

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estimació de la demanda elèctrica dels vehicles elèctrics

MEMÒRIA

Autor: Josep Rodriguez Estrella
Nom director: Roberto Villafáfila Robles
Convocatòria: Setembre 2021



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

En un futur pròxim la demanda elèctrica, degut a l'assentament dels vehicles elèctrics, augmentarà fins a un punt que s'haurà de preveure com es podrà abastir a la població. La connexió dels VE a la xarxa domèstica en hores punta empitjora la gestió i control del sistema actual i per evitar-ho és necessari implementar un sistema de gestió de càrrega intel·ligent que pugui pal·liar amb aquest gran problema. Aquest projecte es basa en la estimació de la demanda dels vehicles elèctrics connectables (PEV), concretament els turismes, durant els dies laborables. A partir de dades d'una població determinada es trien els valors de les variables que representen millor al global dels conductors per a realitzar l'estudi. Donada una corba de demanda concreta hi ha dos casuístiques de recàrrega del VE: una primera en la que l'usuari recàrrega el vehicle en arribar a casa i una altra on mitjançant sistemes de gestió de la demanda, el vehicle és carregat en hores vall.

Com a mode de suport per la realització d'aquest treball, es crea mitjançant Excel, una eina que permet fer els mateixos càlculs i obtenir les corresponents corbes de demanda, tan sols proveint dades de consum reals i els valors de les variables segons convingui.

La finalitat d'aquest document és que qualsevol persona interessada en la incorporació del vehicle elèctric pugui tenir una idea aproximada de com afectarà aquest fet a la corba de demanda existent i així prendre accions que permetin reduir els efectes adversos.

Sumari

Resum	3
Sumari	4
Índex de figures	6
Índex de taules.....	8
Glossari.....	9
1. Introducció.....	10
1.1. Objectius	10
1.2. Abast.....	10
2. El vehicle elèctric.....	11
2.1. Història i evolució del vehicle elèctric	11
2.2. Components d'un vehicle elèctric.....	13
2.3. Tipus de Vehicles Elèctrics	15
3. Infraestructura de càrrega	19
3.1. Modes de recàrrega	19
3.1.1. Estandarditzacions als EE.UU	23
3.2. Tipus de connectors.....	25
3.3. Escenaris de recàrrega	26
3.4. Smart Grids.....	29
4. Estimació de la demanda dels VE	31
4.1. Variables a considerar.....	32
4.2. Escenaris d'estudi	39
4.2.1. Arribar i carregar (<i>Plug&Play</i>)	42
4.2.2. Distribució en període vall.....	46
5. Casos particulars d'estimació de demanda dels VE.....	51
5.1. Cas pràctic 1: Demanda elèctrica al domicili familiar.....	51
5.2. Cas pràctic 2: Demanda elèctrica segons PEV d'Alemanya	53
5.3. Cas pràctic 3: Demanda elèctrica a Espanya en 2030.....	56

6. Planificació i estudi econòmic.....	59
7. Impacte a l'entorn.....	61
Conclusions.....	62
Treballs futurs.....	62
Agraïments.....	63
Bibliografia.....	64
Annex A: Manual d'usuari de l'eina.....	66
A.1. Menu.....	67
A.2. Dades Generals.....	68
A.3. Recàrrega en període vall.....	69
A.4. Recàrrega <i>Plug&Play</i>	70

Índex de figures

Figura 1 – Robert Anderson amb el primer prototip de vehicle elèctric. Font: Google	11
Figura 2 – Avenços tecnològics sobre el vehicle elèctric al llarg dels anys. Font: Google.....	12
Figura 3 – Components principals d'un BEV. [20].....	14
Figura 4 – Components principals d'un HEV. [20].....	16
Figura 5 – Components principals d'un PHEV. [20]	17
Figura 6 – CA Mode 1 de càrrega. [5]	19
Figura 7 – CA Mode 2 de càrrega. [5]	20
Figura 8 – Característiques de les bases de presa de corrent per als modes 1 i 2. [4]	20
Figura 9 – CA Mode 3 de càrrega. [5]	21
Figura 10 – Característiques de les bases de presa de corrent per al mode 3. [4].....	21
Figura 11 – CC Mode 4 de càrrega. [5].....	22
Figura 12 – Centre de càrrega CC Mode-4 de Tesla Motors. Font: Google	22
Figura 13 – Característiques dels connectors de mode 4. [4]	22
Figura 14 – Diferents connectors de càrrega per a VE. Font pròpia	25
Figura 15 – Característiques dels tipus de recàrrega [4].....	26
Figura 16 – Visió general del concepte "Vehicle to Anything", V2A [9].....	29
Figura 17 – Evolució anual consum elèctric VE a Mollet del Vallès. Font: Aj. Mollet del Vallès.....	31
Figura 18 – Evolució del nombre de PEV segons el tipus a Espanya. [2].....	33
Figura 19 – Països europeus amb més unitats de PEV venudes. [2].....	33
Figura 20 – Corba del procés de càrrega de les bateries elèctriques. [21].....	35
Figura 21 – Quilòmetres diaris recorreguts per vehicles segons els països. [21].....	37
Figura 22 – Hora de tornada al domicili. [21].....	38
Figura 23 - Demanda màxima setmana 27 dels últims cinc anys. Elaboració pròpia. [8].....	40

Figura 24 - Demanda màxima setmana 4 dels últims cinc anys. Elaboració pròpia. [8].....	41
Figura 25 – Demanda elèctrica dels dies triats. Elaboració pròpia. [8]	41
Figura 26 – Demanda elèctrica dels PEV del cas Plug&Play. Font pròpia.....	42
Figura 27 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play a l'hivern. Elaboració pròpia. [8].....	44
Figura 28 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play a l'estiu. Elaboració pròpia. [8].....	45
Figura 29 – Demanda elèctrica peninsular període vall a l'hivern. Elaboració pròpia. [8].....	47
Figura 30 – Demanda elèctrica PEV període vall a l'estiu. Font pròpia.....	48
Figura 31 – Demanda elèctrica peninsular període vall a l'estiu. Elaboració pròpia. [8]	49
Figura 32 – Demanda elèctrica PEV període vall a l'estiu. Font pròpia.....	50
Figura 33 – Demanda elèctrica real. Cas pràctic 1. Font pròpia.....	51
Figura 34 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 1. Font pròpia.	52
Figura 35 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 2. Elaboració pròpia. [8]	53
Figura 36 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 2. Elaboració pròpia. [8]	54
Figura 37 – Demanda elèctrica PEV període vall. Cas pràctic 2. Font pròpia.	55
Figura 38 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 3 . Elaboració pròpia. [8]	56
Figura 39 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 3. Elaboració pròpia. [8]	57
Figura 40 – Demanda elèctrica PEV període vall. Cas pràctic 3. Font pròpia.	58
Figura 41 – Diagrama de Gantt de la planificació del projecte. Font pròpia.	59
Figura 42 – Botons de l'eina per a realitzar funcions. Font pròpia.....	66
Figura 43 – Diferents pestanyes de l'eina. Font pròpia.	66
Figura 44 – Menu principal a l'eina. Font pròpia.....	67
Figura 45 – Pestanya de les dades generals. Font pròpia	68
Figura 46 – Pestanya per recàrrega en període vall. Font pròpia	69
Figura 47 - Pestanya per a recàrrega Plug&Play. Font pròpia	70

Índex de taules

Taula 1 – Característiques del VE [3]	17
Taula 2 – Comparativa entre els diferents modes de recàrrega. [4]	23
Taula 3 – Nivells de càrrega amb característiques [5]	24
Taula 4 – Comparativa entre els diferents esquemes d'instal·lació. Font pròpia	28
Taula 5 – Capacitat mitjana de les bateries dels principals models de VE. [11]	34
Taula 6 – Consum elèctric mitja dels principals models de VE. [12]	36
Taula 7 – Quilòmetres diaris amb el percentatge segons el tram. Font pròpia	37
Taula 8 – Valor de les variables triades. Font pròpia	39
Taula 9 – Distribució de la demanda elèctrica segons la hora en Plug&Play. Font pròpia	43
Taula 10 – Variació de demanda amb recàrrega Plug&Play a l'hivern. Font pròpia	44
Taula 11 – Variació de demanda amb recàrrega Plug&Play a l'estiu. Font pròpia	45
Taula 12 – Variació de demanda amb recàrrega en període vall a l'hivern. Font pròpia	48
Taula 13 – Variació de demanda amb recàrrega en període vall a l'estiu. Font pròpia.	50
Taula 14 – Valor de les variables triades. Cas pràctic 1. Font pròpia	52
Taula 15 – Variació de demanda en recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 2. Font pròpia	53
Taula 16 – Variació de demanda en recàrrega en període vall. Cas pràctic 2. Font pròpia.....	54
Taula 17 – Variació de demanda en recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 3. Font pròpia	56
Taula 18 – Variació de demanda en recàrrega en període vall. Cas pràctic 3. Font pròpia.....	57
Taula 19 – Desglossament dels costos del projecte. Font pròpia.....	60

Glossari

Al llarg d'aquest treball es mencionen algunes abreviatures, el significat de les quals es detalla a continuació:

AUVE	<i>Asociación de Usuarios de Vehículos Eléctricos</i>
BEV	<i>“Battery Electric Vehicle”</i> , Vehicle Elèctric de Bateria
CA	Corrent Alterna
CC	Corrent Contínua
EREV	<i>“Extended-Range Electric Vehicle”</i> , Vehicle Elèctric de Rang Estès
HEV	<i>“Hybrid Electric Vehicle”</i> , Vehicle Elèctric Híbrid
ICAEN	Institut Català d'Energia
PEV	<i>“Plug-in Electric Vehicle”</i> , Vehicle Elèctric Connectable
PHEV	<i>“Plug-in Hybrid Electric Vehicle”</i> , Vehicle Elèctric Híbrid Connectable
PNIEC	<i>Plan Nacional Integrado de Energía y Clima</i>
REBT	Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió
REE	<i>Red Eléctrica d'España</i>
SAE	<i>“Society of Automotive Engineers”</i> , Societat d'enginyers d'automoci
VE	Vehicle Elèctric

1. Introducció

En l'actualitat, la gran part de les emissions contaminants a l'atmosfera són generades pel sector del transport i amb la creació del vehicle elèctric i el concepte de mobilitat elèctrica, es dona un pas enorme cap a la reducció de CO₂ (principal component causant del canvi climàtic) i la consegüent descarbonització de l'economia al 2050. A més del benefici de la descarbonització, la mobilitat elèctrica porta millores de salut a les persones gràcies a la reducció dels gasos de combustió i redueix considerablement la contaminació acústica de l'ambient.

Amb gairebé 2 milions de vehicles elèctrics connectables (VEP) al continent europeu [1], és un element que ha aparegut per a quedar-se i s'espera que en els pròxims anys continuï creixent a un ritme bastant elevat.

Actualment la flota automobilística de turismes elèctrics a la península és de 120000 unitats, aproximadament un 0,5% del total de vehicles. Un percentatge bastant menor si es compara amb el dels principals països d'Europa en mobilitat elèctrica com són els Països Baixos, Alemanya o Noruega, aquest últim referent europeu amb un 33% de vehicles elèctrics respecte el total. [2]

Es necessari conèixer com pot afectar la recàrrega dels vehicles elèctrics en els domicilis particulars sobre la corba de demanda existent per evitar una sobrecàrrega a la xarxa que pugui ocasionar greus problemes.

1.1. Objectius

Els objectius que es pretenen obtenir amb aquest treball són els següents:

- Estudiar la situació actual dels vehicles elèctrics, així com els diferents tipus que hi ha i el seu funcionament.
- Conèixer els requeriments de la infraestructura per a la càrrega dels vehicles elèctrics.
- Estimar la demanda d'energia elèctrica.
- Tractar i analitzar dades de consum actual i emissions per veure la contaminació i estalvi que es pot produir en un futur.

1.2. Abast

En el context de vehicles elèctrics, s'expliquen els diferents tipus que hi ha a l'actualitat, tot i que després només es tenen en compte aquells que es poden connectar i ser carregats amb la xarxa elèctrica, referits generalment com PEV.

En quant a l'estimació de la demanda s'ha considerat que el tipus de vehicles són turismes i la mobilitat és aplicable als dies laborables només en territori peninsular (deixant fora d'estudi a les illes).

2. El vehicle elèctric

Segons l'Institut Català d'Energia [3], el vehicle elèctric funciona amb un motor elèctric alimentat per una bateria elèctrica, que es carrega des d'una xarxa elèctrica domèstica o bé des d'una estació de recàrrega pública o privada.

Als apartats que venen a continuació, s'explica l'evolució i orígens del vehicle elèctric, els components que el formen, així com els diferents tipus que n'hi ha al mercat actualment.

2.1. Història i evolució del vehicle elèctric

Sembla ser que el concepte de vehicle elèctric és relativament nou, però és cert que les primeres invencions, són d'unes quantes dècades ençà. Si es parla dels orígens del vehicle elèctric, es necessari conèixer Robert Anderson, qui entre 1832 i 1839 va dissenyar el primer prototip de vehicle elèctric i, juntament amb l'americà Thomas Davenport, el 1834, van construir el primer motor de corrent contínua. És cert però, que el concepte en sí [veure's **Figura 1**] no s'apropa res a la idea de la realitat actual (només permetia arribar als 6 km/h) però unes primeres passes ja van ser donades, i això ja es molt.



Figura 1 – Robert Anderson amb el primer prototip de vehicle elèctric. **Font:** Google

Un gran avanç va donar-se amb la invenció, entre 1859 i 1880, de les bateries recarregables per part de Gaston Planté, així com de la dinamo per part de Wener von Siemens. Això permetia emmagatzemar energia elèctrica i que el vehicle funcionés sense estar endollat a la xarxa.

El punt més àlgid el va tenir a principis del segle XX, quan als Estats Units, gairebé el 40 % dels vehicles venuts, eren elèctrics. El fet de ser silenciosos, la seva comoditat i autonomia per fer trajectes curts, van ser algunes de les qualitats per ser triat majoritàriament pel públic femení i la burgesia.

Finalment, degut als alts costos que comportava i altres grans avenços de la època, la idea de cotxe elèctric va desaparèixer el 1935, deixant així en l'oblit tot allò que s'havia realitzat i sense tornar a saber res més fins a finals de segle XX.

En la **Figura 2**, en forma de línia de temps, es visualitzen els fets més importants pel vehicle elèctric des que es va inventar el primer prototip, fins com es coneix avui en dia.

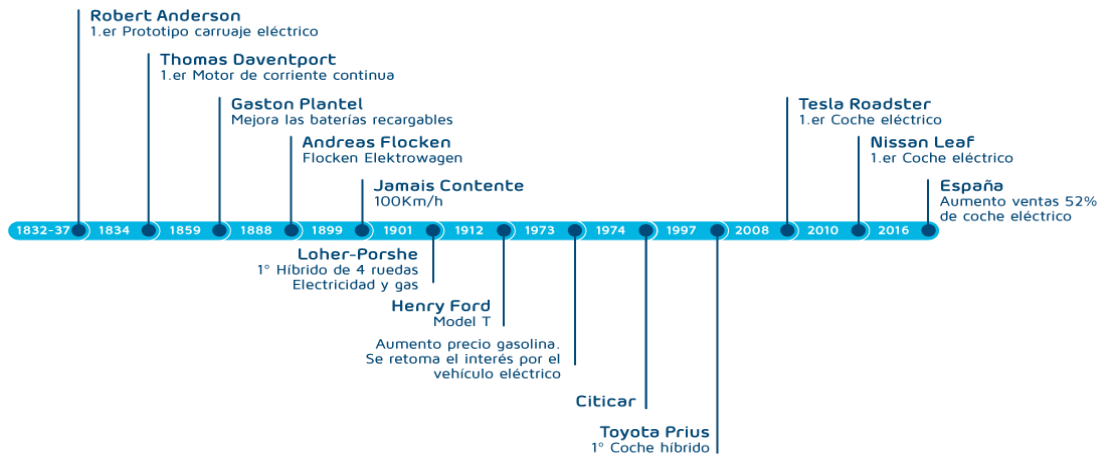


Figura 2 – Avenços tecnològics sobre el vehicle elèctric al llarg dels anys. Font: Google

2.2. Components d'un vehicle elèctric

Tot i que les especificacions de com treballa un vehicle elèctric depèn del tipus que sigui (veure's 2.3. *Tipus de Vehicles Elèctrics*), tots ells funcionen de la mateixa manera global. Tot VE és propulsat per un motor elèctric.

Tot seguit, es descriuen altres parts :

Bateries (A) i (H)

Antigament eren d'àcid de plom, ara són majoritàriament d'ió de liti, aprofitant la seva gran capacitat d'emmagatzematge. Són usualment posicionades a la part inferior del xassís i donat el seu alt pes, permet regular el centre de gravetat. Acostumen a incorporar una d'auxiliar per els subministraments purament elèctrics, tal i com ja incorporen els vehicles de combustible d'avui en dia.

Inversor (B) i rectificador (E)

L'inversor transforma el CC procedent de la bateria en CA per tal de moure el motor. Ho fa gràcies a un interruptor electrònic que canvia la polaritat constantment.

El rectificador o carregador intern, realitza el procés invers, prenent l'electricitat que entra per la connexió de càrrega i possibilitant l'emmagatzematge de l'energia generada pel motor quan el vehicle està frenant o desaccelerant.

Controlador electrònic (C)

És el cervell del VE sencer. A través de programari d'alta tecnologia, controla el flux d'energia elèctrica entregat per la bateria.

Regula les operacions de l'inversor i per tant, la velocitat del motor elèctric i el parell produït per aquest.

Motor de tracció elèctrica (D)

És l'encarregat de transmetre l'energia des de la bateria fins moure les rodes i permetre el moviment. Poden ser emprats dos per proporcionar control 4x4.

Generalment són de corrent alterna (CA). Motors més antics eren de corrent continu (CC) amb escombretes (coneguts com *Brushed*), que s'utilitzaven per crear el corrent altern. No obstant, creaven una alta taxa de fallida i no eren dignes de ser comercialitzats.

Caixa de canvis (F)

La sortida del motor és transmesa mitjançant aquesta caixa a les rodes del vehicle. En un EV, que utilitza un motor d'inducció, la potència es transmesa en una única reducció de marxa a les rodes. Aquesta reducció, incrementa el parell disponible per accelerar.

Transformador CC (G)

El voltatge que necessita la bateria auxiliar així com els diferents accessoris elèctrics és bastant menor al que subministra la bateria principal. Per aquesta raó es necessita un transformador de CC capaç de reduir aquesta diferència de tensions.

Connexió de càrrega (només BEV i PHEV) (J)

És a través de la qual, el vehicle es connecta amb l'exterior per ser carregat. N'hi ha de diferents tipus (veure's 3.2. Tipus de c) i ha de ser compatible amb el carregador.

Sistema de refredament per a bateries (I)

L'equipament de bateries pot arribar a temperatures molt elevades durant períodes de pics d'energia. Aquest sistema les manté en un rang de temperatures de treball adequat, als equips electrònics i altres components. En l'extrem oposat (situacions de baixes temperatures), té una pròpia funció d'escalfament per permetre funcionar a la bateria a la temperatura correcta.

És un sistema essencial per allargar la vida útil de les bateries.

Aquestes parts pertanyen a un vehicle totalment elèctric, per tant, els vehicles híbrids connectables (PHEV) inclouen a més, altres parts que ja contenen els de combustió convencionals (p.e. motor de combustió interna o tub d'escapament). Pot veure's a la **Figura 3**.

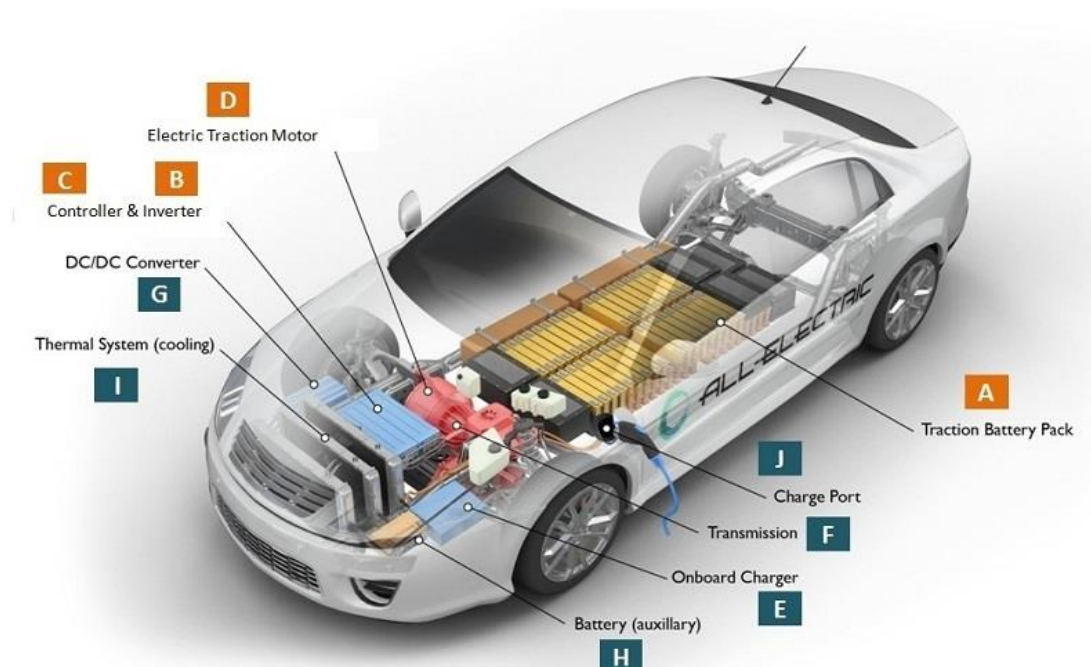


Figura 3 – Components principals d'un BEV. [20]

2.3. Tipus de Vehicles Elèctrics

Tot i que el concepte de vehicle elèctric ja existeix des de principis del segle XX, tal i com es coneix avui en dia dista molt dels clàssics anteriors.

