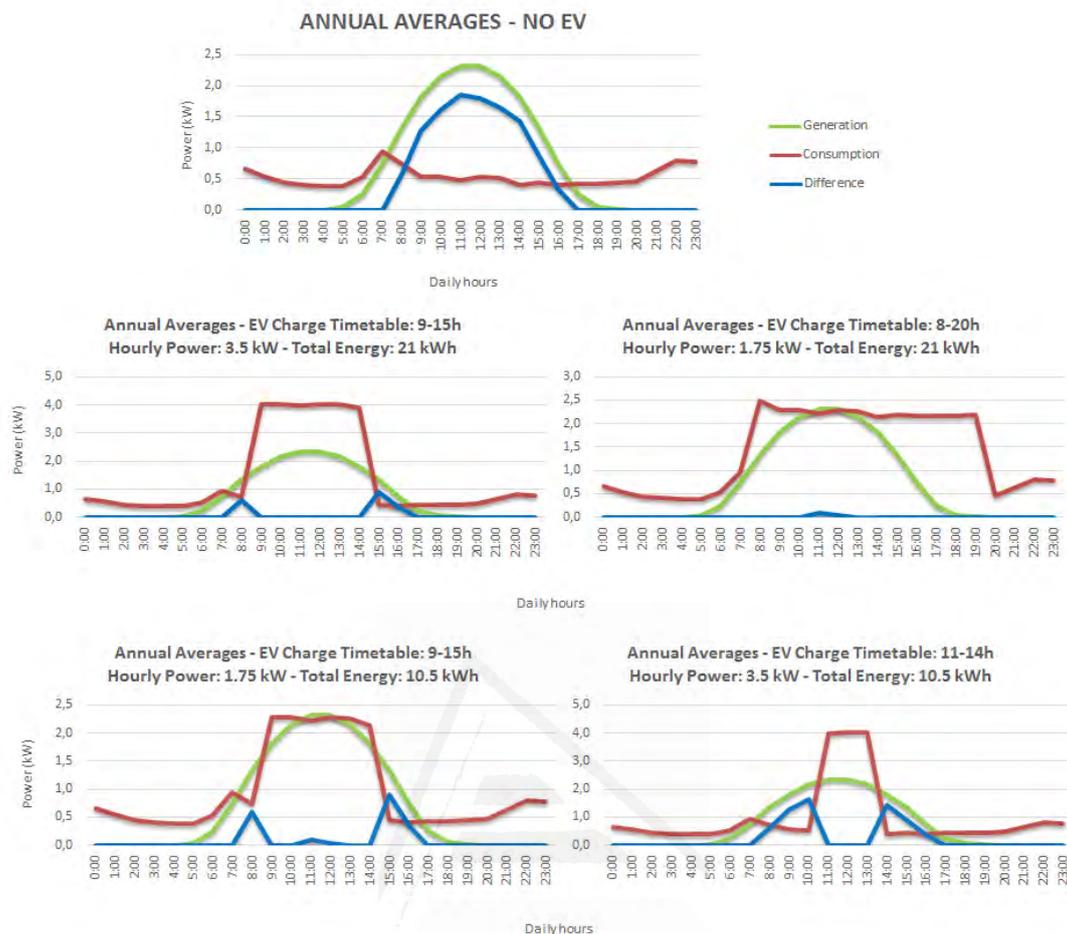


Figura 55: Comparación de diferentes características y patrones de carga para un RFZE y una instalación fotovoltaica de 3 kW. Dado que la energía de almacenamiento total para este EV es de 22 kWh, varias posibilidades son viables dependiendo de los valores de tensión y corriente de carga, tal y como se muestra en la figura. Fuente: Elaboración propia.

Las principales conclusiones que podemos deducir de estas gráficas son:

- El consumo permanente debido a los aparatos que operan continuamente (Nevera, Congelador, Router de Internet, ...) es 0,4 kW, y el valor más alto es 0,9 kW (para la ventana temporal entre las 7 y las 8 de la mañana).
- Puesto que el pico de consumo sin VE es inferior a 1 kW, una vez que la carga EV entra en juego, la potencia de carga del VE es entre 2 y 4 veces superior a la del resto de las cargas, dependiendo de la tasa de carga del VE.
- Todos los aparatos cuyo funcionamiento puede retrasarse (Lavadora, Secadora, Lavavajillas, ...) no deberían funcionar simultáneamente con la carga del VE, con el fin de distribuir los consumos lo máximo posible para aprovechar la ventana de producción fotovoltaica o bien la tarifa eléctrica más económica.

- De las conclusiones anteriores, podemos apuntar que el patrón de carga del VE que parece aproximarse más a la curva anual de producción fotovoltaica corresponde a la cuarta gráfica: Horario de carga: 9-15 h, Potencia por hora: 1,75 kW, Energía total: 10,5 kWh (aproximadamente el 50% de la carga total).
- Siempre que la planta fotovoltaica no sea capaz de alimentar las baterías del VE, la red debe entrar en juego y por tanto nuestra tarifa eléctrica debe ser tan barata como sea posible durante el horario de carga, si queremos que la red se adapte lo más posible a nuestros patrones de carga. De lo contrario, la carga de la batería debería desconectarse y un control de carga la debería poner en espera hasta que la tarifa sea más adecuada antes de reanudarla.

Por tanto, dependiendo de nuestras necesidades, podríamos implementar un mecanismo de control de carga. Existen varias soluciones para un sistema fotovoltaico con intercambio de red, como Ingecon EMS Manager [Ing]⁷⁸, que gestiona la conexión y desconexión de cargas conectadas al dispositivo en base a los datos de producción obtenidos de los convertidores de potencia y al consumo total de la instalación, o Nedap Power Router, una nueva generación de inversores fotovoltaicos con un Gestor de Baterías opcional, todos ellos combinados en una sola unidad disponible en 3 versiones (3, 3,7 y 5 kW) [NPR]⁷⁹. Además, en el punto 5.7 se aborda de manera más detallada la posibilidad de emplear autómatas programables genéricos para nuestro propósito.



Figura 56: Ejemplo de una instalación con INGECON EMS Manager. Este sistema de gestión energética implementa estrategias basadas en los diferentes dispositivos conectados al sistema y en la configuración previa establecida por el usuario. Fuente: [Ing]⁷⁸.

En el caso de que no se permita el vertido a red, estos sistemas inteligentes son capaces de gestionar la producción fotovoltaica reduciendo su punto de potencia de los módulos fotovoltaicos o apagando parcialmente la instalación fotovoltaica. Además, y con el fin de evitar el riesgo de encendidos y apagados frecuentes, podemos simplemente añadir una resistencia conmutable en un lugar seguro para disipar la energía excedente en forma de calor.

Existe también un sistema integral de monitorización y telecontrol denominado Seion [Sei]⁸⁰ y desarrollado por la empresa Seion Solutions con objeto de reducir los consumos energéticos. El sistema es interoperable con contadores, medidores, autómatas y referencias de los principales fabricantes internacionales y cuenta con monitorización, telecontrol, alarmas, simulación de facturas, indexado a pool, diagnósticos automáticos, ratios de producción, benchmarking, protocolo de ahorro y verificación IPMVP (EVO) y una API abierta. Aunque no es un sistema ideado para la conmutación y la gestión inteligente para la recarga de baterías de Vehículos Eléctricos es perfectamente adaptable a este escenario al tratarse de un sistema multifabricante y multiprotocolo.

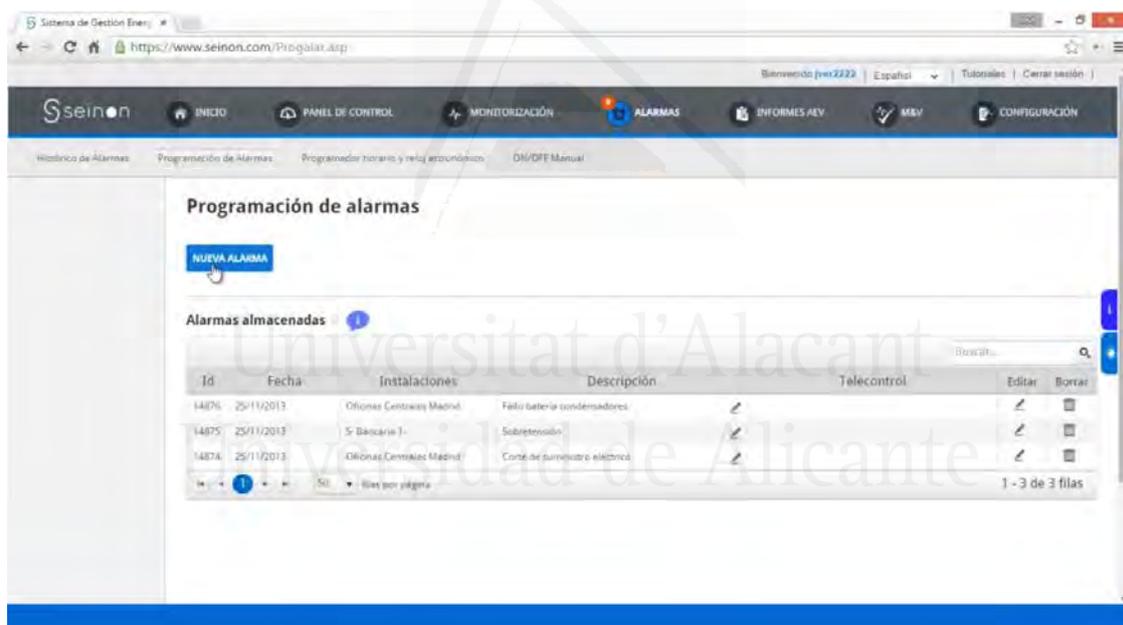


Figura 57: Instantánea de la monitorización mediante el software de gestión energética Seion. Fuente: [Sei]⁸⁰.

Por último, queremos señalar que en la actualidad se están desarrollando diferentes proyectos de investigación para determinar cuáles son los escenarios más comunes en términos de itinerarios de viaje, infraestructura de carga y comportamientos de carga para los propietarios de Vehículos Eléctricos, con el fin de empezar a obtener patrones de uso del VE [Dai]⁸¹, a pesar de que los datos sobre el uso del VE son escasos debido a los bajos niveles de adopción del mismo hasta la fecha. Sin embargo, también es cierto que a medida que la penetración del VE se incremente y se mejoren los patrones de uso,

la priorización de las cargas para nuestro sistema fotovoltaico será más sencilla ya que las necesidades de carga del VE también estarán mejor determinadas.

5.6 Conmutación por conveniencia tarifaria

Tal y como se ha determinado en el punto anterior, la tarifa eléctrica puede incluir discriminación horaria que puede, a su vez, incluir 2 períodos diarios (“Punta” y “Valle”) e incluso 3 (“Punta”, “Llano” y “Valle”), dependiendo del precio de venta de la energía en cada periodo. Se prevé que las tarifas con discriminación horaria se vayan distanciando progresivamente a partir de las tarifas planas, principalmente debido al aumento del coste de la vida, tal y como indica la Organización Española de Consumidores y Usuarios (OCU) en [OCU]⁸². Además, las tarifas con discriminación horaria pretenden favorecer el consumo durante la franja nocturna, que es precisamente cuando no disponemos de producción fotovoltaica, por lo que inicialmente se adaptan relativamente bien a una instalación de autoconsumo.

Por ejemplo, el operador eléctrico Iberdrola ofrece una tarifa denominada “2.0A” para particulares, con 2 modalidades: tarifa plana (“2.0A”, 0,044 €/kWh de 0 a 24h) y tarifa con discriminación horaria (“2.0DHA”, con 0,062 €/kWh de 12 a 22h y 0,0022 €/kWh de 22 a 12h del día siguiente). En verano, la ventana de tarifa punta se desplaza al periodo horario comprendido entre las 13 y las 23h [Ibe]⁸³.

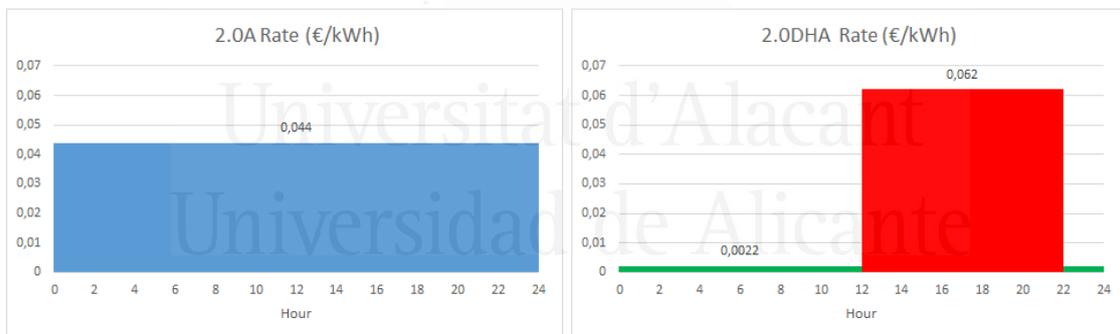


Figura 58: Comparativa entre las tarifas 2.0A y 2.0DHA del operador eléctrico Iberdrola. Fuente: [Ibe]⁸³.

Como podemos comprobar, la ventana fotovoltaica cubre varias horas de ambas tarifas, tanto en verano como en invierno.

Esto significa que debemos tratar de evitar el consumo de la red durante la ventana de tarifa punta, a no ser que sea estrictamente necesario. Ello puede ocurrir o bien porque el electrodoméstico necesita alimentación inmediata (lo que sucede fundamentalmente en el caso de la nevera o el congelador) o bien porque no podemos esperar.

Debemos decidir qué hacer con nuestro VE en el caso de que la energía fotovoltaica no permita la carga de la batería bajo un escenario de cero emisiones, lo cual puede suceder en varios supuestos:

- Necesidad de cargar nuestro VE fuera de la ventana de producción fotovoltaica.
- Día Nublado / Nubes intermitentes.
- Varios electrodomésticos consumiendo a la vez.

En estos casos será mejor cargar nuestro VE durante la ventana de la tarifa valle. De hecho, una tercera modalidad para la tarifa 2.0A de Iberdrola, denominada "2.0DHS", incluye una tarifa "Supervalle", (0,000886 €/kWh de 1 a 7h), para permitir la recarga nocturna del VE [Ibe]⁸³. Esta es sin duda la mejor alternativa en caso de que la energía solar fotovoltaica no sea suficiente para las necesidades de carga del VE.

En [Dal]⁸⁴ se ha realizado una simulación completa utilizando una estrategia de carga indirecta basada en la respuesta de precios al consumidor, incluyendo precios horarios y comportamientos de conducción en combinación con dispositivos inteligentes como termostatos o VEs que optimizan su demanda dependiendo de una señal de control para involucrar a los consumidores en el mercado eléctrico. Como mecanismo de control indirecto, el proveedor de servicios envía las tarifas en forma de señal y el consumidor (o bien un dispositivo controlado automáticamente y programado por el consumidor) decide reducir o cambiar la carga cuando el precio es alto, o bien pagar el precio más alto.

El último parámetro a tener en cuenta es la batería del VE como un proveedor de energía para el resto de las cargas del sistema (opción de almacenamiento a corto plazo), por lo que tendríamos de hecho un sistema "Vehicle-To-Grid" (V2G) o un "Vehicle-To-Home" (V2H), como se explica ampliamente en [V2G]⁵⁵, [Mia]⁷⁶, [Liu]⁸⁵ y [Mwa]⁸⁶, e incluso un estudio específico para un estacionamiento FV que desempeña un papel de "Smart Grid" [Nun]⁸⁷.

Por lo tanto, y con arreglo a todo lo anterior, podríamos implementar un escenario V2G bajo un supuesto de conveniencia tarifaria para alimentar las cargas durante la ventana de tarifa punta y seguidamente cargar las baterías del VE durante la ventana de las tarifas valle o supervalle, y también al día siguiente. De esta forma, e incluso en el caso de que no estemos cargando la batería de nuestro VE desde la planta fotovoltaica, en realidad estamos realizando un balance neto por el cual la misma cantidad de "energía verde" que iba destinada a cargar la batería del VE se destina a alimentar el resto de las cargas, y además estamos consiguiendo un ahorro económico.

5.7 Autómatas programables

Tal y como se ha mencionado en el punto 4.5, algunos fabricantes como Ingecom [Ing]⁷⁸ o Nedap [NPR]⁷⁹ han desarrollado soluciones “llave en mano” para sistemas fotovoltaicos con intercambio de red, como EMS Manager o Power Router, respectivamente.

No obstante, también cabe la posibilidad de recurrir a autómatas programables genéricos, ampliamente utilizados para infinidad de aplicaciones. Este es el caso de Arduino (y su módulo de ampliación Raspberry), tal y como se describe en [Bla]⁸⁸, una aplicación para el estudio de la transmisión de calor dentro de un material empleando una placa Arduino Uno para la medida continua y grabación en una tarjeta SD de los valores de temperatura procedentes de los sensores DS18S20 de Maxim Dallas Semiconductor empleados para tal fin y que transmiten datos de 9 bits a través de un bus de un solo hilo, lo que permite utilizar una sola línea de comunicación para obtener las medidas de hasta 25 sensores. Con estos sensores se puede obtener hasta una medida cada 750 milisegundos.



Figura 59: Placa de circuito impreso Arduino Uno. Fuente: www.arduino.cc.

Como podemos ver en el *Project Hub* de la comunidad Arduino [Ard]⁸⁹ y en la web *Aprendiendo Arduino* [Cre]⁹⁰, existen infinidad de aplicaciones con Arduino: desde la automatización industrial pasando por la domótica, el aprendizaje de la electrónica, la tecnología para artistas, la eficiencia energética, la monitorización, la adquisición de datos, etc.

Además de Arduino, otro autómatas programables de uso muy extendido para aplicaciones de conmutación mediante relés es CP1-E, del fabricante Omron. En [Boi]⁹¹ se describe un sistema de programación para un escenario de conmutación entre una instalación fotovoltaica a pequeña escala y diferentes cargas, tal y como se describe en el presente capítulo.

Por su interés ya que está directamente relacionado con la temática tratada, describiremos a continuación las principales ideas de este sistema.

