

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Estudi de la viabilitat tecnològica i econòmica
de l'ús de bateries de segona vida**

MEMÒRIA

Autor: Pol de Pérez-Cabrero Bassols i Irene López Trucharte

Director: Emilio Hernández

Convocatòria: Juny del 2018



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En el present treball de final de grau es determina la viabilitat tecnològica i econòmica de l'ús de bateries de segona vida en aplicacions d'emmagatzematge d'energia.

S'ha realitzat un estudi de l'evolució del mercat dels vehicles elèctrics en els pròxims anys i s'ha observat que per a l'any 2040 s'espera que el 35% del total de les vendes de cotxes siguin elèctrics. Aquest creixement ve acompanyat d'una posterior acumulació de bateries gastades procedents dels vehicles elèctrics provocant un impacte mediambiental molt negatiu. Per tant, és un conflicte que s'ha de resoldre al més aviat possible. Les dues possibles solucions que es plantegen en aquest document són el reciclatge dels elements que formen les bateries i l'allargament de la seva vida útil donant-los altres funcions.

Primer de tot, es realitza un anàlisi de la viabilitat tecnològica i econòmica del reciclatge de la química de les bateries d'ió-liti demostrant que, de moment, no és la millor opció. Actualment no existeixen processos estandarditzats que permetin obtenir el liti reciclat a un preu inferior al que s'extreu verge.

D'altra banda, les bateries poden oferir bones prestacions en aplicacions d'emmagatzematge d'energia quan ja no són útils en el sector automobilístic. Algunes empreses ja aposten per aquesta solució i, com es tracta d'un mercat recent, el marge de creació de nous projectes és molt ampli. Per aquest motiu, en aquest treball ens decantem per donar una segona vida a les bateries.

A causa de la dificultat en la manipulació i la falta de tecnologies per extreure les bateries dels cotxes elèctrics d'una manera econòmica, s'ha decidit focalitzar l'estudi en les bateries de les motos elèctriques, més lleugeres i manipulables.

Després d'avaluar possibles aplicacions i la seva viabilitat tecnològica i econòmica s'ha arribat a la següent conclusió. S'ha determinat que les bateries de segona vida tenen un futur més prometedori en projectes de millora social. Els dos projectes que s'han escollit han estat: la millora en la senyalització de la carretera de l'Arrabassada i l'abastiment del poblat del tercer món d'Abomey amb electricitat per escoles i hospitals.

S'ha fet un estudi detallat de la viabilitat tecnològica i econòmica dels dos projectes esmentats. S'ha fet el dimensionament de la instal·lació fotovoltaica i de la quantitat de bateries de segona vida necessàries i s'ha determinat un pressupost i una planificació del temps invertit en la implementació dels dos projectes.

Sumari

Resum	3
Índex de Figures i Taules	6
Glossari	9
1. Introducció	10
1.1 Propòsit	10
1.2 Objectius	11
1.3 Abast	13
2. Estat de l'art	14
2.1 Evolució del mercat dels vehicles elèctrics	14
2.1.1 Bateria actuals	18
2.1.2 Noves bateries	20
2.2 Problemàtica de les bateries	24
2.3 Possibles solucions: Reciclatge o Reutilització	25
3. Estudi del reciclatge de la química de les bateries de liti	32
3.1 Importància del reciclatge en el mercat de les bateries	32
3.2 Components reciclables	34
3.2.1 Distribució global dels recursos reciclables	34
3.3 Situació actual del mercat de les empreses de reciclatge	39
3.4 Processos químics pel reciclatge de bateries	42
3.4.1 Procés pirometal·lúrgic	43
3.4.2 El procés hidrometal·lúrgic	45
3.4.3 Procés Recupyl	47
3.4.4 Evolució de nous processos de reciclatge	48
3.5 Viabilitat econòmica del reciclatge	49
3.6 Conclusions	51
4. Estudi de la reutilització de les bateries de liti	52
4.1 Importància de la reutilització en el mercat de les bateries	52
4.2 Reutilització de les bateries de les motos elèctriques	53
4.2.1 Justificació	53
4.2.2 El mercat actual de les motos elèctriques	54
4.2.3 Característiques de les bateries	56
4.2.4 Classificació dels diferents tipus de bateries	58
4.3 Possibles aplicacions de segona vida de les bateries	60
4.3.1 Aplicacions de consum	60
4.3.2 Aplicacions d'emmagatzematge	67
4.4 Conclusions	74
5. Projectes de millora social	75
5.1 Millores en la senyalització de la carretera de l'Arrabassada	75

