



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

## **Desarrollo de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.**

Autor: Jaime Tapia

Institución: Grupo ACS

e-mail: [jtapia@acsindustria.com](mailto:jtapia@acsindustria.com)

## RESUMEN

COBRA-ACS está participando en un proyecto CENIT, proyecto VERDE, dedicado a la investigación y generación del conocimiento necesario para la futura fabricación y comercialización de vehículos ecológicos a España, básicamente híbridos enchufables (PHEV) y eléctricos (EV). COBRA-ACS lidera la actividad en la cual se estudia y diseña la infraestructura necesaria para posibilitar una recarga inteligente de los vehículos eléctricos. Esta recarga inteligente consiste en una gestión de la demanda de dichos vehículos para favorecer, por una parte, al usuario posibilitando diferentes perfiles de recarga, y por otra parte al sistema eléctrico, facilitando la integración de la demanda eléctrica de los vehículos de la manera más ventajosa para el sistema. COBRA-ACS investiga y desarrolla en el proyecto VERDE los elementos necesarios para conseguir esta recarga inteligente. La infraestructura de recarga debe ser capaz de suministrar de manera segura la energía al vehículo eléctrico a través de unos puntos de recarga. La potencia disponible para cada punto de recarga será variable dependiendo de varios parámetros (potencia de la acometida, franja horaria en la recarga, incidencias en la red, perfiles del recarga del usuario...) por lo que un gestor local será el encargado de gestionar la transferencia de energía a los puntos de recarga. Con el fin de realizar una gestión eficiente de la demanda, es crucial implementar un sistema de comunicaciones robusto, seguro y abierto que permita la transmisión de los datos y comandos a lo largo de todos los elementos de la infraestructura de recarga, y entre dicha infraestructura y los diferentes actores del sistema eléctrico.

**Palabras Clave:** Vehículo eléctrico, punto de recarga, vehículo híbrido enchufable, infraestructura de recarga

## 1. Alcance

En este documento se expondrá parte del trabajo realizado por ACS-COBRA en el proyecto de investigación y desarrollo denominado VERDE.

## 2. Proyecto VERDE

El proyecto VERDE tiene por finalidad investigar y generar conocimiento en los temas clave necesarios para la fabricación y comercialización de vehículos ecológicos en España, lo que permitiría reducir la dependencia energética del petróleo de nuestro país, reducir las emisiones de CO2 en el sector del transporte, favorecer la penetración de las energías renovables y garantizar el futuro del sector industrial y del I+D de la automoción en España. Está subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Programa CENIT (Consortios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica) a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).

Los objetivos generales del proyecto VERDE vienen ilustrados en la figura siguiente:

**V**ehículo eléctrico. **E**spañol. **R**espuesta a la realidad para la eceta para la **D**ependencia energética. **E**misión de CO2. **E**nergía renovable. **E**stabilidad del sistema. **E**stabilidad del sistema. **E**stabilidad del sistema.

El consorcio está formado por un conjunto de 16 empresas, liderado por Centro Técnico SEAT, y 14 organismos públicos de investigación. Las empresas integran la cadena de valor del proyecto, distribuyéndose por especialidades concretas con un mínimo solapamiento entre ellas.

El Proyecto VERDE se estructura en siete paquetes de trabajo que se pueden resumir en:



ACS-COBRA es la empresa responsable de la actividad 5 en la que investiga y desarrolla, junto a otros socios, la infraestructura local de recarga para vehículos eléctricos.

### 3. Investigación y desarrollo de la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.

#### A. Definición y objetivos

Se considera infraestructura local de recarga al conjunto de medios hardware y software que permiten la gestión simultánea de un número elevado de puntos de recarga, correspondientes a una comunidad de usuarios.

La recarga inteligente y eficiente de los vehículos eléctricos constituye un reto nuevo en el mundo y en particular a nivel español. Por ello, se debe primero definir y dimensionar el ámbito de estudio de dicha recarga. A continuación, se estudiarán los diferentes elementos críticos que componen la infraestructura local de recarga y que permiten una óptima gestión de la recarga de los vehículos: arquitectura del sistema de recarga, los sistemas de comunicación y los sistemas que permitan una gestión de la demanda en la infraestructura local de recarga.

## B. Entorno de estudio

El entorno de estudio en la recarga de vehículos eléctricos consiste en analizar la tipología de edificaciones que existen en España (tipo de edificio, número de viviendas con garaje, número de plazas de garaje por vivienda, potencia de las fincas, potencia del garaje, potencia disponible...), con el fin de determinar la vivienda "modelo" que permita dimensionar adecuadamente la infraestructura y su posterior extrapolación en las simulaciones. Este estudio se ha centrado principalmente en viviendas ya que serán una de las ubicaciones preferentes de los puntos de recarga.

La metodología seguida ha sido un estudio estadístico con datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística sobre el censo de población y vivienda a escala nacional. Con estos datos se han caracterizado las edificaciones según la superficie, según el número de viviendas y según la disponibilidad de plazas de garaje. Un dato relevante es que un 25% de las viviendas disponen de plaza de garaje. Por último y con el fin de caracterizar el grado de electrificación y previsión de carga en las viviendas, se ha recurrido al reglamento electrotécnico para baja tensión REBT, teniendo en cuenta si las viviendas disponen de discriminación horaria (DH) o no. De este modo se ha podido determinar la potencia de la que disponen las acometidas instaladas en las viviendas en la actualidad. Este dato permite conocer la potencia disponible para su uso en los vehículos eléctricos.