5.7.1 Autómata CP1-E y principales dispositivos periféricos

CP1-E es un PLC utilizado sobre todo en la automatización de procesos industriales, que permite controlar procesos secuenciales. En función de las señales de los sensores conectados a sus entradas y la lógica del programa actúa sobre los actuadores conectados a su salida. Las señales de entrada y salida pueden ser analógicas o digitales.

En [OM1]⁹² (Guía de introducción de usuario) y [OM2]⁹³ (Manual de operación) se describe ampliamente la instalación y el funcionamiento del autómata.

Para la programación y configuración del CP1-E se utiliza el software CX-Programmer, también del fabricante Omron, tal y como veremos en el punto siguiente:



Figura 60: Autómata CPE-1. Fuente: www.omron.es.

CPE-1 dispondrá de entradas y salidas digitales, puerto USB y COM1 para la posibilidad de conexión a PC, o a una pantalla externa para controlar distintas funciones de la programación del autómata a tiempo real.

Los principales dispositivos periféricos del autómata CP1-E son los siguientes:

- **Fuente de alimentación:**

Para la elección de la misma debemos basarnos en dos criterios: Rango de tensión de entrada y potencia máxima de salida.

- **Relés de detección de corriente o "Relés WI":**

Son dispositivos electrónicos con un relé de salida que se conecta o desconecta según el nivel de corriente detectado en el circuito [RWI]⁹⁴. En caso de corrientes elevadas será necesario utilizar un transformador de intensidad.

El nivel de disparo del Relé WI es ajustable mediante un potenciómetro situado en la parte frontal, se puede ajustar el retardo por separado en los tiempos de

conexión y desconexión del relé de salida produciéndose un rearme de forma automática.

- **Relés de conmutación entre Red y Generador:**

Este tipo de relés actúan a modo de comparadores entre la línea general de alimentación y el generador mediante una detección de niveles de tensión de ambos [Vic]⁹⁵.

Por lo general los inversores disponibles actualmente en el mercado disponen de un sistema de conmutación entre la red eléctrica y el generador; sin embargo necesitamos dar constancia al PLC de que se ha producido esta conmutación, normalmente cuando la demanda es superior a la producción en un sistema de autoconsumo sin baterías, como en el caso que nos ocupa. Por ello, una opción es utilizar un relé de conmutación entre 2 líneas que funcionan en paralelo.



Figura 61: Relé ATS40V230 Victron Transfer Switch 5kVA / 10kVA.

Fuente: www.victronenergy.de.

- **Relés de conmutación por tensión (Relés de estado sólido o SSR):**

Lo utilizaremos para poner en funcionamiento dispositivos eléctricos o electrónicos mediante una señal de control, como se detalla en [SSR]⁹⁶ y [Pho]⁹⁷.

Como podemos observar en la Figura 62, a través de los terminales de control se lleva la señal para que actúe el transistor interno que permite el paso de corriente por los terminales de potencia. Una de las principales características de un relé de estado sólido es que entre la corriente del circuito de control y la corriente del circuito de potencia no existe ningún punto donde se conecten, se unan o interfieran una con la otra. Esto es de suma importancia para independizar el circuito de control de potencia.

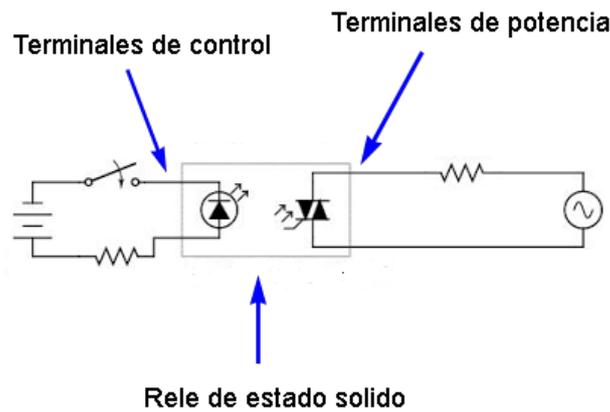


Figura 62: Esquema de funcionamiento del Relé de Estado Sólido. Fuente: www.infootec.net.

Por ejemplo, por los terminales de control podemos estar trabajando con una tensión de 24 Voltios en corriente continua, mientras que los terminales de potencia pueden estar trabajando con una tensión de 230 Voltios en corriente alterna. Cuando cerramos el interruptor de la figura y hacemos pasar una corriente por el circuito de control, actuará el led interno del relé emitiendo fotones y haciendo actuar el tiristor en la parte de potencia del relé. La función del tiristor será la de dejar pasar la corriente de potencia al recibir los fotones del led.

La corriente de potencia tiene en este caso una tensión de 230 Voltios de corriente alterna, independientemente de la tensión de trabajo de la parte de control, que es de 24 Voltios en corriente continua. Es importante saber que el tiempo de respuesta desde que actúa el circuito de control hasta que actúa el circuito de potencia es del orden de 50 a 100 milisegundos.

Existe una ventaja importante entre los relés de estado sólido y los relés electromecánicos, y es el menor deterioro de los SSR al no tener partes mecánicas. También es importante tener en cuenta la independencia del circuito de control con el circuito de potencia, ya que gracias a esta separación todas las corrientes extras o defectuosas no se verán interferidas entre sí.

La intensidad máxima a la hora de escoger un relé u otro dependerá del tipo de carga y de su potencia, para con arreglo a ella determinar la intensidad máxima de paso que deberá soportar el relé. Por ejemplo para alimentar un motor de lavadora con una potencia media instantánea de 600 W y picos que superan el valor medio en 4 veces su valor es necesario que el relé permita el paso de intensidades eléctricas del orden de 15 Amperios.

- **Pantalla de operación del sistema:**

A la hora de controlar la prioridad entre unas cargas y otras es necesario que el usuario pueda configurar éstas de la forma que más se adecúe a su estilo de vida o a sus necesidades, por lo que será necesario un control del autómatas variando parámetros como el horario de carga de su Vehículo Eléctrico o la programación del horario para electrodomésticos diferibles como lavadora, lavavajillas y secadora.

Con el fin de que sea lo más sencillo posible para el usuario, lo ideal es utilizar una pantalla-display táctil compatible con el autómatas, como se muestra en la Figura 63:



Figura 63: Pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. Fuente: Fuente: www.omron.es.

A la hora de escoger esta pantalla se ha tenido en cuenta sobre todo la compatibilidad con un tipo de PLC u otro, que la hace ideal para incorporarla a cualquier tipo de sistema actualmente en el mercado.

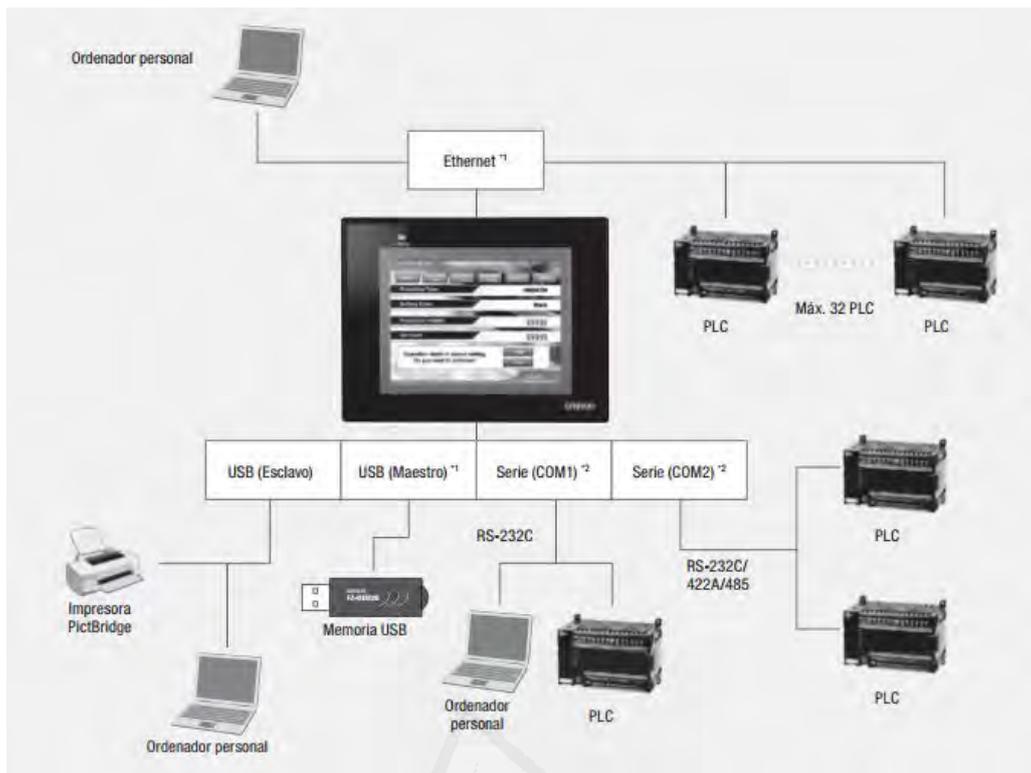


Figura 64: Esquema con los distintos tipos de conexionado posibles en la pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. Fuente: Fuente: www.omron.es.

5.7.2 Entorno de programación del Autómata CP1-E

El entorno de programación de CP1-E es el lenguaje de relés CX-Programmer, creado y distribuido por Omron Software.

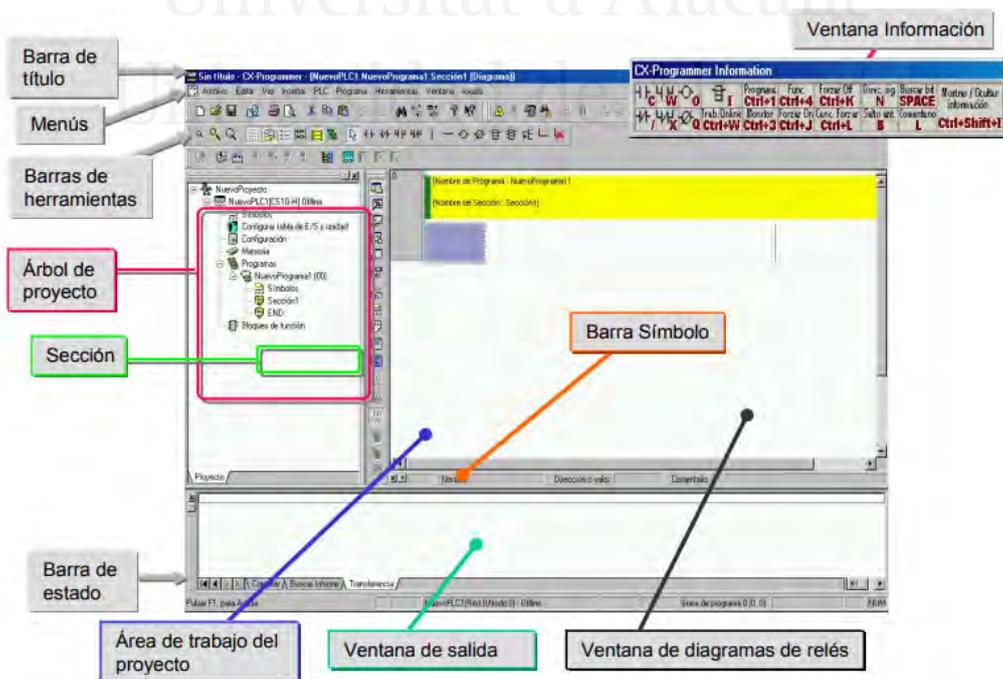


Figura 65: Entorno de trabajo de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

El entorno es similar al de otros programas orientados a objetos, y podríamos destacar los siguientes bloques:

- Sección: Permite dividir un programa en varios bloques. Cada uno se puede crear y visualizar.
- Área de trabajo del proyecto y Árbol de proyecto: Controla los programas y datos. Permite copiar datos por elemento mediante la ejecución de una operación de arrastrar entre los distintos proyectos o dentro de un proyecto.
- Ventana de diagramas de relés: Para crear y editar un programa de diagrama de relés.
- Ventana de salida: Muestra información de errores al compilar, muestra los resultados de buscar contactos/bobinas en el formulario de lista y muestra los detalles cuando se producen errores al cargar un archivo de proyecto.
- Barra de estado: Muestra la información referente al nombre del PLC, el estado online/offline, o la ubicación de una celda activa.
- Ventana de información: muestra una pequeña ventana para indicar las teclas de acceso rápido básicas utilizadas en CX-Programmer.

- **BOOL**: Variable de un bit
- **CHANNEL**: Variable de una palabra. Hace referencia a cualquier variable no booleana
- **DINT**: Variable de dos palabras en binario con signo
- **INT**: Variable de una palabra en binario con signo.
- **LINT**: Variable de cuatro palabras en binario con signo.
- **NUMBER**: Constante numérica en formato decimal.
- **REAL**: Variable de 2 palabras (32Bit) con formato en coma flotante
- **LREAL**: Variable de 4 palabras (64Bit) con formato en coma flotante
- **UDINT**: Variable de dos palabra en binario sin signo
- **UDINT_BCD**: Variable de dos palabras en formato BCD (8 dígitos).
- **UINT**: Variable de una palabra en binario sin signo
- **UINT_BCD**: Variable de una palabra en formato BCD (4 dígitos).
- **ULINT**: Variable de cuatro palabras en binario sin signo.
- **ULINT_BCD**: Variable de cuatro palabras en formato BCD (16 dígitos)
- **WORD**: Variable de un cadena binaria de 16 bits
- **DWORD**: Variable de un cadena binaria de 32 bits
- **LWORD**: Variable de un cadena binaria de 64 bits
- **STRING**: Los datos que operan como conjuntos de caracteres

Figura 66: Tipos de datos empleados en CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

Para trabajar con CX-Programmer, antes de comenzar a introducir el código, es necesario definir los símbolos que serán utilizados en el programa. Para CX-Programmer, un

símbolo no es más que una dirección de memoria a la que se asocia un nombre o un comentario.

Para definir un símbolo tan solo tenemos que llenar tres campos; es decir, indicar su nombre, ubicarlo en una dirección e indicarle un tipo de variable. En la tabla de la Figura 66 se muestran los tipos de datos en CX-Programmer.

Podemos hacer doble click sobre el icono de símbolos locales para visualizar la tabla. Y en cualquier zona de la tabla hacemos click con el botón derecho y seleccionamos “insertar símbolo”, con lo que se abre la siguiente ventana:



Figura 67: Ventana emergente de CX-Programmer para la inserción de nuevo símbolo. Fuente: Elaboración propia.

Donde podremos definir el nombre del símbolo, el tipo de dato y asignarle una dirección. Y nos aparecerá en la ventana principal.

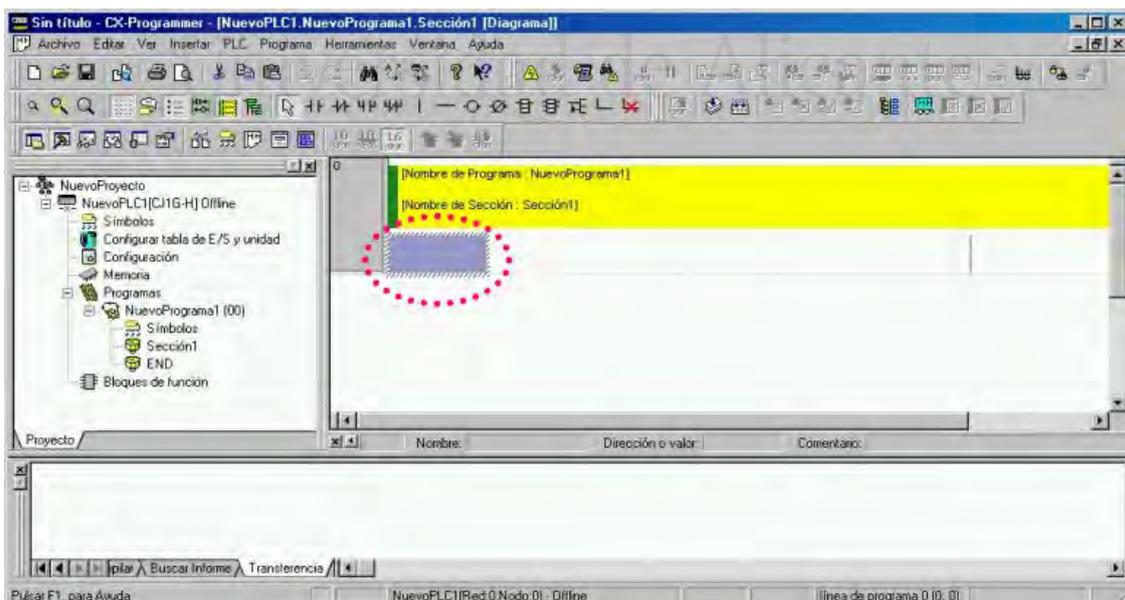


Figura 68: Ventana principal de CX-Programmer tras la inserción de nuevo símbolo. Fuente: [OM2]⁹³.

A continuación es necesario introducir el tipo de símbolo. Podemos destacar los siguientes: Contacto normalmente abierto, Contacto normalmente cerrado, Entrada de bobina, Instrucción SET/RSET y Entrada de instrucciones de temporizador.

- **Contacto normalmente abierto**

Para ello, en la barra de herramientas, debemos pulsar en el icono que muestra la imagen a continuación.



Figura 69: Símbolo de Contacto normalmente abierto en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

Y CX-Programmer nos pedirá dirección del contacto en la que podemos introducir por defecto “0” y nombre “Interrupor 1”.

Añadiremos un contacto del tipo normalmente abierto:



Figura 70: Inserción de Contacto normalmente abierto en CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

El símil para este tipo de contactos es un pulsador que en función de la dirección que le hayamos asignado actuará mediante una señal externa o mediante una señal digital. Por ejemplo la dirección 0.00 corresponde a la entrada física del autómeta 0.0 que se activará cuando este reciba un pulso de 24 V por el borne 0.0 y se desactivará cuando deje de recibirlo.

Asignándole una dirección w0.00 la entrada sería de tipo digital, es decir que no se activa de forma externa si no que lo hace por alguna función programada previamente en el autómeta como una bobina asignada a esa dirección.