El concepte actual és resumeix a continuació:

1. Es basa en la propulsió elèctrica moderna, la qual consisteix en motor elèctric, convertidor de corrent i font d'energia, i té les seves pròpies característiques distintives.
2. No és només un simple cotxe, si més no, un nou sistema per a la societat, aconseguint un viatge més net i eficient.
3. Les expectatives dels usuaris han de ser estudiades i per tant, una educació adequada ha de ser impartida.

Els vehicles elèctrics híbrids (HEV), híbrids connectables (PHEV) i de bateries (BEV) també són conjuntament referenciats com a vehicles elèctrics (EV). És cert que n'hi ha alguns altres com els de pila de combustible (FCEV) o semi híbrids (MHEV), però tant el FCEV (funcionen a través de piles d'hidrogen) com els MHEV (no permeten la conducció elèctrica), queden fora de l'interès d'estudi, i per tant, no s'han analitzat en aquest punt.

Vehicles elèctrics de bateria (BEV)

Els vehicles elèctrics de bateries, BEV de l'anglès *Battery Electric Vehicles*, utilitzen bateries com a font d'energia. També són coneguts com 'vehicles verds o nets' o 'elèctrics purs' perquè tenen zero emissions, és a dir, no tenen motor de combustió interna i només funcionen amb electricitat. A la pàgina anterior, en la **Figura 3**, es visualitzen les seves parts.

Vehicles Elèctrics d'Autonomia Estesa (E-REV). Motor híbrid sèrie

Els vehicles elèctrics d'autonomia estesa, EREV de l'anglès *Extended-Range Electric Vehicles*, són una variant dels BEV, ja que tota la força motriu es proveïda per un motor elèctric, però compta amb un petit motor de combustió interna per generar energia elèctrica addicional. No permeten la conducció amb el motor de combustió, i per tant, la finalitat d'aquest és posar en marxa un generador per subministrar potència al motor elèctric o recarregar les bateries quan així ho requereixin. Els components són els mateixos que en un PHEV, però en els híbrids sèrie, l'única via per propulsar el vehicle és fent funcionar el motor elèctric, i per tant el motor de combustió no està connectat a l'eix motriu del vehicle (si ho està en els PHEV).

Vehicles Elèctrics Híbrids (HEV). Motor híbrid paral·lel

Els vehicles elèctrics híbrids, HEV de l'anglès Hybrid Electric Vehicles, no poden ser connectats a la xarxa elèctrica per recarregar les bateries i per tant, la seva recàrrega elèctrica ve donada per la frenada regenerativa i el seu motor principal es de combustió com s'observa a la **Figura 4**.

També es poden nomenar com híbrids paral·lel per la seva estructura. Hi ha dos vies totalment independents per arribar a moure el vehicle, a partir de les bateries i el motor elèctric, o bé mitjançant el motor de combustió interna.

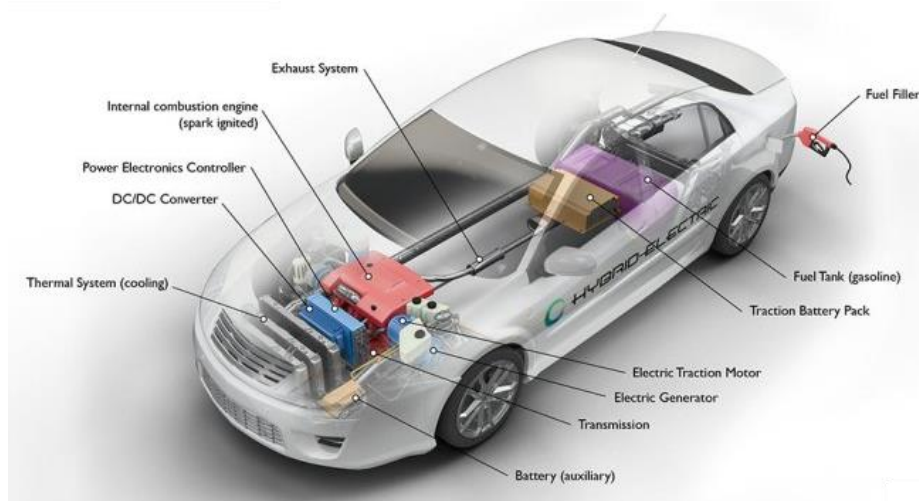


Figura 4 – Components principals d'un HEV. [20]

Vehicles Elèctrics Híbrids Connectables (PHEV)

Els vehicles elèctrics híbrids connectables, PHEV de l'anglès Plug-in Hybrid Electric Vehicles, a més de ser recarregats com un HEV, també permeten ser connectats a la xarxa elèctrica (veure **Figura 5**). Per això tenen l'etiqueta de vehicles ecològics, ja que permeten circular grans recorreguts amb ús totalment elèctric.

Segons l'Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics (IEEE), un PHEV és aquell vehicle que:

- Té un motor elèctric en addició a un motor de combustió convencional.
- Rep una força motriu d'una bateria externa amb una capacitat d'almenys 4 kWh.
- Pot ser recarregat des d'una font de subministrament elèctric.
- És un vehicle lleuger, mitjà, pesat o fins i tot *off-road*¹

¹ Anglisme per referir-se als vehicles que poden transitar per carreteres sense asfaltar o difícilment transitables.

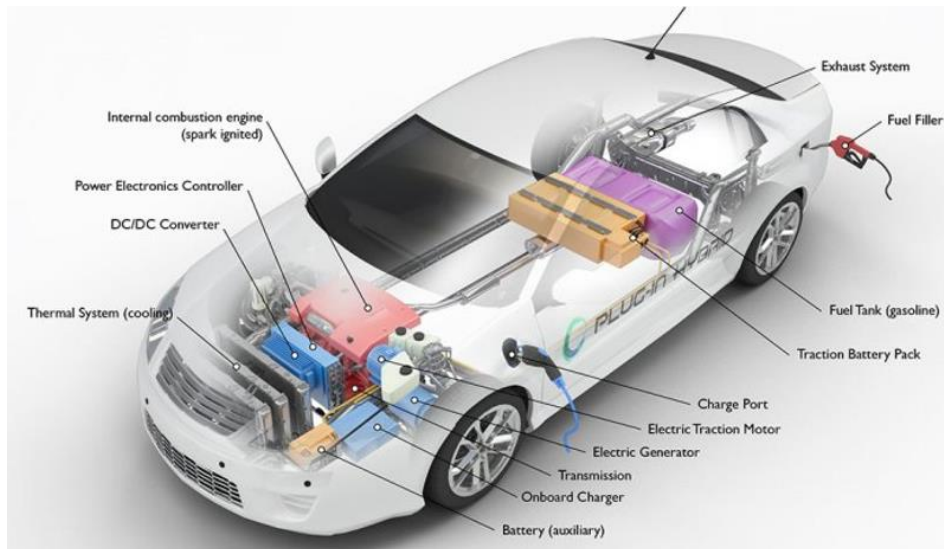


Figura 5 – Components principals d'un PHEV. [20]

Per sintetitzar la informació i característiques esmentades en el punt 2.3 dels diferents tipus de vehicles elèctrics, s'ha utilitzat la **Taula 1** que es mostra a continuació. No obstant, les dades poden variar segons la conducció i model de vehicle triat.

Vehicles Elèctric	Autonomia de les bateries	Motor principal	Cost mitjà de l'energia
BEV	175-300 km	Elèctric	≤ 1,5 € / 100 km
REEV	175-240 km + 200 km extra	Elèctric	1,75 € / 100 km
HEV	20 km	Combustió i/o elèctric	2,8 € / 100 km
PHEV	40 km	Combustió i/o elèctric	2,12 € / 100 km

Taula 1 – Característiques del VE [3]

Com s'observa, la gran diferència que hi ha entre tots ells és l'autonomia de les bateries. En primer lloc, es troben els REEV que, gràcies a la incorporació de un motor de combustió, permeten duplicar la durada de les bateries respecte els BEV. Deixant de costat els 100% elèctrics, estan els híbrids elèctrics, els quals contenen un motor de combustió per propulsar el vehicle, a més de l'elèctric. La variació entre el HEV i el PHEV ve donada per la capacitat de les bateries, mentre que en els HEV les bateries són bastant petites i només es poden recarregar aprofitant les pèrdues a la frenada, els PHEV proporcionen fins el doble d'autonomia, a més de l'avantatge de poder ser recarregades en qualsevol estació de càrrega elèctrica, ja sigui pública o privada.

Una altra característica important és el cost mitjà de l'energia que utilitzen. Aquí influeix directament l'ús del motor de combustió, ja que el seu preu és bastant més elevat que el de l'energia elèctrica.

Els BEV al ser totalment elèctrics són els més econòmics, després, els d'autonomia estesa a l'incorporar un motor de combustió interna fa que augmenti el seu cost mitjà. Per últim i menys econòmics, es troben els HEV que, al no tenir possibilitat de ser endollats a la xarxa, el seu funcionament depèn totalment del motor de combustió, doncs de no tenir aquest, el motor elèctric no podria funcionar. Sovint, al llarg de la memòria d'aquest treball es farà referència als PEV (*Plug-in Electric Vehicles*) com aquells vehicles elèctrics que es poden endollar a la xarxa elèctrica per ser carregats (inclou els PHEV i els BEV).

Altres vehicles elèctrics

Normalment quan es parla de vehicles elèctrics, es sobreentén que són cotxes però, també n'hi ha d'altres vehicles que es mouen parcial o totalment amb energia elèctrica. Tot i així, al ser vehicles que no es connecten a la xarxa elèctrica per ser carregats, queden fora de l'objecte d'estudi.

- **Motocicletes i ciclomotors elèctrics**

Són altament coneguts pel seu us en companyies de *motosharing*² La seva autonomia oscil·la entre 75 i 150 km depenent del model.

- **Bicicletes elèctriques de pedaleig assistit**

Poden ser de velocitat o de moviment, o funcionar amb una força proporcional a la aplicada pel ciclista. Tenen una autonomia aproximada d'entre 50 i 80 km.

- **Altres**

En aquest últim punt entren els patinets elèctrics, s'alimenten d'una bateria recarregable i tenen una autonomia bastant limitada, uns 12-20 km.

² Servei de lloguer de motocicletes i/o ciclomotors per períodes curts de temps

3. Infraestructura de càrrega

L'anterior apartat ha servit per contextualitzar el vehicle elèctric, veure com ha evolucionat al llarg de la història i conèixer els diferents tipus que existeixen a l'actualitat. Un cop vist això, es tracta de saber quina és la infraestructura de càrrega, és a dir, el conjunt d'elements fonamentals per al desenvolupament d'aquesta, anant des dels diferents connectors que hi ha, fins a la anàlisi comparativa dels modes de càrrega, no oblidant mai, la localització o punt de recàrrega.

3.1. Modes de recàrrega

D'acord amb la UNE-EN 61851-1, hi ha quatre modes de càrrega conductiva per al VE [4], amb diverses característiques i funcions de la recàrrega, definides per la potència, el voltatge, la comunicació entre el vehicle i la estació, així com la existència d'elements de protecció. Aquesta classificació és aplicable a la zona europea. N'hi ha d'altres classificacions, com l'americana o del Japó, però per contextualització, queden fora de l'abast d'aquest treball.

Per tant, es coneixen els següents modes:

Mode 1 en CA. Endoll genèric de baixa tensió

És el més bàsic de tots. Per un cantó disposa de l'estàndard sòcol SAE J1772 connectat al port del vehicle i per l'altra part conté un endoll universal (Schuko) que es pot connectar a la llar (veure **Figura 6**). No disposa de protecció contra sobretensions. El temps de recàrrega habitual és d'entre 10 i 15 hores i al ser un mode de càrrega lent, és preferible utilitzar-ho per la nit. Gairebé tots els PHEVs es venen amb un d'aquests. Degut a la manca de protecció, no és recomanat carregar els VE amb aquest mode, ja que el seu ús reiterat sobreescalfa la instal·lació i pot produir danys greus. Sí que s'acostuma a utilitzar per a vehicles elèctrics petits, tals com bicicletes, ciclomotors o quadricicles, en instal·lacions privades.



Figura 6 – CA Mode 1 de càrrega. [5]

Mode 2 en CA. Endoll genèric de baixa tensió amb protecció incorporada

La principal diferència respecte l'anterior, és el fet de incorporar un sistema de protecció elèctrica i control que permet regular el corrent màxim, sobreescalfaments, connexió a terra... La comunicació entre la estació i el VE és baixa. Els VE més recomanats per recarregar en aquest mode són els PHEV i els BEV, aquests últims durant la nit, ja que el temps d'espera és bastant elevat (unes 5 hores per cada 100km d'autonomia).

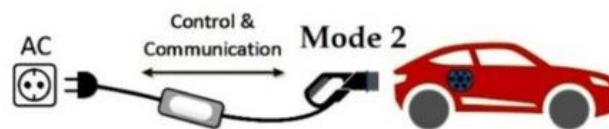


Figura 7 – CA Mode 2 de càrrega. [5]

Aquests dos primers modes, empen preses de corrent segons la UNE 20315-1-2 o UNE 20315-2-11 i és caracteritzen principalment per no ser dissenyades exclusivament per a la recàrrega de VE, si no que són d'ús general, també anomenades de tipus Schuko (veure **Figura 8**).

En el mode 2, si s'utilitza una presa de corrent segons la UNE 20315 general, el circuit està protegit amb un interruptor automàtic de 16A, sempre i quan el fabricant assegurï la correcta protecció per a la recàrrega de VE. Si no s'especifica res, aquest circuit ha de ser protegit amb un interruptor de 10A per evitar sobretensions. En tots dos casos, la instal·lació ha de ser regulada per assegurar el correcte funcionament, segons s'indica a la ITC-BT-19 del REBT.

Davant qualsevol desconeixement, es recomana triar el mode 2 pel fet de disposar equip de protecció.

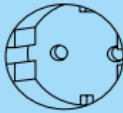
Base de presa de corrent		Presa de corrent segons UNE 20315-1-2 o UNE 20315-2-11
Utilització	Habitatges i qualsevol tipus de local o ubicació	
Tensió màx.	250 (Monofàsica)	
Corrent màx.	16 A (3,7 kW) ^(*) <small>(*) Per fer servir els corrents màxims per a la recàrrega del VE cal emprar preses de corrent específicament verificades pel fabricant per a aquest ús</small>	

Figura 8 – Característiques de les bases de presa de corrent per als modes 1 i 2. [4]

Mode 3 en CA. Endoll específic per a VE

És bastant més ràpid que els dos primers. Incorpora un aparell que és fixe a l'estació, s'anomena Sistema d'Alimentació del Vehicle Elèctric (SAVE) o *Wallbox*³ i aquest és l'encarregat de comunicar el vehicle amb la xarxa elèctrica. Per aquest motiu, el seu ús principal és en zones residencials i comercials. Degut a la seva tecnologia, permet la càrrega intel·ligent i afavoreix el sorgiment de la xarxa de subministrament intel·ligent, el que es coneix en anglès com a *Smart Grid* (veure 3.4) [5], una versió millorada de la xarxa convencional que

³ És un punt de recàrrega per a vehicles elèctrics (BEV) i híbrids connectables (PHEV). No confondre amb l'empresa Wallbox Chargers SL

permet una transmissió bidireccional tant del flux d'electricitat com d'informació, el que crea una xarxa elèctrica de distribució automatitzada. És el mode ideal per recarregar els BEV en un temps assumible en qualsevol accés públic (entre 30min i 2,5h).

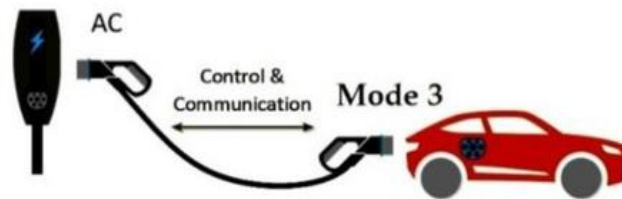


Figura 9 – CA Mode 3 de càrrega. [5]

Aquest mode ja no permet l'ús dels endolls domèstics generals si no que s'utilitzen preses de corrent i/o connectors segons UNE-EN 62196-2. A la **Figura 10** es poden veure els diferents tipus normalitzats: Tipus 1 o J1772, tipus 2 o Mennekes i tipus 3 o Scame. Les estacions de CA amb potències superiors a 3,7 kW han d'incorporar almenys el connector tipus 2.


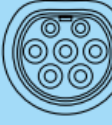

Base de presa de corrent			
	Tipus 1	Tipus 2	Tipus 3
Tensió màx.	250 monofàsic	250 V monofàsic 500 V trifàsic	250 V monofàsic 500 V trifàsic
Corrent màx.	32 A Fins a 7,3 kW	70 A monofàsic 63 A trifàsic Fins a 43 kW	32 A monofàsic 32 A trifàsic Fins a 22 kW

Figura 10 – Característiques de les bases de presa de corrent per al mode 3. [4]

Mode 4 en CC. Carregador extern CC amb connector específic

Aquest últim mode té un grau elevat de comunicació amb la xarxa. El vehicle es connecta a la xarxa de baixa tensió a través d'una estació de recàrrega que inclou un convertidor CA-CC. També com el mode 3, el cable té connectors específics. Els tipus de connectors principalment són el CHAdeMO, el CCS o el connector particular que utilitza la companyia Tesla.

Permet arribar als 400 A, el que fa que un VE pugui ser carregat al 80% en menys d'una hora. El seu alt cost el situen en llocs públics i no tant en zones privades. Per tal de allargar la vida de les bateries, aquest mode no és recomanat d'ús habitual si no que en recàrregues esporàdiques o d'emergència.

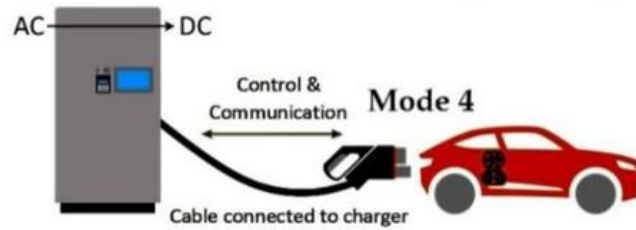


Figura 11 – CC Mode 4 de càrrega. [5]

A la **Figura 12**, s'observa un exemple d'aquest model d'una reconeguda marca de cotxes elèctrics.



Figura 12 – Centre de càrrega CC Mode-4 de Tesla Motors. Font: Google

En aquest últim mode, a més de tenir l'avantatge de proporcionar una gran velocitat de càrrega, el cable és solidari a l'estació de recàrrega, i per tant no disposa de base de presa de corrent. Els connectors són normalitzats segons la UNE-EN 62196-3 i es poden visualitzar les característiques de cada cas en la **Figura 13**.




Connectors			
	Model CCS Combo 2	Model CHAdeMO	Model Tesla
Tensió màx.	480 Vcc	500 Vcc	600 Vcc
Corrent màx.	200 Acc	125 Acc	225 Acc

Figura 13 – Característiques dels connectors de mode 4. [4]

Després d'analitzar els modes de recàrrega, per unificar tots quatre, s'utilitza la **Taula 2** on es mostra un recull dels avantatges i inconvenients que comporten cadascun d'ells. Això no vol dir que un sigui millor que els altres, si no que, segons la utilitat del vehicle i la localització del punt de recàrrega, serà més convenient utilitzar un mode o un altre.

Mode de recàrrega	Avantatges	Desavantatges
Modes 1 i 2	Instal·lació econòmica (tipus d'endoll general). Hi ha més disponibilitat de punts de recàrrega.	No permeten la regulació de la càrrega. És necessita un circuit dedicat per a la càrrega del VE. Temps de recàrrega més elevat.
Mode 3	Permet gestionar la demanda amb la regulació del corrent. Evita la connexió d'adaptadors i allargadors que poden comportar risc d'incendi.	Inversió inicial superior a la instal·lació en mode 1 o 2. Els vehicles més vells no disposen d'aquest mode
Mode 4	Temps de recàrrega molt inferior als anteriors. La connexió amb el VE es fa amb un cable solidari a l'estació.	Inversió inicial molt elevada. El seu ús reiterat provoca un deteriorament major a les bateries

Taula 2 – Comparativa entre els diferents modes de recàrrega. [4]

3.1.1. Estandarditzacions als EE.UU

Un cop vist la anàlisi dels modes de càrrega, és interessant saber que també existeixen altres maneres de classificacions amb les seves normes. En Amèrica del Nord, el voltatge de sortida estàndard dels habitatges és de 120V, motiu pel qual només tenen tres nivells (enlloc dels quatre modes europeus). La Societat d'Enginyers Automoció (SAE), sota el nom de l'estàndard nord-americà SAE J1772 (coneguda també com a connector J), estableix els requeriments per carregar els BEV i PHEV [6]. En lloc de classificar segons el mode (com el model europeu), ho fa segons el nivell, el qual està directament relacionat amb la velocitat de càrrega, i per tant amb el temps que trigaran les bateries en ser recarregades.

Es poden distingir fins a tres nivells de càrrega, els quals són analitzats a continuació:

CA – Nivell 1

És el símil del CA-Mode 2 a la classificació europea. És el nivell més bàsic de càrrega i per tant, el més assequible. Aquests però, queden una mica curts a l'hora de voler carregar la bateria d'un vehicle amb una gran capacitat. Utilitzen un connector de 120V CA i es poden connectar a les sortides estàndards, per aquesta raó són utilitzats a les cases i generalment durant les nits, doncs per carregar una bateria al seu màxim, necessita fins a 8 hores , tot depenent de la capacitat d'aquest.