Los resultados obtenidos para la vivienda "tipo" en España son los siguientes:

Superficie de las viviendas	Número de viviendas por edificación	
Entre 46m <sup>2</sup> y 105m <sup>2</sup>	1	Entre 5 y 39

Tabla 1. Resumen de las tipologías de vivienda más comunes en España.

Disponibilidad de garaje	TOTAL	Sí tiene	No tiene
Nº de viviendas			
TOTAL	100,00	24,70	75,29
1	100,00	33,81	66,18
5 a 39	100,00	19,79	80,21

Tabla 2. Disponibilidad de garaje según número de viviendas en edificaciones.

	Potencia acometida (Kw)	Potencia línea BT (Kw)	Potencia cálculo CT(KVA)
<b>SIN DH</b>			
Vivienda unifamiliar	9,2	5	4
Edificio 9 viviendas	55	25	20
Edificio 19 Viviendas	104	52	42
Edificio 39 viviendas	185	108	86

Tabla 3. Resumen tabla de potencias para viviendas sin discriminación horaria.

	Potencia acometida (Kw)	Potencia línea BT (Kw)	Potencia cálculo CT(KVA)
<b>CON DH</b>			
Vivienda unifamiliar	9,2	10	8
Edificio 9 viviendas	86	81	63
Edificio 19 Viviendas	172	172	137
Edificio 39 viviendas	352	352	282

Tabla 4. Resumen tabla de potencias para viviendas con discriminación horaria.

### C. Tipologías de recarga e impacto en la red

En la actualidad se está trabajando para implantar los siguientes modos de recarga para el vehículo eléctrico:

TIPO DE CARGA	POTENCIA(kw)	TENSIÓN/AMPERIOS	TIPO CORRIENTE	TIEMPO RECARGA
<b>Carga estándar (lenta)</b>	3.7	230V, 16A, monofásica	CA	6h-8h
<b>Carga Semi-rápida</b>	Hasta 20	400V, hasta 68A	CA	2h-4h
<b>Carga Rápida</b>	Hasta 80	400V, hasta 200A	CC	15-30min

Tabla 1. Modos de recarga. Fuente: proyecto VERDE.

La carga estándar o carga lenta se efectúa en una conexión monofásica convencional como la que llega a los hogares para los aparatos eléctricos de consumo. El tiempo necesario para cargar una batería sería de 3 horas, para una batería de 10 kWh; 5,5 horas para una batería de 20 kWh, y 11 horas para una batería de 40 kWh. Considerando una potencia máxima instalada de 3,7 kW y el voltaje estándar de 230 V, la recarga consumiría una intensidad de 16 Amperios.

La carga semi-rápida está concebida para reducir el tiempo de carga a un intervalo desde 15-30 minutos (para una batería de capacidad 10 kWh) hasta 2 horas (para una batería de capacidad de 40 kWh). La conexión es trifásica, con un voltaje de 400 V y una intensidad de de 32 a 68 Amperios, según potencia instalada, que puede ser de 22 a 44kW.

La carga rápida permite reducir los tiempos de carga a unos minutos, pudiendo rivalizar este lapso de tiempo con un repostaje convencional de combustible efectuado en la actualidad. Para lograr esta mejora se precisa de potencias instaladas de 220-240 kW e intensidades de 250 a 400 Amperios para voltajes de 500 a 600V, suministrando esta energía en corriente continua.

Para implantar los modos de carga semi-rápida y rápida es necesario modificar sustancialmente la red actual, ampliando la potencia instalada y adaptando de la misma forma las protecciones y conexiones. En el modo de recarga rápido se requiere el uso de corriente continua, que precisaría de un rectificador para transformar la corriente alterna usada en la red de transporte de electricidad en corriente continua usada en la recarga. Debido a las altas potencias requeridas que implicarían costosas modificaciones en la instalación eléctrica de las viviendas, la recarga rápida no se contempla como tipología de recarga a corto plazo en los hogares.

Los modos de recarga van a influir mucho en la gestión de la demanda eléctrica de los VE ya que dependiendo de la hora a la que se cargue afectará de diferente manera a la curva de carga de la demanda. Por ejemplo, en la figura 1 se puede observar que si la recarga estándar en vez de producirse entre las 12 de la noche y las 8 de la mañana se produjera a partir de las 5 de la tarde, se aumentaría el pico de demanda, provocando la correspondiente sobrecarga en la red.

El escenario ideal por tanto es, cargar en las horas valle ya que así no se saturaría la red y el precio de la energía sería mucho más bajo. Este escenario se puede decir que podría encajar más con los modos de carga estándar y carga semi-rápida. En el caso de carga rápida se entiende que será una carga más inusual, de urgencia, y que se podrá dar a cualquier hora del día sea pico o valle.