- **Contacto normalmente cerrado**

Un contacto normalmente cerrado corresponde al icono justo a continuación del normalmente abierto.

En esencia tiene las mismas características que un contacto normalmente abierto, solo que su estado inicial es “cerrado” como si fuese un pulsador que está continuamente activado y se desactiva cuando recibe un pulso de 24 V.

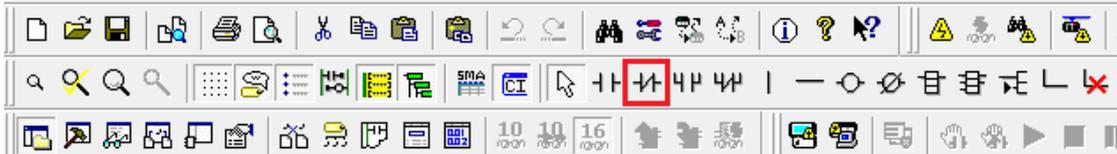


Figura 71: Símbolo de Contacto normalmente cerrado en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

- **Entrada de bobina**

Para introducir una Entrada de bobina, debemos pulsar en el icono de la barra de herramientas que muestra la imagen a continuación. Nos pedirá dirección de la bobina en la que pondremos por defecto "0" y nombre "Bobina 0".

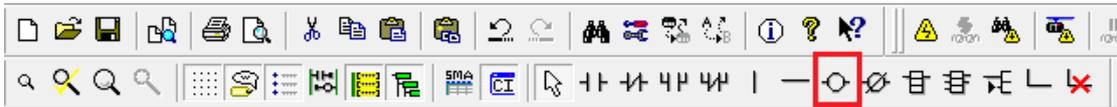


Figura 72: Símbolo de Entrada de bobina en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

El símbolo para este tipo de contactos es una bobina o lámpara que se activará generalmente mediante un contacto programado unido a su misma línea, como muestra la imagen. Ésta se activará cuando el interruptor 0.00 esté activo.



Figura 73: Ejemplo de Entrada de bobina en CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

La bobina puede ser una salida digital del autómeta o una salida física. Las salidas físicas vienen dadas por las direcciones (100.00, 100.01, 100.02...), por lo que para enviar un pulso de 24 V del autómeta al exterior por el borne Q0.1 será necesario activar una bobina con la dirección asignada de 100.01.

A continuación se muestra un ejemplo de los 3 elementos combinados.



Figura 74: Ejemplo de combinación de Contacto normalmente abierto, Contacto normalmente cerrado y Entrada de bobina en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Mediante el contacto normalmente abierto 0.00 o el contacto normalmente cerrado 0.01 se activará la bobina 100.01, que en estado normal permanecería activa por el contacto 0.01 al ser normalmente cerrado.

- **Instrucción SET/RSET**

Se selecciona en la Barra de Herramientas mediante el icono de instrucciones especiales marcado en rojo y mostrado en la figura siguiente:



Figura 75: Símbolo de Instrucción SET/RSET en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

Este tipo de instrucción se muestra en la siguiente imagen mediante un ejemplo de dos contactos normalmente abiertos funcionando en paralelo.



Figura 76: Ejemplo de Instrucción SET/RSET en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Esta instrucción similar a una Entrada de bobina; sin embargo, la Entrada de bobina se activa cuando el contacto es activado y se desactiva cuando el contacto deja de recibir corriente. Por el contrario, en la función SET la bobina queda realimentada por lo que cuando activamos el contacto 0.00 activaríamos la bobina 100.01 quedando ésta activada permanentemente aunque el contacto quede desactivado, siendo necesario una función RSET que activaríamos con el contacto 0.01 si quisiéramos que la salida 100.01 dejara de enviar tensión a través del borne del autómata.

- **Entrada de instrucciones de temporizador**

La entrada temporizador se selecciona en la Barra de Herramientas mediante el icono de instrucciones especiales marcado en rojo y mostrado en la figura siguiente:

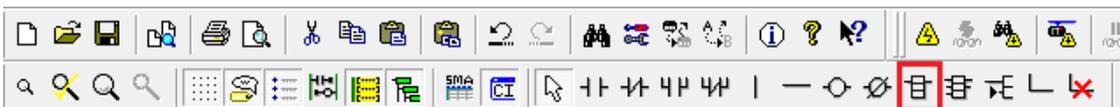


Figura 77: Símbolo de Entrada de instrucciones de temporizador en la Barra de Herramientas de CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

Añadiendo la instrucción especial y haciendo doble clic podemos seleccionar la instrucción “TIM” y como se muestra en la imagen a continuación.

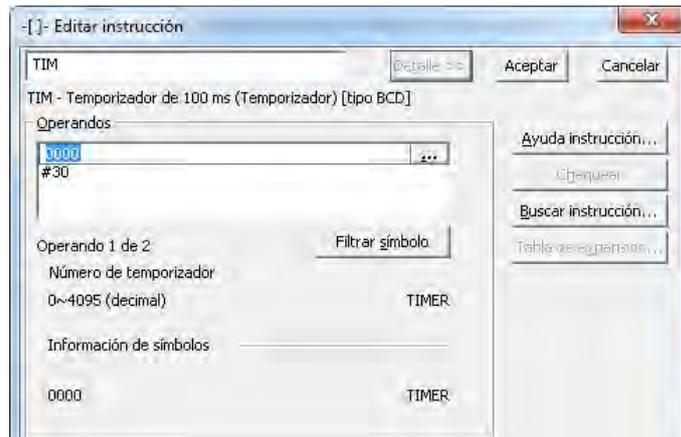


Figura 78: Ventana emergente de CX-Programmer para la inserción de instrucciones de temporizador. Fuente: Elaboración propia.

Mediante la pestaña “Ayuda Instrucción” podemos encontrar información acerca de los tipos de temporizadores y los valores que debemos asignar a esta instrucción para que funcionen con normalidad.

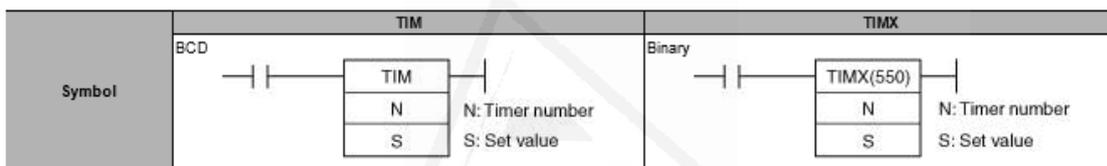


Figura 79: Ventana “Ayuda Instrucción” con información sobre los tipos de temporizadores en CX-Programmer. Fuente: [OM2]⁹³.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo desactivar una salida física mediante un contacto abierto de forma temporizada. Para ello se ha añadido un contacto normalmente abierto para activar un temporizador de 100 ms por cada unidad con un valor de #30, por lo que tendremos una temporización de 3 segundos.

Al activarse el contacto normalmente abierto 0.00 empezará a temporizar el TIM0000 y pasados 3 segundos se activará el RSET de la bobina 100.01.

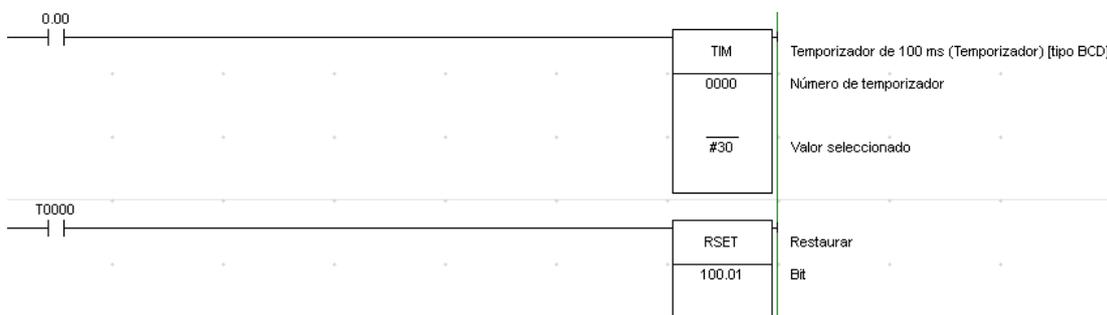


Figura 80: Ejemplo de desactivación de salida física mediante un contacto abierto de forma temporizada en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Los diferentes elementos de CX-Programmer nos permiten, a través de una ventana de propiedades como la mostrada en la Figura 81, modificar sus parámetros principales, de manera análoga a los lenguajes de programación orientada a objetos como *Visual Basic* o *Visual Java*.

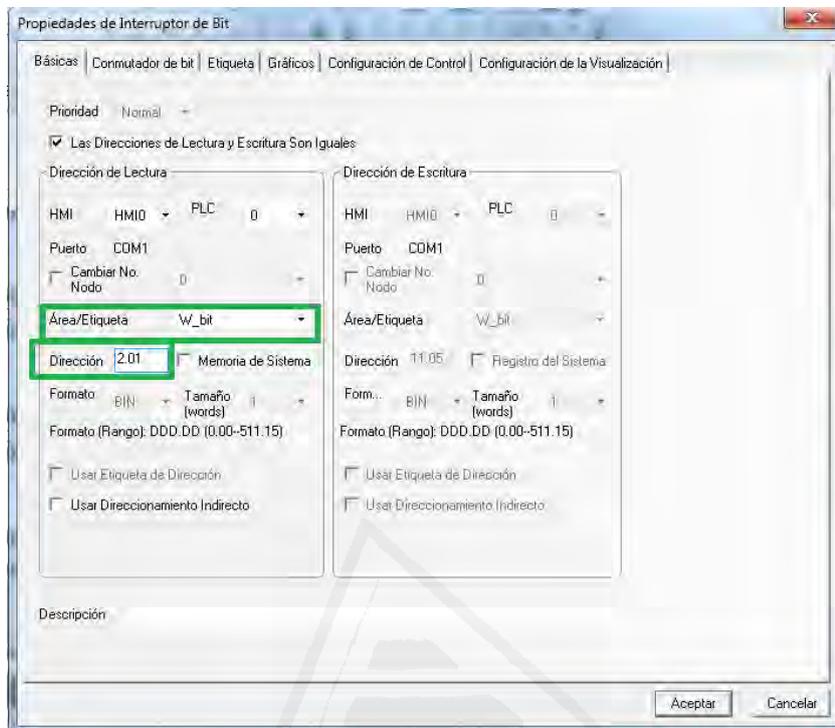


Figura 81: Ventana emergente de programación de un interruptor de 1 bit en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

5.7.3 Programación de CP1-E para algoritmos de priorización

Como se ha abordado en apartados anteriores, las cargas que podemos gestionar adaptando su uso a distintos horarios durante el día, además del cargador del Vehículo Eléctrico, son aquellos electrodomésticos de uso diferible. Básicamente lavadora, secadora, lavavajillas, ... y entornos rurales también sistemas de bombeo de agua, riego por aspersión y similares. Nos quedaremos con los 4 primeros para el ejemplo que se aborda a continuación.

Su programación está motivada por el aprovechamiento de la electricidad producida por un sistema fotovoltaico, así como por adaptarse al máximo posible a las franjas más interesantes para el consumo en aquellas tarifas con discriminación horaria.

Consideraremos por tanto la programación del autómatas CP1-E con CX-Programmer, mediante un algoritmo de priorización para una vivienda media con una instalación solar fotovoltaica de 3kW, y 4 receptores a controlar: lavadora, lavavajillas, secadora y carga de VE. Estableceremos una prioridad entre ellas en función de la utilización dentro de la ventana fotovoltaica y el intervalo tarifario.

Las 4 cargas o receptores a controlar se activarán por medio de relés de tensión accionados por pulsos que recibirán del autómatas por medio de las salidas físicas Q100.00, Q100.01, Q100.02 y Q100.03.

Por otro lado el autómatas recibirá información a través de pulsos continuos de 24V accionados a través de relés de paso de intensidad o relés comparadores a través de las entradas I0.0, I0.1, I0.2, I0.3 y I0.4.

La información horaria para activar o desactivar las cargas en función de si la hora actual corresponde al intervalo horario Valle o Punta no la obtendremos de forma externa, sino que se utilizará una instrucción interna del autómatas llamada "DT" que establece una comparación entre la hora actual y un rango de horas asignado para activar o desactivar una bobina digital.

A la hora de priorizar las cargas debemos tener en cuenta que el consumo de un VE medio es elevado comparado con las cargas que podríamos controlar en una vivienda, por lo que cargarlo dentro de la ventana fotovoltaica supondría que los otros receptores de carga diferible como lavadora, secadora y lavavajillas deberían desactivarse, pudiendo reactivarse cuando finalice la carga del vehículo, de forma preferente cuando nos encontremos dentro de la ventana FV o el periodo valle. Por otro lado estas cargas diferibles no deberían ser desactivadas a mitad de su ciclo de funcionamiento.

Por este motivo la prioridad en la ventana fotovoltaica es el VE respecto al resto de cargas a controlar; sin embargo a la hora de desconexión de estas cargas la prioridad se establece justo en sentido contrario.

En la Figura 82 podemos ver un ejemplo de programación en la priorización de cargas, en la que observamos cómo las cargas programadas por el usuario estarían funcionando dentro de la ventana fotovoltaica siempre y cuando la producción FV sea superior al consumo total de las cargas. De esta forma se evita que éstas se activen si el VE está cargándose, ya que éste ocupa gran parte de la ventana fotovoltaica en una instalación de una vivienda básica.

En este caso el contacto "normalmente abierto" W1.10 se activará cuando la producción supere a la demanda y hará funcionar las cargas controlables siempre y cuando el detector de intensidad del vehículo eléctrico W1.11 esté inactivo.

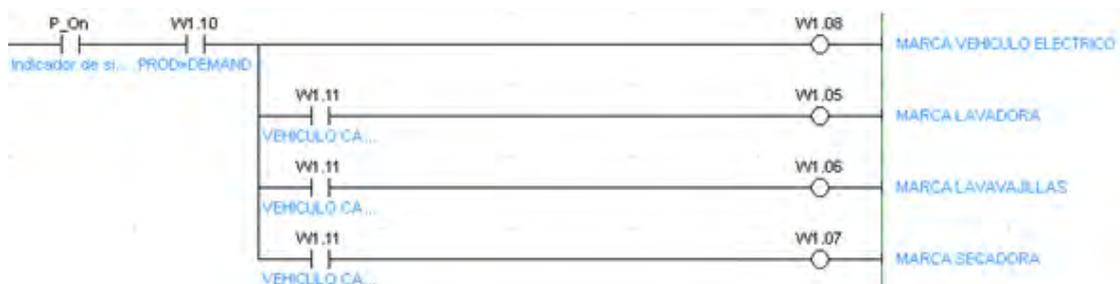


Figura 82: Ejemplo de programación en la priorización de cargas cuando el vehículo eléctrico está conectado. Fuente: Elaboración propia.

En caso de que el usuario decida utilizar estas cargas en periodo punta tendrá esa opción o bien desactivando la priorización de cargas o bien configurando desde la pantalla, como se muestra en la Figura 83.



Figura 83: Aspecto de la pantalla táctil Omron NB7W-TW00B. En la parte derecha, los 3 modos de funcionamiento disponibles. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 84 se muestra la activación de la alimentación de una de las cargas diferibles (por ejemplo la lavadora) de 3 modos distintos. En primer lugar de una forma automática mediante la entrada digital W1.05 siempre y cuando el VE no esté funcionando y la configuración manual no esté activada. En segundo, la configuración manual en la que el usuario podrá definir una programación de rango horario para activar o desactivar las cargas controladas individualmente. La tercera opción es un modo libre que desactiva todas las funciones de control de carga para que el usuario tenga esta opción en caso de que sus necesidades requieran esta activación de forma temporal.

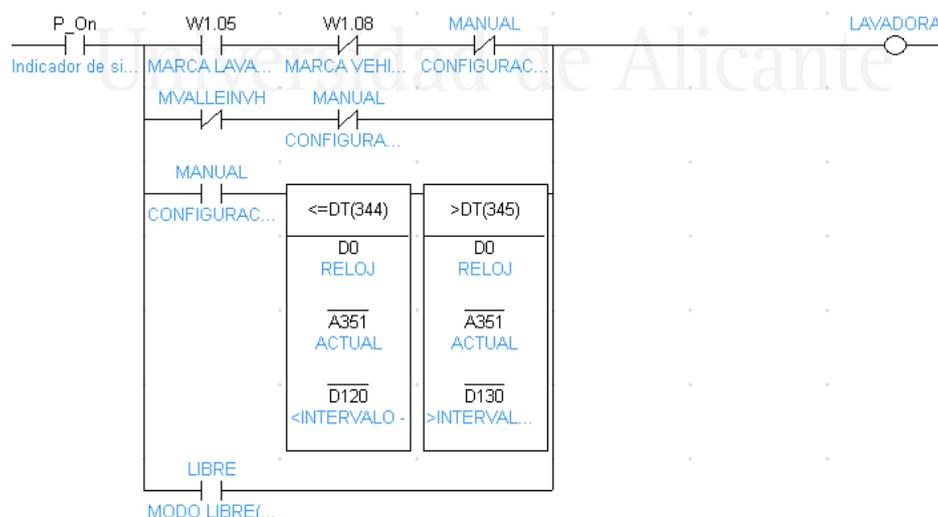


Figura 84: Activación de carga de 3 modos posibles definidos por el usuario en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Necesariamente debe existir una programación que nos diga cuándo podemos o no activar una u otra carga y cuando debemos desactivar ésta. En el caso del Vehículo

Eléctrico, éste se activará directamente cuando la producción sea superior a la demanda; es decir, cuando nos encontremos dentro de la ventana fotovoltaica y ninguna de las otras cargas diferibles (lavadora, lavavajillas, o secadora) esté funcionando en ese momento.