CA – Nivell 2

Si l'anterior nivell correspon al Mode 2 del marc europeu, aquest està relacionat amb el tercer. És preferible en front el nivell 1 per temps de càrregues inferiors ja que funcionen gairebé cinc cops més ràpid. Mentre que l'anterior ofereix 120 V, aquest proporciona entre 208 i 240V, depenent si la instal·lació és domèstica o pública. És el nivell apropiat de ser instal·lat en centre comercials o restaurants, llocs on els usuaris passen un temps suficient com per recarregar els vehicles.

Tant el Nivell 1 com el 2, empen un carregador que és integrat en els vehicles elèctrics. La potència d'aquest es proporcional al nivell i al subministrament de la xarxa (monofàsic o trifàsic). Segons l'Institut d'Investigació d'Energia Elèctrica (EPRI) [7], la majoria d'usuaris de vehicles elèctrics acostumen a carregar durant la nit. Per aquesta raó, els nivells de càrrega 1 i 2 són les opcions més habituals.

CC – Nivell 3

Aquest últim nivell es diferencia per necessitar un convertidor de CA a CC i és l'equivalència al CC-Mode 4 de càrrega europeu. És necessita accés directament a la xarxa elèctrica, per tant només poden ser instal·lats per professionals especialitzats. Això fa que el seu cost sigui elevat i no siguin emprats en llocs residencials, si no que s'instal·len típicament en electrolinereres, encara que també es poden trobar en centres comercials. És el nivell més potent dels tres i permet recarregar el vehicle en menys d'una hora. Són especialment útils pels BEV, els quals tenen bateries de gran capacitats (fins a 300km d'autonomia totalment elèctrica).

Òbviament, les especificacions de cada nivell així com el temps de càrrega pot variar depenent del proveïdor i de la bateria del cotxe o vehicle; no obstant, a continuació en la **Taula 3** es detallen algunes de les característiques generals:

	Voltatge	Temps de càrrega	Nivell de potència esperat	Ús habitual	Tecnologia del vehicle
Nivell 1	120 V	4 – 11 h	1,4 kW (12 A)	Habitatge o oficina	PHEV (5-15 kWh) BEV (16-50kWh)
		11 – 36 h	1,9kW (20A)		
Nivell 2	208 – 240 V	1 – 4 h	4 kW (17 A)	Sortides de corrent privades o públiques	PHEV (5-15 kWh) BEV (16-30kWh) BEV (3-50kWh)
		2 – 6 h	8 kW (32 A)		
		2 – 3 h	19,2 kW (80 A)		
Nivell 3	240 – 575 V	0,4 – 1 h	50 kW	Comercial (anàleg a les benzineres)	BEV (20-50kWh)
		0,2 – 0,5 h	100 kW		

Taula 3 – Nivells de càrrega amb característiques [5]

3.2. Tipus de connectors

Com que el context del vehicle i recàrrega elèctrica és relativament nou, i les normatives són diferents a nivell mundial, els connectors que s'empren no estan estandarditzats i per això es troben varis endolls amb les seves propietats. A la **Figura 14** es pot veure quina forma tenen.

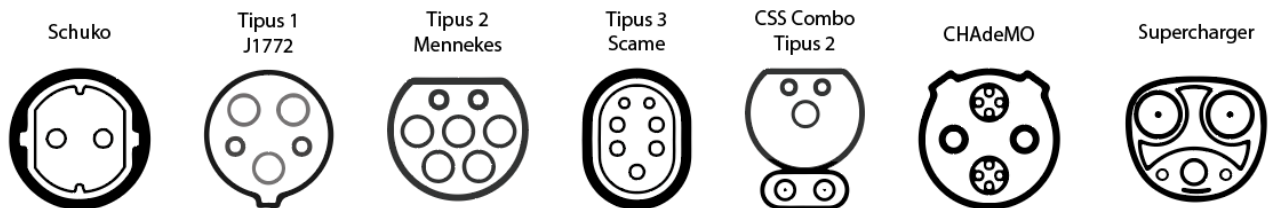


Figura 14 – Diferents connectors de càrrega per a VE. Font pròpia

Tot seguit es descriuen:

Connector general o tipus Schuko

És compatible amb les preses de corrent europees. Té dos borns (fase i neutre) i presa a terra. Suporta corrents fins 16A, només per a recàrrega lenta i sense comunicació.

Connector tipus 1 o SAE J1772

És un estàndard nord-americà i és específic per a VE. Té cinc borns (dos de corrent, el de terra i dos complementaris) Permet dos nivells: Fins a 16A en recàrrega lenta, i fins a 80A en recàrrega ràpida.

Connector tipus 2 o “Mennekes”

És un connector de fabricant alemany, a priori no específic per a VE. Té set borns (quatre per a corrent, el de terra i dos per a comunicacions). És un dels més populars i el que està estandarditzat per la Unió Europea.

Connector tipus 3 o Scame

Aquest connector està pràcticament en desús. Presenta dos variants: Una amb cinc borns (dos de corrent, terra i dos per a comunicacions) utilitzada per a instal·lacions elèctriques monofàsiques i una altra amb set (amb quatre de corrent, terra i dos per a comunicacions) per l'ús en trifàsic.

Connector combinat o CSS Combo 2

És un model proposat per nord-americans i alemanys com a solució estàndard. Té cinc borns (dos de corrent, terra i comunicació amb la xarxa). Permet la recàrrega tant lenta com ràpida. Mundialment n'hi ha 2 tipus, però a Europa només s'utilitza el tipus o combo 2, que és una adaptació del connector Mennekes per a poder recarregar en corrent continu. És el connector més comú de les estacions de càrrega super ràpida.

Connector CHAdeMO

Connector estàndard de fabricants japonesos. Dissenyat específicament per a la recàrrega ràpida en corrent continu i per això té deu borns.

Connector Supercharger

És un tipus de connector especial que utilitza la marca d'automòbils Tesla en les estacions de càrrega super ràpida.

3.3. Escenaris de recàrrega

Hi ha diverses situacions en les que els usuaris tenen la possibilitat de carregar els seus EV: al domicili particular, al lloc de treball, la flota d'una companyia o en estacions de càrrega comercials. Segons la localització, la manera de gestionar l'energia elèctrica provinent de la xarxa és diferent. Per això, en aquest punt es descriuen les diferents possibilitats amb la seva situació, tot analitzant possibles canvis i/o modificacions a la instal·lació per tal d'assegurar el bon funcionament d'aquesta.

El tipus de recàrrega proporciona informació de la manera mitjançant la qual es fa la transferència d'energia. Això permet obtenir informació aproximada per estimar el temps de recàrrega. N'hi ha tres tipus que varien segons la potència subministrada: baixa, normal i alta. I cadascun és relacionat amb situacions i localitzacions diferents com poden ser un domicili particular, un lloc de treball, la flota d'una companyia o en estacions de càrrega comercials. A la **Figura 15** es recullen les principals característiques dels tres tipus. En quant a la durada, està estimada per a VE amb bateries de 20 kWh [4].

	Durada aproximada	Potència requerida	Mode de càrrega	Característiques
Càrrega a baixa potència < 3,7 kW	9 hores 5,5 hores	2,3 kW (10 A-230 V) 3,7 kW (16 A-230 V)	1, 2, 3	Es preveu que sigui la recàrrega vinculada als pàrquings provats d'habitatges unifamiliars i d'edificis, i que es realitzin en hores nocturnes.
Càrrega a potència normal > 3,7 kW <22 kW	2 hores 1 hora	11 kW (10 A-400 V) 22 kW (32 A-400 V)	3	És la més indicada per a recàrrega de suport o grupal. Se'n preveu la ubicació en llocs d'accés públic com pàrquings municipals, centres comercials, cinemes, hotels, etc.
Càrrega a alta potència > 22 kW	25 minuts	43,6 kW (63 A-400 V)	3, 4	Pensada com a complement en cas d'emergència per a obtenir una recàrrega ultraràpida, adient per a vies ràpides.

Figura 15 – Característiques dels tipus de recàrrega [4]

Tipus d'instal·lacions

S'empra en l'àmbit domèstic i les diferents opcions depenen de si la instal·lació és nova o s'afegeix a l'actual, i si és d'ús individual o col·lectiu. A continuació es mostren totes elles amb els seus avantatges i inconvenients, segons estableix la ITC-BT-52. [4] [1]

Esquema 1. Subministrament nou col·lectiu

Conté un comptador principal comú per a les estacions de recàrrega del VE. Els comptadors secundaris i opcionals, permeten la facturació individualitzada dels costos. És una opció adequada per ser instal·lada en previsió d'un augment del nombre de punts de recàrrega de l'habitatge, ja que facilita fer una infraestructura comuna a partir de la qual es fan les respectives derivacions individuals.

Esquema 2. Subministrament existent a l'habitatge

S'aprofita el subministrament existent a l'habitatge o local. També pot tenir comptador secundari que facilita la gestió i els consums del vehicle. A l'aprofitar la instal·lació existent, la potència contractada pot no ésser suficient si es carrega el VE en instants en que es necessiten fer servir altres electrodomèstics de la llar (rentavaixelles, rentadora, forn...). No obstant, permet tenir una factura unificada de consum el que comporta haver de pagar uns costos fixos associats al subministrament.

Esquema 3. Subministrament nou individual

S'instal·la un nou subministrament per l'habitatge o local dedicat exclusivament al VE. Al tenir dos contractes diferents, es genera el doble de facturació, la qual cosa incrementa els costos. També permet incorporar un comptador secundari igual que la opció anterior.

Esquema 4. Subministrament existent amb circuit addicional (fàbrica o hab. Unifamiliar)

A partir de la instal·lació elèctrica general, s'addiciona un circuit . S'ha de tenir permisos de la comunitat per aquesta instal·lació. Com la resta, també permet incorporar un comptador secundari per la facturació i gestió individual de la càrrega.

A continuació, en la **Taula 4**, es mostra una comparativa dels diferents esquemes d'instal·lació comentats anteriorment.

Esquemes d'instal·lació	Avantatges	Desavantatges
Esquema 1	Permet el contracte de tarifes adequades als VE. No té implicacions per ús de subministraments comunitaris. Permet gestionar la tarifació individualitzada per als VE.	Alta inversió inicial que ha de preveure els futurs punts de recàrrega.
Esquema 2	Unificació de factures. S'aprofita la potència contractada, el comptador i subministrament actual.	Cal vigilar si és suficient la potència contractada. No és aplicable en aparcaments en edificis diferents a l'habitatge.
Esquema 3	Lliure elecció d'oferta i companyia contractada. La instal·lació no afecta als subministraments de la comunitat.	Costos d'instal·lació superiors a la resta. Es genera el doble de facturació (increment de costos fixos)
Esquema 4	Costos d'instal·lació baixos.	La comunitat pot denegar l'accés al subministrament general. No permet gestionar la tarifació individualitzada per als VE. És necessari gestionar els consums i les despeses individualitzades dels diferents usuaris de VE

Taula 4 – Comparativa entre els diferents esquemes d'instal·lació. Font pròpia

Recàrrega vinculada (recomanació càrrega a baixa potència)

És el tipus de recàrrega ideal per a habitatges o empreses. Són els més econòmics i degut a ser funcionar a baixa potència (només arriben als 7 kW), la velocitat de recàrrega és bastant lenta. Per això són utilitzats durant les hores nocturnes.

Recàrrega d'oportunitat o recàrrega a potència normal

Es realitza en espais públics o corredors elèctrics i pretén atendre les necessitats puntuals de recàrrega. Per poder satisfer les necessitats dels clients, els punts de recàrrega han de poder subministrar potències d'almenys 11 kW.

Xarxa pública de recàrrega ràpida d'emergència o càrrega a alta potència

S'utilitza en desplaçaments de llarg recorregut o en situacions d'emergència (puntuals). Són ubicades en punts estratègics al llarg d'autopistes o autopistes i la idea és que entre dos estacions no hi hagi més de 500 km de separació. La potència subministrada ha d'arribar als 50 kW (l'estàndard actualment) i es preveu que pròximament augmenti fins als 150 o 350 kW que ja permet la tecnologia.

3.4. Smart Grids

Segons la Xarxa Elèctrica d'Espanya, "una *Smart Grid* o xarxa intel·ligent, és aquella xarxa que pot integrar eficientment el comportament i les accions de tots els usuaris connectats a ella, assegurant així un sistema energètic sostenible i eficient, amb baixes pèrdues i alts nivells de qualitat i seguretat de subministrament" [8]. Actualment, la energia elèctrica no es pot emmagatzemar en grans quantitats i per tant, la producció s'ha d'ajustar a la demanda, tot mantenint-se un equilibri constant bastant precís. Els diferents operadors amb les companyies han de predir la futura demanda dels consumidors, dirigint en temps real aquella energia que realment necessitin. La constant evolució de les energies renovables i l'augment dels punts de generació elèctrica, fa que resulti molt més difícil de predir amb exactitud la generació, el volum i el moment en que s'ha de proporcionar energia a la xarxa. Davant aquest problema, s'han hagut de buscar solucions i d'aquí sorgeix la xarxa intel·ligent o *Smart Grid*.

Tot seguit es mostren les diferents opcions de càrrega intel·ligent a partir d'un vehicle [9].

Vehicle to Anything (V2A)

Com s'ha comentat en la introducció d'aquest capítol, la demanda elèctrica cada cop és més difícil de predir. Els propietaris dels VE poden recarregar els seus vehicles en estacions privades, en el lloc de treball o bé en estacions de recàrrega públiques. L'ús habitual és que la xarxa elèctrica proporcioni energia i recarregui les bateries dels vehicles, però amb la capacitat de descarregar les bateries i fer el procés invers, els VE prenen una paper molt més important en la distribució de la energia en la xarxa elèctrica.

Sorgeixen així, les diferents funcionalitats: V2H per l'ús domèstic, V2B per la gestió d'energia en edificis, V2V entre diferents VE a les estacions de càrrega i V2G per a diferents usos. Una visió general del concepte V2A es representada a la **Figura 16**.

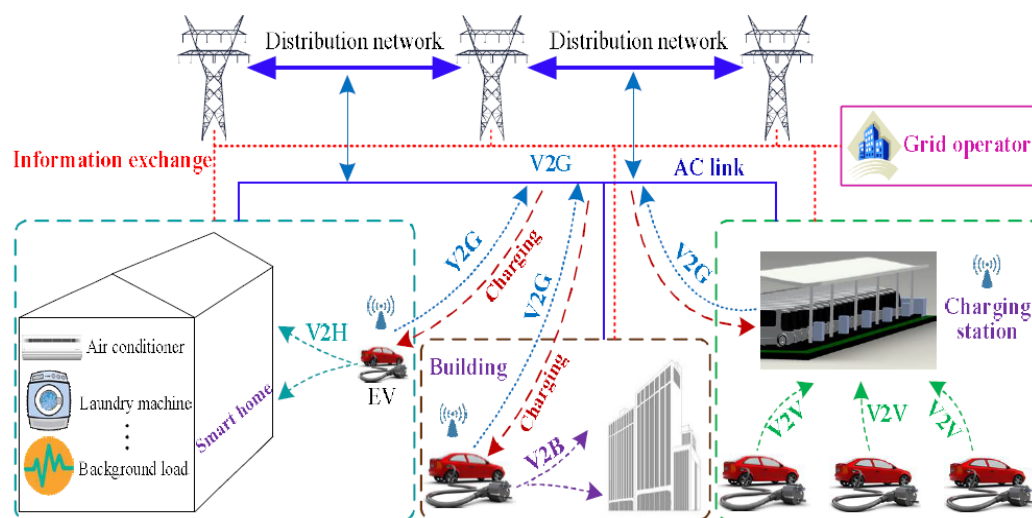


Figura 16 – Visió general del concepte "Vehicle to Anything", V2A [9]

Vehicle to Home (V2H)

Es necessita disposar d'un habitatge intel·ligent o *Smart Home*. A l'hora de connectar el vehicle a la xarxa a més de ser recarregat, pot subministrar a la casa aquesta energia en cas de no necessitar-la. És convenient per fer front a les variacions del preu de l'energia, com per exemple, carregar el vehicle en hores en que el preu es baix i descarregar-lo en franges on el preu sigui més elevat. En interactuar amb l'ús d'electricitat del electrodomèstics, contribueix a millorar l'eficiència energètica.

Vehicle to Building (V2B)

Aquesta connectivitat és aplicable quan els vehicles estan estacionats en garatges intel·ligents o en empreses per donar suport a les càrregues internes i així reduir el preu del consum elèctric de l'edifici en qüestió. També pot millorar el desajust entre la demanda elèctrica prevista i el consum real. En casos d'emergència com pot ser el tall en el subministrament elèctric, les bateries dels vehicles de l'empresa subministrarien a l'edifici aquesta demanda puntual. És una clara aposta alternativa al V2G que es veu a continuació.

Vehicle to Vehicle (V2V)

Tots els VE poden interactuar entre ells i la estació de recàrrega és la responsable de coordinar la càrrega/descàrrega.

Amb l'adopció d'aquesta funcionalitat, l'eficiència de càrrega dels VE es veu altament millorada, a més que alhora, la demanda elèctrica d'una comunitat també pot ser entregada a altres estacions per millorar la demanda elèctrica global.

Vehicle to Grid (V2G)

És la funcionalitat més important per la qual s'ha creat la *Smart Grid*. La energia descarregada del vehicle es transmet a la xarxa elèctrica i d'aquí es distribueix a on faci falta, tant pot ser a una zona residencial, una estació de recàrrega o qualsevol altre element de la xarxa.

Com que la descàrrega està limitada per les capacitats de les bateries, per aconseguir treure profit d'aquest servei, es coordinen un grup de VE, normalment amb una estació de recàrrega o amb un responsable prèviament contractat. Amb el seu ús adequat es millora la estabilitat del sistema, l'eficiència i la fiabilitat de les xarxes elèctriques.

En resum, totes aquestes opcions, són un pas més en busca d'un servei més econòmic, eficient, sostenible, segur i de major qualitat possible. No obstant, la constant càrrega i recàrrega de les bateries, amb els respectius cicles tan curts, fan que la vida útil es vegi greument afectada i sigui un gran inconvenient a tenir en compte.

4. Estimació de la demanda dels VE

Una vegada revisades als capítols 3 i 4 les característiques de la infraestructura per a la recàrrega dels vehicles elèctrics, en aquesta segona part s'avaluarà com predir la demanda elèctrica que aquests representaran. En un primer moment es volia desenvolupar tècniques de predicció per a una instal·lació de càrrega pública però s'ha trobat que les dades de consum individualitzades no estan recollides o no es poden proporcionar per a l'estudi. A l'ajuntament de Mollet del Vallès en disposen 2 punts de recàrrega per a VE i són dels quals s'ha pogut rebre informació. Com es pot concloure a partir de la **Figura 17**, no permet realitzar cap predicció amb les dades obtingudes, doncs són insuficients.

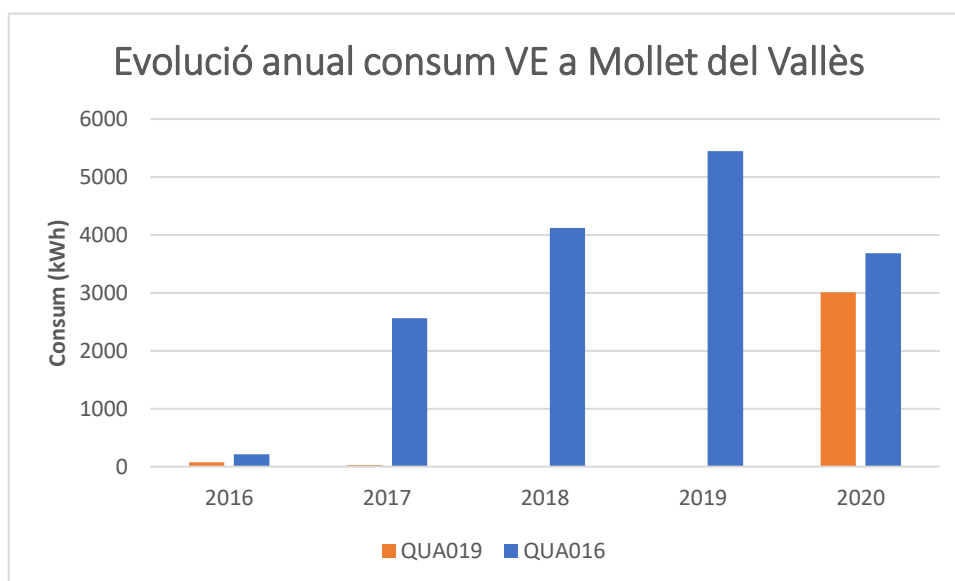


Figura 17 – Evolució anual consum elèctric VE a Mollet del Vallès. Font: Aj. Mollet del Vallès

Finalment, es decideix analitzar com pot afectar la càrrega dels vehicles elèctrics sobre la corba de la demanda real elèctrica coneguda. Fent recerca, es troba que al web de REE s'incorpora un simulador el qual no funciona i es vol recrear amb una sèrie de paràmetres a decidir i així poder-ho aplicar a qualsevol àmbit (no només fora d'Espanya si no que també permeti introduir dades externes). És realitzarà en l'entorn Excel i el seu funcionament s'explicarà més endavant.