A continuación se muestran tres figuras que muestran los modos de recarga estándar, semi-rápida y cómo se podrían ajustar a la curva de carga:

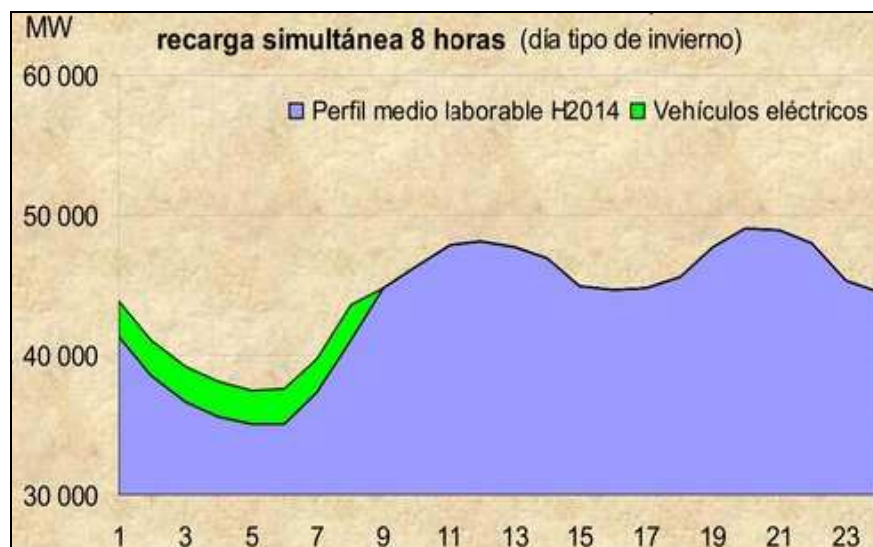


Figura 1. Recarga estándar en horas valle. Fuente: REE.

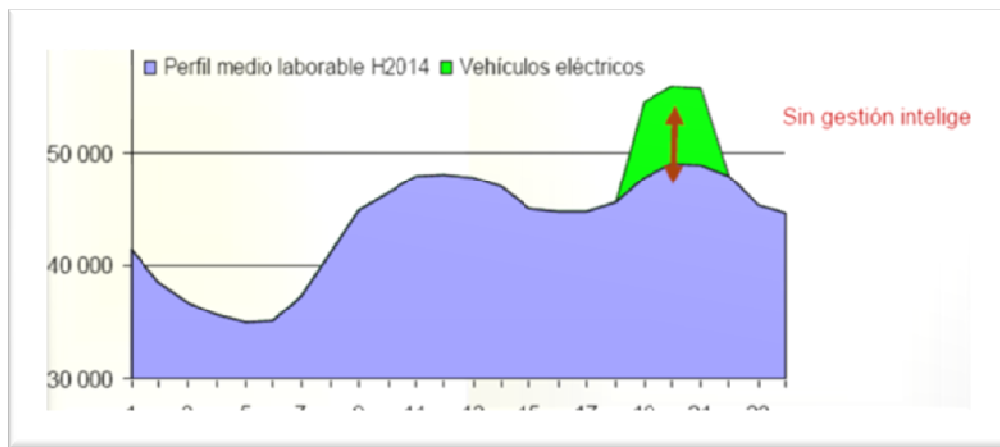


Figura 2. Recarga semi-rápida en hora pico. *Fuente: REE.*

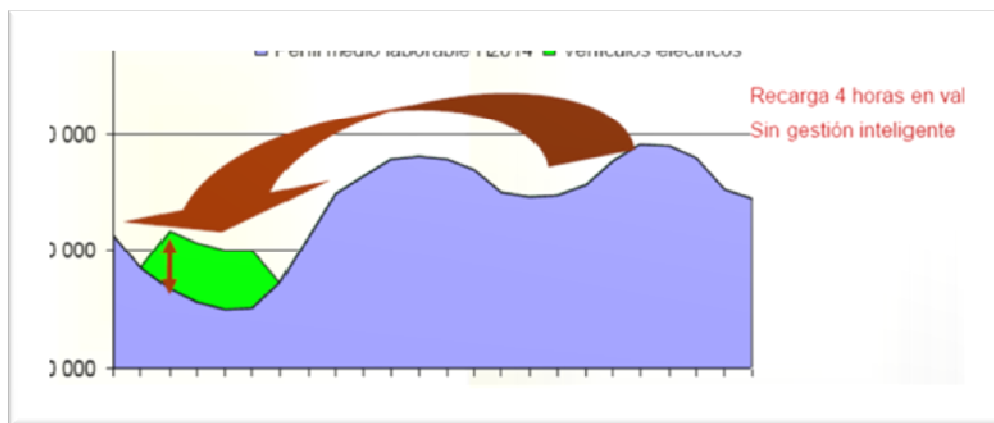


Figura 3. Recarga semi-rápida en horas valle. *Fuente: REE.*

Por lo tanto, mediante un sistema de gestión inteligente e implantación de medidas para fomentar la recarga en horas valle (señales horarias y/o regulatorias) se intentará poder alcanzar una curva de carga lo más parecida a la siguiente:

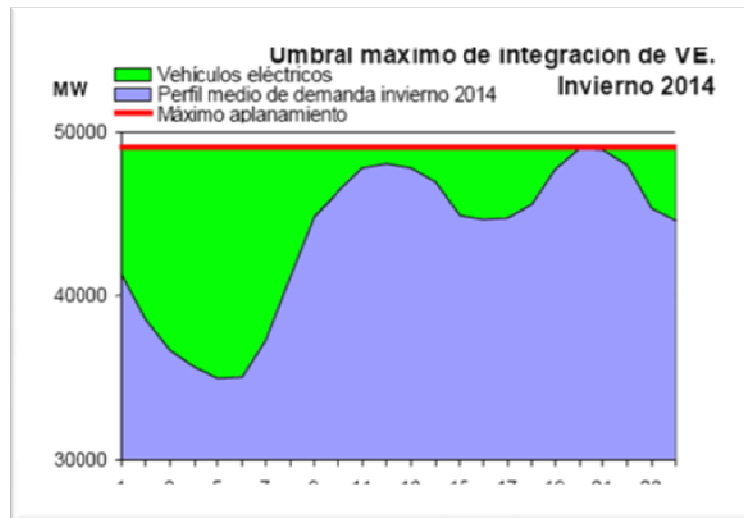


Figura 4. Curva de carga deseable en la integración del VE. Fuente: REE.

El objetivo de la gestión de la demanda es optimizar la explotación de los activos existentes para así minimizar el coste de introducción y expansión del VE.

#### D. Simulación infraestructura de recarga.

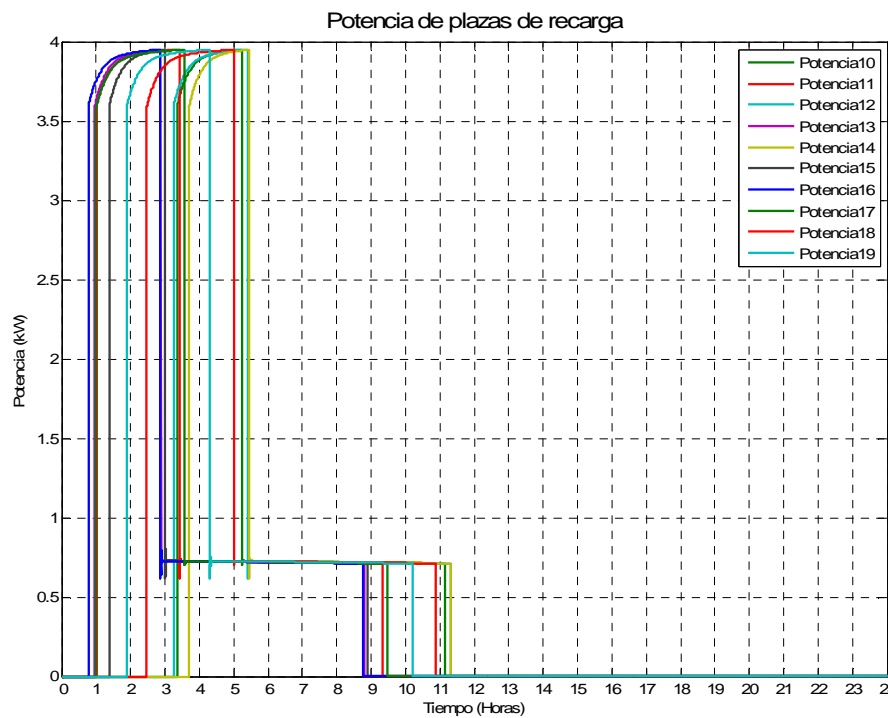
Una vez identificada la tipología de vivienda modelo en España y los tipos de carga disponibles, se puede proceder a realizar una simulación de recarga con estos parámetros. Para ello se generaron modelos de bloques de los puntos de conexión para usuarios individuales, comunidades de vecinos, o espacios públicos a partir de las ecuaciones matemáticas que conforman cada parte de los puntos de conexión y del sistema cargador-batería. Estos modelos son fácilmente modificables y ajustables para poder ayudar al dimensionamiento óptimo en cada caso.

En los modelos generados se implementan variables aleatorias de conexión, desconexión y estado de carga de la batería de los cargadores al punto de carga con un índice configurable de simultaneidad alrededor de una hora programada. Además, se han adicionado los perfiles de consumo residencial y comercial para analizar el comportamiento de la red eléctrica de distribución en horas de consumo picos o valles. Se ha adicionado también una variable aleatoria para el estado de carga de la batería, que podrá variar de 0% a 100%. Se ha tenido en cuenta el supuesto de una carga entre el 30% y el 50% de la capacidad total.