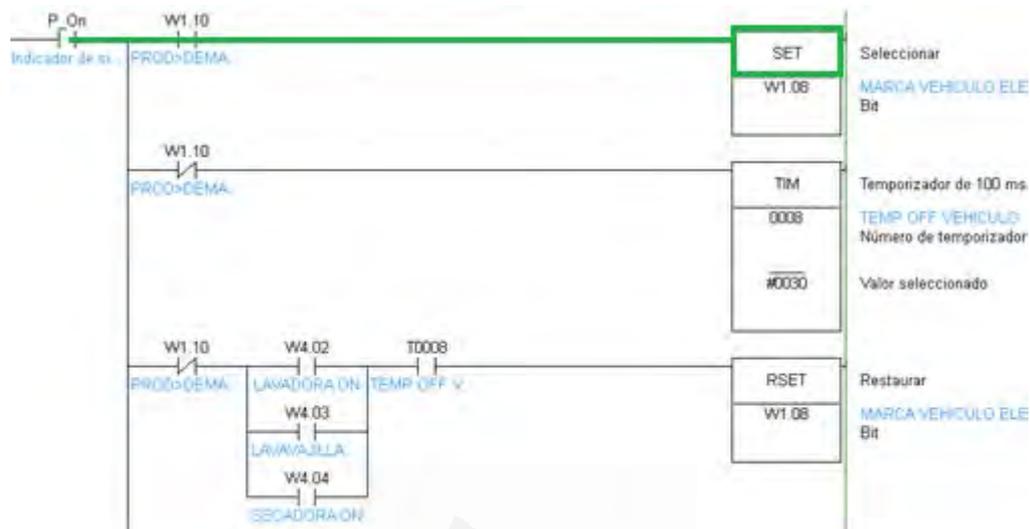


Figura 85: Activación/desactivación del modo automático para el Vehículo Eléctrico en CX-Programmer. Fuente: Elaboración propia.

Por último, debemos tener en cuenta que para la programación, ya sea automática o manual, de la activación de los electrodomésticos (lavadora, secadora o lavavajillas), éstos deben estar adaptados para activarse de forma autónoma ya sea porque su activación es puramente mecánica o ya sea mediante un sistema circuito automatizado de encendido. Dicho de otra manera, que se trate de electrodomésticos que puedan empezar a trabajar cuando se conecta la alimentación.

5.8 Entorno regulador

Algunos estudios recientes, relacionados con el que hemos acabamos de presentado en el Punto 5.5, han sido publicados durante los últimos meses, como puede comprobar el lector observando su año de publicación en la sección de referencias. Esto significa sin ningún lugar a dudas que las redes inteligentes que incorporan las Renovables y los VEs crecerán considerablemente en los próximos años. Y los puntos clave serán sin duda la determinación de algoritmos adecuados que consideren las necesidades y comportamientos habituales de los usuarios para optimizar el consumo, haciéndolo lo más verde posible.

En España existe incluso un Programa de Investigación patrocinado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad denominado SIDER (del inglés "Smart Inverter for Distributed Energy Resources"), para promover el desarrollo de un inversor capaz de gestionar activamente la interfaz de interconexión con la red. En [ReC]⁹⁸, se desarrolla un dispositivo de energía inteligente para proporcionar al inversor la capacidad de analizar parámetros, eventos, protecciones y comunicaciones.

También en España, el Real Decreto vigente [B01]⁹⁹ trata de fomentar el autoconsumo fotovoltaico sin vertido a red, facilitando todos los procedimientos siempre que el propietario de la instalación fotovoltaica se comprometa a instalar dispositivos de “vertido cero” en los inversores o paneles solares. Esta circunstancia abrirá también el debate sobre el número de kWh que se verán malgastados a causa de las limitaciones legales.

De la misma manera, también existe una figura denominada “Gestor de Cargas” (revendedor de energía) que está prohibida en nuestro país, pero está permitida únicamente para la carga del VE [B02]¹⁰⁰, y una legislación específica sobre la infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos a partir de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) 52 dentro del Reglamento de Baja Tensión [B03]¹⁰¹. De esta manera, una vez que el sector del VE se desarrolle y los gestores de carga operen con normalidad, aparecerán nuevos puntos de carga para VEs y, en consecuencia, se necesitarán nuevos contadores y dispositivos de conmutación para determinar la cantidad de energía consumida por cada VE que ha sido recargado a partir de la infraestructura puesta a disposición de los usuarios por parte del gestor de carga.

La recarga de la batería (para los VEs), y de manera general, el consumo (para el conjunto de electrodomésticos) basado en la generación fotovoltaica distribuida, añade eficiencia a toda la cadena de valor, ya que es capaz de minimizar los pasos intermedios:

- Para los vehículos convencionales: Desde la extracción de petróleo, pasando por la refinería, transporte y distribución a través de la red de estaciones de servicio.
- Para la electricidad obtenida de la red: Desde el conjunto de fuentes eléctricas (Nuclear, Hidráulica, Carbón, Ciclo Combinado e incluso las Renovables bajo la modalidad de Producción Centralizada, como sucede con los grandes parques eólicos o fotovoltaicos) hasta el enchufe, pasando por las centrales eléctricas y redes de transporte.

Sin embargo, también es cierto que la variabilidad y la incertidumbre están inevitablemente presentes cuando dependemos de la energía solar y aún más cuando dependemos del viento.

Afortunadamente, una gran parte de los electrodomésticos de los segmentos doméstico, de la oficina y de la industria funcionan las 24 horas del día, por lo que podemos delimitar fácilmente nuestro umbral inferior de consumo. En cuanto al umbral superior, siempre podremos recurrir a las estadísticas o al historial de consumo proporcionado por las facturas de electricidad.

Una idea clave mencionada en [Ric]⁷² puede ser una buena conclusión final para el capítulo: “La idea subyacente tras la recarga inteligente es poder cargar el vehículo cuando es más beneficioso, lo cual podría tener lugar cuando la electricidad está a su precio más bajo, cuando la demanda es más baja, cuando hay exceso de capacidad, o bien basándonos en alguna otra métrica.”

Capítulo 6 : Conclusiones y futuras líneas de investigación

6.1 Conclusiones

Los avances del vehículo eléctrico y de las energías renovables en generación distribuida, con especial hincapié en la solar fotovoltaica por su mayor universalidad y predictibilidad y menor impacto visual, deben ir de la mano puesto que también pueden compartir públicos objetivos e intereses políticos, económicos y sociales.

Las numerosas investigaciones realizadas hasta la fecha demuestran que conforme el sector de la movilidad eléctrica se vaya abriendo paso de manera imparable en el mercado de la automoción, diferentes modelos de recarga del vehículo eléctrico se irán imponiendo por su simplicidad, usabilidad y escalabilidad. Y el desarrollo simultáneo de los modelos de autoproducción y autoconsumo con energías renovables influirá, sin lugar a dudas, en los modelos de recarga.

Una de las claves sin duda para convertir este modelo en una realidad de éxito será caracterizar con precisión y poner en práctica los escenarios óptimos temporales (tanto en la franja de producción diaria como en función de la época del año) de nuestro sistema, de forma que pueda determinar si en un determinado momento es más conveniente la recarga de las baterías del vehículo, el uso de la energía para otras cargas, o bien el envío a la red por necesidades de suministro y de esta forma no solo reducir su impacto sobre el sistema eléctrico sino también contribuir a su sostenibilidad ambiental. Las Smart Grids están llegando para quedarse y el vehículo eléctrico y la generación distribuida mediante renovables quieren ser actores principales de este ilusionante reto de futuro.

Algunos autores, como es el caso de [Bha]¹⁹ y [Ash]⁷³ han caracterizado un sistema integrado y compuesto por: Campo Fotovoltaico, Convertidor DC-DC, Cargador Bidireccional, Inversor Bidireccional, Batería del Vehículo Eléctrico o Batería de Tracción y Red Eléctrica, interactuando entre sí a modo de Smart Grid.

Una versión ampliada del diagrama de bloques de la Figura 22 se muestra en la Smart Grid de la Figura 86, con 5 modos de funcionamiento en función del sentido del flujo eléctrico entre campo fotovoltaico, red eléctrica y Batería de Tracción:

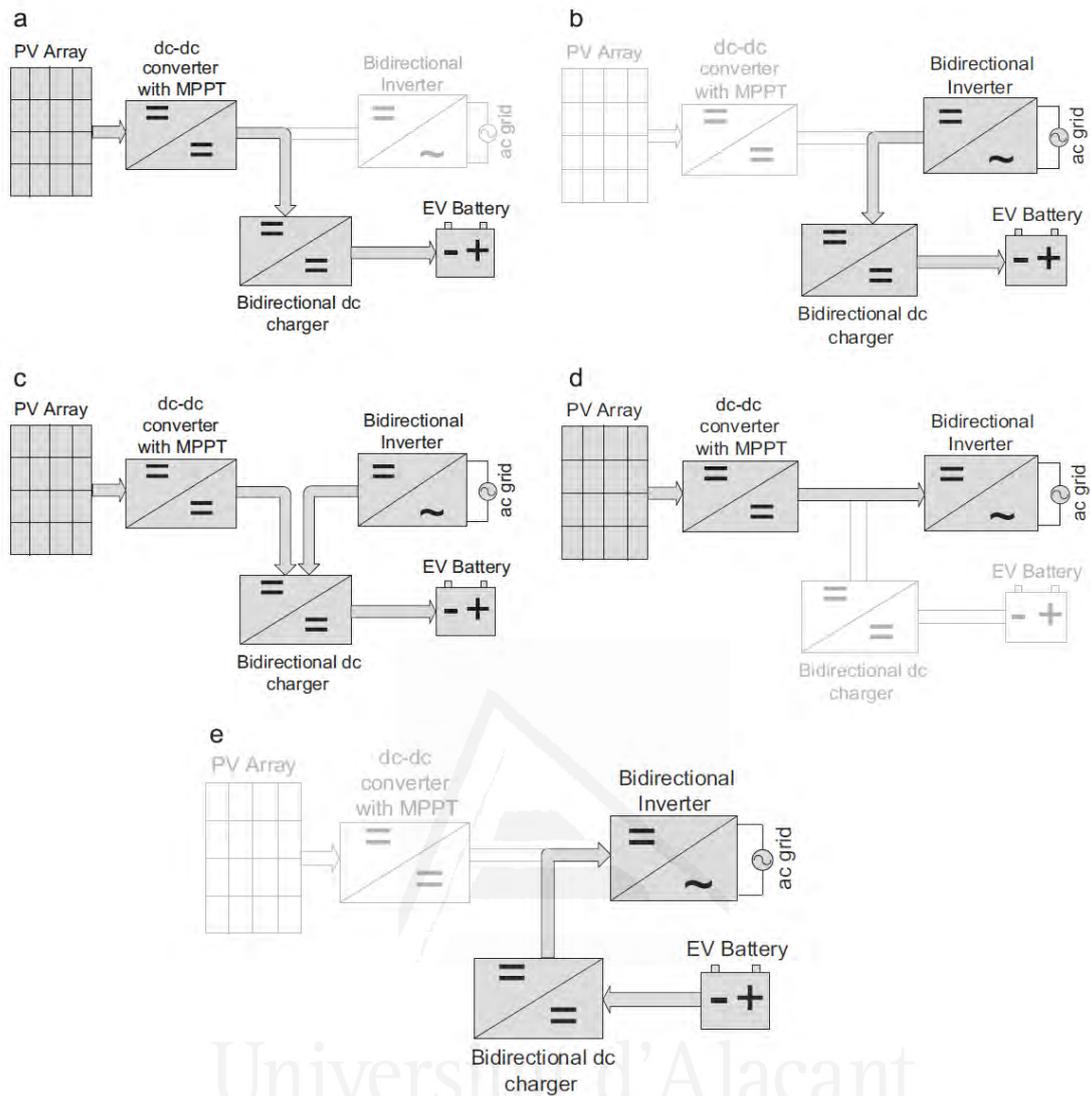


Figura 86: Smart Grid compuesta por Campo Fotovoltaico, Convertidor DC-DC, Cargador Bidireccional, Inversor Bidireccional, Batería del Vehículo Eléctrico, Batería intermedia de almacenamiento (ESU) y Red Eléctrica. Un modelo más complejo incluiría también la Batería intermedia de almacenamiento (ESU). Fuente:[Bha]¹⁹.

- a) Carga directa del Vehículo Eléctrico desde el Campo Fotovoltaico hasta la Batería de Tracción, pasando por el convertidor DC-DC y el Cargador Bidireccional que realizaría funciones de control de flujo eléctrico en función de las necesidades del sistema.
- b) Carga del Vehículo Eléctrico a través de la Red Eléctrica, mediante la conversión AC-DC a través del Inversor Bidireccional y el Cargador Bidireccional.
- c) Carga mixta a partir de Campo Fotovoltaico y Red Eléctrica.
- d) Envío a la Red Eléctrica de la electricidad producida por el Campo Fotovoltaico.

- e) Envío a la Red Eléctrica de la electricidad producida por la Batería de Tracción (Modelo “*Vehicle to Grid*” o V2G).

En los capítulos anteriores se ha pretendido abordar una solución energética que haga compatible el desarrollo conjunto del vehículo eléctrico y las energías renovables a pequeña escala (básicamente la solar fotovoltaica bajo el modelo de autoconsumo y balance neto) que además aporte sinergias entre ambos.

La Tesis parte de los primeros pasos en España (Plan MOVELE), pasando por los sistemas de recarga rápida (buscando el cumplimiento de los tiempos socialmente aceptados, y equivalentes al repostaje del vehículo convencional) con toma trifásica y la red de estaciones de recarga. Esta red implicaría, además por supuesto de la necesaria infraestructura de la misma, la construcción de más centrales eléctricas y/o grandes centrales de generación mediante energías renovables en producción centralizada.

En este sentido la firma Tesla, una de las más importantes y pioneras a nivel mundial de vehículos totalmente eléctricos, ha apostado principalmente por la carga rápida, con una red de estaciones que a su vez experimenta un gran crecimiento, pero de ninguna manera comparable con la cobertura de las estaciones de servicio convencionales, que de forma natural deberían ser las mismas que prestaran servicios de abastecimiento energético a los vehículos eléctricos junto con los parkings de centros comerciales y similares.

Seguidamente se ha investigado otra solución motivada por los inconvenientes que presentan las anteriores: el Intercambio de Baterías, que permite obtener una disponibilidad mayor del vehículo, sustituyendo la batería descargada por una cargada en un tiempo socialmente aceptado y equivalente al del repostaje de un vehículo convencional y así poder continuar con nuestro viaje.

Así, resume el estado del arte de esta tecnología desde los orígenes de la tecnología de Intercambio de Baterías mediante técnicas de arrastre con transpaleta, pasando por el protocolo desarrollado por el instituto de la energía eléctrica de Shandong, el proyecto Better Place y otros más modestos a menor escala, para finalizar con la infraestructura china.

Posteriormente pasa a abordar por una parte una comparativa entre las diferentes tecnologías de baterías de tracción existentes en el mercado para seleccionar aquéllas eléctricamente compatibles con la carga directa mediante energía solar fotovoltaica, y finaliza con un escenario sencillo de recarga bajo una instalación fotovoltaica a pequeña escala y el intercambio de baterías como posibilidad de compatibilizar la producción eléctrica en horas de radiación solar, la recarga de la batería y el uso del vehículo en el horario considerado socialmente como habitual; es decir, la franja horaria diurna.

Este modelo es a juicio del autor realizable y alcanzable para determinados usuarios, y gracias a mecanismos alternativos como el intercambio de baterías, adaptable a otras pautas de uso y escenarios más complejos.

Por último se muestra el estado del arte en Sistemas de Conmutación y Gestión Inteligente para la recarga de baterías de Vehículos Eléctricos, donde ha quedado patente el avance de este tipo de sistemas, con gran número de fabricantes involucrados y un amplio abanico de opciones, desde las “llave en mano” hasta aquéllas con una componente mayor de programación y que por tanto requieren un nivel más avanzado por parte del usuario, que las puede configurar de manera dinámica.

6.2 Futuras líneas de investigación

6.2.1 Futura usabilidad del Vehículo Eléctrico

Los hábitos sociales respecto al uso del vehículo pueden llevar a preguntarnos si buscamos en el vehículo eléctrico un sustituto del vehículo convencional donde el único cambio entre uno y otro es la fuente energética que posibilite la tracción del mismo, o bien estamos hablando de otro producto, con hábitos de uso diferentes:

- Vehículo para trayectos cortos, rutas establecidas conocidas a priori por el usuario, tal y como se expone en [EUC]⁵¹.
- Recarga del mismo no cuando vaya en reserva sino cuando disponemos de la infraestructura para la misma; es decir, un “vehículo de carga diaria” de manera similar a un teléfono móvil que recargamos cada día, tal y como expone la Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía EnerAgen en [EAg]¹⁰².
- Perfil de usuario vinculado (aunque no necesariamente) a la propiedad de la infraestructura de recarga con parking propio, y si es posible a la producción de la electricidad para la misma.

La generalización del primer y tercer hábito impedirían el desarrollo de modelos de recarga del VE para trayectos de larga distancia. Estos modelos estarían basados en la “Teoría de Colas” bajo la distribución *Erlang-C*, que corresponde a un sistema con esperas multicliente (con patrón de llegada aleatorio) y multiservidor (para diferentes servicios, que corresponderían con las diferentes modalidades de recarga y los diferentes estándares de baterías, según se trate de un servicio de recarga o sustitución de baterías) aplicada a la red de electrolinerías situadas a lo largo de las carreteras y autopistas, tal y como se establece en [Xie]¹⁰³.

Formula:

$$P = \frac{a^n/n!}{\sum_{x=0}^n \frac{a^x}{x!}}$$

P Probability of blockage
a Traffic density in Erlangs
n Number of servers (trunks)
x Number of busy channels

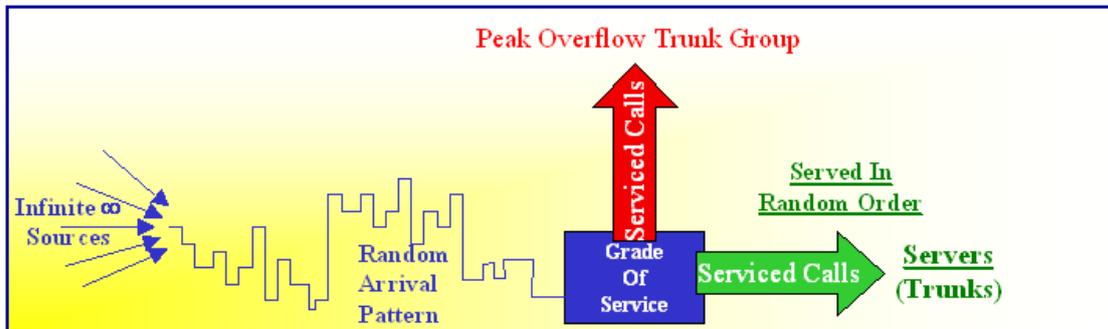


Figura 87: Modelo Erlang-C (sistema con esperas) de la Teoría de Colas, aplicado a una centralita telefónica. Para el caso de las electrolineras, la probabilidad de bloqueo (todos los servidores ocupados) iría aumentando a medida que el parque de vehículos eléctricos fuera creciendo y la tasa de clientes que abandonan sin recibir el servicio (flecha roja) iría aumentando a medida que la red de electrolineras fuera haciéndose cada vez mayor. En el caso de una electrolinera la probabilidad de reintento es prácticamente despreciable. Fuente: [Ar1]¹⁰⁴.