4.1. Variables a considerar

Per realitzar l'estimació de la demanda elèctrica s'han de triar les diferents variables que intervindran en la variació de la corba d'energia elèctrica. Aquestes valors són obtinguts a partir de dades estadístiques de la població, escollint en cada cas el valor que es s'ha cregut més adient. Les variables en qüestió són: Nombre de vehicles elèctrics connectables (PEV) i la proporció entre nombre d'elèctrics purs (BEV) i els híbrids (PHEV); capacitat de la bateria dels PEV, quilòmetres realitzats en desplaçaments ordinaris diaris així com el consum elèctric dels vehicles, hora d'arribada al domicili (per obtenir l'hora d'inici de recàrrega no intel·ligent), potència contractada als punts de recàrrega (influeix en el temps de recàrrega), el tipus de recàrrega (si és intel·ligent o no) i com que les corbes de demanda no són en tots els dies igual, es s'estudiaran dos casuístiques segons si es temporada d'estiu o d'hivern. Incidir que en les variables a decidir han sigut obtingudes a partir de dades i estudis en vers la població espanyola.

A continuació s'enumeren les variables que s'expliquen detalladament:

- Nombre de PEV
- Capacitat de les bateries
- Consum elèctric dels PEV
- Distància de desplaçament ordinaris diari
- Hora d'arribada al domicili
- Temporada

Nombre de vehicles elèctrics connectables (N)

Segons dades oficials de la Comissió Europea, el parc automobilístic espanyol compta amb poc més de 120000 vehicles elèctrics connectables, aproximadament un 3% de la flota elèctrica europea. [2] Si es té en compte el total de vehicles matriculats a Espanya (prop de 28 milions), aquest percentatge no arriba al 0,3%. S'espera que amb la introducció de nous plans d'ajudes, aquesta xifra continuï augmentant fins arribar al 20% en 2030. [10]

La proporció entre el nombre de vehicles elèctrics purs i els connectables varia segons la infraestructura i la zona a considerar, però degut a que les unitats matriculades de tots dos tipus són bastant semblants, per a l'estudi d'aquest projecte es considerarà que són les mateixes (50%). En la **Figura 18** es veu el creixement anual de les unitats matriculades a Espanya.

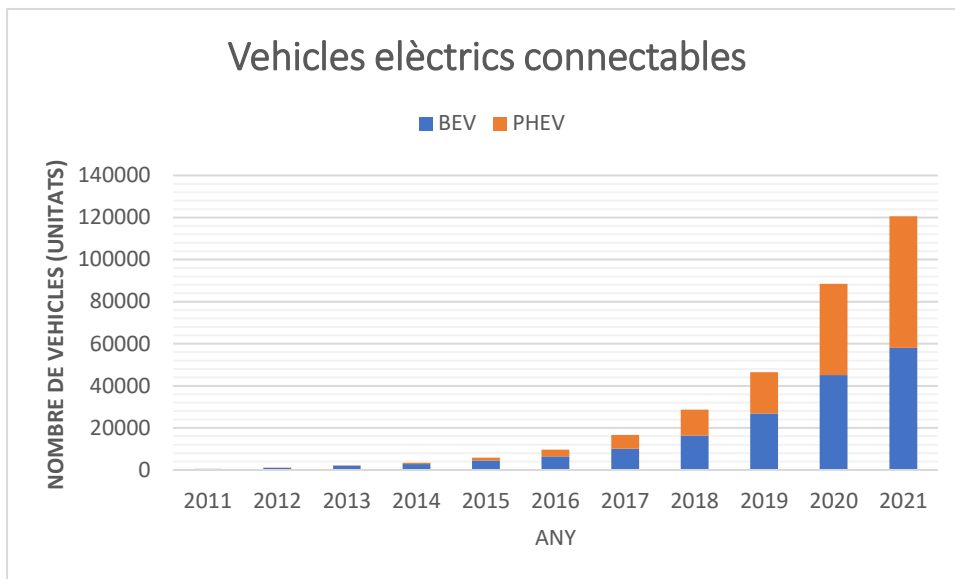


Figura 18 – Evolució del nombre de PEV segons el tipus a Espanya. [2]

Per posar-li sentit a aquestes dades del nombre de PEV cal fer una ullada al països veïns i l'evolució de les vendes a nivell europeu. Per això en la **Figura 19** es mostren els cinc països d'Europa amb més unitats venudes de PEV. S'observa que no figura Espanya, doncs encara està ben lluny de ser referent en mobilitat elèctrica i aparèixer entre els grans pioners d'aquesta tecnologia.

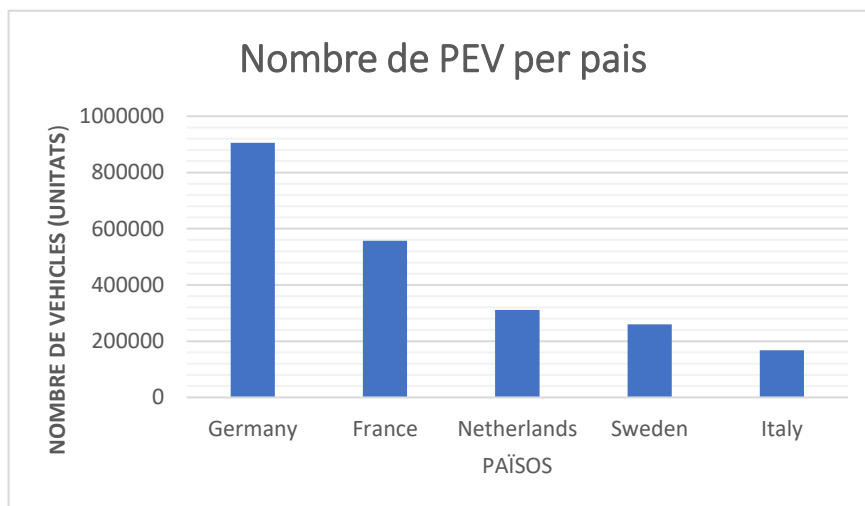


Figura 19 – Països europeus amb més unitats de PEV venudes. [2]

Per veure com afecta sobre la demanda elèctrica el fet de connectar els VE a la xarxa, es pren un valor de $N = 120000$ unitats, segons xifren actualment els vehicles elèctrics connectables registrats a Espanya.

Capacitat de les bateries (C_m)

És una de les variables més importants a l'hora de calcular el consum diari d'electricitat dels vehicles elèctrics. Per a simplificar l'estudi, s'han recopilat els deu models de vehicles elèctrics més venuts en l'últim any i a partir dels consums que proporcionen les seves marques, s'ha extret un valor de capacitat mitjana.

S'ha realitzat una mitjana ponderada, on es considera que el 100% dels vehicles és el total de les ventes dels models de la **Taula 5**.

Model de VE	Capacitat bateria (C_i) [kWh]	Ventes (V_i) [unitats]
Renault ZOE	50	2431 (22%)
Nissan Leaf	40	880 (8%)
Tesla Model 3	40	1202 (11%)
Smart Fortwo	17,6	734 (7%)
Hyundai Kona	40	1793 (16%)
Volkswagen UP!	32	759 (7%)
Volkswagen ID3	48	485 (4%)
Volkswagen e-Golf	48	1017 (9%)
Kia Niro	40	708 (6%)
Peugeot e208	46	1248 (11%)

Taula 5 – Capacitat mitjana de les bateries dels principals models de VE. [11]

A continuació es mostra la fórmula aplicada:

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} C_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{10} V_i} \quad (1)$$

On:

i = model de VE

C_i = Capacitat de la bateria del model i

P_i = Percentatge de ventes del model i respecte el total

V_i = Nombre d'unitats venudes del model i

Realitzant el càlcul explicat, s'obté una capacitat de bateria (C_m) de 42,24 kWh. Donat que és un valor que està en constant creixement, per a la realització del treball s'estimarà a la alça i es prendrà una capacitat de $C_m = 43 \text{ kWh}$.

El procés de càrrega considerat és de baixa potència i tal i com ja s'ha explicat anteriorment al 3.1. Modes de recàrrega

, poden utilitzar-se el mode 1 o 2 de càrrega, tot i que el primer no és recomanable al no disposar cap dispositiu de protecció contra sobretensions i pot produir danys greus a la instal·lació. Permet proporcionar una potència de 3,7 kW (230 V, 16 A) que són els que s'utilitzaran per fer les estimacions de càlcul.

La bateria de la gran majoria dels vehicles són d'ió-liti i la corba del procés de càrrega és la representada en la **Figura 20**: Una primera fase on la potència subministrada és constant i una segona on malgrat la potència que subministra disminueix, la bateria continua carregant-se fins arribar al 100%. Això té el gran avantatge de permetre endollar un segon vehicle a la xarxa quan el primer es trobi en la segona fase sense necessitat de tenir contractat el doble de potència.

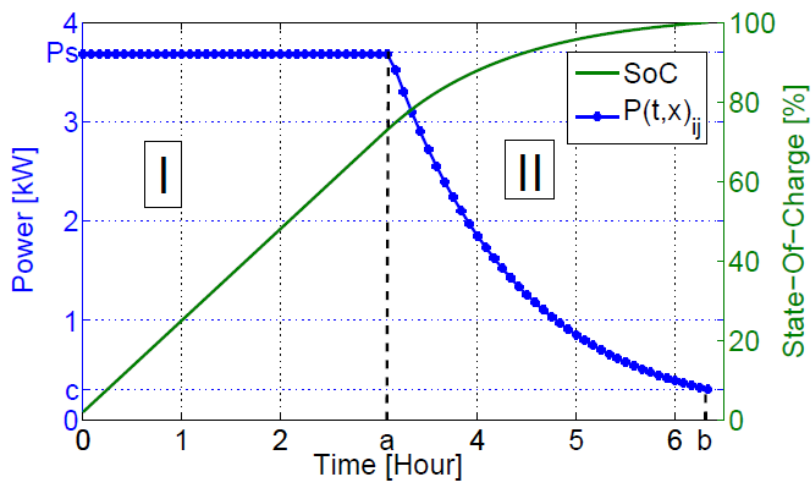


Figura 20 – Corba del procés de càrrega de les bateries elèctriques. [21]

En aquest estudi, s'assumeix que el procés de càrrega de les bateries dels PEV és lineal i estan completament carregades.

Consum elèctric dels vehicles (Q_m)

El consum elèctric dels vehicles és la variable que juntament amb la capacitat de les bateries, faci determinar l'autonomia del vehicle. Cal tenir en compte que aquestes dades no són un valor gaire exacte ja que depèn d'altres factors externs a l'abast de l'estudi, com poden ser la conducció, com de ple vagi el vehicle en qüestió o fins i tot segons si es condueix per ciutat o carreteres interurbanes. Tanmateix en la següent **Taula 6** s'indiquen els consums elèctrics mitjans dels models utilitzats pel càlcul de la capacitat de les bateries.

Model de VE	Consum elèctric mitjà (Q_i) [kWh / 100 km]
Renault ZOE	13,1
Nissan Leaf	13,1
Tesla Model 3	11
Smart Fortwo	15,9
Hyundai Kona	10,4
Volkswagen UP!	14,4
Volkswagen ID3	15,9
Volskwagen e-Golf	10,2
Kia Niro	12,0
Peugeot e208	15,6

Taula 6 – Consum elèctric mitja dels principals models de VE. [12]

Tenint en compte els mateixos models que s'han pres a l'hora de calcular la capacitat de les bateries, s'ha obtingut el consum elèctric mitjà d'aquests a partir d'un estudi de prova de consum realitzada per AUVE [13].

Procedint de la mateixa forma realitzada pel càlcul de la capacitat mitjana amb l'equació (1) i tenint en compte el consum elèctric mitjà Q_i en comptes de la capacitat C_i , s'obté un consum elèctric mitjà de $12,78 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ que a efectes de càlcul d'aquest treball s'arrodoneix a la unitat quedant així un consum de $Q_m = 13 \text{ kWh}/100 \text{ km}$.

Distància de desplaçament ordinari diari (D_d)

Per saber quant ha consumit el VE al llarg d'un dia, és necessari conèixer quants quilòmetres ha realitzat. S'han obtingut dades estadístiques amb un rang de probabilitat del quilometratge ordinari dels usuaris de vehicles. En la **Figura 21** es mostren vàries corbes corresponents a diferents països europeus i tenint en compte la corba d'Espanya, s'extreu que el 90% de la població realitza 100 o menys quilòmetres diaris de mitjana. Per a prendre un valor, s'ha dividit la gràfica en trams aproximadament lineals per indicar una distància mitjana i fer el càlcul ponderat.

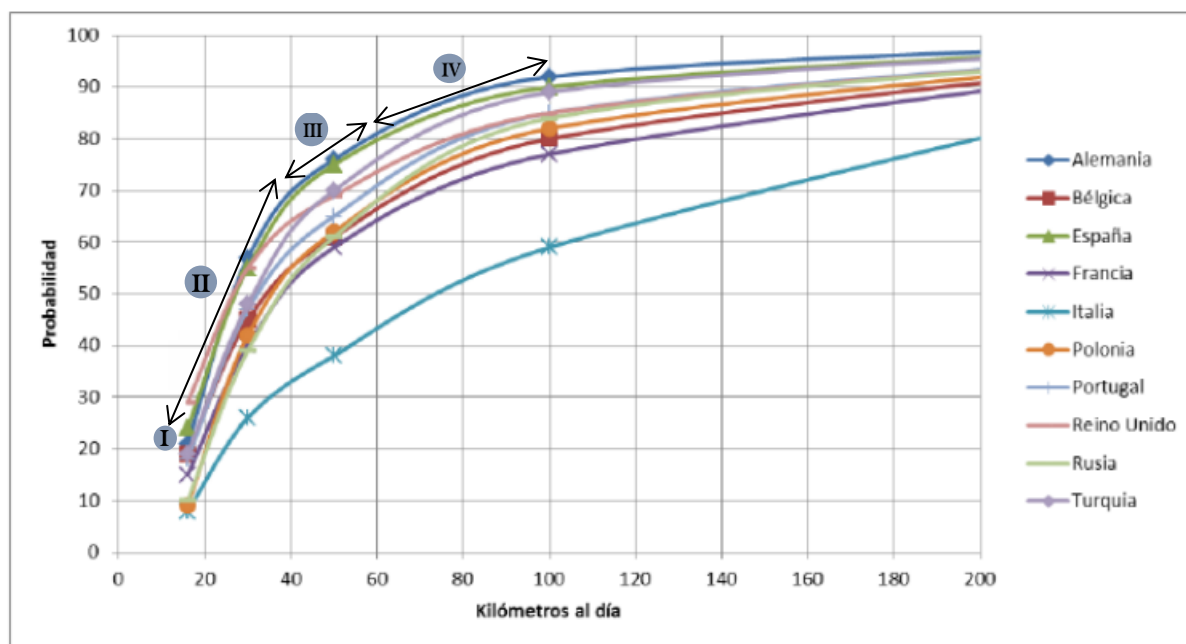


Figura 21 – Quilòmetres diaris recorreguts per vehicles segons els països. [21]

En la **Taula 7** es sintetitza l'explicat anteriorment.

Tram	Probabilitat	Quilòmetres diaris	Quilometres mitjans al dia
I	0 – 25 % (25%)	> 15 km	15 km
II	25 – 70 % (45%)	15 – 40 km	28 km ~ tram lineal
III	70 – 80 % (10%)	40 – 60 km	50 km ~ tram lineal
IV	80 – 90 % (10%)	60 – 100 km	80 km ~ tram lineal
V	90 – 100 % (10%)	> 100 km	No es tindrà en compte

Taula 7 – Quilòmetres diaris amb el percentatge segons el tram. Font pròpia

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^4 D_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^4 p_i} = \quad (2)$$

$$= \frac{15 \cdot 0,25 + 28 \cdot 0,45 + 50 \cdot 0,10 + 80 \cdot 0,10}{0,90} = 32,61 \text{ km}$$

On:

i = tram de la gràfica

D_i = Distància mitjana del tram i [km]

p_i = Probabilitat de vehicles del tram i [%]

Per arrodonir a les unitats es considera un recorregut de $D_d = 33 \text{ km}$ com a distància de desplaçament ordinari en dies laborables.

Hora d'arribada al domicili

L'abast d'aquest projecte inclou la mobilitat en dies laborables i per a la opció de recàrrega d'arribar i carregar (o *plug & play* en anglès) sense tenir un sistema de gestió de la demanda i recàrrega intel·ligent és necessari conèixer dades temporals segons en quin moment tornen els usuaris al domicili. Per això en la **Figura 22** es mostra el percentatge del nombre de persones que hi tornen a casa segons la hora i el motiu (personal o professional). Les dades relatives a dies festius queden fora de l'objecte d'estudi d'aquest treball, doncs la distribució de desplaçaments és diferent.

Hora de tornada al domicili

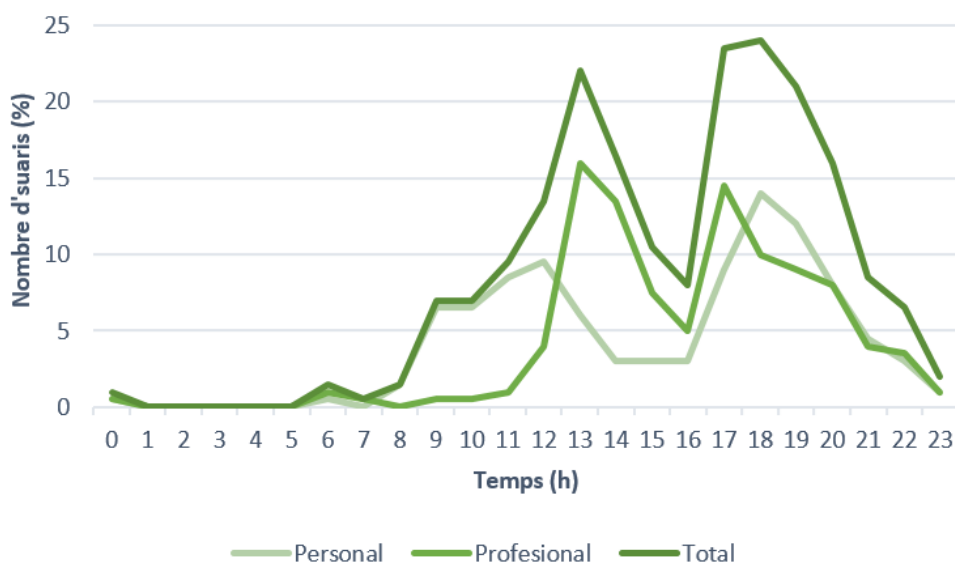


Figura 22 – Hora de tornada al domicili. [21]

4.2. Escenaris d'estudi

S'ha decidit realitzar els dos casos totalment oposats. Un primer cas on l'usuari endolla el vehicle al vespre quan ha finalitzat el trajecte diari i es suposa que no tornarà a agafar el cotxe fins l'endemà (recàrrega ineficient) i un altre en què tot i estar el vehicle connectat a la xarxa, no s'està carregant perquè s'espera a fer-ho en hores vall on no hi hagi tanta demanda (recàrrega intel·ligent). Tot seguit s'expliquen les característiques.

Per fer un resum i saber quines dades s'han triat per l'estudi, en la **Taula 8** es recullen les variables utilitzades amb els seus respectius valors triats en el punt 1.

Variable	Valor triat
Nombre de vehicles elèctrics connectables (PEV)	120000 unitats
Capacitat de les bateries	45 kWh
Consum elèctric	13 kWh / 100 km
Potència de càrrega	3,7 kW
Distància diària	33 km

Taula 8 – Valor de les variables triades. Font pròpia

A l'hora de decidir els dies dels quals obtenir les dades de demanda s'ha fet aleatòriament sense cap criteri ja que posteriorment a l'eina desenvolupada amb Excel es permet canviar aquestes dades i analitzar el dia desitjat. Com que a principis de l'any 2020 va haver-hi una pandèmia causada pel Covid19 s'ha comparat els consums obtinguts al llarg de la setmana del dia triat amb els d'anys anterior per veure si hi ha hagut possibles afectacions.

Els dies triats són: 07/07/21 per la temporada d'estiu i 21/01/2021 per la temporada d'hivern. Per fer una anàlisi de les dades, es compararen els valors màxims i mínims dels últims 5 anys i així poder decidir si aquestes gràfiques s'assemblen bastant a la mitjana o pel contrari hi ha variacions significants.

Setmana 27 – Temporada d'estiu

En la **Figura 23** es mostra la demanda elèctrica màxima a la península al llarg de la setmana 27, d'una banda els valors màxims dels últims cinc anys (2017 al 2021) amb una corba indicant la mitjana dels màxims dels anys anteriors (2017 al 2019). S'observa que els últims dos anys són una mica inferiors a la resta, pel que es pot suposar que els últims dos anys han estat afectats a la baixa. Per tal d'agafar un dia el més proper possible a la realitat actual (any 2021) es decideix prendre el **10 de juliol de 2019** com a dia que representi la corba de la demanda en un dia laborable d'estiu.