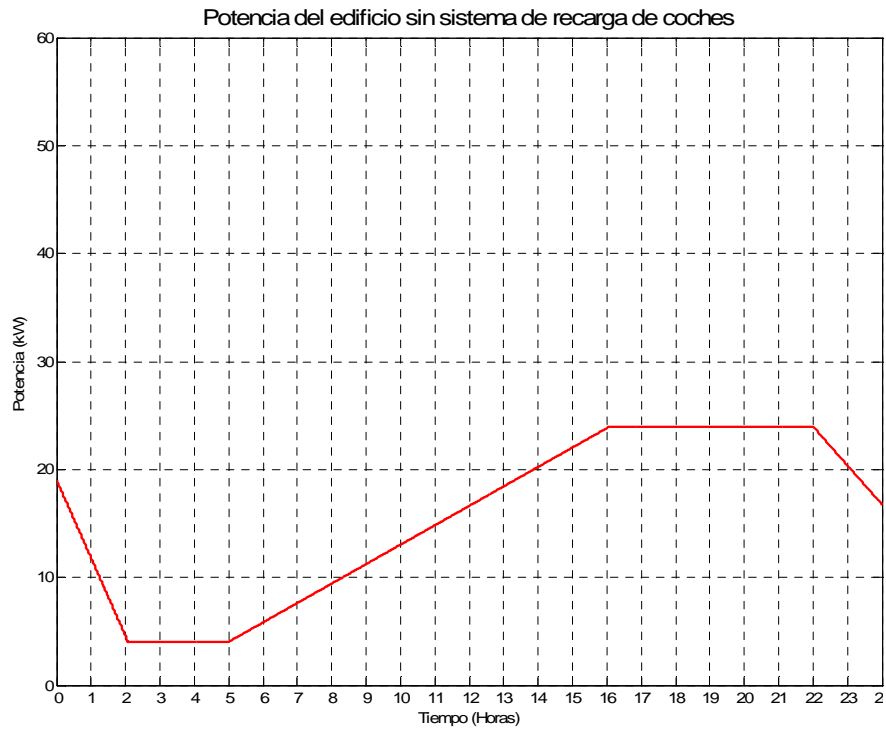
Las simulaciones realizadas de los modelos residenciales y del edificio del parking muestran una clara necesidad de utilizar un sistema de gestión energética inteligente para evitar picos de consumo que lleven al centro de transformación a puntos de operación críticos. En las siguientes figuras se ha tomado un caso particular de tipología de vivienda:

Edificios de 9 viviendas y 10 plazas de garaje:

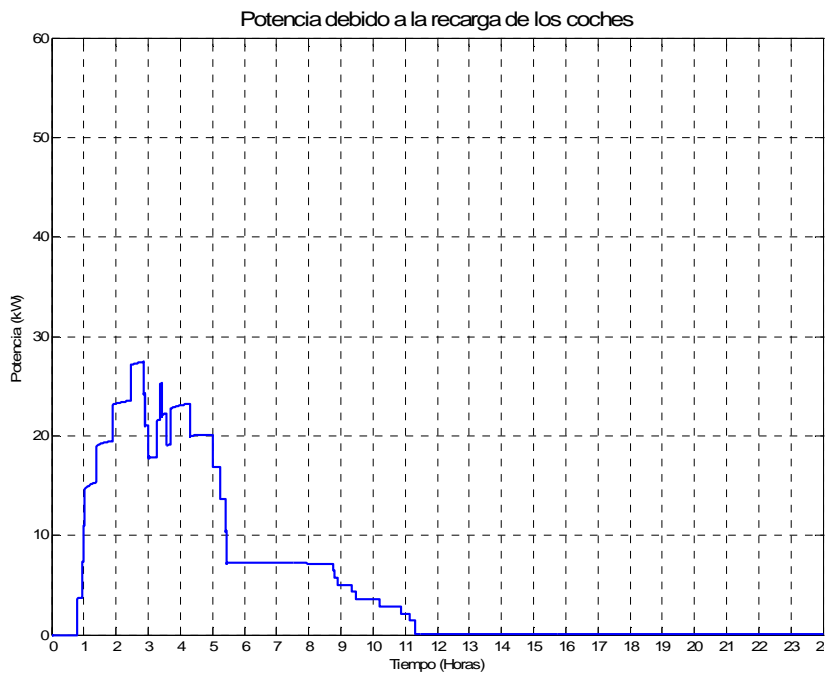
- P (acometida: KW) = 55
- P (línea BT: KW) = 25
- P (CT: KVA) = 20



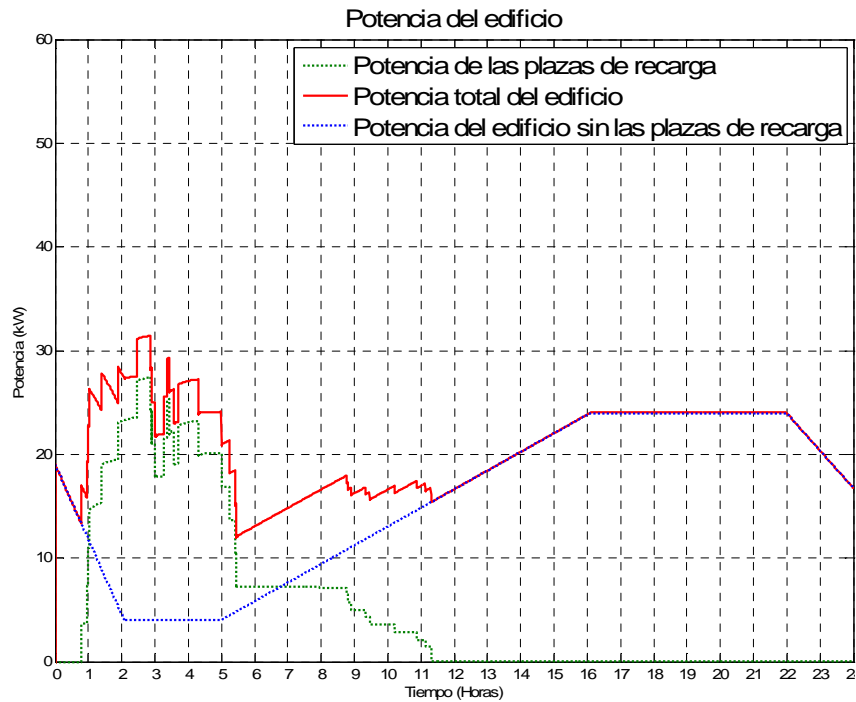
(a)