6.2.2 Integración de la Energía Eólica

Otra línea que pueden ser objeto de una investigación más compleja es la integración de la energía eólica como refuerzo del modelo de recarga del Vehículo Eléctrico a partir de las energías renovables a pequeña escala. En este sentido convendría caracterizar qué sistemas eólicos son compatibles con el modelo de microgeneración y autoconsumo.

En la actualidad se dispone de sistemas eólicos a pequeña escala de reducido impacto visual como los de la Figura 88, que pueden llegar hasta 50 kW de potencia pico y proporcionan muy buen rendimiento, así como el sistema “Eva Savonius”, que empieza a utilizarse para reclamos publicitarios como se muestra en la Figura 89. No obstante, tal y como se muestra en [Ar2]¹⁰⁵ la minieólica no es rentable, en las actuales condiciones y su porcentaje dentro del “Share” de las Energías Renovables en España es testimonial, al no haberle acompañado nunca una legislación específica.

Por tanto, la participación de la minieólica en el modelo de recarga del Vehículo Eléctrico a partir de las energías renovables a pequeña escala podrá ser posible a medida que se desarrolle esta tecnología. Mientras tanto, la contribución de la energía eólica a la recarga del Vehículo Eléctrico se limita a su participación en el “Share” energético global y a partir de la recarga del VE a partir de la red. Por ejemplo, tal y como se muestra en la

Figura 36, a las 18 horas del 22/9/15 la energía eólica constituyó un 25,1% del Share, más de un 60% del total de la contribución de las renovables a esa misma hora.



Figura 88: Modelos actuales de sistemas mini-eólicos de eje vertical (izquierda) y horizontal (derecha). Fuente: Catálogos comerciales de Pramac y AV Aerovironment.



Figura 89: Reclamo publicitario mediante 2 molinos eólicos sistema "Eva Savonius" en el Campus de Espinardo de la Universidad de Murcia.

Por último, no olvidemos tampoco que el nivel de predictibilidad de la energía eólica no es el mismo que el de la fotovoltaica, ya que es más difícil estimar y acotar el nivel de viento que el de radiación solar. Y que a diferencia de los parques eólicos a gran escala, en los que los molinos son ubicados en las posiciones de mayor nivel de viento (cimas de cerros o zonas de tránsito de corrientes motivadas por los accidentes geográficos de la zona), en la minieólica es complicado elegir la posición del molino y el sistema queda limitado por la ubicación específica de éste.

6.2.3 Traslación del Modelo de Hidrógeno con pila de combustible

De manera análoga al Vehículo Eléctrico, el Vehículo de Hidrógeno basado en pilas de combustible, que convierten el gas hidrógeno en electricidad de manera limpia, constituye un medio de transporte no contaminante accionado por motor eléctrico y que emite vapor de agua.

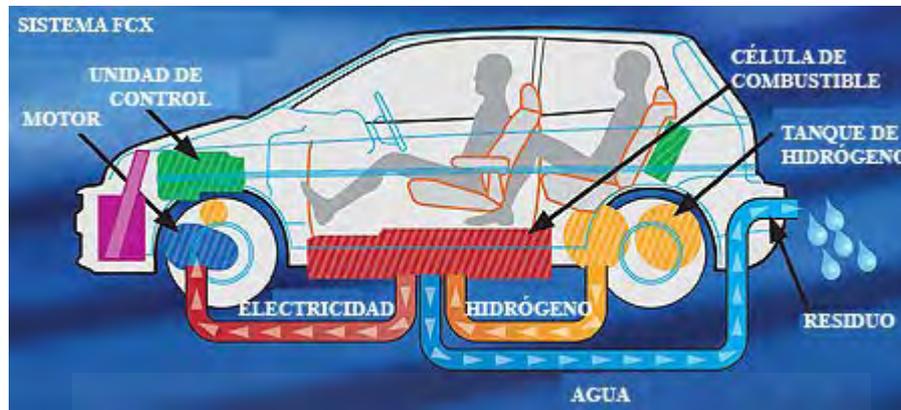


Figura 90: Esquema de funcionamiento del vehículo de Hidrógeno con pila de combustible. Fuente: www.ecolisima.com.

Si además el hidrógeno empleado como combustible para el vehículo es obtenido a partir de la hidrólisis del agua empleando energía solar fotovoltaica, como se muestra en [Kel]¹⁰⁶, [Gib]¹⁰⁷ y [Ips]¹⁰⁸, la cadena de valor del combustible hidrógeno es totalmente limpia desde su obtención hasta sus emisiones por parte del vehículo.



Figura 91: Hidrogenera en el Parque Tecnológico Walqa, situado en Cuarte (Huesca). Fuente: www.heraldo.es.

De esta manera, los vehículos con pilas de combustible de hidrógeno también pueden constituir una nueva economía energética y un entorno de transporte sostenible. Sin embargo se trata, al igual que el Vehículo Eléctrico, de una tecnología con un muy bajo porcentaje de penetración.

Nuestro país cuenta en la actualidad con una decena de hidrogeneras como la mostrada en la Figura 91.

El mayor inconveniente de la traslación del modelo del Vehículo de Hidrógeno al sistema contemplado en capítulos anteriores (instalación fotovoltaica del ámbito residencial o de la pequeña industria) es el problema ligado al almacenamiento del hidrógeno, además de los riesgos derivados de la manipulación del mismo.

Por lo que respecta al dimensionamiento de la planta fotovoltaica para el vehículo de hidrógeno, éste debería realizarse con arreglo a la energía almacenable en las pilas de combustible, y en función de la autonomía y las características del vehículo.

El resto de aspectos abordados en la Tesis (conmutación y gestión inteligente, usabilidad y gestión del sistema de colas en este caso a una hidrogenera) serían análogos a los equivalentes para el Vehículo Eléctrico.

Anexo :

Hojas Técnicas de los principales
componentes descritos

Vehículo Eléctrico Renault Fluence Zero Emissions

Panel Fotovoltaico Monocristalino RENESOLAR JC260M-24/BbV

Inversor fotovoltaico SMA Sunny Boy 3300TL / 3800TL

Inversor fotovoltaico Nedap Power Router Solar

Balance Neto del operador estadounidense Xcel Energy

Datalogger Seion Mentus

Relé Circutor WI

Relé Victron Transfer Switch ATS40V230

Relé Phoenix Contact PLC-BSC



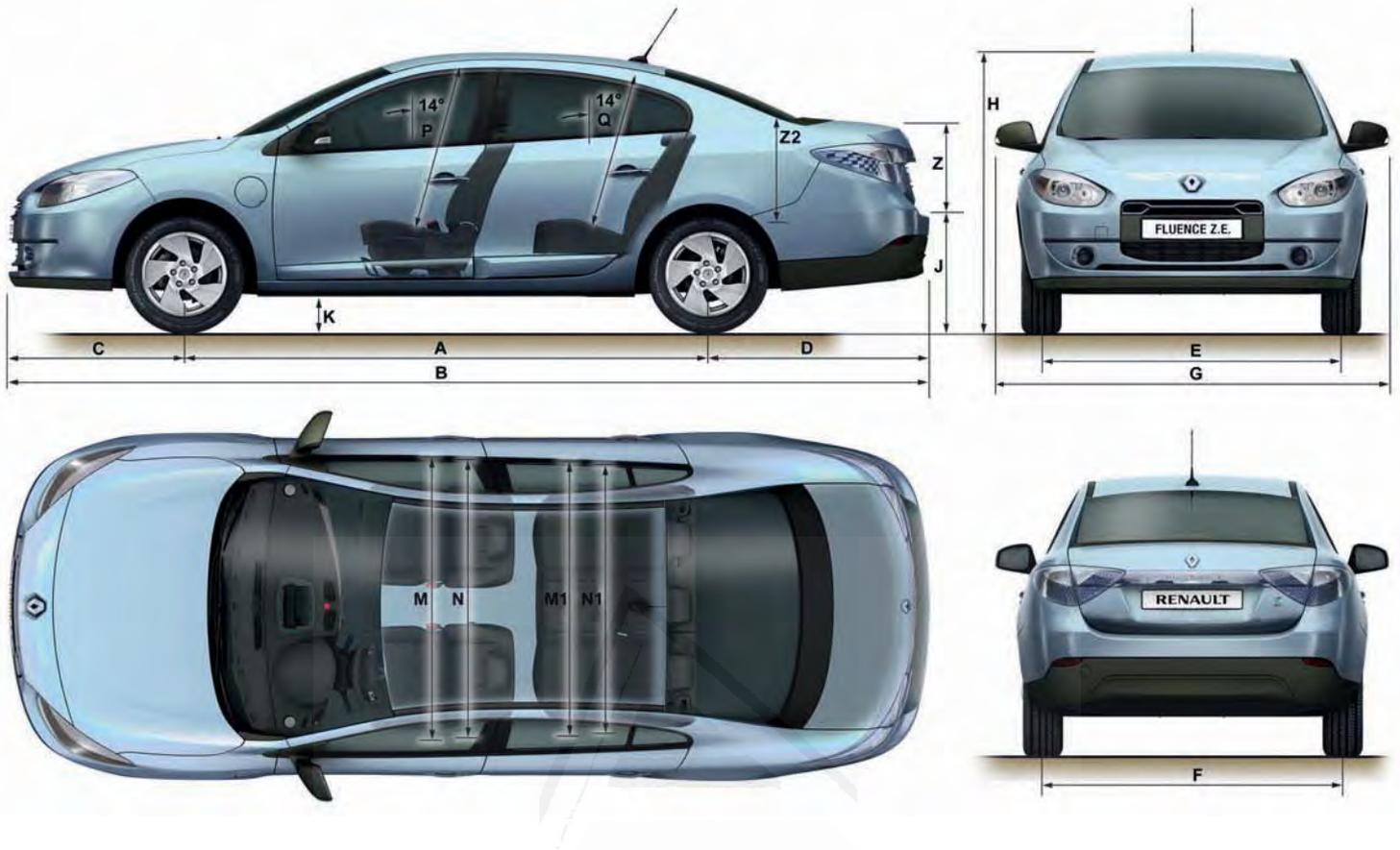
RENAULT FLUENCE Z.E. TECHNICAL SPECIFICATIONS

ENGINE	
Electric motor technology	Synchronous AC motor
Max Power kW CEE (ch)	70 (95)
Power maxi. (tr/min)	3,000 to 8,900 rpm
Max Torque Nm CEE (m.kg)	226
Engine speed at max. torque (r/min)	400 to 2,500 rpm
TRACTION BATTERY	
Technology	Lithium Ion
Nominal voltage (volts)	398
Number of modules	48
Number of cells	192
Available energy (kWh)	22
Rated capacity (Ah)	65
Weight (kg)	280
GEARBOX	
Type	Reducer
PERFORMANCE	
Max speed (km/h)	135
0 - 100 km/h (s)	13
CONSUMPTION CEE N° 93/116 STANDARDS (IN L/100 KM AND G/KM)	
CO ₂ (g/km)	0
Urban conditions (l/100)	0
Extra-urban conditions (l/100)	0
Combined cycle (l/100)	0
STEERING	
Assisted	Yes (electric)
Turning circle between kerbs/walls (m)	11 to 11.3
AXLE	
Front axle type	Pseudo Mac-Pherson
Rear axle type	Semi-rigid axle
TYRES AND WHEELS	
Reference wheels (")	16"
BRAKING	
A.B.S. Continental TEVES	Yes
Electronic brake distribution (EBD)	Yes
ESP with Understeer control	Yes (+ ASR)
EBA (Emergency Brake Assist)	Yes
WEIGHT (KG)	
Kerb weight	1,605
Kerb weight on the front	736
Kerb weight on the rear	869
Gross Train Weight (G.T.R)	2,023

Universitat d'Alicant
Universidad de Alicante



DIMENSIONS RENAULT FLUENCE Z.E.



BOOT CAPACITY (dm³ standard ISO)

317

DIMENSIONS (mm)

A	Wheelbase	2,702
B	Overall length	4,748
C	Front overhang	908
D	Rear overhang	1,140
E	Front track	1,537
F	Rear track	1,555
G	Overall width with exterior mirrors folded/ unfolded	1,809 / 2,037
H	Overall height	1,458
J	Unladen sill height	698
K	Ground clearance	120
M	Front elbow room	1,480
M1	Rear elbow room	1,475
N	Front shoulder room	1,420
N1	Rear shoulder room	1,392
P	Front headroom measured at 14°	892
Q	Rear headroom measured at 14°	848
Z	Height of rear opening	450
Z2	Height to boot lid	549

Virtus® II Module

250W, 255W, 260W



High Module Conversion Efficiencies



Easy Installation and Handling for Various Applications



Mechanical Load Capability of up to 5400 Pa



**Conforms with IEC 61215:2005,
IEC 61730:2004, UL 1703 PV Standards**



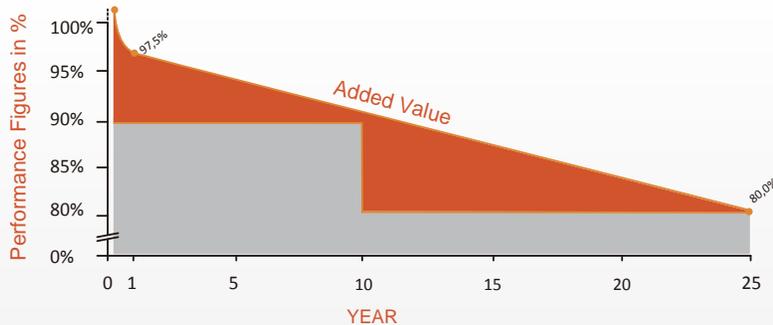
ISO9001, OHSAS18001, ISO14001 Certified



Application Class A, Safety Class II, Fire Rating C



Also Applicable For Module With Black Frame

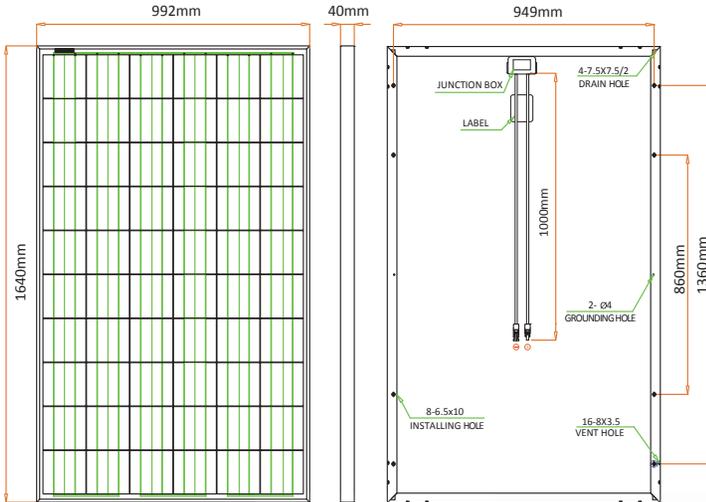


10-year
material & workmanship

25-year
linear power output

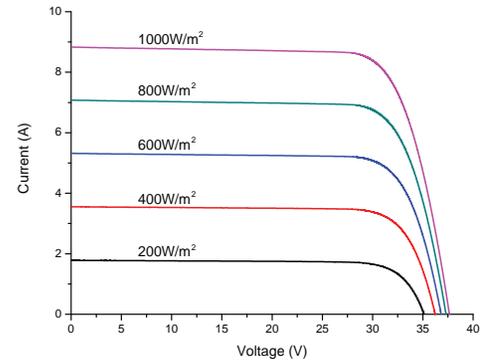


Dimensions



Drawing Only for Reference

I-V Curves



Varied Irradiation Efficiencies

Irradiance	200W/m ²	400W/m ²	600W/m ²	800W/m ²	1000W/m ²
Efficiency	15.8%	16.2%	16.2%	16.1%	16.0%

Electrical Characteristics STC

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	250 W	255 W	260 W
Power Tolerance	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Module Efficiency	15.4%	15.7%	16.0%
Maximum Power Current (Imp)	8.31 A	8.39 A	8.53 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1 V	30.4 V	30.5 V
Short Circuit Current (Isc)	8.83 A	8.86 A	8.95 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.5 V	37.6 V

Values at Standard Test Conditions STC (AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C)

Electrical Characteristics NOCT

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	185 W	189 W	193 W
Maximum Power Current (Imp)	6.57 A	6.63 A	6.74 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	28.2 V	28.5 V	28.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.12 A	7.20 A	7.27 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.0 V	35.1 V	35.2 V

Values at Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m², AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Cell Type	Virtus II (Polycrystalline) 156 x156 mm, 60 (6x10) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65/IP67 Rated, With Bypass Diodes
Dimension	*1640 x 992 x 40 mm
Output Cable	4 mm ² (EU)/12 AWG (US), 1000 mm
Weight	19 kg
Installation Hole Location	See Drawing Above

Characteristics

Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C

Packing Information

	20' GP	40' GP	40' HQ
Container			
Pallets per Container	12	28	28
Pieces per Container	300	700	770

Rev No: JC/TDS/2014.05 *Contact Renesola for tolerance specification
CAUTION: All rights reserved. Design and specification are subject to change without prior notice.