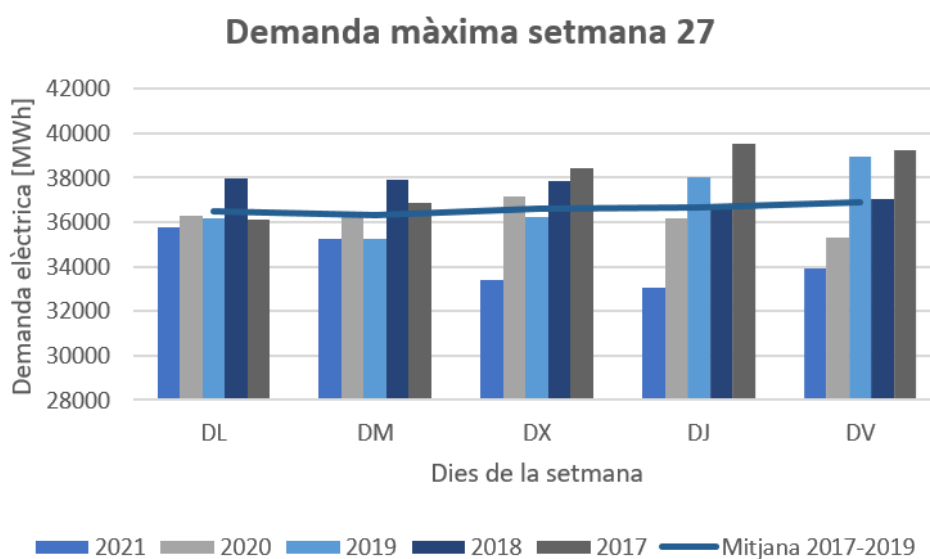


Figura 23 - Demanda màxima setmana 27 dels últims cinc anys. Elaboració pròpia. [8]

Es podria dir que el valor màxim no es representatiu de si un dia es bo o dolent per representar els altres però es troba que amb el valor mínim diari succeeix exactament el mateix (demandes dels anys 2020 i 2021 bastant inferiors a la mitjana) i conseqüentment es dona per bo aquest mètode de rebuig.

Setmana 4 – Temporada d'hivern

El mateix procediment realitzat per la tria del dia per la temporada d'estiu es realitza per la d'hivern. En la **Figura 24** a diferència de l'anterior, com que l'estat d'alarma va començar al març no es contempla que el 2020 estigui afectat (almenys per la pandèmia). Les barres verticals indiquen el valor màxim de demanda arribat i la corba la mitjana dels màxims dels anys 2017 al 2020. Es detecta que el 2018 va haver-hi uns pics bastant baixos de demanda així com el 2021 una tendència a la baixa més del normal sobretot dijous i divendres. Per aquests motius es decideix triar l'any 2020 com a referència, justament el **22 de gener de 2020**.

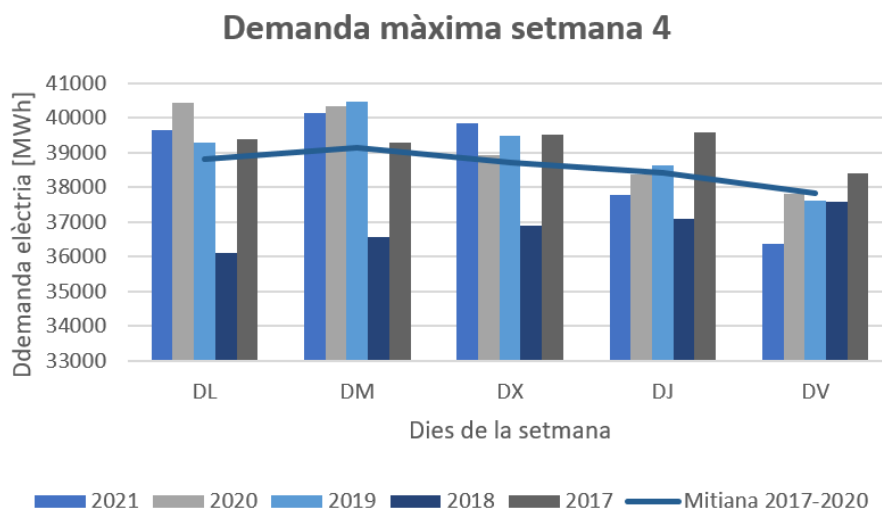


Figura 24 - Demanda màxima setmana 4 dels últims cinc anys. Elaboració pròpia. [8]

Un cop decidits els dies, s’extreuen les dades de demanda de cada hora (el web de REE divideix la demanda en tram horaris de deu minuts) per simplificar l’estudi d’aquestes. Per tant, les corbes mostrades en la **Figura 25** són una aproximació de les corbes reals de demanda.

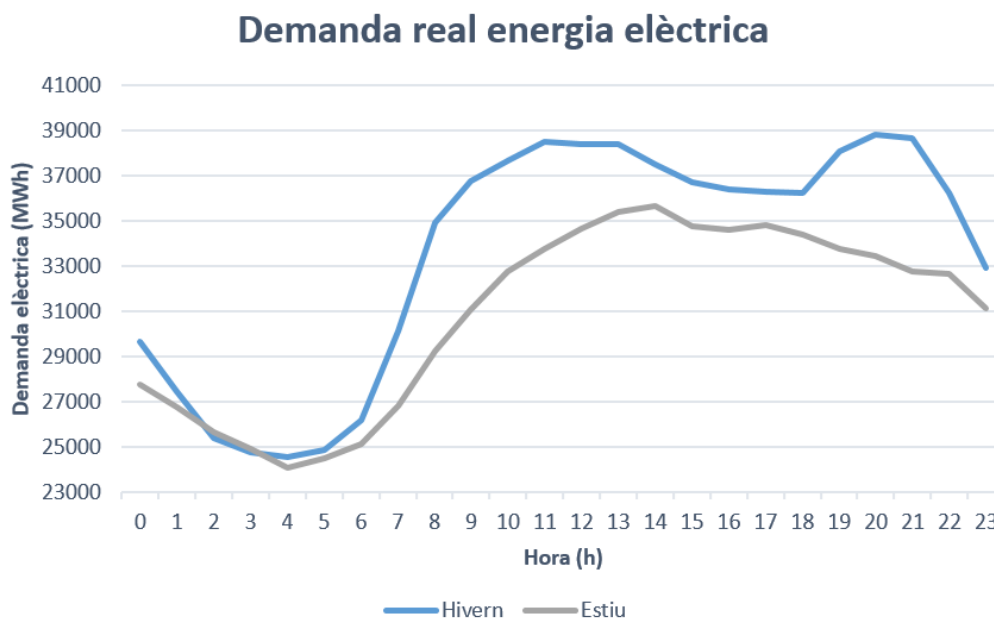


Figura 25 – Demanda elèctrica dels dies triats. Elaboració pròpia. [8]

Comparant les dues gràfiques, es detecta durant l’hivern la formació de dos pics de demanda, al migdia sobre les 12:00h i al vespre entorn a les 20:00h, mentre que a l’estiu només es forma un (al voltant de les 14:00h) i bastant més suau que a l’hivern. En el següent punt s’analitzarà com afecta el tipus de càrrega a la corba de demanda existent.

4.2.1. Arribar i carregar (*Plug&Play*)

En aquest primer escenari, els usuaris de VE prefereixen carregar-los quan arriben a casa després de tot el dia sense haver-los carregat. D'acord amb la **Figura 22** que representa la tornada al domicili dels usuaris, s'observa una certa similitud a la de la corba de la demanda elèctrica a Espanya (part peninsular) i per tant comportarà una sobrecàrrega en els pics que ja hi ha en l'actualitat. L'ús d'aquest escenari de recàrrega porta a les següents conseqüències:

- Dimensions del sistema de transport i generació excessivament elevades.
- Ineficiència.
- No afavoreix la integració de les energies renovables.

En la següent **Figura 26** es representa la demanda elèctrica corresponent a la connexió dels PEV al arribar a casa seguint la distribució de l'anterior **Figura 22**.

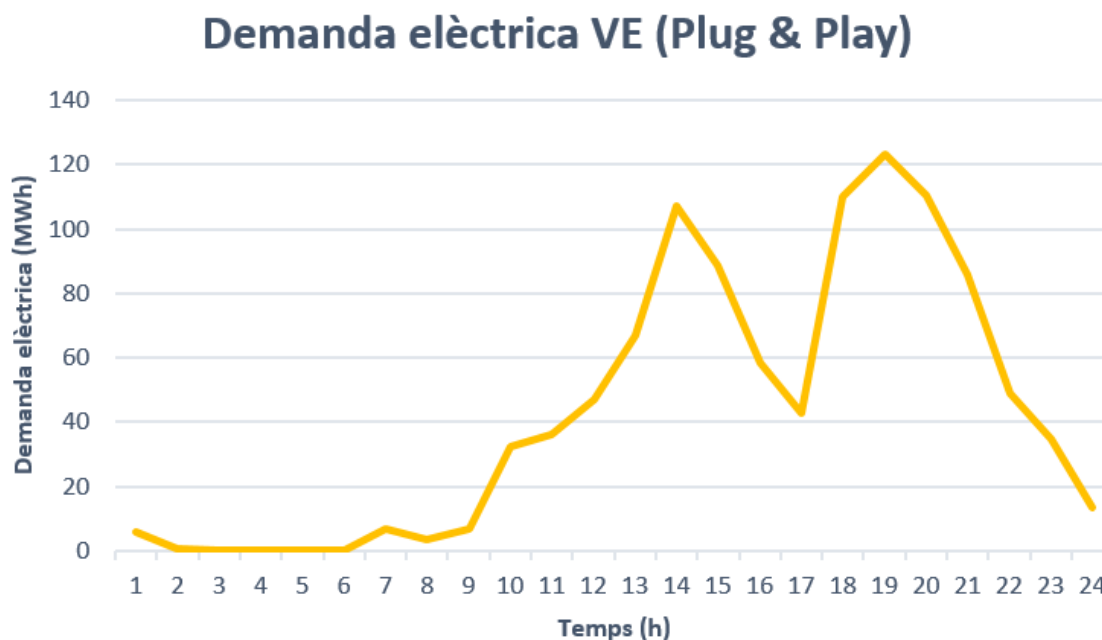


Figura 26 – Demanda elèctrica dels PEV del cas Plug&Play. Font pròpia.

Per aquest estudi s'ha suposat que la distribució horària d'arribada a casa és la mateixa tant durant la temporada d'estiu com d'hivern i per consegüent la corba de la demanda és la mateixa també.

Com ja s'ha comentat anteriorment, el procés de recàrrega es suposa lineal i per tant, a més de la demanda que s'introdueix cada hora cal afegir la demanda de les hores anteriors que no ha pogut ser subministrada per falta de potència (en aquest apartat s'ha triat una potència de 3,7 kW, típica d'endolls domèstics).

En la **Taula 9** es mostren totes les dades de demanda horària d'energia i el percentatge de carregar per les pròximes hores.

Temps [h]	Personal [%]	Profesional [%]	Total [%]	Acumulat VE [unitats]	Demanda nova [MWh]	Demanda total [MWh]	Energia carregada per hora [MWh]							
							1	2	3	4	5	6	7	
0	0,5	0,5	1	600	2,574	2,928	2,22	0,354	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0,354	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,5	1	1,5	900	3,861	3,33	3,33	0,531	0	0	0	0	0	0
7	0	0,5	0,5	300	1,287	1,641	1,11	0,177	0	0	0	0	0	0
8	1,5	0	1,5	900	3,861	3,507	3,33	0,531	0	0	0	0	0	0
9	6,5	0,5	7	4200	18,018	16,071	15,54	2,478	0	0	0	0	0	0
10	6,5	0,5	7	4200	18,018	18,018	15,54	2,478	0	0	0	0	0	0
11	8,5	1	9,5	5700	24,453	23,568	21,09	3,363	0	0	0	0	0	0
12	9,5	4	13,5	8100	34,749	33,333	29,97	4,779	0	0	0	0	0	0
13	6	16	22	13200	56,628	53,619	48,84	7,788	0	0	0	0	0	0
14	3	13,5	16,5	9900	42,471	44,418	36,63	5,841	0	0	0	0	0	0
15	3	7,5	10,5	6300	27,027	29,151	23,31	3,717	0	0	0	0	0	0
16	3	5	8	4800	20,592	21,477	17,76	2,832	0	0	0	0	0	0
17	9	14,5	23,5	14100	60,489	55,002	52,17	8,319	0	0	0	0	0	0
18	14	10	24	14400	61,776	61,599	53,28	8,496	0	0	0	0	0	0
19	12	9	21	12600	54,054	55,116	46,62	7,434	0	0	0	0	0	0
20	8	8	16	9600	41,184	42,954	35,52	5,664	0	0	0	0	0	0
21	4,5	4	8,5	5100	21,879	24,534	18,87	3,009	0	0	0	0	0	0
22	3	3,5	6,5	3900	16,731	17,439	14,43	2,301	0	0	0	0	0	0
23	1	1	2	1200	5,148	6,741	4,44	0,708	0	0	0	0	0	0

Taula 9 – Distribució de la demanda elèctrica segons la hora en *Plug&Play*. Font pròpia

La demanda total a repartir en el període vall és de 1029,6 MWh corresponents a la suma de les demandes noves a cada hora de la **Taula 9**. El càlcul d'aquesta demanda és el següent:

$$D^{ve} = \sum_{i=0}^{23} D_i^{ve}$$

$$D_i^{ve} = \frac{N_i \cdot D_d \cdot Q_m}{100} \quad (3)$$

El significat de cada variable és el següent:

D_i^{ve} = Demanda nova a cada hora i [kWh]

N_i = Nombre de vehicles que carreguen el VE a l'hora i [unitats]

D_d = Distància de desplaçament ordinari diari [km]

Q_m = Consum elèctric dels vehicles [kWh /100 km]

A continuació es detallen les dues casuístiques: segons si la temporada és estiu o hivern.

Cas 1 – Demanda temporada hivern

Es tracta de veure si el fet de carregar els vehicles elèctrics un cop s'arriba a casa pot afectar i de quina manera a la corba de la demanda actual. En la **Figura 27** es representa la demanda prèvia a connectar els vehicles a la xarxa (corba blava) i de taronja la demanda total un cop se li han afegit els MWh segons s'ha determinat en la **Figura 26**.

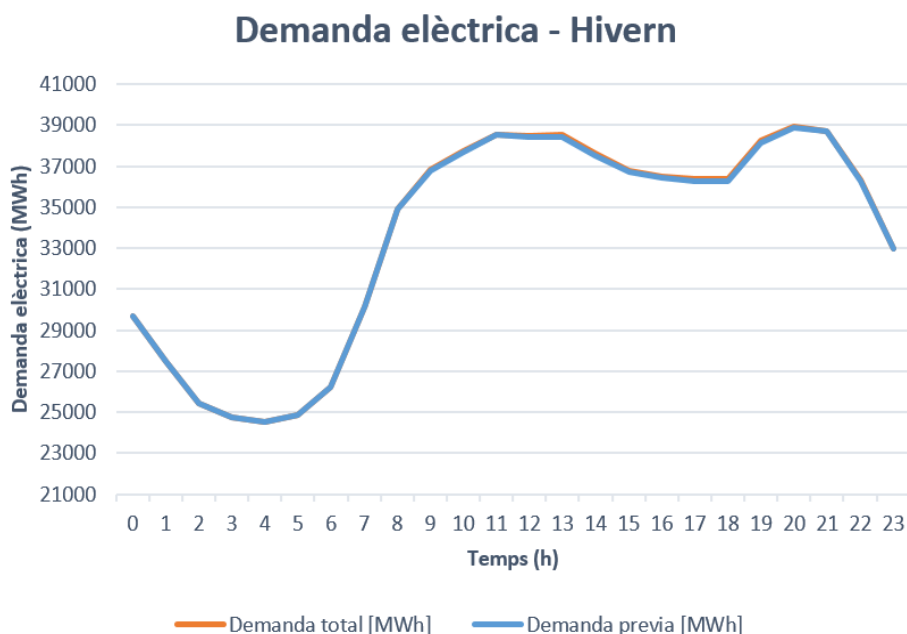


Figura 27 – Demanda elèctrica amb recàrrega *Plug&Play* a l'hivern. Elaboració pròpia. [8]

Sembla veure's que l'ordre de les dos magnituds es bastant diferent, per una banda la demanda dels vehicles elèctrics difícilment arriba al centenar de MWh mentre que la demanda prèvia és de varies desenes de milers, pel que a l'hora de sumar-les, aquesta última no es veu pràcticament afectada.

Tot i així, en la **Taula 10** es recopilen alguns valors significatius per veure com han variat al introduir la càrrega dels VE.

Hivern – <i>Plug&Play</i>	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment [%]
Demanda màxima [MWh]	38846,00	38889,00	0,11
Hora de demanda màxima [h]	20	20	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	14308	14351	0,30

Taula 10 – Variació de demanda amb recàrrega *Plug&Play* a l'hivern. Font pròpia

Cas 2 – Demanda temporada estiu

Vista la corba de la demanda corresponent a la temporada d'hivern i realitzant una recàrrega *Plug&Play*, es procedeix a realitzar el mateix per la temporada d'estiu.

En la **Figura 28** es mostra la demanda prèvia i la total, ambdues en MWh.

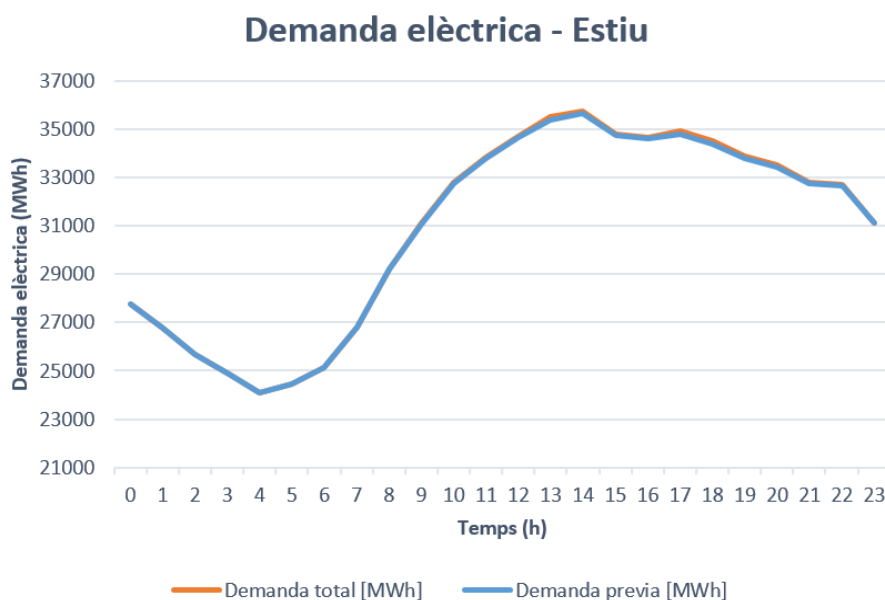


Figura 28 – Demanda elèctrica amb recàrrega *Plug&Play* a l'estiu. Elaboració pròpia. [8]

El mateix que ha succeït en el Cas 1 ha tornat a succeir amb el Cas 2 i és que la demanda necessària per a la recàrrega dels vehicles connectats és gairebé insignificant vers la demanda prèvia. Com no s'aprecia la diferència, en la **Taula 11** es recullen els valors de demanda màxima així com la diferència de demanda entre el pic i la vall.

Estiu – <i>Plug&Play</i>	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment [%]
Demanda màxima [MWh]	35674,00	35718	0,12
Hora de demanda màxima [h]	14	14	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589	11633	0,38

Taula 11 – Variació de demanda amb recàrrega *Plug&Play* a l'estiu. Font pròpia

Analitzant les variacions en la recàrrega *Plug&Play* abans i després d'introduir els PEV, es detecta un lleuger increment de la demanda en les hores pic. Tot i no arribar a l'1 % es pot preveure que en el moment que augmenti el nombre de vehicles elèctrics significativament (recordar que ara mateix és del 0,5% del total de vehicles nacionals), de ben segur que aquest increment de demanda es veurà reflectit en la demanda total.

4.2.2. Distribució en període vall

En contraposició amb la recàrrega en hora punta, aquest altre escenari permet carregar els VE d'acord amb la corba de la demanda i mitjançant sistemes de gestió intel·ligent carregar els vehicles a les hores vall per reduir el salt de potència entre les hores de baixa i alta demanda. Segons el sistema tarifari actual, l'horari vall comprèn la franja entre les 00h i les 08h i si s'utilitza correctament permet millorar l'eficiència del sistema i afavoreix la integració de les energies renovables.

Hi ha diverses formes de gestionar la càrrega intel·ligent, partint des d'un petit programa de codi fins a grans ordinadors amb la última tecnologia de intel·ligència artificial. Per l'elaboració d'aquest projecte es durà a terme mitjançant l'aplicació de Microsoft Excel fent servir l'eina d'anàlisi d'hipòtesis que ofereix anomenada Solver.

És realitza a partir del mètode de resolució GRG (*Generalized Reduced Gradient*) no lineal, el qual busca la solució òptima a partir del gradient o pendent de la funció objectiu quan van canviant els valors d'entrada i s'atura quan les derivades parcials de la funció són nul·les. Com que la solució trobada és dependent de les condicions inicials és molt important assegurar-se que quan s'inicia el programa, els valors de la variable a trobar (en aquest cas la demanda D_i^{ev} comencin des de zero.

Dades

N hores de la franja d'hora vall (de les 00h fins les 07h fan un total de 8h)

D_i^{dl} demanda prèvia (sense la dels PEV) en un dia laborable a la hora i

Variables

D_i^{hv} demanda total a la hora i

D_i^{ve} demanda relativa als vehicles connectables a la hora i (inicialment $D_i^{ve} = 0$)

El model és el següent:

$$[min] \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (D_i^{hv} - \overline{D^{hv}})^2}{N}}$$

s. a:

$$D^{hv} = \sum_{i=1}^N D_i^{hv} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$D^{ve} = \sum_{i=1}^N D_i^{ve} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$D_i^{hv} = D_i^{dl} + D_i^{ve} \quad (i = 1, \dots, N)$$

$$D_i^{ve}, D_i^{dl} \geq 0$$

Es decideix triar la funció objectiu com la desviació estàndard de la demanda elèctrica total perquè així minimitzant-la, es pot arribar a tenir una distribució de la demanda més horitzontal i suau que no pas amb puntes d'energia que afecten a la xarxa greument. En els casos a continuació es mostren els resultats obtinguts.