(b)



(c)



(d)

Las gráficas muestran la potencia monofásica en un edificio de 9 viviendas con 10 plazas de garaje:

- (a) Se muestran las curvas de potencia de cada plaza de garaje donde se identifica el comportamiento del cargador cuando trabaja como fuente de corriente y como fuente de voltaje. Además las variables de encendido, apagado y estado del sistema batería – cargador son aleatorias.
- (b) Perfil de consumo para un edificio con 9 viviendas.
- (c) Potencia debido a los cargadores de las 10 plazas de garaje.
- (d) Potencia total debido al consumo residencia y el consumo por las plazas.

#### E. Arquitectura del sistema de recarga

La funcionalidad principal del sistema de recarga de vehículos eléctricos es conseguir cargar la batería de los vehículos. Esta recarga se debe realizar de manera ordenada para no perjudicar a diferentes elementos del sistema eléctrico. De ahí que se necesite de dotar a la infraestructura de recarga de una gestión inteligente de la demanda. En la figura siguiente se puede observar de manera esquemática los flujos energéticos que serán gestionados entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga, para dos tipologías de puntos de recarga:

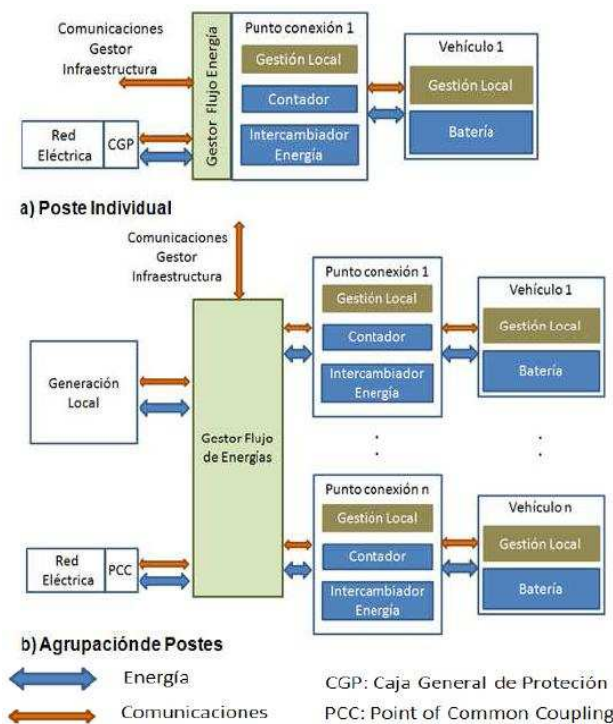


Figura 5. Diagrama de bloques de la arquitectura de recarga.

El sistema de recarga de los vehículos eléctricos debe poseer ciertas características para que pueda realizar una gestión de la demanda eficiente:

- Capacidad de gestión energética de numerosos puntos de recarga.
- Flexibilidad: para poder incorporar en el futuro funcionalidades que no están disponibles en estas primeras etapas.
- Seguridad: para dotar de fiabilidad al sistema.
- Robustez: para seguir funcionando de manera eficaz a pesar de la aparición de interferencias externas.
- Estandarización de los componentes críticos del sistema de recarga.
- Interoperabilidad: para permitir una libertad de recarga a lo largo de todo un territorio, aunque haya varios sistemas de recarga en el territorio.

Estas funcionalidades del sistema de recarga se pueden dividir en tres unidades individuales que en su conjunto consiguen realizar una eficiente gestión de la recarga. Estas tres unidades son el punto de recarga (PR), el gestor local (GL) y el centro de gestión (CG).

El punto de recarga es la frontera física entre la infraestructura de recarga y el vehículo eléctrico. Su función es la de asegurar la seguridad eléctrica y mecánica de la conexión, tanto para el vehículo como para el usuario. Asimismo debe ser capaz de medir la cantidad de energía que fluye por él, hacia o desde el vehículo. En algunas ocasiones puede ser capaz de identificar al usuario/vehículo que desea recargar sus baterías en dicho punto de recarga.

El gestor local es el encargado de gestionar los flujos energéticos que se distribuirán entre los diferentes puntos de recarga. Debe ser capaz de configurar una previsión de la demanda de los puntos de recarga que gestiona y de medir la potencia disponible para los vehículos eléctricos conectados a dichos puntos.

El centro de gestión coordina el correcto funcionamiento de todos los gestores locales. Su función es la de validar las diferentes previsiones de carga aportadas por los GL, comprobar con los diferentes agentes del sistema eléctrico que la previsión de los GL se puede cumplir.