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Maximum Series Fuse Rating	20A (EU) / 20A (US)

SUNNY BOY 3300 / 3800

SB 3300 / SB 3800



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Powerful

- Efficiency of up to 95.6 %
- OptiCool active temperature management
- The best tracking efficiency with OptiTrac MPP tracking

Safe

- Galvanic isolation
- Integrated ESS DC switch-disconnector

Flexible

- For indoor and outdoor installation
- Suitable for generator grounding

Simple

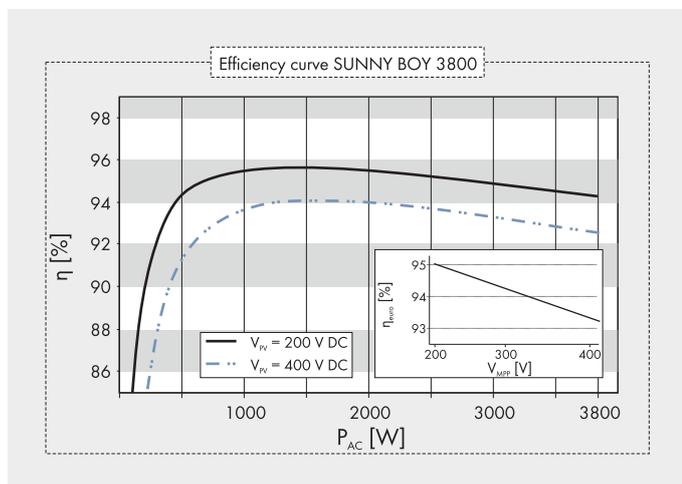
- DC plug system SUNCLIX

SUNNY BOY 3300 / 3800

The generalist

It is robust, easy-to-handle, and, thanks to its galvanic isolation, can be used in all kinds of AC grids: the Sunny Boy 3300 / 3800. Due to its suitability for generator grounding, it can be combined with all module types. The die-cast aluminum enclosure, with the OptiCool active cooling system, guarantees the highest yields and a long service life, even under extreme conditions.

Technical data	Sunny Boy 3300	Sunny Boy 3800	Sunny Boy 3800/V
Input (DC)			
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$)	3820 W	4040 W	3900 W
Max. DC voltage	500 V	500 V	500 V
MPP voltage range	200 V - 400 V	200 V - 400 V	200 V - 400 V
DC nominal voltage	200 V	200 V	200 V
Min. DC voltage / start voltage	200 V / 250 V	200 V / 250 V	200 V / 250 V
Max. input current / per string	20 A / 16 A	20 A / 16 A	20 A / 16 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	1 / 3	1 / 3	1 / 3
Output (AC)			
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	3300 W	3800 W	3680 W
Max. AC apparent power	3600 VA	3800 VA	3680 VA
Nominal AC voltage; range	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V
AC grid frequency; range	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz
Max. output current	18 A	18 A	16 A
Power factor ($\cos \varphi$)	1	1	1
Phase conductors / connection phases	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Efficiency			
Max. efficiency / Euro-eta	95.2 % / 94.4 %	95.6 % / 94.7 %	95.6 % / 94.7 %
Protection devices			
DC reverse-polarity protection	●	●	●
ESS switch-disconnector	●	●	●
AC short circuit protection	●	●	●
Ground fault monitoring	●	●	●
Grid monitoring (SMA Grid Guard)	●	●	●
Galvanically isolated / all-pole sensitive fault current monitoring unit	●/-	●/-	●/-
Protection class / overvoltage category	I / III	I / III	I / III
General data			
Dimensions (W / H / D) in mm	450 / 352 / 236	450 / 352 / 236	450 / 352 / 236
Weight	38 kg	38 kg	38 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤ 40 dB(A)	≤ 42 dB(A)	≤ 42 dB(A)
Internal consumption (night)	< 0.1 W	< 0.1 W	< 0.1 W
Topology	LF transformer	LF transformer	LF transformer
Cooling concept	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Electronics protection rating / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP65	IP65 / IP65	IP65 / IP65
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H
Features			
DC connection: SUNCLIX	●	●	●
AC connection: screw terminal / plug connector / spring-type terminal	-/●/-	-/●/-	-/●/-
Display: text line / graphic	●/-	●/-	●/-
Interfaces: RS485 / Bluetooth®	o/o	o/o	o/o
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	●/o/o/o/o	●/o/o/o/o	●/o/o/o/o
Certificates and permits (more available on request)	UTE C 15-712-1, CE, VDE 0126-1-1, DK 5940*, RD 1663, G83/1-1, CER/06/190, PPC, AS4777, EN 50438**, C10/C11, PPDS		
* Only applies to IT variants			
** Does not apply to all national deviations of EN 50438			
● Standard features o Optional features - not available, data at nominal conditions			
Type designation	SB 3300	SB 3800	SB 3800/V 0153



Accessories

	RS485 interface of type 485PB-NR		Bluetooth® Piggy Back BTPBINV-NR
	Grounding set "Positive" ESHV-P-NR		Grounding set "Negative" ESHV-P-NR

Technical data

Order number	PR50/S	PR37/S	PR30/S
Output (AC)	5.0 kW	3.7 kW	3.0 kW
Continuous AC output (P nominal)	5000 W (DE: 4600 W)	3700 W (DE/UK/PT: 3680 W)	3000 W
AC output power	25 A (DE: 22 A)	18 A	15 A
Cos Phi	1 (DE, IT: 0.9 ind. ... 0.9 cap. adjustable)		
Output voltage	230 Vac, 50 Hz; 1-phase (180-264 Vac 45-55 Hz). Limited by local grid rules.		
Protection	electronically, fused		
Stand-by consumption	≤ 3 W		
User interface	display with 4 control buttons		
Connectivity	ethernet RJ45, TCP/IP		
Selectable relays	2 provided, NO/NC, 250 Vac, 1 A, 24 Vdc, 5 A		
Solar	5.0 kW	3.7 kW	3.0 kW
Max. input	5500 Wp in total and 15 A per string	4000 Wp in total and 15 A per string	3300 Wp in total and 15 A per string
Number of inputs	2	2	1
Number of MPP trackers	2, completely independent	2, completely independent	1
DC disconnect switch	4-pole, 600V, 15A	4-pole, 600V, 15A	2-pole, 600V, 15A
MPP voltage (under full load)	180 – 480 Vdc	140 – 480 Vdc	220 – 480 Vdc
Solar voltage range	100 – 600 Vdc		
Solar connections	MC4		
Max. efficiency	94% (93% EU)		
Max. MPP efficiency	99.9%		
Compatibility	With all modern PV technologies (mono-/polycrystalline and thin film)		
General	5.0 kW	3.7 kW	3.0 kW
Operating temperature	-10 °C to +50 °C (Power reduction to maintain safe working conditions)		
Storage temperature	-40 °C to +70 °C		
Air humidity	maximum 95%, non-condensing		
Legal permits and standards	CE, VDE-AR-N 4105:2011-08, EEG 2012, RCM VDE 0126.1.1, G83/2; G59/3 (UK), RD1699/2011(ESP), CEI 0-21(IT), AS4777(Aus) (you will find other country-specific certificates at www.PowerRouter.com)		
Warranty	5 years (optional: extension to 10 years)		
Mechanics	5.0 kW	3.7 kW	3.0 kW
Dimensions (WxHxD)	545 x 502 x 149 mm		
Protection category	for indoor use (IP20)		
Weight	16.5 kg		
Topology	galvanically isolated transformer		
Cooling	controlled air cooling		

Solar*Rewards® Metering and Billing FAQs

When you have a photovoltaic (PV) system installed, you're able to generate some or all of the energy you use on a monthly basis. And in some cases, you generate more than you need, so there's some left over. That power generation is tracked and billed differently than your regular electricity use. The following information will help you make sense of how your solar energy is measured and what you'll see on your monthly energy bill.

How do you measure the solar energy I produce and use?

Once your PV system is installed, we'll change out your old meter for a net meter. If your system is associated with a solar incentive program, such as Solar*Rewards or Made in Minnesota, we will also install a PV production meter.

- **Net Meter:** A meter records the flow of electricity in two directions—in-bound and out-bound energy. These two kWh totals are read by the system and appear on your bill each month.
- **Production Meter:** A second standard meter may also be installed to record the PV system production and/or calculating the incentive payment.

We read your net meter on a monthly basis to determine whether you're a net user or a net producer based on the kWh totals recorded on your net meter.

- Net users use more energy in a month than they produce, and are billed for the net kWh.
- Net producers produce more energy than they use, and are billed for zero kWh. Any excess kWh are credited to your account at the applicable cogeneration rate.

How do I get paid for the extra energy I produce and don't use?

If you're a net producer and your PV system produces more energy than you use, the excess kilowatt-hours are credited to your account at the current cogeneration rate. These excess generation credits are rolled over on your bill each month until you reach a bill credit of \$25 or more. At that time, we'll automatically send you a check for the total amount.

Solar*Rewards customers are not exempt from fees charged to all electric customers, even when you produce more electricity than you use. These fees include, but are not limited to, Basic Service Charges, Resource Adjustments, Interim Rate Adjustments, and City/County/State taxes.



How is the solar energy I use and produce shown on my bill?

Below is a sample meter reading table for a Solar*Rewards customer. Your bill may not look exactly like this one, however, the key information included will be similar.

Meter Reading Information			
Meter 123		Read Dates: 12/20/12 – 1/22/13 (33 Days)	
Description	Current Reading	Previous Reading	Usage
Total Delivered by Xcel	37376 Actual	36403 Actual	973 kWh
Total Delivered by Customer	3187 Actual	3148 Actual	39 kWh
Net Delivered by Xcel	934 Actual	Actual	934 kWh
Net Generated by Customer	0 Actual	Actual	0 kWh

Total Delivered by Xcel

973 kWh is the energy in kWh delivered from our grid. On your bill, you'll see the amount of electricity you received from Xcel Energy on this line.

Total Delivered by Customer

39 kWh: Energy (kWh) sent by the customer to our grid.

Net Delivered by Xcel

934 kWh: If the total energy delivered by Xcel Energy is greater than the total energy you deliver, a kWh total will appear under this heading and will be multiplied by your existing service rate to calculate the Energy Charge for that billing period. In this example, the customer has used more energy than they delivered, so they will be charged for 934 kWh of electricity.

Net Generated by Customer

0 kWh: If you deliver more energy than you use, a kWh total will appear under this heading. This number will be multiplied by the current cogeneration rate to determine the amount of the credit you'll receive. In this example, the customer used more than they delivered, so they will not receive a credit.

Questions?

If you have any questions about your bill, please send an email to solarprogramMN@xcelenergy.com.





Seinon MENTUS es un datalogger que permite la subida de datos de los equipos SEINON Analyzer (analizadores de redes eléctricas) y otros dispositivos Modbus RTU/Ethernet al servidor de SEINON para su visualización, telecontrol y análisis online. Dispone de un servidor web y API JSON integrado.

Cada **Seinon MENTUS** puede albergar hasta 25 medidores y puede conectarse a Internet a través de una red local mediante cable, WiFi integrado o bien por 3G a través de un modem interno (según versión).



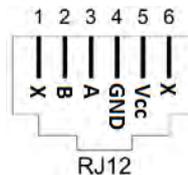
Permite realizar funciones tales como:

- Conexión automática y sencilla a cualquier router del mercado (IP fija o DHCP).
- Subida de datos a Internet a través de conexión Ethernet, GPRS o WIFI.
- Capacidad de gestión múltiples equipos de medida (hasta 25).
- Tolerancia ante cortes de conexión a Internet gracias a memoria interna (más de un año para 25 equipos y muestras cuartohorarias).
- Watchdog integrado.
- Zigbee compatible a través de pasarela externa.
- Interfaz web asistida para la puesta en marcha.
- Tiene implementado un sistema de control mediante condiciones inteligentes que le permite ejecutar en local y tiempo real acciones del tipo: Reloj astronómico, programador horario, termostato o prevención de maxímetro.

Descripción de los conectores.



1. Conector SMA para antena externa GPRS/3G.
2. Porta SIM.
3. Puerto modbus RTU y alimentación de esclavo. Fácil instalación.



4. USB de expansión.
5. Ethernet.
6. USB mini B.
7. Jack Alimentación 12-24 Vdc.
8. Conector SMA para antena externa wifi.

Conexión a Internet de Seinon MENTUS.

- La comunicación de los distintos Seinon Analyzer, u otros elementos Modbus RS-485 con el dispositivo Seinon MENTUS se realizará a través de un bus común de comunicaciones que utiliza el protocolo diferencial RS-485. Para comunicar con elementos Modbus TCP o Modbus RTU sobre IP, estos elementos deberán estar en la misma red LAN.
- Si el Seinon MENTUS va a ir por la red local de la instalación se conectará un cable de Ethernet o mediante WiFi.



- En caso que comunique a través de GPRS/3G, Seinon proveerá de la tarjeta SIM y Seinon MENTUS ya configurado para poder comunicar por GPRS/3G.
- **Una vez se haya realizado toda la instalación deberá llamar a SEINON para verificar la puesta en marcha de la instalación.**

Led's de Seinon MENTUS.

Led 3G. ON fijo cuando tiene cobertura.	Led recepción RS485. ON mientras comunica
Led WiFi. ON fijo cuando autentifica con router.	Status 1. ON fijo diagnóstico software correcto.
Led transmisión RS485. ON mientras comunica	Status 2. ON fijo diagnóstico hardware correcto.

Consideraciones de conectividad.

Cuando se vaya a conectar un Seinon MENTUS a una red de cliente con una IP predeterminada, deberá llevar parámetros de red ya configurados. Para ello tendrá que contactar con el responsable de la red informática donde se va a instalar. Si la asignación de IP es dinámica deberá asegurarse que el router de la instalación tiene activo el servicio de DHCP.

En el caso de no usar DHCP el responsable informático deberá facilitar una dirección IP, una máscara de subred, una puerta de enlace y dos servidores de DNS. Esta configuración será cargada en el DL2 idealmente en el proceso de configuración por parte del personal de Seinon. Si esto no fuera posible, el instalador deberá llevar consigo un Ordenador portátil y tener acceso a internet para que el personal de Seinon se lo configure de forma remota. En caso de necesitar conectar a una red WiFi será necesario conocer la SSID, contraseña y protocolo de seguridad empleado por la red WiFi.

Bajo la existencia de cualquier anomalía en el funcionamiento comunicaciones debido a enrutadores, firewalls, proxys, filtrado de tráfico o cualquier otro sistema firmware o hardware que pueda provocar la imposibilidad de comunicación del Seinon MENTUS con los servidores de SEINON, será responsabilidad del proveedor/mantenedor de la red informática el garantizar el acceso del dispositivo a la red, declinando Seinon cualquier responsabilidad de conectividad.

Características Técnicas

Seinon MENTUS	
Alimentación	12-24 Vdc.
Consumo	200 mA (12V), 140 mA (24V).
Dimensiones	110x110x25mm.
Peso	150g.
Nº máx. De esclavos	25 (consultar para casos especiales de más unidades)

	Una conexión incorrecta del equipo puede producir la muerte, lesiones graves y riesgo de incendio. Lea y entienda el manual antes de conectar el equipo. Observe todas las instrucciones de instalación y operación durante el uso de este instrumento. La instalación, operación y mantenimiento de este instrumento debe ser efectuado por personal cualificado solamente.
	Si las instrucciones precedidas por este símbolo no se respetan o realizan correctamente, pueden ocasionar daños personales o dañar el equipo y /o las instalaciones. El conexionado del equipo diferente a lo establecido en este datasheet invalida la garantía.
	Los instrumentos electrónicos usados se tienen que eliminar por separado. No deposite este aparato en la basura doméstica normal para su eliminación.

Servicio de asistencia técnica: Para resolución de incidencias o cualquier aclaración contacte con el servicio técnico de Seinon:

Seinon Solutions S.L.

C/ Tomas Luis de Victoria 2

03203 – Elche (Alicante)

966 93 60 17

www.seinon.com | sat@seinon.com

WI

Relé de control detector de corriente



Descripción

Los detectores de corriente **WI** son dispositivos electrónicos con un relé de salida que conecta o desconecta según el nivel de corriente detectado en el circuito.

- Nivel de disparo es ajustable mediante un potenciómetro situado en la parte frontal.
- Rearme se produce automáticamente con una corriente un 10 % inferior a la de disparo (Histéresis).
- Retardo: permite ajustar por separado los tiempos de conexión y desconexión del relé de salida.
- Medida corriente según tipo:
 - Con transformador de corriente incorporado (diámetro útil: 25 mm)
 - Transformador separado, entrada.../5 A c.a.

Aplicación

Los **WI** se pueden utilizar para toda aplicación que hay que hacer un control de carga:

- Alimentadores para molinos o machacadoras de áridos.
- Cargas en máquinas de extrusión
- Control de bombas
- Carga en motores, etc.

Características

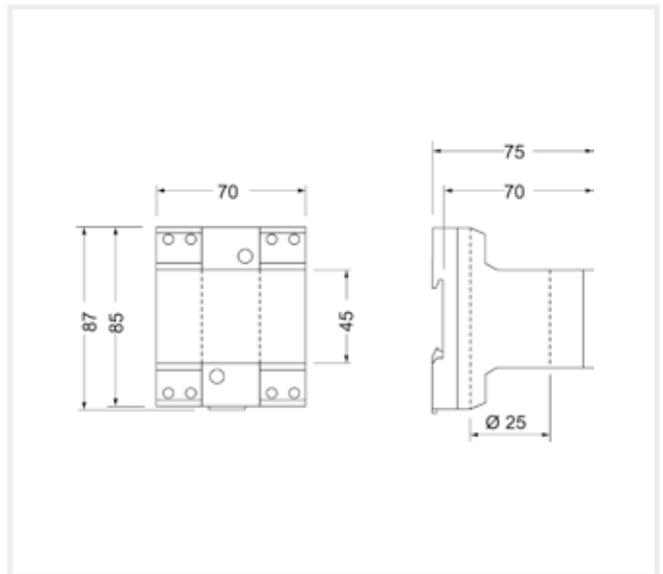
Circuito de alimentación	
Tensión*	230 V c.a. (-15 ... +10 %)
Frecuencia*	50 Hz
Consumo	2 V·A
Tensiones de prueba entre circuitos y red	
Circuito de medida	2 500 V
Contactos relé	1 500 V
Relé de salida	
Tensión de aislamiento (U_i)	250 V c.a.
Corriente térmica I_{th}	5 A (10 ⁵ maniobras) con carga resistiva U_o/I_o : 240 V c.a. / 3,2 A con carga inductiva U_o/I_o : 240 V c.a. / 0,8 A 30 V c.c. / 1,6 A
Poder de corte	
Características constructivas	
Fijación	Carril DIN
Dimensiones	4 módulos
Peso	250 g
Grado de protección	IP 41
Temperatura de uso	0 ... +50 °C
Normas	
IEC 605, IEC 1010-1, EN 61010-1, EN 50 081, EN 50 082, IEC 255, UL 94, UNE 20 607, UNE 21 136, VDE 0110	

(*) Bajo demanda, otras tensiones y frecuencias.