Cas 1 – Demanda temporada hivern

Un cop explicat el procediment per a la distribució de la demanda intel·ligentment al llarg de la franja d'hora vall, es procedeix a aplicar-ho sobre la corba de demanda a l'hivern com es visualitza en la **Figura 29**.

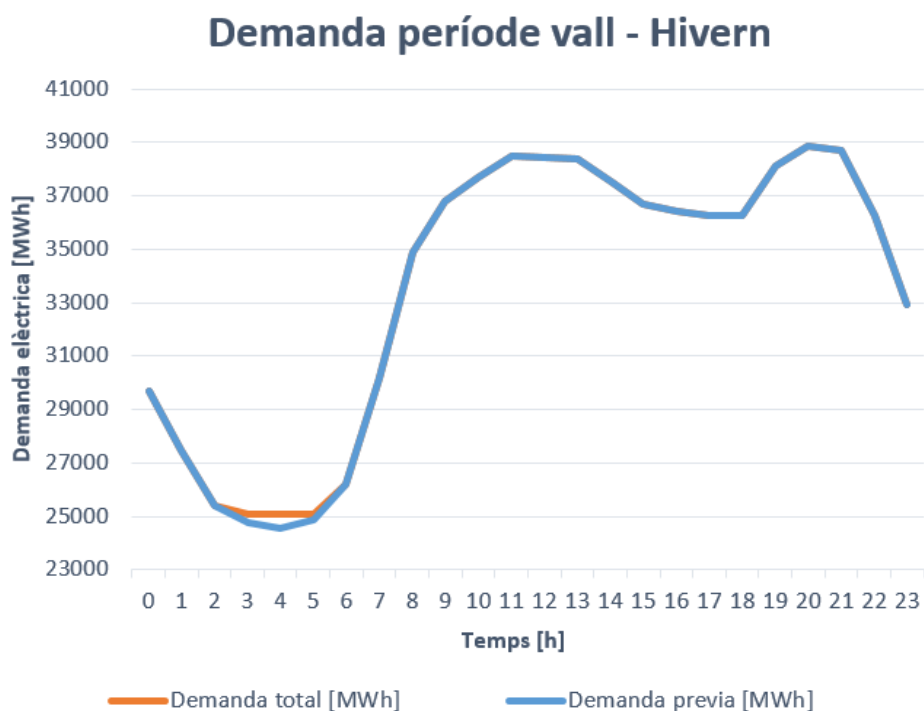


Figura 29 – Demanda elèctrica peninsular període vall a l'hivern. Elaboració pròpia. [8]

En la següent **Figura 30** es representen els valors de la demanda repartida durant el període vall i calculada amb el Solver.

Amb un valor pic de 529,87 MWh a les 04:00 compensa el valor de vall de 24538 MWh de la corba de demanda prèvia.

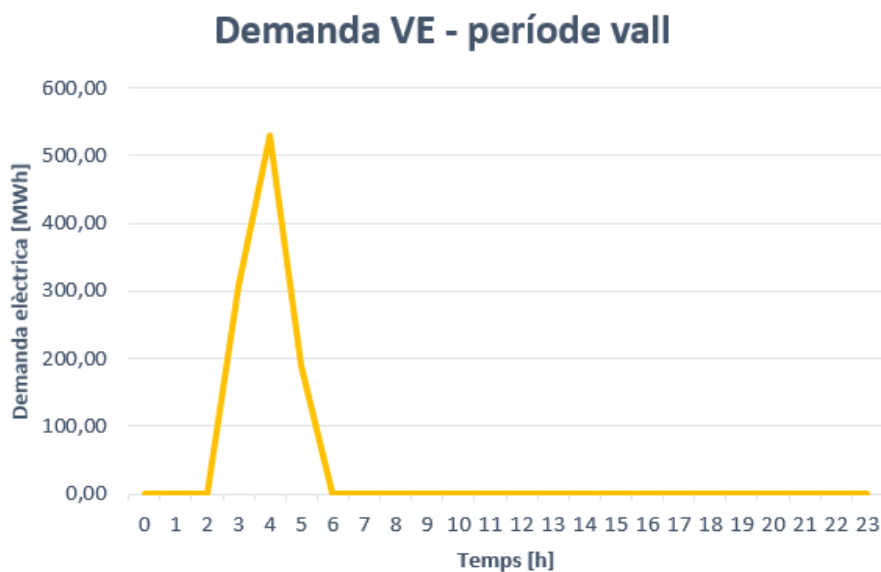


Figura 30 – Demanda elèctrica PEV període vall a l'estiu. Font pròpia

Tot i ser valors encara petits, es deixa entreveure una certa millora de la ràtio entre el pic i la vall, que en aquest cas s'ha reduït en un 3,7%. El valor de vall sembla desplaçar-se lleugerament a la dreta i també engloba les 05h com hora de demanda mínima. Totes aquestes dades es troben a mode de resum en la **Taula 12**.

Hivern – Hora vall	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment [%]
Demanda mínima [MWh]	24538,00	25067,87	2,16
Hora de demanda mínima [h]	4	4 – 5	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	14308	13778	-3,7

Taula 12 – Variació de demanda amb recàrrega en període vall a l'hivern. Font pròpia

Comparant els resultats obtinguts en la temporada d'hivern, es recomana l'ús de la recàrrega en període vall ja que aplanar la corba en el tram inferior i redueix gairebé en un 4% la diferència de demanda entre els extrems vers l'augment del 0,38% en la recàrrega *Plug&Play*.

Cas 2 – Demanda temporada estiu

Després de veure com afecta la recàrrega intel·ligent sobre la demanda existent en un dia d'hivern, es realitza el mateix per a un dia d'estiu. Seguint amb les mateixes dades que s'han utilitzat en el punt 4.2.1, i amb el programa Solver d'Excel es realitza la distribució eficient de la càrrega en el període vall com es pot comprovar en la **Figura 31**.

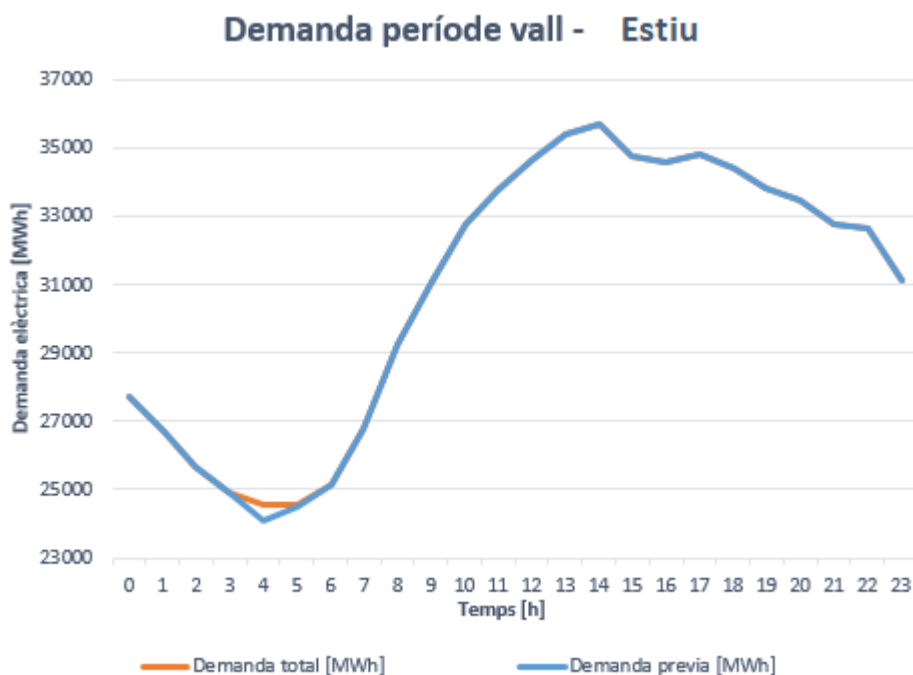


Figura 31 – Demanda elèctrica peninsular període vall a l'estiu. Elaboració pròpia. [8]

La distribució inclou un màxim de demanda de 450 MWh a les 04:00 seguit dels poc més de 50 MWh per arribar als 514,8 MWh necessaris per abastir als usuaris de VE. En la **Figura 32** es pot veure aquesta distribució en les hores del període vall.

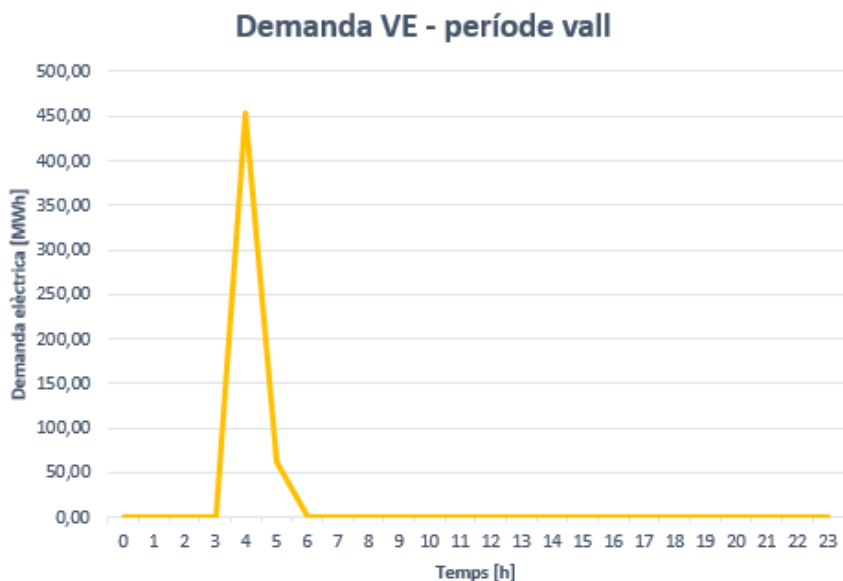


Figura 32 – Demanda elèctrica PEV període vall a l'estiu. Font pròpia

Estiu – Hora vall	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment [%]
Demanda mínima [MWh]	24085	24538	1,88
Hora de demanda mínima [h]	4	4 – 5	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589	11136	- 3,91

Taula 13 – Variació de demanda amb recàrrega en període vall a l'estiu. Font pròpia.

Comparant les dues èpoques de l'any en la recàrrega en hora vall, s'observa que en totes dues es manté l'hora de demanda màxima independentment si es connecten els PEV, tot i que ara també apareix les 5:00h com hora vall, el que significa que s'ha aplanat la corba en aquest tram.

També es veu que la ràtio d'elevació entre el pic i la vall disminueix gairebé el doble a l'estiu que a l'hivern. Pel fet que el valor de las variables a considerar sigui bastant petits vers la corba de la demanda, fa que pràcticament no es modifiqui gaire. No obstant, al següent capítol s'analitzaran altres casos més profundament per que així es permeti observar quins són els límits i com pot veure's afectada realment la corba de la demanda en un futur.

5. Casos particulars d'estimació de demanda dels VE

Un cop realitzat l'estudi de l'estimació de la demanda dels PEV en el punt 4 amb dades actuals de la població espanyola es desitja realitzar el mateix però amb altres dades ja que com s'ha vist anteriorment, el nombre de vehicles elèctrics actuals no afecta en gran mesura sobre la demanda ja existent.

També serveix per posar a prova l'aplicació realitzada en Excel i es pugui aplicar a altres opcions, sempre partint de les dades de demanda existent. L'estructura, instruccions i disseny es mostren a **Annex A: Manual d'usuari de l'eina.**

S'analitza el cas que afecta més sobre la corba de la demanda elèctrica ja que així permet tenir una visió general de quina època o temporada de l'any es veurà més afectada per a futures prediccions. Segons s'ha conclòs de l'analitzat en l'apartat anterior, durant l'estiu la introducció dels vehicles elèctrics a la xarxa elèctrica afecta en major mesura.

5.1. Cas pràctic 1: Demanda elèctrica al domicili familiar.

El treball s'ha centrat en l'estudi de la demanda de la població nacional, però com que es considera que la recàrrega dels diferents vehicles elèctrics es realitza al domicili, es vol realitzar una estimació per veure com pot afectar la connexió d'un vehicle al consum domèstic individual.

S'han obtingut dades de demanda d'un dia qualsevol laborable per a posteriorment analitzar com afecta a la corba en recàrrega intel·ligent i les limitacions que pugui tenir en termes de potència.

El dia en qüestió és el **19 d'agost de 2021** i la demanda es representa en la **Figura 33**. Es detecta que l'activitat de l'usuari a l'agost és similar a la resta dels mesos d'estiu, per tant es descarta qualsevol afectació pròpia d'aquest mes i s'admet aquesta generalització.

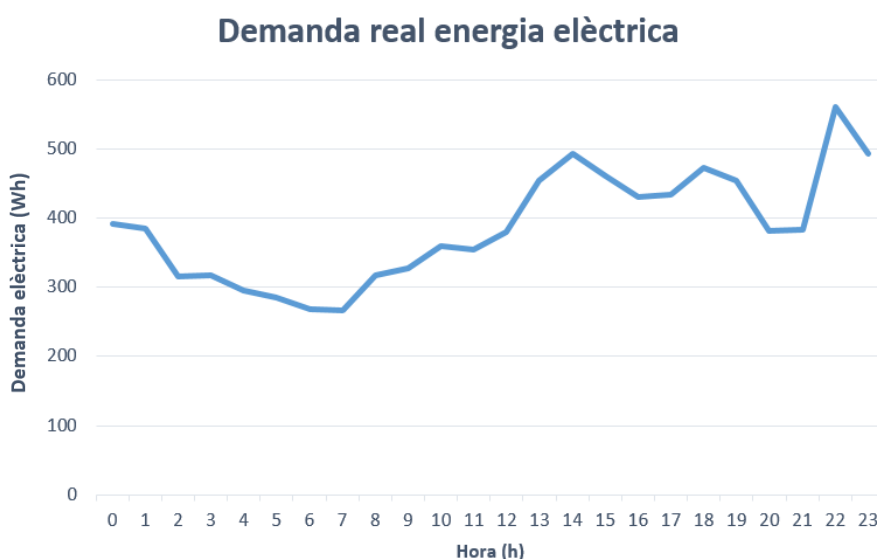


Figura 33 – Demanda elèctrica real. Cas pràctic 1. Font pròpia.

Per a realitzar la recàrrega es decideix que en comptes de realitzar-la cada dia al tornar al domicili o en el període vall, és connectarà al final de la setmana laborable per carregar el consum de tota la setmana. Per tant la càrrega seria cinc vegades major que si fos del consum diari (veure **Taula 14**).

Variable	Valor triat
Nombre de vehicles elèctrics connectables (PEV)	1 unitat
Capacitat de les bateries	45 kWh
Consum elèctric	13 kWh / 100 km
Potència de càrrega	3,7 kW
Distància setmanal	165 km

Taula 14 – Valor de les variables triades. Cas pràctic 1. Font pròpia

En la **Figura 34** es veu la gran diferència entre la demanda requerida pel VE i la de l'habitatge.

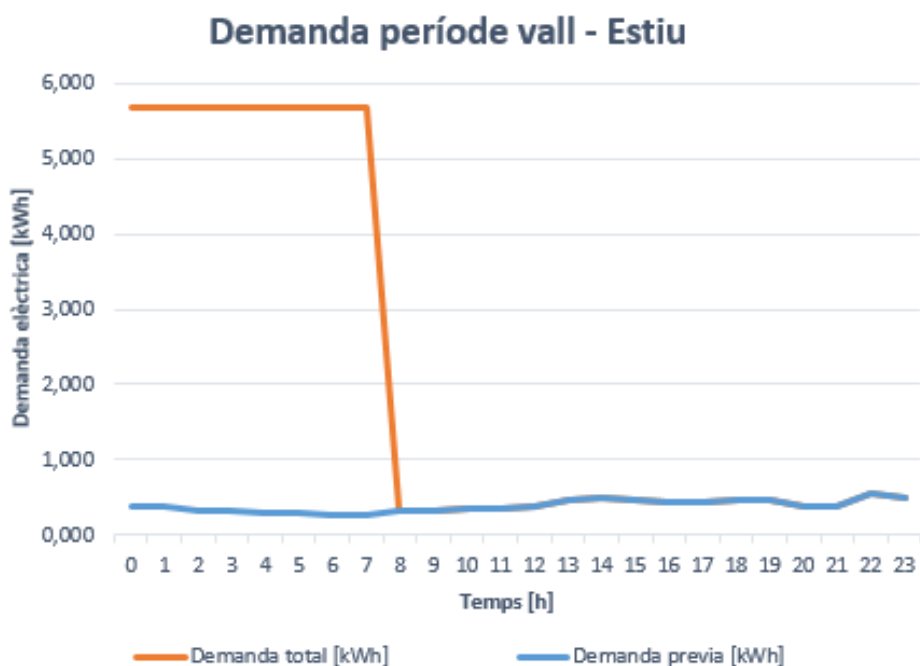


Figura 34 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 1. Font pròpia.

La potència contractada al domicili actualment és de 5,5 kWh. A partir de la gràfica anterior es pot concloure que és necessària ampliar el terme de potència contractada amb la companyia elèctrica, doncs connectant el VE en període vall suposa arribar a una demanda màxima de 5,7kWh, faria saltar els ploms de la casa i no permetria carregar el vehicle.

Es podria fer l'estudi segons l'escenari de recàrrega *Plug&Play*, però donat que la demanda del vehicle ocupa gairebé el 100% del total domèstic amb ordres de magnituds molt diferents (la demanda del VE és gairebé 6 cops major), el resultat final seria pràcticament igual.

5.2. Cas pràctic 2: Demanda elèctrica segons PEV d'Alemanya

Alemanya s'ha situat en els últims anys com a gran potència en la introducció del vehicle elèctric al seu país. Com s'ha vist en la **Figura 19**, és el país europeu amb més unitats venudes i segons altres informes a dia d'avui ja hauria arribat al milió d'unitats [14]. Si es té en compte que en l'actualitat el país compta amb 45 milions de vehicles el percentatge de vehicles elèctrics (PEV) és d'un 2,22%.

A partir d'aquest percentatge es vol calcular al territori espanyol quants vehicles elèctrics hi hauria si tingués la mateixa proporció i com pot afectar a les corbes de demanda anteriorment comentades.

$$N = 2,22\% \text{ de } 25 \text{ milions} = 500000 \text{ unitats}$$

Seguint el mateix procediment de l'apartat anterior, s'obté la corba d'estimació total de la demanda en un dia laborable d'estiu com s'observa en la **Figura 35**.

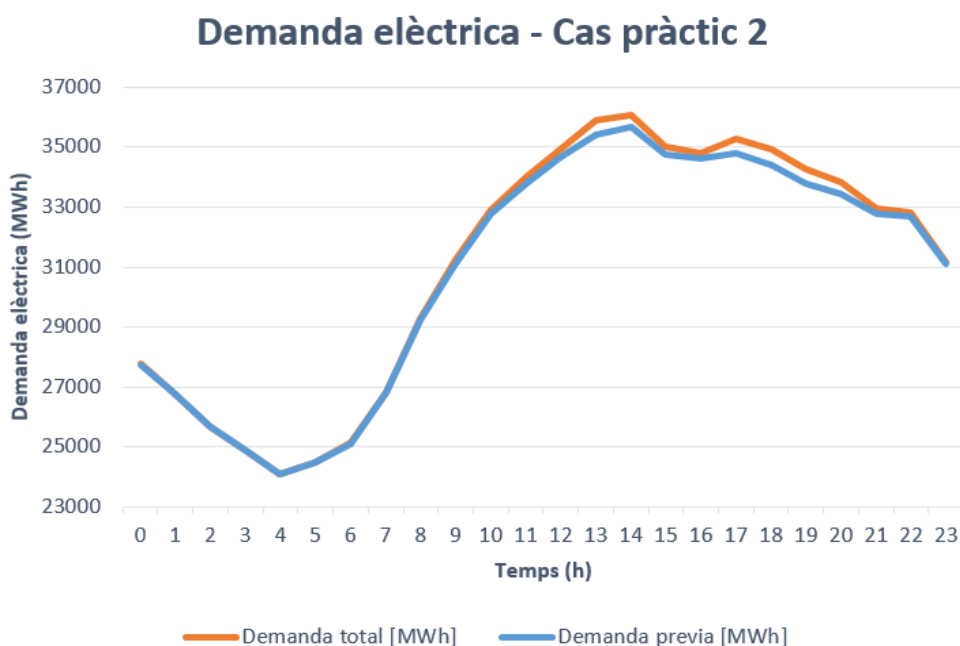


Figura 35 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 2. Elaboració pròpia. [8]

Aquí es veu clarament l'augment de demanda justament en els trams on la demanda prèvia ja era elevada i d'acord amb la **Taula 15** l'increment ha sigut de 1,10% (4 cops més que amb la població actual).

Estiu – Plug&Play	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment
Demanda màxima [MWh]	35674,00	35859	0,52 %
Hora de demanda mínima [h]	14	14	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589	11774	1,60 %

Taula 15 – Variació de demanda en recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 2. Font pròpia

Aquest lleuger increment de la demanda causat per la recàrrega *Plug&Play* es pot evitar si es realitza la recàrrega intel·ligent en període vall. D'aquesta manera s'afegeix demanda a les hores de baix consum i es redueix el salt de demanda al llarg del dia.

En la **Figura 36** es reflecteix la corba de la demanda un cop s'ha introduït la gestió intel·ligent al sistema.