5.1.1 Objectiu	76
5.1.2 Estat de l'art i necessitats	76
5.1.3 Fanals solars LED	78
5.1.3.1 Especificacions de la instal·lació	78
5.1.3.2 Viabilitat tecnològica	83
5.1.3.3 Viabilitat econòmica	94
5.1.4 Senyalitzacions lluminoses	96
5.1.4.1 Especificacions de la instal·lació	96
5.1.4.2 Viabilitat tecnològica	96
5.1.4.3 Viabilitat econòmica	99
5.1.5 Pressupost	101
5.1.6 Normativa a complir	103
5.1.7 Impacte social	103
5.1.8 Impacte ambiental	106
5.1.9 Planificació	107
5.2 Abastiment del poblat del tercer món d'Abomey amb electricitat per escoles i hospitals	108
5.2.1 Objectiu	108
5.2.2 Motivació	108
5.2.3 Lloc d'actuació	111
5.2.4 Viabilitat tecnològica	112
5.2.4.1 Definició preus i costos	112
5.2.4.2 Condicions solars en la localització	112
5.2.4.3 Generador hospital	113
5.2.4.4 Cuina solar	115
5.2.4.5 Centre d'ensenyament	116
5.2.5 Viabilitat econòmica	117
5.2.6 Pressupost	118
5.2.7 Impacte social	121
5.2.8 Impacte ambiental	122
5.2.9 Planificació	123
6. Conclusions	124
7. Bibliografia	128

Índex de Figures i Taules

Figura 1. Evolució del preu del kWh de les bateries d'ó-liti del 2010 fins a l'actualitat [1]	16
Figura 2. Evolució de les vendes del mercat dels vehicles elèctrics des de l'any 2016 fins el 2040 [2]	15
Figura 3. Evolució del cost del vehicle elèctric i de la seva bateria des de l'any 2016 fins el 2030 en comparació al vehicle de combustió [3]	16
Figura 4. Evolució del preu del kWh de les bateries dels vehicles elèctrics des de l'any 2010 al 2030 [4]	17
Figura 5. Evolució de la densitat energètica de les bateries dels vehicles elèctrics des del 2010 fins el 2030 [5]	17
Figura 6. Imatge de la química de les bateries d'ió-liti [6]	18
Figura 7. Imatge de les prestacions que ofereixen els diferents tipus de bateries d'ió-liti [7]	20
Figura 8. Gràfic de la densitat energètica (Wh/kg) i el cost (€/kWh) de les bateries actuals i les que es troben en fase experimental [8]	20
Figura 9. Imatge de la química de les bateries de Li-S [9]	21
Figura 10. Imatge de la química de les bateries de Li-Aire [10]	22
Figura 11. Imatge de la química de les bateries en estat sòlid (Li-Metall) [11]	23
Figura 12. Imatge de la química de les bateries de flux [12]	23
Figura 13. Imatge de l'acumulació de bicicletes als carrers de la Xina [13]	24
Figura 14. Imatge de l'acumulació de bicicletes abandonades a la Xina [14]	25
Figura 15. Gràfic de l'evolució de les vendes de vehicles elèctrics i les bateries de segona vida que s'aniran acumulant [15]	26
Figura 16. Lluminaària "The Reborn Light" [16]	27
Figura 17. Instal·lació Sunbatt amb bateries de segona vida [17]	28
Figura 18. Bateria de la marca Renault per cotxes elèctrics [18]	28
Figura 19. Punt de recàrrega en autopista E-Stor [19]	29
Figura 20. Sistema XStorage Home de Nissan [20]	29
Figura 21. Gràfic de BNEF de l'increment del preu de les bateries en funció de la matèria prima [21]	33
Figura 22. Distribució global de recursos i reserves del liti [22]	36
Taula 1. Productes principals dels materials crítics de les bateries [1]	37
Taula 2. Classificació segons el tipus de residu [2]	38
Taula 3. Principals empreses de reciclatge de bateries ió-liti [3]	40
Figura 23. Gràfic comparatiu entre les bateries recollides i les obsoletes [23]	41
Taula 4. Eficiència dels processos de reciclatge [4]	42
Figura 24. Distribució de les diferents zones del forn [24]	44
Figura 25. Esquema resum del procés de reciclatge Umicore [25]	45
Figura 26. Esquema del procés hidrometal·lúrgic [26]	46
Figura 27. Esquema del procés Recupyl [26]	47
Figura 28. Distribució del pes mitjà en les bateries dels diferents elements [28]	49