WI

Relé de control detector de corriente

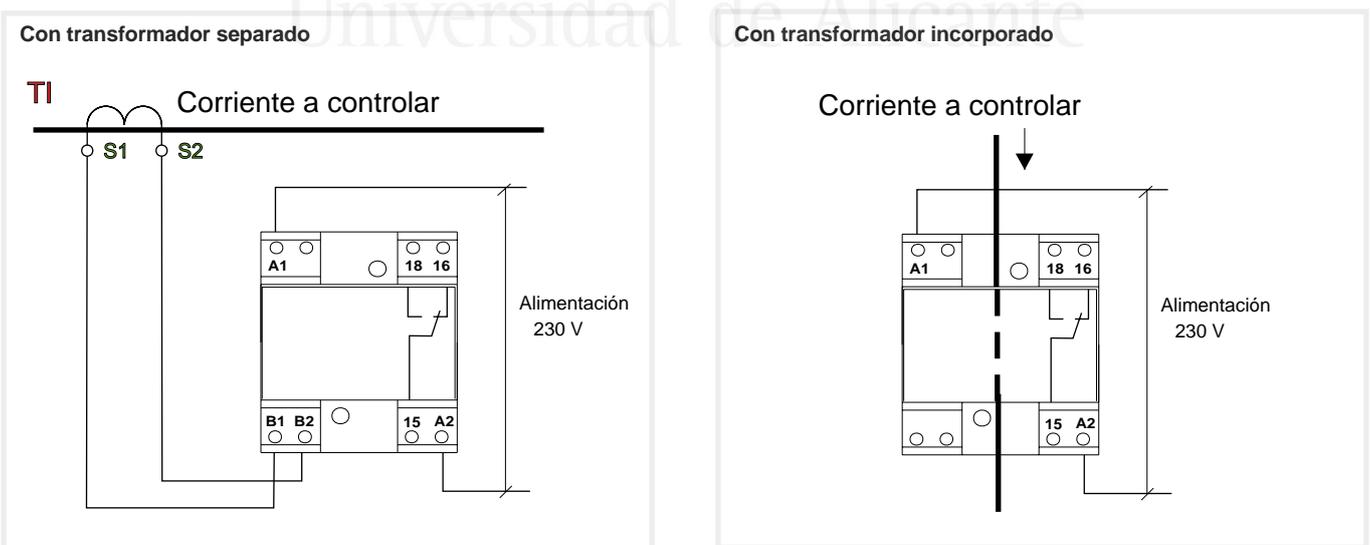
Dimensiones



Referencias

Tiempo de disparo (regulable)	Margen de ajuste (regulable)	Tipo	Código
0,5 ... 30 s	0,5 ... 5 A	WI / 005-30	P32011
0,5 ... 30 s	1 ... 10 A	WI / 010-30	P32012
0,5 ... 30 s	2 ... 20 A	WI / 020-30	P32013
0,5 ... 30 s	5 ... 50 A	WI / 050-30	P32014
0,5 ... 30 s	10 ... 100 A	WI / 0100-30	P32015
0,5 ... 30 s	s / transformador ... / 5 A	WI / TS	P32010

Conexiones



Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Transfer Switch

1. Introduction

The TRANSFER SWITCH is designed to take over automatic switching between different power sources: between a generator and the shore, or between an inverter and a generator, or between an inverter and the shore. The TRANSFER SWITCH has two inputs and one output and automatically transfers the available AC power to output. It can be used with any Victron Energy inverter, depending on the capacity.

Operation

The TRANSFER SWITCH is situated between a generator or shore and inverter. If the voltage level or the frequency of the generator or the shore varies (input 1), then the TRANSFER SWITCH switches to the inverter (input 2). Once the generator or the shore supply has remained continuously stable, the TRANSFER SWITCH switches back (input 1) with a delay of approximately 10 seconds. This way, the appliances are protected against damage from voltage drops. During transfer between one of the power sources (input 1 or input 2), the appliances are not supplied with power for a short time. Because of this, computers, electronic devices etc. connected to this group might lose data. The TRANSFER SWITCH can be used with any type of inverter but the best results, however, are obtained with an inverter from Victron Energy.

1.1 Installation

- **WARNING!** Be sure that all AC power sources are switched off or disconnected during installation.
- Install the TRANSFER SWITCH in a dry, well ventilated area. The front of the casing is attached using the four supplied screws. The TRANSFER SWITCH may be mounted on the wall, using the four holes in the rear of the casing.
- The input cables from the mains/generator and the inverter, and output cables to the appliances should be connected according to the wiring diagram (see figure 1). Use the provided cable-glands to pass the cables through the casing. The correct wire cross section must be applied for a safe installation. Under sized cables can cause overheating of the cables.
- Tighten all connections well in order to limit transition resistance as far as possible. Loose connections can cause dangerous overheating of the terminals.
- Adjustment of the TRANSFER SWITCH is not recommended. After correct installation the TRANSFER SWITCH is ready for use. However specific circumstances may require adjustment of the switch on delay time of input 1. Use a small flat blade screw driver to adjust the delay time.
- The wiring to the AC-inputs and outputs must be protected by fuses or miniature circuit breakers which are suitable for the applied wire cross section. External earth leakage switches(RCD, RCCB) must also be integrated in the wiring
- All ground connections of the power sources and power consumers must be connected to the central ground connection of the ship.
- Auxiliary contact 1 and 2 of relay K2 (NO) must be connected with a screw connector on the back of Digital Multi Control panel (DMC) when an external transfer switch is used with VE MultiPlus and DMC (picture on page 7). When the auxiliary contact is open the current limit is controlled by the knob on the front of the DMC. When the auxiliary contact is closed the DMC sends the present generator current to connected devices. The auxiliary contact is normally controlled by the TRANSFER SWITCH.

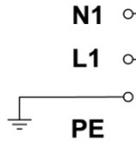
2. Specifications

VE TRANSFER SWITCH	COS 0 - 5kVA	COS 0 - 10kVA
Nominal voltage	200 - 250V AC, Single phase	
Nominal frequency	50 – 60 Hz	
Input 1, Nom. current	20 A	40 A
Input 2, Nom. current	20 A	40 A
Output, Nom. current	20 A	40 A
Max. motor (airco) power	1,3 kW	8 kW
Power consumption Input 1	6 VA	6 VA
Power consumption Input 2	0 VA	0 VA
Transfer time by closing contacts	10 – 20 msec.	10 – 20 msec.
Transfer time by opening contacts	5 – 20 msec.	5 – 20 msec.
Transfer time by closing contacts	10 – 20 msec.	10 – 20 msec.
Contacts delay Input 1	Approximately 10 sec. (adjustable)	
Auxiliary contact	200 - 240V AC; 20 A, cos ϕ =1	
GENERAL		
Operating temperature	-5°C to + 60°C	
Humidity (non-condensing)	Max. 95%	
Miniature circuit breaker (MCB)	Not included – installation dependent	
Earth leakage breakers (RCD)	Not included – installation dependent	
ENCLOSURE		
Protection category	IP 54	
Colour	RAL 7035	
Dimension h x w x d (mm)	175 x 215 x 120	175 x 215 x120
Weight (kg)		

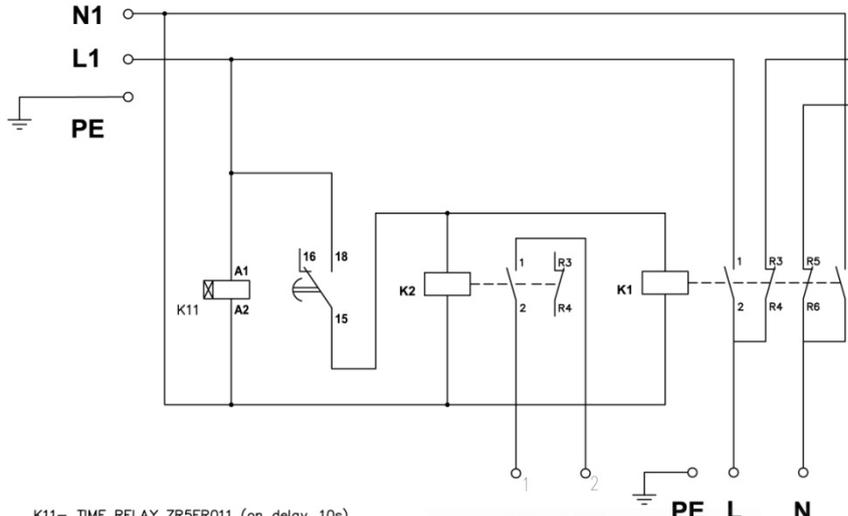
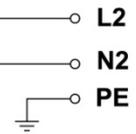


APPENDIX A: Electrical & installation diagrams, outline drawings COS 0 - 5kVA

**INPUT 1
(Generator)**

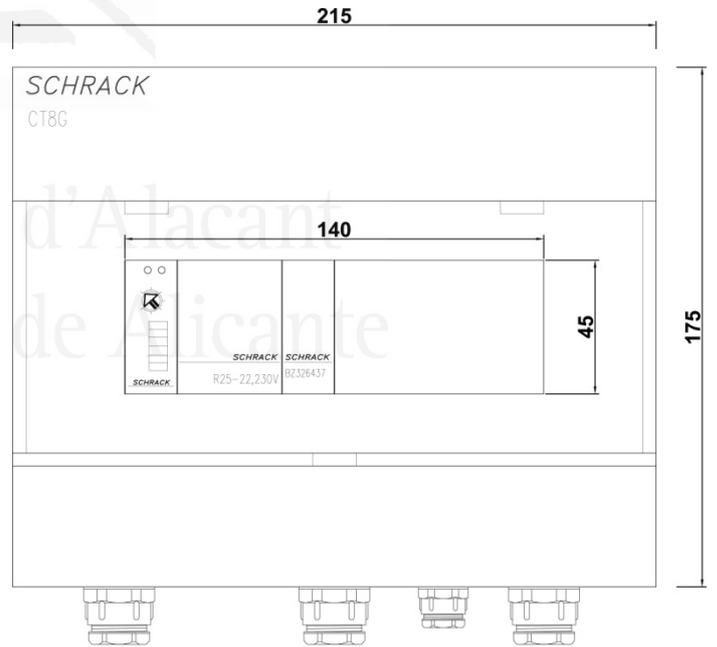
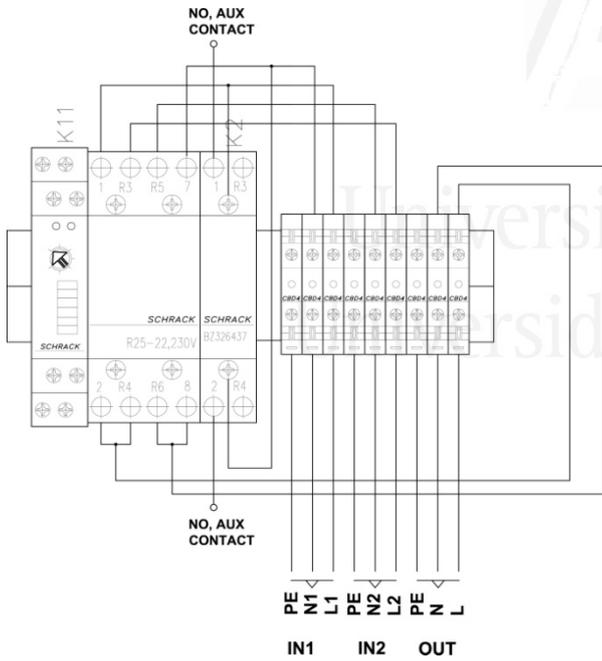


**INPUT 2
(Shore)**



- K11- TIME RELAY ZR5ER011 (on delay, 10s)
- K1- MODULAR CONTACTOR R25-22,230V
- K2- MODULAR CONTACTOR R11-20,230V

NO, AUX CONTACT **PE L N**
OUTPUT



All dimensions are in mm!

Relay socket - PLC-BSC- 24DC/21 - 2966016

Please be informed that the data shown in this PDF Document is generated from our Online Catalog. Please find the complete data in the user's documentation. Our General Terms of Use for Downloads are valid (<http://phoenixcontact.com/download>)



6.2 mm PLC basic terminal block with screw connection, without relays or solid-state relay, for mounting on DIN rail NS 35/7,5, 1 PDT, input voltage 24 V DC



Key Commercial Data

Packing unit	1 STK
Minimum order quantity	10 STK
GTIN	 4 017918 130794
GTIN	4017918130794
Weight per Piece (excluding packing)	34.000 g
Custom tariff number	85366990
Country of origin	Germany

Technical data

Note

Utilization restriction	EMC: class A product, see manufacturer's declaration in the download area
-------------------------	---

Dimensions

Width	6.2 mm
Height	80 mm
Depth	94 mm

Ambient conditions

Ambient temperature (operation)	-40 °C ... 60 °C
Ambient temperature (storage/transport)	-40 °C ... 85 °C

Relay socket - PLC-BSC- 24DC/21 - 2966016

Technical data

Input data

Nominal input voltage U_N	24 V DC
Status display	LED
Protective circuit	Damping diode, polarity protection diode
	Damping diode

Connection data, input side

Connection name	Input side
Connection method	Screw connection
Stripping length	8 mm
Screw thread	M3
Conductor cross section solid	0.14 mm ² ... 2.5 mm ²
Conductor cross section flexible	0.14 mm ² ... 2.5 mm ²
Conductor cross section AWG	26 ... 14

Connection data, output side

Connection name	Output side
Connection method	Screw connection
Stripping length	8 mm
Screw thread	M3
Conductor cross section solid	0.14 mm ² ... 2.5 mm ²
Conductor cross section flexible	0.14 mm ² ... 2.5 mm ²
Conductor cross section AWG	26 ... 14

General

Protective circuit	Damping diode, polarity protection diode
Color	green
Operating mode	100% operating factor
Mounting position	any
Assembly instructions	In rows with zero spacing

Standards and Regulations

Connection in acc. with standard	CUL
Flammability rating according to UL 94	V0

Environmental Product Compliance

China RoHS	Environmentally Friendly Use Period = 50
	For details about hazardous substances go to tab "Downloads", Category "Manufacturer's declaration"

Referencias

- ¹ [End] - ENDESA. "Vehículo eléctrico, Tipos de recarga" [En línea]
Disponible en Internet:
<https://www.endsavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/tipos>
- ² [Mov] - "Estrategia Integral para el impulso del Vehículo Eléctrico en España", Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010.
- ³ [Vea] - Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020), Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015.
- ⁴ [Cha] - Portal web CHAdeMO, información general: www.chademo.com
- ⁵ [CCS] - Portal web CCS, información general: www.cs-map.eu
- ⁶ [Sup] - Portal web de Tesla Supercharger: www.tesla.com/supercharger
- ⁷ [Vie] - Viera Pérez, Juan Carlos: "Carga rápida de baterías de Ni-Cd Y Ni-MH de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos", Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Abril 2003.
- ⁸ [MLa] - Martínez-Lao J, Montoya F, Montoya M et al. Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews - <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.239>
- ⁹ [Ber] - Berman, Brad: Mercedes Rejects Electric Car Battery Swapping, www.plugincars.com
- ¹⁰ [Sha] - Jin-Long Z, Xiao L, Shou-Yin et al. Operation Mode Analysis of Electric Vehicle Charging and Battery Swap Station. Shandong Electric Power Research Institute, Jinan, China & School of Information and Electrical Engineering of Shandong Jianzhu University, Jinan, China. International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012).
- ¹¹ [Gun] - M. Gunther: "Better Place: What went wrong for the electric car startup?", www.theguardian.com
- ¹² [Eas] - Página del Proyecto Easybat dentro de la web del 7º Programa Marco de la Unión Europea: http://cordis.europa.eu/project/rcn/97743_en.html
- ¹³ [Gre] - Portal web de Greenway: www.greenway.sk/en
- ¹⁴ [Bsw] - Portal web de Battswap: www.battswap.com
- ¹⁵ [EVC] - Portal web de EVC: www.evgroup.cz/en
- ¹⁶ [Bbj] - World's Largest Network of EV Battery Charging and Switching Stations Commences Operation in Beijing, www.prnewswire.com, Fuente: BAIC BJEV.
- ¹⁷ [Qin] - Battery swapping for electric buses in Qingdao, Phoenix Contact, www.phoenixcontact.com

-
- ¹⁸ [Hua] - Feng-Hua J, Progress in Battery Swapping Technology and Demonstration in China, Tsing Hua University, http://www.cse.anl.gov/us-china-workshop-2012/pdfs/session3b_demos_standards/hua_3B-4-HUA-Tsinghua%20Univ-Progress%20in%20Battery%20Swapping%20Technolo.pdf
- ¹⁹ [Bha] Bhatti A, Salam Z, Aziz M et al. Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and Technological review, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.091>, Renewable and Sustainable Energy Reviews 54 (2016) 34–47.
- ²⁰ [Can] – Canals-Casals L, Amante-García B. Segundas vidas para baterías de coches eléctricos: Buenas ideas - Malos negocios. Dyna Ingeniería e Industria, Vol. 89 (Enero 2014) 46-50 <http://dx.doi.org/10.6036/5763>
- ²¹ [Bat] - Ann Miller, Edgar and Kumar, Bahi “Battery University”. Documento técnico de características Scribd (Biblioteca online).
- ²² [Yon] - Yong L, Jie Y, Jian S. Design structure model and renewable energy technology for rechargeable battery towards greener and more sustainable electric vehicle, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.021>, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74 (2017) 19-25.
- ²³ [ZEV] - Kalhammer F, Kopf B, Swan D et al. "Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology", Report of the ARB Independent Expert Panel 2007, State of California Air Resources Board, Sacramento, California (EE.UU.), 2007.
- ²⁴ [Mes] - Catálogo técnico “Mes Dea Co.”.
- ²⁵ [Arp] – Página web del proyecto <https://arpa-e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/rechargeable-zinc-air-batteries>, "Zinc Flow Air Battery (ZFAB), The Next Generation of Energy Storage for Transportation".
- ²⁶ [Gib] - Gibson T, Kelly N. Solar photovoltaic charging of lithium-ion batteries, Journal of Power Sources 195 (2010) 3928–3932, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.12.082
- ²⁷ [Vil] - Villanueva, L - Implementación de un Sistema Fotovoltaico en un vehículo eléctrico para la carga de batería - PFC Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2009.
- ²⁸ [Utu] – Uurbey W, Conversores DC-DC, Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, UDELAR-FI-IIE, 1996.
- ²⁹ [Cze] – Dirección de formación Citroën: Cadena de Tracción C-Zero, 2011.
- ³⁰ [RE1] - RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. El Sistema Eléctrico Español, Avance 2015. DL M-39696-2015 p.14.
- ³¹ [RE2] - RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. El vehículo eléctrico. Una prometedora alternativa de futuro. Disponible en Internet: www.ree.es/sites/default/files/folleto_coche_electrico.pdf p. 4.