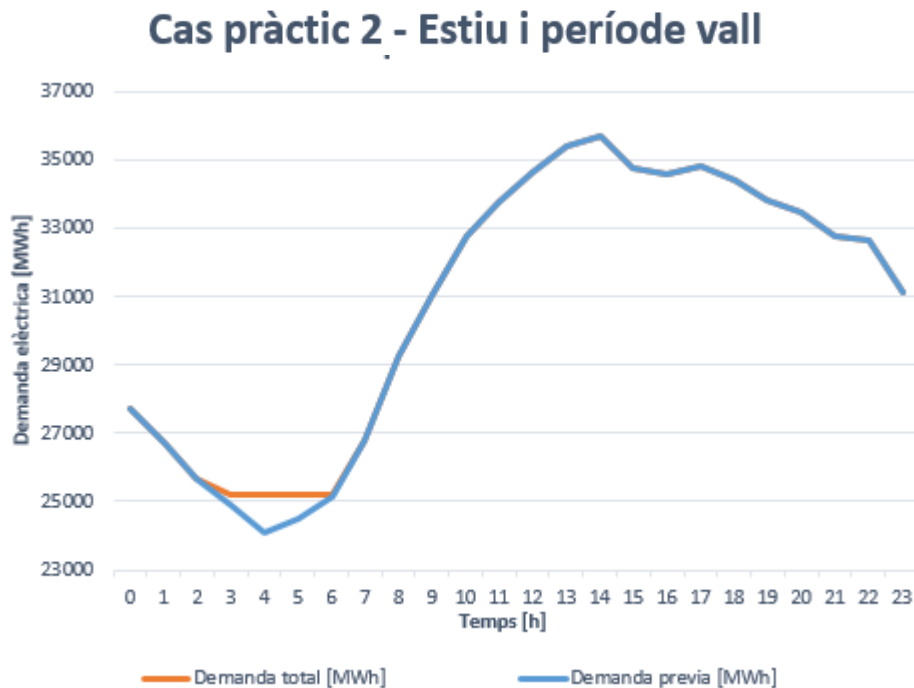


Figura 36 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 2. Elaboració pròpia. [8]

Tenint en compte aquestes dades, el mínim de d'energia elèctrica augmentaria pràcticament un 5% (un 4,54%) reduint així 1093 MWh entre la hora màxima (les 14:00h) i la hora vall (de les 02:00 fins les 06:00h)

Estiu – Període vall	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment
Demanda mínima [MWh]	24085,00	25178	4,54%
Hora de demanda mínima [h]	4	4	-
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589,00	10496	-9,43%

Taula 16 – Variació de demanda en recàrrega en període vall. Cas pràctic 2. Font pròpia

Els 1093 MWh compensats a la corba de la demanda elèctrica és el pic d'energia ocasionat per la introducció de la recàrrega dels VE segons la solució òptima trobada amb el Solver. En la **Figura 37** es poden veure més detalls de la resta de demanda al llarg del període vall.

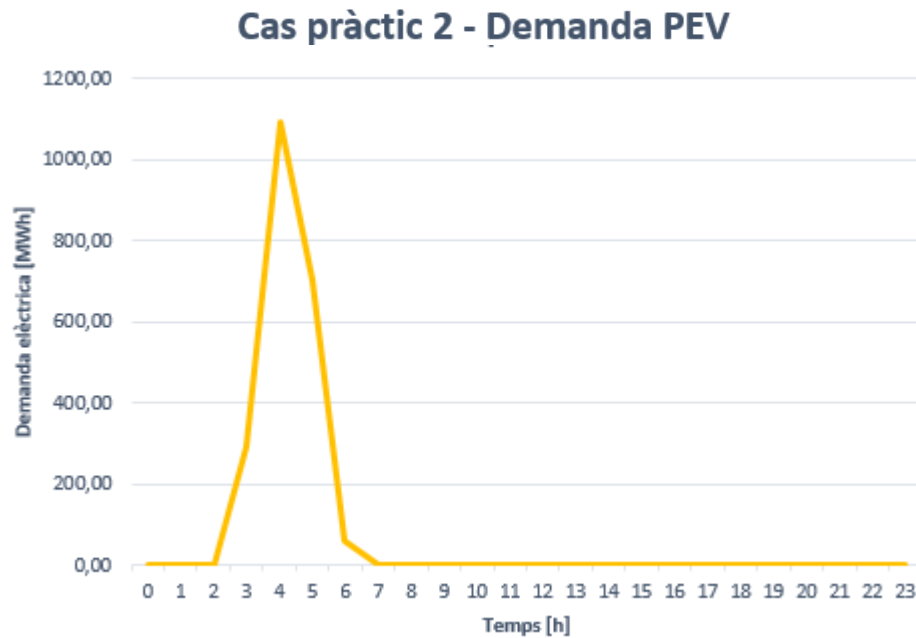


Figura 37 – Demanda elèctrica PEV període vall. Cas pràctic 2. Font pròpia.

5.3. Cas pràctic 3: Demanda elèctrica a Espanya en 2030

És cert que el nombre de vehicles elèctrics cada cop va augmentant més ràpidament, però a dia d'avui encara està molt lluny de tenir un pes considerable sobre el total de la flota. Plans nacionals com el PNIEC auguren una pròxima dècada d'irrupció de la mobilitat elèctrica i pronostiquen poder arribar als 5 milions d'unitats de vehicles elèctrics connectables entorn l'any 2030. [15] Per tal de saber què pot suposar això a l'hora de fer la recàrrega dels vehicles en un endoll domèstic s'afegeix la demanda originada per aquests usuaris a la ja existent en un dia d'estiu, segons si es realitza una recàrrega Intel·ligent durant les hores vall o es prefereix endollar el vehicle al tornar al domicili (*plug&play*).

Primerament en la **Figura 38** es mostra la opció en que l'usuari recarrega en retornar a casa.

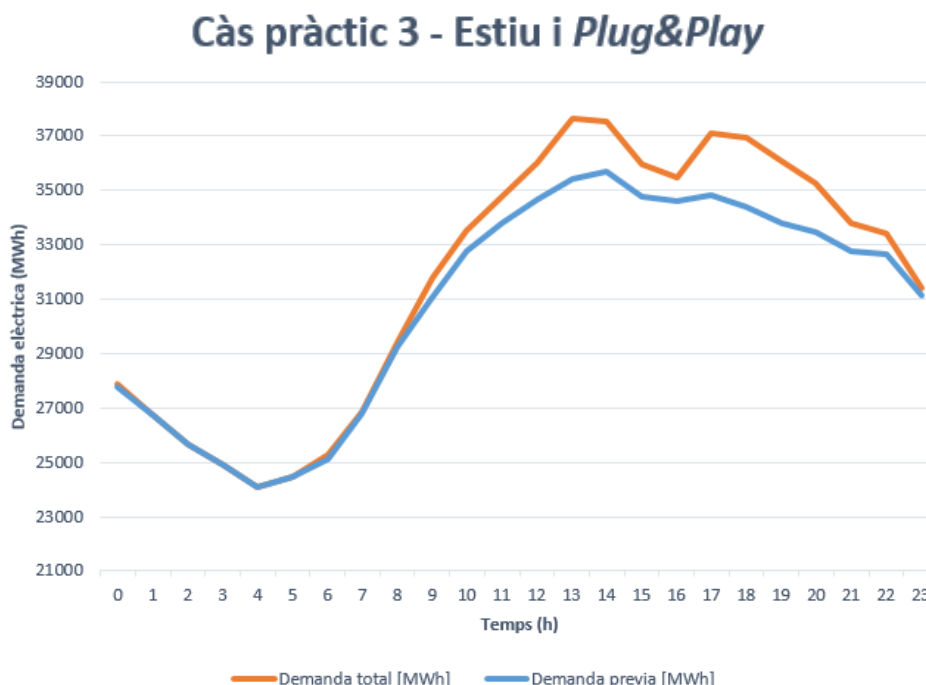


Figura 38 – Demanda elèctrica amb recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 3 . Elaboració pròpia. [8]

Ara sí que es veu un gran increment de la demanda en hores punta, el que comportaria problemes a la xarxa elèctrica i als sistemes de transport a més de perills de sobretensions. Tal com indica la **Taula 17** l'increment és d'un 13,28%, bastant més gran que en la resta de casos vistos.

Estiu – Plug&Play	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment
Demanda màxima [MWh]	35674,00	37640	5,51 %
Hora de demanda mínima [h]	14	13	1h
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589	13555	16,97

Taula 17 – Variació de demanda en recàrrega Plug&Play. Cas pràctic 3. Font pròpia

Per evitar aquesta sobrecàrrega, es desitja en la mesura del possible que la recàrrega dels vehicles es realitzi en hores vall (que és on hi ha menys demanda al sistema). Realitzant això, s'aconsegueix reduir el desnivell entre pic i vall i contribuir així en que la demanda sigui més lineal i sense canvis tant bruscos. En la **Figura 39** es mostra la demanda total de recàrrega en període vall sobre la demanda prèvia d'un dia d'estiu.

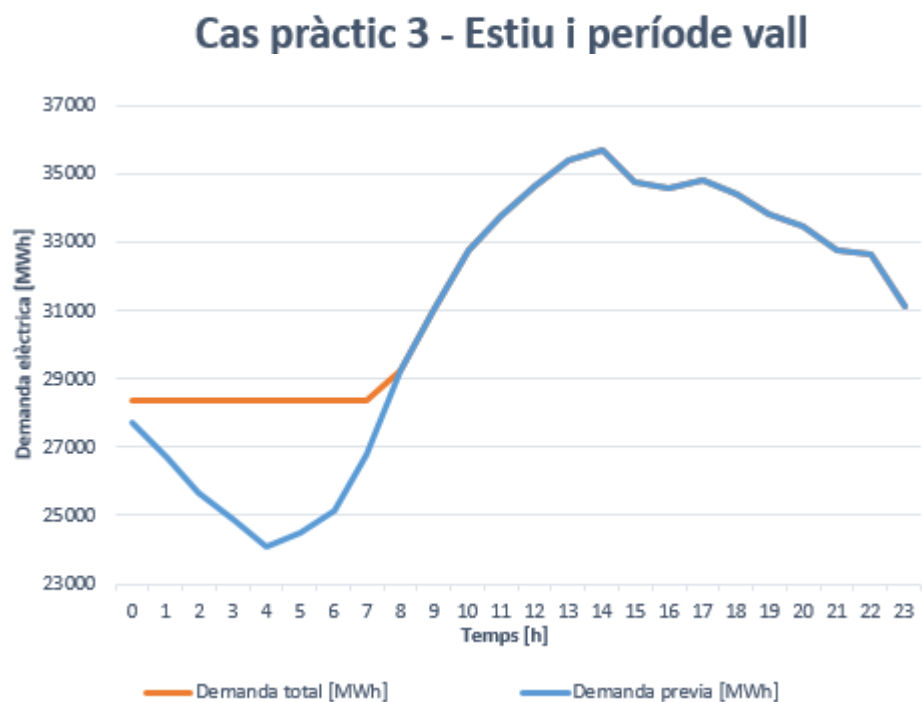


Figura 39 – Demanda elèctrica amb recàrrega en període vall. Cas pràctic 3. Elaboració pròpia. [8]

Com que s'ha restringit a que es reparteixi la demanda només durant les hores vall (00 – 07h) l'algoritme ha trobat una solució en la qual s'observa que ha omplert tota la demanda necessària fins les 06h fet que dona lloc a una sobtada baixada de la demanda a l'hora següent.

Estiu – Període vall	Inicial (actual)	Final (actual + PEV)	Increment
Demanda mínima [MWh]	24085,00	28373	17,81 %
Hora de demanda mínima [h]	4	2	2h
Ràtio d'elevació (pic/vall)	11589,00	7301,00	-37,00 %

Taula 18 – Variació de demanda en recàrrega en període vall. Cas pràctic 3. Font pròpia

En aquest tercer i últim cas si que ja es nota una sorprenent reducció de la ràtio entre pic i vall d'un 44% i està directament relacionat amb l'increment de la demanda mínima en un 21,3 %. Això suposa una bona acció de gestió de la demanda i és el que s'espera obtenir en els pròxims anys.

Finalment a la **Figura 40** es representa la distribució de la demanda a cada hora segons la solució trobada per l'eina d'anàlisi.

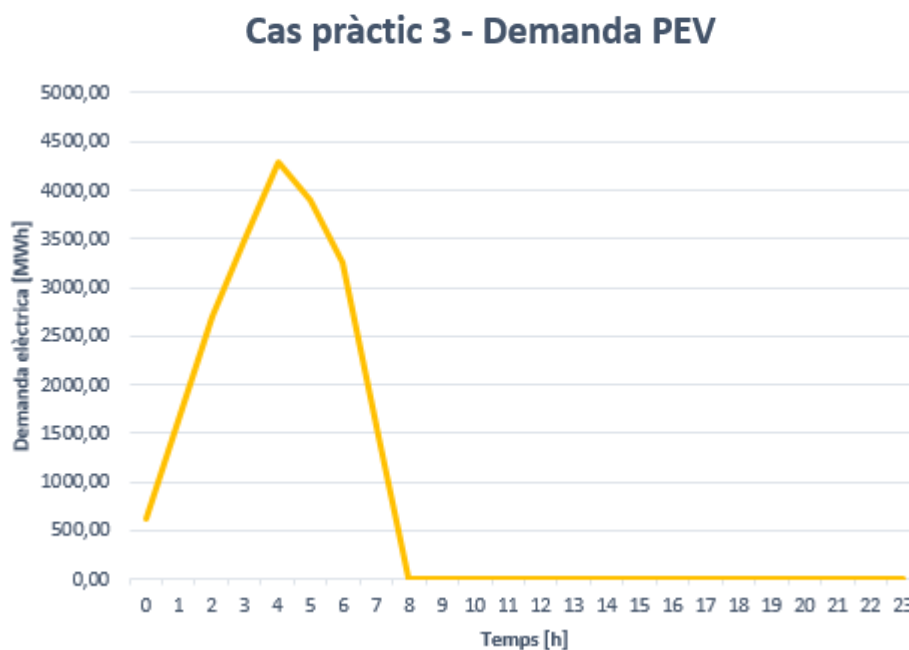


Figura 40 – Demanda elèctrica PEV període vall. Cas pràctic 3. Font pròpia.

Ara que ja s'han vist i comentat els tres casos pràctics es poden concloure dues coses:

- Amb les dades del parc automobilístic actual i el nombre de vehicles elèctrics matriculats a la península es pot dir que si es carreguen els VE a l'arribar a casa no realitzarà grans afectacions a la demanda elèctrica actual, però es recomana en la mesura del possible que la recàrrega sigui intel·ligent per ser realitzada dintre del període vall (00 – 07h).
- Tot i que les dades actualment no són ni alarmants o preocupants, s'ha de tenir en compte l'evolució dels EV, doncs si l'estat espanyol fos Alemanya, ja s'estaria notat un cert increment en la demanda a hores punta si no es recarrega eficientment. Només cal observar l'últim cas analitzat (previst per a 2030) en que de continuar així seria insostenible per al sistema de la xarxa elèctrica no recarregar amb sistemes de gestió intel·ligent per carregar durant les hores vall i realitzar-ho en hores de demanda punta.

6. Planificació i estudi econòmic.

El present treball es divideix en tres fases: Una primera fase on es realitza recerca sobre el vehicle elèctric, contextualització i la infraestructura de càrrega actual, seguida de la segona fase on que conté l'anàlisi i estimació de la demanda i una última etapa en la qual es presenten els resultats obtinguts, s'analitza l'impacte a l'entorn, es fa l'estudi econòmic del projecte i s'acaba de redactar la memòria final.

Per visualitzar més clarament la durada del projecte així com les diferents fases d'aquest, a continuació en la **Figura 41** s'observa un diagrama de Gantt en el qual es pot seguir la planificació duta a terme:

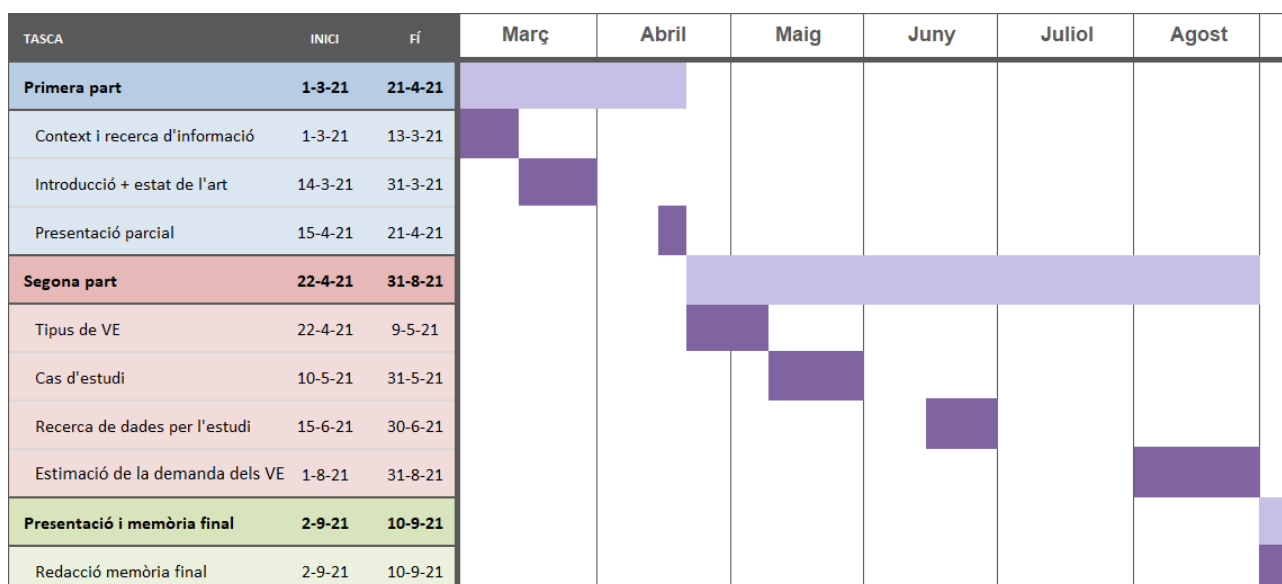


Figura 41 – Diagrama de Gantt de la planificació del projecte. Font pròpia.

Cal tenir en compte que juntament amb la realització del treball s'estava duent a terme pràctiques curriculars en una empresa, el que ha fet que la realització d'aquest no es pogués dedicar completament tot el temps i s'hagi hagut de fer a temps parcial.

Per avaluar les despeses econòmiques es realitza un desglossament dels materials emprats, equips electrònics així com els costos del personal que han siguts necessaris per dur a terme aquest projecte. La durada d'aquest projecte s'extreu dels 12 crèdits ECTS que li corresponen al Treball de Final de Grau, on cada crèdit equival a 30 hores fent un total de 360 hores (aprox. 6 mesos).

Ordinador portàtil HP 15,6". Com que no s'ha comprat expressament per la realització del treball, s'ha d'aplicar la depreciació corresponent, tenint en compte els anys des de la seva compra. (Valor de compra 1000 €, vida útil de 6 anys)

$$\text{Cost}_{\text{mat}} = \frac{1000\text{€}}{6 \text{ anys}} \cdot \frac{1 \text{ any}}{12 \text{ mesos}} \cdot 6 \text{ mesos} = 83,33 \text{ €}$$

Consum d'electricitat. Analitzant el preu de l'electricitat [16], s'estableix un preu mitjà de 0,23 €/kWh. Tenint en compte que la potència de l'ordinador són 150 W, surt un consum total de 54 kWh.

$$\text{Cost}_{\text{elec}} = 0,23 \text{ €/kWh} \cdot 360 \text{ hores} \cdot 0,15 \text{ kW} = 12,42 \text{ €}$$

Salari dels treballadors. En aquest cas al ser un treball individual, només es computen les hores dedicades per l'estudiant. Segons diversos portals de feina, un enginyer tècnic recentment graduat cobra de mitjana 20€/h.

$$\text{Cost}_{\text{treb}} = 360 \text{ hores} \cdot \frac{20 \text{ €}}{1 \text{ hora}} = 7200 \text{ €}$$

Programari. S'ha utilitzat el paquet Office que inclou els programes d'Excel per al processament i anàlisi de les dades i el Word per redactar la memòria. La llicència Office costa 69€ anuals.

$$\text{Cost}_{\text{prog}} = \frac{69 \text{ €}}{1 \text{ any}} \cdot \frac{1 \text{ any}}{12 \text{ mesos}} \cdot 6 \text{ mesos} = 34,50 \text{ €}$$

Concepte	Unitats	Preu/Unitat	Amortització (mesos)	Preu total
Ordinador HP	6 mesos	1000,00 €	72 mesos	83,33 €
Consum d'electricitat	54 kWh	0,23 € / kWh	-	12,42 €
Salari	360 h	20,00 € / h	-	7200,00 €
Llicència Office 365	6 mesos	69,00 €	12 mesos	34,50 €
Total sense impostos				7330,25 €
IVA (21%)				1539,35 €
Total				8869,60 €

Taula 19 – Desglossament dels costos del projecte. Font pròpia

7. Impacte a l'entorn

Aquest projecte s'ha dut a terme des de casa, és tot teòric i d'anàlisi i l'impacte ambiental que comporta és pràcticament nul. Com que ve donat majoritàriament pel consum d'energia que ha sigut necessari per a la realització d'aquest treball, es calcula com a impacte, la quantitat de CO_2 produït en la generació d'electricitat.

S'estima que la producció d'energia elèctrica a nivell nacional emet uns $160 \text{ g } CO_2/kWh$ (és un valor aproximat ja que aquestes emissions no són constants en el temps) [17]. Partint del consum elèctric de $54 kWh$ calculats en l'apartat anterior, s'obtenen $8,64 \text{ kg } CO_2$ emesos totals.