Figura 29. Evolució del nombre de matriculacions de motos elèctriques [29]	54
Figura 30. Previsions anuals de ventes de les principals marques [30]	55
Figura 31. Equip de vigilància autònom de la marca Ecam Secure [31]	61
Figura 32. Possibles dissenys de fanals i senyalitzacions solars [32]	62
Figura 33. Funcionament d'una instal·lació de càrrega de motos [33]	64
Figura 34. Pàrquing solar per carregar els acumuladors [34]	65
Figura 35. Disseny d'autocaravana i vaixell solar [35]	66
Figura 36. Equipament SportsArt de generació mecànica [36]	67
Figura 37. Possible instal·lació per utilitzar l'energia generada [37]	69
Figura 38. Evolució del preu de l'electricitat durant un dia en l'any 2017 [38]	70
Figura 39. Variació de l'autonomia dels vehicles en funció a la càrrega transportada [39]	71
Taula 6. Quantitat de km per kWh de bateria [6]	71
Figura 40. Autonomia dels vehicles en funció a la resistència aerodinàmica [40]	72
Figura 41. Disseny de Nomadic Power per un remolc [41]	73
Figura 42. Carreteres catalanes amb un risc d'accidents més elevat [42]	76
Figura 43. Milliores realitzades a la carretera [43]	77
Figura 44. Comparació entre dissenys de lluminàries [44]	78
Figura 45. Equivalència entre lúmens i lux [45]	79
Figura 46. Lux de diferents condicions [46]	79
Figura 47. Franges d'igual il·luminació en funció de l'alçada del focus [47]	81
Figura 48. Comparació del Coeficient d'utilització [48]	82
Figura 49. Corbes per determinar el CU [49]	82
Figura 50. Corbes CU proporcionades pel proveïdor del fanal [50]	83
Figura 51. Disseny de l'alçada i separació de les faroles solars [51]	84
Figura 52. Distribució dels elements de la instal·lació [52]	85
Figura 53. Irradiació rebuda per la carretera de l'Arrabassada [53]	87
Taula 7. Característiques de la placa solar Waaree 200W [7]	89
Figura 54. Dimensions de cimentació i base del bàcul [54]	91
Taula 8. Especificacions tècniques del fanal de 40W [8]	91
Taula 9. Comparació entre reutilització i reconfiguració [9]	92
Figura 55. Procediment d'extracció de la bateria de la Scutum [55]	93
Figura 56. Disseny 3D del fanal a instal·lar [56]	94
Taula 10. Cost dels materials pel fanal solar [10]	95
Figura 57. Disseny de la distribució dels LED a la senyal de corbes [57]	96
Figura 58. Disseny de la distribució dels LED a la senyal d'animals salvatges [58]	97
Taula 11. Especificacions tècniques de la placa solar Aleko 24V 10Wp [11]	99
Taula 12. Material utilitzat per la instal·lació elèctrica i el seu cost corresponent [12]	100
Figura 59. Gràfic de les hores de llum diàries a Espanya l'any 2011 [59]	104

Figura 60. Gràfic comparatiu del cost d'un fanal solar envers un tradicional amb el pas del temps [60]	105
Figura 61. Imatge de la població sense accés a l'electricitat a l'any 2016 [61]	109
Figura 62. Imatge de la població sense accés a una cuina neta a l'any 2015 [62]	109
Figura 63. Distribució de la població sense accés a l'electricitat ni als serveis per cuinar no contaminants [63]	110
Figura 64. Mapa de la situació geogràfica de la població d'Abomey [64]	111
Taula 13. Taula de la mitjana de la irradiació solar rebuda cada mes [13]	113
Figura 65. Inversor-carregador Must Solar 48V 10kW [65]	117