En la figura 5 se puede ver una representación gráfica de las diferentes unidades del sistema de recarga:

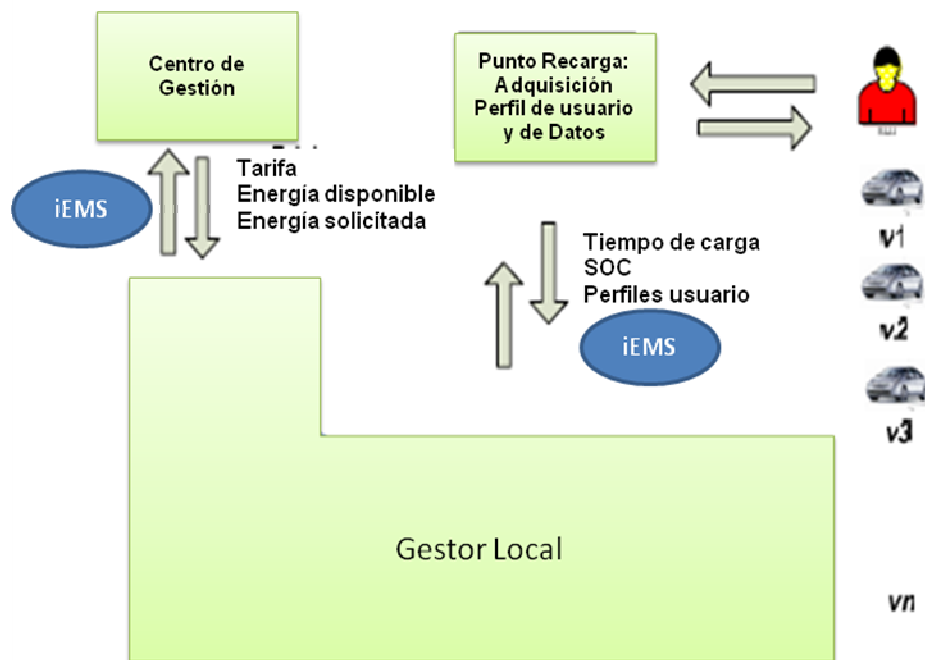


Figura 6. Diagrama de bloques de la arquitectura de recarga.

Estas tres unidades principales del sistema de recarga deben estar comunicadas entre sí y con otros agentes (agentes del sistema eléctrico por ejemplo) para un correcto funcionamiento. Así pues, en un sistema de gestión eficiente de la demanda las comunicaciones cobran especial relevancia.

## F. Comunicaciones

- Las TIC y el VE

Es importante dentro del contexto de la infraestructura de recarga definir tanto los protocolos de comunicación como la información que se transmite, ya que éstos propiciarán tanto la carga del vehículo como la correcta gestión de la energía.

El sector de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) ejerce un papel importante en el desarrollo de proyectos de puesta en marcha del vehículo eléctrico y estandarización de sistemas y protocolos de comunicación para la gestión de la carga.

La capacidad del sistema eléctrico español de recargar las baterías de los coches eléctricos enchufables dependerá de que esta recarga sea controlada mediante las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. Con la asistencia de las TIC, además de evitarse la recarga en horas de máxima demanda energética, se ayudaría a integrar mejor las energías renovables y la eólica en concreto para este destino. En particular, puede asegurarse que desde el punto de vista de la infraestructura eléctrica el VE es una carga inteligente que se integra en ella gracias al soporte que proporcionan las tecnologías TIC.

En el fondo de esta gestión inteligente de la oferta y demanda energética que puede proporcionar el VE se encuentra el concepto de SmartGrid. Una SmartGrid integra tecnologías avanzadas de sensorización y adquisición de datos, métodos de control y comunicaciones en la red eléctrica. En este sentido, la red eléctrica debe de estar siempre disponible, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en tiempo real.

- Estandarización

Como se ha mencionado anteriormente, la gestión de la recarga de los vehículos eléctricos depende en gran medida de la comunicación que se implemente entre el VE y la infraestructura de recarga. Dicha comunicación debe ser bidireccional ya que el VE podrá proveer de servicios a la red, lo que se denomina V2G (Vehicle to Grid). No obstante, en la actualidad no se dispone de una estandarización de la comunicación entre VE e infraestructura de recarga: datos a comunicar, protocolos de comunicación, buses de comunicación, conectores físicos... La normativa vigente relativa a la recarga de los VE (por ejemplo, IEC 61851, IEC 62196) ha quedado algo obsoleta para los requisitos que se quieren implantar. Por ello se está trabajando en los principales organismos regulatorios (ISO, IEC y SAE) para constituir un estándar a nivel global. La aparición de regulaciones diferentes sería una barrera para la expansión de los vehículos eléctricos al no permitir una interoperabilidad.

- La comunicación VE-infraestructura de recarga y la gestión de la demanda

En el proceso de carga del vehículo eléctrico y respecto a las comunicaciones necesarias en el sistema, se pueden diferenciar tres fases: comunicaciones previas al proceso de recarga, durante el proceso de recarga, y de desconexión.

○ *Comunicaciones previas al proceso de recarga*

En esta fase se contempla la identificación del vehículo y del usuario, y las notificaciones de incidencia en caso de imposibilidad de recarga, de indisponibilidad de la infraestructura y de establecimiento de comunicación.