Per tenir una idea de l'impacte que pot tenir l'ús d'un vehicle 100% elèctric vers un de combustible es calculen els kg de CO_2 que ha emès durant el temps que s'ha dut a terme el projecte (només en dies laborables). Queda de la següent manera:

Les dades de consum són del meu propi vehicle $7 \text{ l}/100 \text{ km}$ amb unes emissions de combustible de gasolina segons estudis de $2,32 \text{ kg } CO_2/\text{l}$. [18]

$$\text{Emissions } CO_2 = 140 \text{ dies} \cdot 33 \text{ km}/\text{dia} \cdot 7 \text{ l}/100 \text{ km} \cdot 2,32 \text{ kg } CO_2/\text{l} = 75,03 \text{ t } CO_2$$

Dona un resultat final de poc més de $75 \text{ t } CO_2$, el que vindria a ser el que emet la generació d'energia elèctrica equivalent a 8684 projectes de la durada com aquest. Xifres bastant rellevant per començar a pensar en fer la transició cap a un vehicle elèctric.

Conclusions

Aquest treball ha sigut totalment un repte dur-lo a terme i poder acabar-ho. Primerament es va decidir fer una predicció de la demanda elèctrica a partir de dades de consum reals dels punts de recàrrega dels vehicles elèctrics; malauradament degut a la privacitat de les dades i la dificultat per a tenir accés a elles va comportar fer un canvi de idea i acabar fent una eina d'estimació de la demanda elèctrica dels vehicles a partir de variables prèviament triades.

La primera part del treball consta d'una introducció en el món elèctric, presentant els diferents tipus i modes de recàrrega, les parts del vehicle així com un breu resum del que van ser els inicis i la seva evolució al llarg del temps. Conceptes i exemples clau per a entendre més acuradament el concepte de vehicle elèctric, el qual pot ser una mica desconegut per alguns però després d'haver realitzat aquest projecte considero estar completament introduït en el que serà el futur de la mobilitat.

En la segona i última part s'ha realitzat una eina amb Excel que permet ajudar a les comunitats i usuaris per analitzar el possible impacte del vehicle elèctric en el futur. És una eina bastant interessant de provar ja que permet tenir una idea aproximada de com pot veure's afectada la demanda actual al carregar els vehicles al domicili en dos escenaris: un més eficient amb la recàrrega intel·ligent i un altre amb la recàrrega al arribar a casa després d'estar el dia fora (ja sigui motiu professional o d'altres).

Treballs futurs

Per tal d'acotar el treball, s'han reduït algunes parts per simplificar-ho i són coses que es podrien millorar per a futurs treballs.

Una d'elles és el fet de que l'estudi està centrat en la mobilitat en dies laborables i aplicat amb turismes només. Per tant es podria obrir a altres vehicles i també ampliar-ho a dies festius.

S'ha analitzat dues casuístiques totalment oposades, la recàrrega intel·ligent en període vall i la recàrrega en arribar a casa. Entre aquest dos escenaris hi ha una gran varietat d'opcions que es podrien contemplar fent una combinació entre elles.

A nivell d'interfície d'usuari queda molt més presentable haver d'obrir una aplicació que no pas treballar amb Excel (que en aquest cas és de pagament). Per tant una possible millora seria implementar l'estructura i codi en una aplicació per a dispositius mòbils o tauletes o simplement per a pàgines web.

Finalment com a mesura per millorar la precisió de la corba de demanda, es podria deixar al gust de l'usuari regular l'interval de subdivisions de temps (ara actualment està en franges d'una hora).

Agraïments

Abans de finalitzar aquest treball, voldria agrair a tota la gent que m'ha acompanyat durant aquest temps, des de la meva família fins als amics més propers. Ha sigut un treball molt difícil portar-lo a la fi i sense ells no hagués estat possible. Vull fer especial menció als meus pares en Jose i l'Anna que tot i no conèixer la temàtica en qüestió d'aquest projecte han estat dia rere dia donant-me suport i consells. Valorar també al meu tutor, en Roberto, qui malgrat els problemes ocasionats ha contribuït també perquè pogués finalitzar-lo.

Bibliografía

- [1] «Aplicación de la normativa ITC-BT 52,» de *Jornada de Colegios de Ingenieros*, Online, 2021.
- [2] «European Alternative Fuels Observatory,» [En línia]. Available: <https://eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1>. [Últim accés: Agost 2021].
- [3] «Institut Català d'Energia,» [En línia]. Available: http://icaen.gencat.cat/ca/l_icaen/publicacions/infografia/el-vehicle-electric/. [Últim accés: Abril 2021].
- [4] Institut Català d'Energia, «Instal·lació d'infraestructura de recàrrega del vehicle elèctric,» 2019.
- [5] X. Fang, S. Misra, G. Xue y D. Yang, *Smart Grid— The New and Improved Power Grid: A Survey*, IEEE.
- [6] «SAE,» [En línia]. Available: <https://www.sae.org/>. [Últim accés: Abril 2021].
- [7] «Electric Power Research Institute,» [En línia]. Available: <http://www.epri.com>. [Últim accés: 18 Abril 2021].
- [8] «Red Eléctrica de España,» [En línea]. Available: <https://www.ree.es/>. [Último acceso: Abril 2021].
- [9] Tian Mao, Xin Zhang i Baorong Zhou, «Modelling and Solving Method for Supporting 'V2A' EV Charging Mode,» *MDPI*.
- [10] «Movilidad Eléctrica,» [En línia]. Available: <https://movilidadelectrica.com/>. [Últim accés: Agost 2021].
- [11] «EU-EVs,» [En línia]. Available: <https://eu-evs.com/>. [Últim accés: Agost 2021].
- [12] «Pásate a lo eléctrico,» [En línia]. Available: <https://pasatealoelectrico.es/2019/07/27/realizamos-una-prueba-de-consumos-con-20-vehiculos-electricos-en-una-ruta-de-48-km-por-madrid/>. [Últim accés: Agost 2021].
- [13] «AUVE,» [En línia]. Available: <https://www.auve.org/>. [Últim accés: Agost 2021].
- [14] «Red de Oficinas Económicas y Comerciales de España en el Exterior,» [En línea]. Available: <https://www.icex.es>. [Último acceso: Agost 2021].
- [15] IDAE, «Programa MOVES III. Movilidad eficiente y sostenible,» 2021.

- [16] «Tarifa luz hora,» Selectra, [En línia]. Available: <https://tarifaluzhora.es/?tarifa=pcb&fecha=16%2F06%2F2021>. [Últim accés: 27 agost 2021].
- [17] «Nowtricity,» [En línia]. Available: <https://www.nowtricity.com/country/spain/>. [Últim accés: Agost 2021].
- [18] IDAE, «Guia de Vehículos Turismo de venta en España con indicación de consumos y emisiones de CO2,» 2020.
- [19] M. Yilmaz i P. Krein, «Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles,» 2013.
- [20] «Alternative Fuel Data Center,» U.S. Department of Energy, [En línia]. Available: <https://afdc.energy.gov/fuels/electricity.html>. [Últim accés: Abril 2021].
- [21] P. Olivella-Rosell, R. Villafafila-Robles, A. Sumper and J. Bergas-Jané, “Probabilistic Agent-Based Model of Electric Vehicle Charging Demand to Analyse the Impact on Distribution Networks,» *Energies*, vol. 8, no. 5, pp. 4160-4187, 2015.

Annex A: Manual d'usuari de l'eina

En el present annex es fa una explicació per tal de realitzar un ús correcte de l'eina desenvolupada per a l'estimació de la demanda elèctrica dels vehicles elèctrics.

Al llarg de l'eina es troben una sèrie de botons que permeten a l'usuari interactuar amb l'aplicació i moure's entre pestanyes. Els seus símbols són els de la **Figura 42**.



Figura 42 – Botons de l'eina per a realitzar funcions. Font pròpia

Les seves funcions són:

- **Menu:** Es pot trobar a totes les pestanyes menys la principal i permet tornar a la pestanya Menu
- **Dades:** S'inclou al *Menu* principal i dona accés a les dades i gràfics emprats per a la realització de l'eina.
- **Hora vall:** Des del *Menu* i *Recàrrega normal* es pot anar cap a la pestanya de *Recàrrega normal*
- **Plug&Play:** Està present tant a la pestanya *Menu* com a la de *Recàrrega_intelligent* i redirigeix a la pestanya *Recàrrega_Normal* en clicar sobre d'ell.
- **Executar:** Únic botó que no canvia entre pestanyes. Esborra les dades presents i executa l'eina Solver per a trobar la distribució de demanda més eficient a l'hora de recarregar en període vall.

L'eina compta amb quatre pestanyes com permet veure la **Figura 43**.

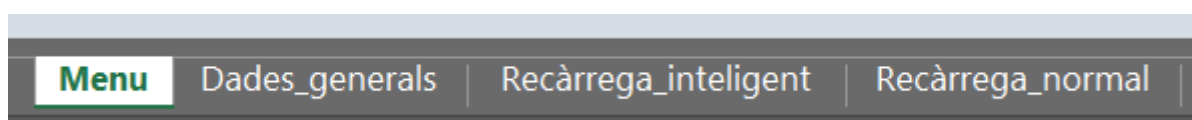


Figura 43 – Diferents pestanyes de l'eina. Font pròpia.

En els següents punts es descriuen cada una d'elles i s'expliquen les seves funcions.

A.1. Menu

Només obrir l'eina App_VE apareix aquesta pantalla, la del Menu principal. Es permet assignar el valor desitjat a les variables de la taula de l'esquerra, però només de les que tenen el fons més fosc ja que les que el tenen blan estan bloquejades per evitar que es modifiquin sense voler i alterin el correcte funcionament de l'aplicació. En la **Figura 44** es veu una captura del que és el disseny de la pestanya principal.

Estimació de la demanda dels Vehicles Elèctrics

Amb aquesta eina podràs tenir una estimació de com afecta la recàrrega dels VE en els domicilis, a partir de dades de demanda reals i els valors de les variables de la taula.

Variables	Valors
Nombre total de PEV	500000
Distància diària [km]	33
Consum [kWh/100km]	13
Capacitat mitjana bateria [kWh]	45
Càrrega diària [kWh]	4,29
Potència càrrega [kW]	3,7
Temps [h]	1,16
Temporada	Hivern
Casística	1

DADES

Plug & Play

Hora vall

RED ELÈCTRICA DE ESPAÑA

Creat per Josep Rodríguez | Tots els drets reservats. Universitat Politècnica de Catalunya - ETSEIB

Figura 44 – Menu principal a l'eina. Font pròpia.

També s'inclou un petit enllaç al portal de REE per facilitar l'accés i consultar qualsevol demanda ràpidament només clicant sobre el seu logotip situat sota la taula de les variables. Amb els botons de la part dreta es permet accedir fàcilment a la resta de pestanyes.

A.2. Dades Generals

En aquesta pestanya es poden trobar totes les dades relatives a les demandes utilitzades al llarg de l'aplicació. En la taula superior esquerra és on s'han d'introduir els valors de demanda reals a partir dels quals afegint la demanda calculada relativa als vehicles elèctrics s'obté la total. Hi ha dos columnes amb permisos d'edició: una per introduir dades d'hivern i l'altra per la temporada d'estiu. També es pot modificar el percentatge d'arribada al domicili segons convingui, tot i que els actuals fan referència al mitjana de la població espanyola. Altre cop només són editables les caselles amb fons de color gris ja que la resta estan bloquejades pel creador.

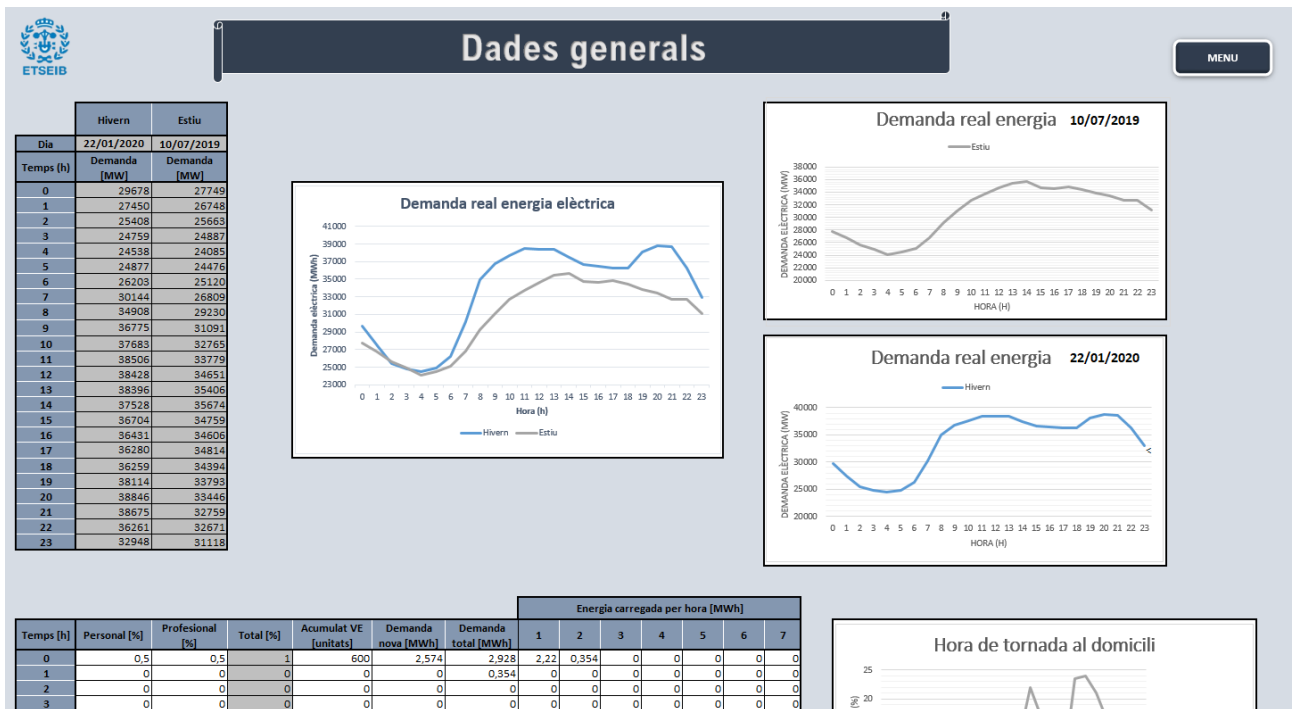


Figura 45 – Pestanya de les dades generals. Font pròpia

També hi ha quatre gràfics, tres dels quals pertanyen a la demanda real prèvia i un quart on es mostra la distribució temporal dels usuaris que arriben al domicili.

A.3. Recàrrega en període vall

Primera pestanya de l'eina on es mostren resultats. Pertany a l'escenari de recàrrega en període vall o intel·ligent i inclou un model que gestiona la demanda dels VE. Per a poder executar el model creat, és necessari prémer sobre el botó executar. Aquest automàticament actualitzarà les dades d'acord amb l'introduït en la pestanya *Menu*. En la següent **Figura 46** es mostra una captura del que és aquesta pestanya.

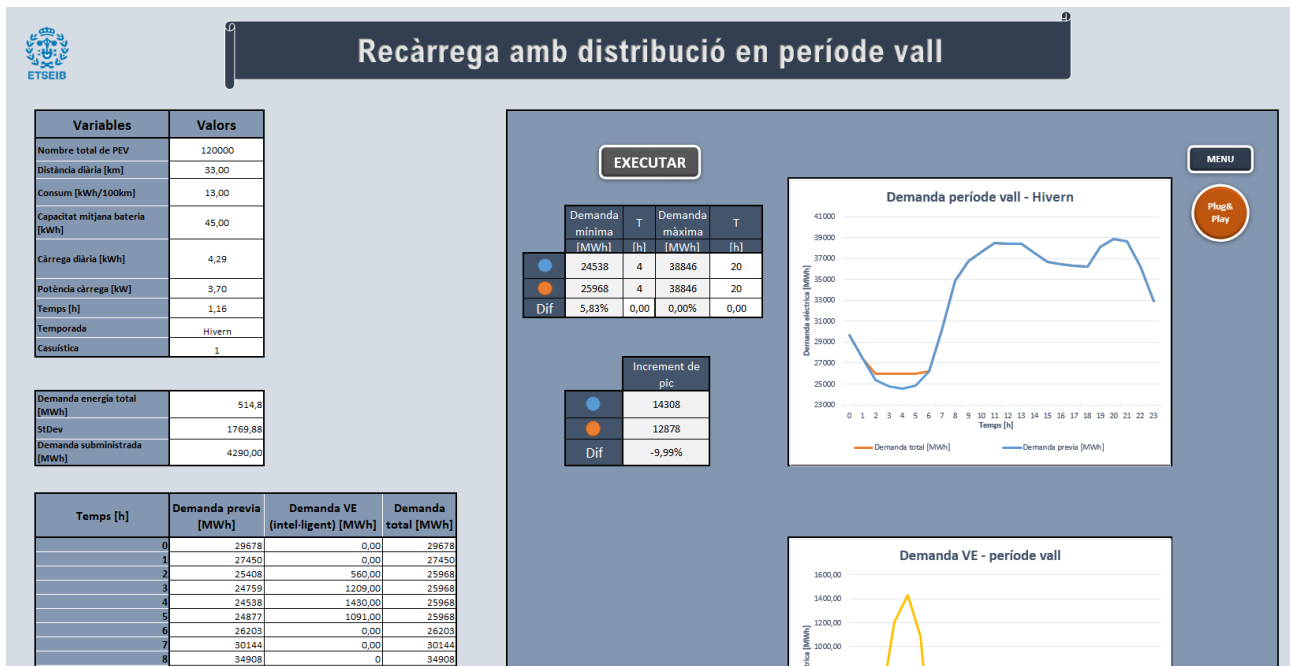


Figura 46 – Pestanya per recàrrega en període vall. Font pròpia

Apart del botó per executar el codi, inclou dos més que permeten retornar al menú principal o bé canviar a l'altre mode de recàrrega.

A mode informatiu al centre s'inclouen dues taules amb característiques, tant prèvies a la connexió del vehicle elèctric com un cop s'han introduït aquests a la xarxa

A.4. Recàrrega *Plug&Play*

Segona pestanya de l'eina desenvolupada. Tracta la recàrrega dels vehicles elèctrics segons l'escenari *Plug&Play*, és a dir, aquell en què l'usuari carrega el vehicle quan arriba al seu domicili sense tenir en compte cap discriminació horària ni recàrrega intel·ligent. En aquesta pestanya tampoc hi ha cap casella editable, doncs s'actualitzen automàticament un cop són introduïdes les dades en la pestanya *Menu*. El disseny d'aquesta pestanya es pot observar en la **Figura 47**.

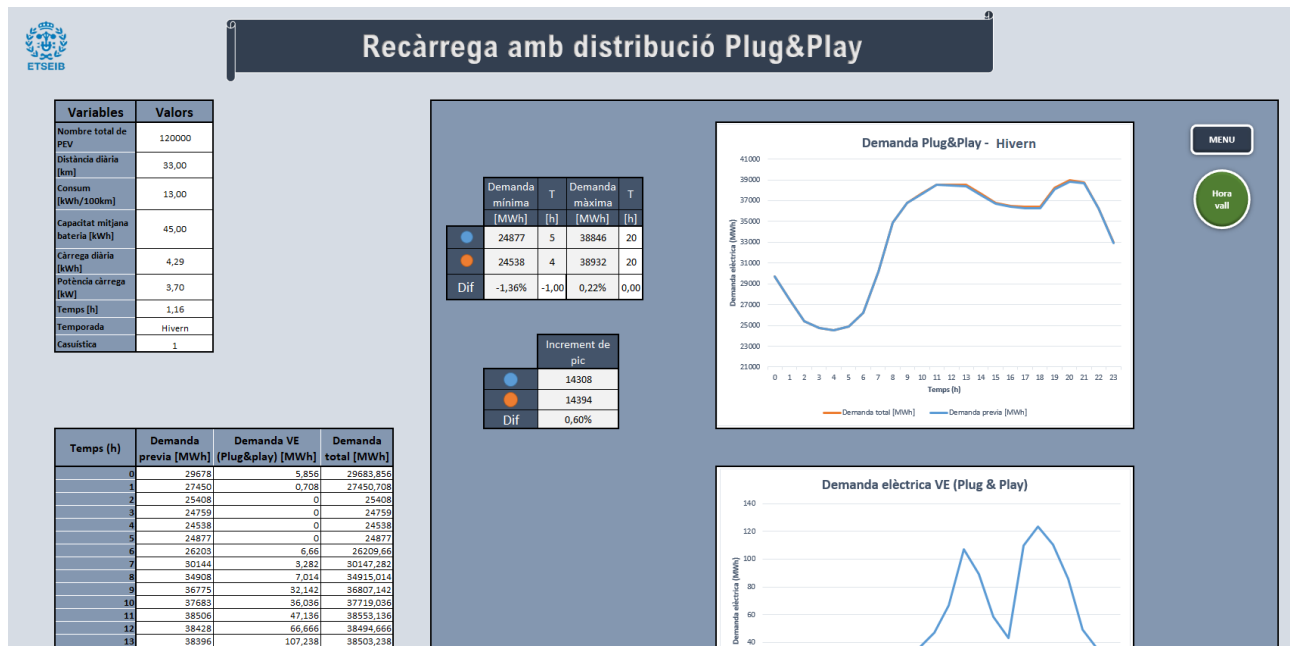


Figura 47 - Pestanya per a recàrrega *Plug&Play*. Font pròpia

Per tant, com que no hi ha res per editar, tan sols es permet tornar a la pestanya *Menu* o canviar a l'escenari de Recàrrega en període vall prement sobre del botó verd de la part dreta de la pantalla.

Com ja s'ha comentat en el punt A.4. Recàrrega *Plug&Play*, aquesta pestanya també inclou dos taules amb estadístiques de la demanda prèvia i total.