Glossari

- Densitat energètica (Wh/kg): és l'energia que pot subministrar la bateria per cada kg. Una densitat energètica elevada es tradueix en una major autonomia i una disminució del pes del vehicle elèctric.
- Potència energètica (W/kg): és la capacitat de la bateria per proporcionar potència al vehicle en el procés de descàrrega. A major potència millors prestacions pel vehicle elèctric.
- Eficiència o rendiment (%): és la relació entre l'energia rebuda durant la càrrega de la bateria i la lliurada durant la seva utilització. En el cas de les bateries d'ió-liti el rendiment és del 80-90%.
- Cost (€): el cost de la bateria és la influència més important en el preu del vehicle.
- Cicle de vida: és la quantitat de cicles complets de càrrega i descàrrega que pot suportar la bateria abans de ser substituïda (80% de la capacitat nominal). Ens interessa que pugui suportar el màxim de cicles possibles perquè la bateria tingui una vida útil més llarga.
- Vida útil: duració estimada que pot tenir un element complint correctament amb la funció per la qual ha estat creat.
- Profunditat de descàrrega (DoD): indica el nivell màxim de descàrrega al qual es pot veure sotmesa una bateria sense que tingui efectes perjudicials per a la seva vida.
- Cel·les, mòduls i packs: El pack de bateries que utilitzen els vehicles elèctrics esta format per mòduls i cel·les individuals disposades en sèrie o en paral·lel. Una cel·la és la unitat més petita dins d'una bateria amb una tensió entre 1 i 6 volts. Un mòdul conté cel·les i, finalment, el pack engloba els mòduls connectats entre si.
- Estat de salut (SOH) (%): Indicador de la capacitat de la bateria per emmagatzemar i subministrar energia elèctrica. Es calcula mitjançant la resistència interna o la capacitat de la bateria.
- Estat de càrrega (SOC) (%): Indicador de la quantitat de càrrega restant de la bateria respecte la càrrega màxima.
- HPS (Hora Pic Solar): Mesura la irradiació solar i es defineix com el temps en hores d'una irradiació solar constant de 1.000W/m².
- VE: Vehicle elèctric.

1. Introducció

1.1 Propòsit

El propòsit del present treball és determinar la viabilitat tecnològica i econòmica de les bateries de vehicles elèctrics en segona vida per realitzar funcions fora del sector automobilístic, concretament per aplicacions d'emmagatzematge estacionari d'energia.

El sector automobilístic està desenvolupant bateries d'ió-liti de gran capacitat i és fonamental estudiar un procés que permeti eliminar la gran quantitat de bateries gastades que s'aniran generant en el futur. Les possibles solucions que es barallen actualment per resoldre la problemàtica de les bateries són, per una banda, el reciclatge dels elements que formen la bateria i, per l'altra, la reutilització de tota la bateria per dur a terme altres funcions.

En aquest document s'aposta per aprofitar les bateries gastades per realitzar funcions fora del sector automobilístic. Aquesta opció permet allargar la vida útil de les bateries reduint el seu impacte mediambiental i explorar una nova possibilitat de mercat en aplicacions que utilitzin bateries de segona vida reduint el cost de la instal·lació. Després d'analitzar la situació actual i l'evolució que es creu que patirà el mercat dels vehicles elèctrics, es decideix enfocar la reutilització de les bateries en projectes de millora social.

1.2 Objectius

Els objectius principals d'aquest document són:

- Estudiar l'evolució del mercat dels vehicles elèctrics, el seu pes en el mercat automobilístic actualment i el creixement que s'espera en un futur pròxim.
- Estudiar l'evolució del mercat de les bateries dels cotxes elèctrics des del moment de la seva aparició, com són actualment a nivell de prestacions i de cost i l'evolució que patiran en un futur.
- Estudiar les característiques de les bateries actuals.
- Estudiar les bateries que es troben en fase experimental i pretenen substituir les bateries actuals d'ió-liti. Veure l'evolució que poden patir en un futur.
- Estudiar la problemàtica de les bateries en un futur on les bateries velles s'hagin de canviar per altres de noves. Això podria derivar en una gran acumulació de bateries gastades, amb l'impacte ambiental i la despesa de recursos que això suposaria.
- Analitzar les diferents alternatives que existeixen actualment per combatre l'acumulació de bateries i les empreses a nivell mundial que ja realitzen aquesta tasca. Avaluar l'impacte ambiental i social.
- Analitzar la importància del reciclatge en el mercat de les bateries i estudiar la situació actual del mercat de les empreses de reciclatge.
- Avaluar la distribució global dels recursos reciclables de les bateries d'ió-liti.
- Estudiar els processos químics que s'utilitzen per reciclar les bateries d'ió-liti actualment i l'evolució que estan patint els nous processos de reciclatge que estan sorgint últimament.
- Estudiar la viabilitat tecnològica i econòmica del reciclatge de la química de les bateries d'ió-liti actualment. Avaluar l'impacte ambiental i social.
- Estudiar la importància de la reutilització de les bateries per donar-los una segona vida en aplicacions d'emmagatzematge d'energia.
- Avaluar el mercat actual de les motos elèctriques i les prestacions que ofereixen les seves bateries.
- Analitzar la viabilitat econòmica i tecnològica de possibles aplicacions amb bateries de segona vida.