-
- ³² [RE3] - RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. Característica de generación acumulada. [Aplicación en línea]
Disponible en Internet: https://demanda.ree.es/generacion_acumulada.html
- ³³ [Snz] - Sanz B, Cruz JI, España FJ et al. Guía sobre Tecnología Minieólica. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom), DL M-22033-2012, Cap. 3.
- ³⁴ [Tre] - Trebolle D. "La generación distribuida en España". Tesis del Máster en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico, U. Pontificia Comillas, Madrid, 2006.
- ³⁵ [GPu] - González-Puelles J. "Análisis de la llegada de la paridad de red a los principales mercados fotovoltaicos mundiales". Directores: Cervantes-Valdivieso V, Fondo-Roca C. PFC U. Pontificia Comillas Madrid, 2012. Entidad colaboradora: Eclareon.
- ³⁶ [SID] - SOLECAN, INGENIERÍA Y DESPACHO TÉCNICO. Sistemas conmutados con la red. Disponible en Internet: <http://solecan.net/index.php/servicios/autoconsumo>
- ³⁷ [Sel] - Sellas C. "Inversores Fotovoltaicos diseñados para el autoconsumo", KOSTAL Solar Electric Ibérica, 2013. Jornada de Autoconsumo AS Solar Ibérica Professional Academy, 13-6-2013. Disponible en Internet:
http://www.as-iberica.com/descargasleft/doc_download/146-jornada-autoconsumo-kostal-webinar-assolar-13-06-2013
- ³⁸ [RLe] - RENAULT LEMAN. Renault Fluence Z.E - Technical Specifications, Documentación comercial. Disponible en Internet: http://www.renault-leman.ch/multimedia/docs/2011/10/PM_Fluence_ZE_14_10_2011_FR.pdf
- ³⁹ [Mil] - Millikin M, Arlotto M. "Renault Unveils Finalized Designs of Fluence Z.E. and Kangoo Express Z.E.; Opens Pre-Reservations" [En línea] Green Car Congress, Abril 2010. <http://www.greencarcongress.com/2010/04/renault-20100415.html>
- ⁴⁰ [PVg] - EUROPEAN COMMISSION - JOINT RESEARCH CENTRE. Solar radiation (Europe) in PVGIS. [Aplicación en línea] Disponible en Internet: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- ⁴¹ [RSo] - Datasheet del panel fotovoltaico monocristalino RENESOLAR JC260M-24/BbV.
- ⁴² [Cas] Castejón A, Santamaría G. Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid. Editorial Editex S.A, 2010. 227p. ISBN: 978-84-9771-655-X.
- ⁴³ [IDA] - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), "Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red, PCT-C-REV - julio 2011.
- ⁴⁴ [Est] - EUROSTAT (Oficina Estadística de la Unión Europea). Passenger cars in the EU, 2015 - Disponible en Internet: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_cars_in_the_EU ISSN 2443-8219
- ⁴⁵ [Dia] - Díaz-Álvarez A, Serradilla-García F, Anaya-Catalán J et al. Estimación de la autonomía de un vehículo eléctrico según el estilo de conducción. Dyna Ingeniería e Industria, Vol. 90 (Mayo 2015) 294-299 <http://dx.doi.org/10.6036/7199>

-
- ⁴⁶ [Duf] - Dufo-López R, Bernal-Agustín JL. A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain. Energy 84 (2015) 684-694 <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.031>
- ⁴⁷ [Xce] - Xcel Energy, Guide to Net Metering and Net Billing. Disponible en Internet: <https://www.xcelenergy.com/staticfiles/xcel/Marketing/Files/MN-Res-SR-Meter-Billing-Guide.pdf>
- ⁴⁸ [SIR] - URBENER ENERGÍA. "Proyecto SIRVE, Sistemas Integrados para la Recarga de Vehículo Eléctrico" [En línea] Financiado por Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Disponible en Internet: <https://www.urbener.com/sirve/>
- ⁴⁹ [REC] - Circutor. Recarga de vehículo eléctrico con energía solar fotovoltaica, Caso de Éxito. Disponible en Internet: http://circutor.es/docs/CE_Recargo_SP.pdf
- ⁵⁰ [SMA] - SMA SOLAR INVERTERS. Datasheet SMA Sunny Boy 3300TL / 3800TL, Documentación comercial. Disponible en Internet: <http://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaico/sunny-boy-30-36-40-50.html>
- ⁵¹ [EUC] - Comisión Europea. Energía limpia para el transporte: Estrategia europea en materia de combustibles alternativos. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, 24-1-2013, p.5
- ⁵² [Ib1] - Ibáñez P. "El cambio rápido de batería en los coches eléctricos, más rápido que repostar gasolina" [En línea] Xataka, 5-11-2013. <http://www.xataka.com/automovil/el-cambio-rapido-de-bateria-en-los-coches-electricos-mas-rapido-que-repostar-gasolina>
- ⁵³ [Tes] - TESLA MOTORS. "Battery Swap Pilot Program", www.tesla.com 19-12-2014 Disponible en Internet: https://www.tesla.com/es_ES/blog/battery-swap-pilot-program
- ⁵⁴ [IVA]- IVACE - INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL. "Ayudas a la movilidad sostenible y ahorro y eficiencia energética en el sector del transporte" Energía, Ayudas 2016 [En línea] - Disponible en Internet: http://www.ivace.es/index.php?option=com_content&view=article&id=5202:programa-de-ayudas-movilidad-sostenible-y-ahorro-y-eficiencia-energetica-en-el-sector-transporte&lang=es
- ⁵⁵ [V2G] - The Grid-Integrated Vehicle with Vehicle-To-Grid Technology, University Of Delaware. Disponible en Internet: <http://www.udel.edu/V2G>
- ⁵⁶ [REx] - Agea A, Millán I. Range Extender for the Renault Fluence Z.E. Bachelor Degree Project in Science Engineering, Supervisor: Eklind A. University of Skövde, 2012.
- ⁵⁷ [GBa] - González-Barrios G. "Manual básico de conversión de vehículos eléctricos", Autolibre Uruguay, 28-9-2010. Disponible en Internet: http://www.autolibreelectrico.com/sitio/wp-content/uploads/2010/09/Manual_Basico_de_Conversion.pdf
- ⁵⁸ [ZEN] - ZEVNA, ZERO EMISSION VEHICLES NAVARRA. "Tu coche eléctrico gratis" [En línea], 31-7-2012 Disponible en Internet: http://zevna.blogspot.com.es/2012/07/si-no-habéis-leído-mal_31.html

-
- ⁵⁹ [FBa] - Fernández-Balaguer S. “Actuaciones llevadas a cabo por el Ayuntamiento de Madrid para promocionar el vehículo eléctrico”, Col. Oficial Ingenieros Industriales, Madrid, 10-5-2011. Disponible en Internet: www.coiim.es/rrii/Descargas/jornadasyconferencias/VE2011/sfernandez.pdf
- ⁶⁰ [Ayu] - AYUDASENERGIA.COM. “Autoconsumo por Balance Neto”, 2007-2012. [En línea] Disponible en Internet: <http://www.ayudasenergia.com/casa-solar/autoconsumo-por-balance-neto.html>
- ⁶¹ [Sun] - SUNVIE, SOLAR TECHNOLOGY SOLUTIONS. “The largest French Photovoltaic Power Plant, signed by Sunvie”. [En línea] Disponible en Internet: <http://www.sunvie.eu/parking-sheds-example-saint-aunes.html>
- ⁶² [Par] - PARMAR S.L. “Parking solar fotovoltaico ‘Walqa’ (Cuarte-Huesca)”. [En línea] Disponible en Internet: http://parkingsymarquesinas.com/630044_es/Techados-metalicos-para-aparcamientos-con-paneles-solares/
- ⁶³ [Gra] - García F. “La española Graphenano presenta una batería que dura 800 kilómetros”, [En línea] El Mundo - Secc. Motor, 16-2-2016. Disponible en Internet: <http://www.elmundo.es/motor/2016/02/11/56bc7d6aca4741e31e8b461f.html>
- ⁶⁴ [Jor] - Jortay M, Energy, transport and environment indicators, 2016 Edition. Publications Office of the European Union, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.2785/138586>
- ⁶⁵ [Ib2] - Ibáñez P, Hablemos de eficiencia: coche de combustión vs coche eléctrico [Let us talk about efficiency: Combustion Car vs Electric car], Motorpasión Futuro. Disponible en Internet: www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico; Ene 2012.
- ⁶⁶ [GPa] - García-Pardo D, Las compañías eléctricas ante la recarga de los vehículos eléctricos, 03-Movilidad verde Iberdrola, COIIM, 2011.
- ⁶⁷ [LFN] - Lupiáñez M, “Autoconsumo y Balance Neto – Marco Regulatorio”, LFN Photovoltaics.
- ⁶⁸ [Fas] - Fassbinder S, De Wachter B: The Electrical System as a Tandem Bicycle, Leonardo Energy, Sep 2005.
- ⁶⁹ [Led] - Ledesma P. Regulación de frecuencia y potencia. Universidad Carlos III de Madrid, Sep 2008.
- ⁷⁰ [ESi] - Red Eléctrica de España, Información del Operador del Sistema (e-sios), Disponible en Internet: <https://www.esios.ree.es>
- ⁷¹ [Ver] - Verzijlbergh RA, De Vries LJ, Dijkema GP et al. Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.039>

-
- ⁷² [Ric] - Richardson DB. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.042>
- ⁷³ [Ash] - Ashique RH, Salam Z, Bin Abdul Aziz MJ. Integrated photovoltaic-grid dc fast charging system for electric vehicle: A review of the architecture and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.245>
- ⁷⁴ [Sel] - Sellas C. Inyección cero con PIKO BA Sensor. KOSTAL Solar Electric Ibérica S.L. Disponible en Internet: <https://www.piko-solar-portal.com>
- ⁷⁵ [Gol] - Goli P, Shireen W. Control and Management of PV Integrated Charging Facilities for PEVs. In: Rajakaruna S, Shahnian F, Ghosh A, editors. *Plug In Electric Vehicles in Smart Grids Charging Strategies*, 2015. ISBN: 978-981-287-316-3; 2015, p.23-53.
- ⁷⁶ [Mia] - Miao-Tan K, Ramachandramurthy V, Ying-Yong J. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.012>
- ⁷⁷ [Fax] - Faxas-Guzmán J, García-Valverde R, Serrano-Luján R et al. Priority load control algorithm for optimal energy management in stand-alone photovoltaic systems, *Elsevier Renewable Energy*. Vol. 68 (2014) p.156-162. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.040>
- ⁷⁸ [Ing] - INGECON EMS Manager - Installation and Operation Manual, Disponible en Internet: http://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Producto/Documento/PRD_1384_Archivo_ingecon-ems-manager-installation-manual.pdf
- ⁷⁹ [NPR] - Nedap Power Router Solar, Disponible en Internet: https://powerrouter.com/downloads/technical/manuals/installation/INT_1309_Installation-Manual_PowerRouter-Solar.pdf
- ⁸⁰ [Sei] - Seinon, la herramienta del gestor energético. www.seinon.org
- ⁸¹ [Dai] - Daina N, Sivakumar A, Polak JW. Modelling electric vehicles use: a survey on the methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.005>
- ⁸² [OCU] - Organización de Consumidores y Usuarios. Diez razones para contratar una tarifa eléctrica con discriminación horaria, Disponible en Internet: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/10-razones-tarifa-discriminacion-horaria>
- ⁸³ [Ibe] - Iberdrola, Precios Regulados 2015 electricidad y gas (Vigentes desde 1 octubre), Disponible en Internet: https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/eu_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf
- ⁸⁴ [Dal] - Dallinger D, Wietschel M. Grid integration of intermittent renewable energy sources using price-responsive plug-in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.019>

-
- ⁸⁵ [Liu] - Liu L, Kong F, Liu X et al. A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.036>
- ⁸⁶ [Mwa] - Mwasilu F, Justo JJ, Kim EK et al. Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>
- ⁸⁷ [Nun] - Nunes P, Figueiredo R, Brito MC. The use of parking lots to solar-charge electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.015>
- ⁸⁸ [Bla] - Blasco A, González M, García A. T.I.C. aplicadas al estudio de la transmisión de calor. Congreso Internacional De Innovación Educativa En Edificación - CINIE2017.
- ⁸⁹ [Ard] - Arduino Project Hub - <https://create.arduino.cc/projecthub>
- ⁹⁰ [Cre] - Crespo E - Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com>
- ⁹¹ [Boi] - Boix-Cano D - Programación De Autómata “CX-Programmer” para el desarrollo de sistemas de conmutación y gestión inteligente para la recarga de baterías de Vehículos Eléctricos mediante Energías Renovables y la red eléctrica - Trabajo Fin de Máster de Energía Solar y Renovables, Universidad Miguel Hernández, 2017.
- ⁹² [OM1] - OMRON Advanced Industrial Automation - CPU CP1L - Guía de Introducción, 2007. Disponible en Internet: http://www.infoplac.net/files/descargas/omron/infoPLC_net_GettingStartedGuide_Spanish_.pdf
- ⁹³ [OM2] - OMRON Advanced Industrial Automation - SYSMAC CX-Programmer Ver. 9, 2011. Disponible en Internet: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/w446_cx-programmer_operation_manual_en.pdf
- ⁹⁴ [RWI] - Relé Circutor WI de control detector de corriente, Documentación comercial. Disponible en Internet: http://circutor.es/docs/FT_P3_WI_SP.pdf
- ⁹⁵ [Vic] - Relé Victron Transfer Switch ATS40V230 5kVA / 10kVA, Documentación comercial. Disponible en Internet: <https://www.victronenergy.de/upload/documents/Manual-Transfer-Switch-EN.pdf>
- ⁹⁶ [SSR] - Información técnica acerca de los relés de estado sólido, Infootec. Disponible en Internet: <https://www.infootec.net/rele-estado-solido/>
- ⁹⁷ [Pho] - Relé Phœnix Contact PLC-BSC- 24DC/21 - Documentación comercial. Disponible en Internet: <https://www.phoenixcontact.com/us/products/2966016>
- ⁹⁸ [ReC] - Real-Calvo R, Moreno-Munoz A, Pallares-Lopez V et al. Sistema Electrónico Inteligente para el Control de la Interconexión entre Equipamiento de Generación Distribuida y la Red Eléctrica. *Elsevier Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*. Vol 14 (2017) p. 56–69. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2016.11.002>

-
- ⁹⁹ [BO1] - 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, Boletín Oficial del Estado (BOE) Núm. 243, Sábado 10 de octubre de 2015, Sec. I. – Pág. 94874.
- ¹⁰⁰ [BO2] - Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Artículo 48. Boletín Oficial del Estado (BOE) Núm. 310, Viernes 27 de diciembre de 2013, Sec. I. – Pág. 105198.
- ¹⁰¹ [BO3] - Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo. Boletín Oficial del Estado (BOE) Núm. 316, Miércoles 31 de diciembre de 2014, Sec. I. – Pág. 107446.
- ¹⁰² [EAg] - Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía (EnerAgen), Nuestra visión y propuestas sobre el Vehículo Eléctrico, Disponible en Internet: <http://www.eneragen.org/download/vision-propuestas-movilidad-electrica/?wpdmdl=4724>
- ¹⁰³ [Xie] – Xie F, The Strategic Planning of the Fast Charging Infrastructure to Alleviate Long Distance Electric Vehicle Range Anxiety, Industrial & Systems Engineering, University of Tennessee-Knoxville. Disponible en Internet: <http://ise.utk.edu/graduate/graduate-seminars/graduate-seminars-feixie/>
- ¹⁰⁴ [Ar1] - Arraño J, Entendiendo Erlang C, Designing process models. Disponible en Internet: <https://jarrano.wordpress.com/2014/01/21/entendiendo-erlang-c/>
- ¹⁰⁵ [Ar2] - Arribas L, Soluciones Técnicas de Autoconsumo – Minieólica, CIEMAT.
- ¹⁰⁶ [Kel] – Kelly N, Gibson T, Ouwerkerk D. A solar-powered, high-efficiency hydrogen fueling system using high-pressure electrolysis of water: Design and initial results. International Journal Of Hydrogen Energy 33 (2008) 2747 – 2764. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.03.036>
- ¹⁰⁷ [Gib] – Gibson T, Kelly N. Optimization of solar powered hydrogen production using photovoltaic electrolysis devices. International Journal Of Hydrogen Energy 33 (2008) 5931 – 5940. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.106>
- ¹⁰⁸ [Ips] - Ipsakis D, Voutetakis S, Seferlis P et al. Power management strategies for a stand-alone power system using renewable energy sources and hydrogen storage. International Journal Of Hydrogen Energy 34 (2009) 7081–7095. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.06.051>