Para poder prestar el servicio de recarga el usuario debe o puede (según legislación) facilitar una serie de datos (Perfil de Usuario) para su autenticación en una base de datos normalizada, y el vehículo debe comunicar sus características técnicas y su estado de carga.

Con el fin de poder realizar la recarga, deben existir dos flujos de datos procedentes de:

\* El VE.

La BMS (battery management system) del VE debe comunicar a la infraestructura una serie de datos para que ésta pueda realizar una eficiente gestión de la demanda:

- .- Energía máxima en KWh a recargar (lo calculará la BMS, en función de distintos parámetros –SOH, pérdidas internas coche, temperatura exterior, etc.-).
- .- Tolerancia de recarga (lo dará también la BMS al módulo de comunicaciones, mediante cálculos de fabricante y algoritmos de autoaprendizaje que afinen el cálculo).
- .- Potencia máxima de la batería (lo enviará la BMS al módulo de comunicaciones del VE).

\* El usuario.

El usuario deberá comunicar qué perfil de recarga desea. Pueden existir muchos perfiles posibles: recarga llena en un corto período de tiempo (lo que exigirá una recarga a mayor potencia), recarga llena pero en un largo período de tiempo (menor potencia en la recarga), recarga máxima en un tiempo determinado pero con el menor coste posible...

Con la introducción de estos parámetros por parte del VE y del usuario, la infraestructura de recarga debe analizar su capacidad para prestar el servicio. Para ello, inicia un proceso de comunicación con diferentes agentes del sistema eléctrico para obtener confirmación de energía disponible, capacidad de distribución y tarificación. Este proceso es esencial para que la infraestructura de recarga evalúe la posibilidad de recarga según los criterios deseados tanto por el usuario como por el VE, teniendo en cuenta el estado del sistema eléctrico. La infraestructura de recarga debe ser capaz de acoplar la demanda de los VE al estado del sistema eléctrico, para asegurar de este modo su estabilidad. La gestión de la demanda que debe realizar la infraestructura de recarga consiste en conseguir unas curvas de consumo planas (llenado de valles, desplazamiento y disminución de picos de demanda). Las herramientas utilizadas para esta gestión de la demanda son la elaboración de informes estadísticos de consumos locales reales agregados, y la realización de previsiones de consumo locales para los siguientes intervalos temporales, típicamente 24 h – 48 h. Un dato importante a la hora de gestionar la recarga de los VE es el tiempo que estos vehículos estarán conectados a la infraestructura de recarga. Se pueden dar los siguientes casos de uso:

CASO	CONDICIÓN	OPCIONES
Caso 1	Nº Horas disponible > Nº Horas para recargar en carga lenta	Recarga lenta al 100%
Caso 2	Nº Horas en carga media < Nº Horas disponible < Nº Horas para recargar en carga lenta	Velocidad de carga media, 100% cargado, con su tarifa
		Velocidad de carga lenta, estimación % cargado y su tarifa
Caso 3	Nº Horas en carga rápida < Nº Horas disponible < Nº Horas para recargar en carga media	Velocidad de carga rápida, 100% cargado con su tarifa
		Velocidad de carga media, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa
		Velocidad de carga lenta, con estimación en % del nivel de batería y su tarifa
Caso 4	Nº Horas en carga rápida > Nº Horas disponible	Velocidad de carga rápida, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa
		Velocidad de carga media, con estimación en %, del nivel de batería y su tarifa
		Velocidad de carga lenta, con estimación en % del nivel de batería y su tarifa

Tabla 6. Tabla de casos de uso según la disponibilidad de duración de la recarga.

- *Comunicaciones durante el proceso de recarga eléctrica*

En esta fase se procede a la activación del Punto de Recarga por parte del Gestor Local y se inicia el flujo de energía. En este proceso el flujo de comunicaciones es distinto si la recarga es en AC o en DC. En AC el cargador del VE está continuamente comprobando que los parámetros de la recarga son aceptables, mientras que en DC, como el cargador no interviene, el Punto de Recarga dialogará con el sistema de gestión de la batería para obtener los parámetros necesarios para gestionar correctamente la recarga. El PR será el que finalice la recarga. El Punto de Recarga debe registrar la hora de inicio y fin de la recarga, así como medir la cantidad de energía transferida al VE.

- *Comunicaciones durante el proceso de desconexión*

En esta fase se realiza la parada de la recarga y la desconexión del Punto de Recarga. El Gestor Local recoge los datos que el Punto de Recarga ha almacenado (caso recarga AC) o gestionado (caso recarga DC) para calcular el coste del servicio. Estos datos de facturación se envían al Usuario a modo informativo por un lado y al Centro de Gestión para la facturación, que se almacenará en la base de datos. Finalmente el Punto de Recarga gestiona la desconexión eléctrica con el VE y el proceso de cierre del canal de datos.

#### **4. Conclusión**

El proyecto VERDE en el que ACS-COBRA lidera la actividad encargada de la investigación y desarrollo de la infraestructura local de recarga responsable de la gestión de los flujos energéticos hacia o desde los vehículos eléctricos constituye una oportunidad única para solventar el mayor número de barreras a la introducción masiva del vehículo eléctrico en la sociedad.