- Estudiar la viabilitat tecnològica i econòmica de projectes socials d'emmagatzematge d'energia utilitzant bateries de segona vida. Avaluar l'impacte social i mediambiental.
 - Estudiar la viabilitat tecnològica i econòmica d'instal·lar millores en la senyalització de la carretera de l'Arrabassada utilitzant un sistema de plaques solars i bateries de segona vida.
 - Estudiar la viabilitat tecnològica i econòmica d'abastir el poblat d'Abomey amb acumuladors d'energia per proporcionar electricitat a escoles i hospitals utilitzant un sistema de plaques solars i bateries de segona vida.
- Estudiar la viabilitat econòmica de tot el projecte a partir dels costos d'instal·lació dels dos projectes socials i el temps invertit en dissenyar i implementar el projecte. Determinar un pressupost i una planificació de la realització del projecte.

1.3 Abast

Per assolir el propòsit del present treball s'han de tractar diferents punts que es desenvolupen a continuació.

Per determinar l'evolució que patirà el mercat de les bateries, s'han d'estudiar, primer de tot, les prediccions de creixement del mercat dels vehicles elèctrics. Actualment hi ha una gran varietat de bateries. Per predir la quantitat de bateries gastades que hi haurà en un futur ple de vehicles elèctrics s'han d'estudiar els diferents tipus de bateries que hi ha i les que poden anar apareixent en els pròxims anys.

A continuació, s'analitza el conflicte a resoldre. El creixement dels vehicles elèctrics comporta un creixement de les bateries. Aquest fet pot desembocar en una acumulació de bateries gastades que s'han d'eliminar d'alguna manera. Les dues possibles solucions que s'estudien en aquest document són el reciclatge de la química de les bateries i la reutilització de les bateries senceres per dur a terme altres funcions.

Per una banda, es duu a terme una anàlisi de la viabilitat tecnològica i econòmica del reciclatge dels elements de les bateries. S'estudien els components reciclables i la seva distribució global, la situació actual del mercat del reciclatge de bateries i els diferents processos de reciclatge que existeixen avui en dia. Es descarta el reciclatge com a possible solució per resoldre la problemàtica de l'acumulació de bateries perquè, de moment, no és viable tecnològica ni econòmicament.

Per aquest motiu, es decideix apostar per la segona vida de les bateries per posposar el seu reciclatge. La possibilitat d'aquest estudi resideix en què les bateries, un cop deixen de ser útils en el sector automobilístic, encara tenen una capacitat del 80%. Aquesta capacitat és suficient per processos que requereixen una capacitat o potència de descàrrega inferior. Donat que és un tema molt recent, el marge per crear nous projectes és molt ampli. D'altra banda, existeix certa incertesa en relació a la rendibilitat de la creació d'aplicacions amb bateries de segona vida.

En aquest treball es realitza un estudi comparatiu entre bateries procedents de les motos elèctriques per decidir quines són les més adients per a cada possible segon ús. Es seleccionen les motos elèctriques que lideren el mercat actualment i es determinen les característiques de les seves bateries. A continuació, es realitza l'anàlisi tecnològica i econòmica de possibles aplicacions d'emmagatzematge d'energia on es puguin integrar les bateries de segona vida.

Es decideix focalitzar el segon ús de les bateries en projectes socials. Els dos projectes de millora social que s'escullen són: la millora en la senyalització de la carretera de l'Arrabassada i l'abastiment del poblat d'Abomey del tercer món amb electricitat per escoles i hospitals. Un cop decidida la solució òptima es realitza una planificació del projecte incloent tota la informació sobre l'obtenció de bateries de segona mà i el dimensionament de la instal·lació fotovoltaica, el pressupost del projecte, els costos d'enginyeria, els costos indirectes, la legislació a complir i la rendibilitat de la inversió.

2. Estat de l'art

2.1 Evolució del mercat dels vehicles elèctrics

La idea de fer vehicles elèctrics sorgeix en un moment en que la conservació del medi ambient es torna un tema recurrent a la nostra societat. Els cotxes convencionals causen problemes mediambientals greus que s'han de tractar el més aviat possible. Avui en dia, els cotxes són els màxims contribuents en les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Representen un 25% del total d'emissions i són una de les causes principals de la contaminació de l'aire a les ciutats. Encara que l'eficiència dels cotxes convencionals ha millorat amb el pas dels anys, les emissions segueixen incrementant perquè també han augmentat el número de cotxes a la carretera.

Els cotxes elèctrics, en canvi, són més eficients que els convencionals i no emeten gasos d'efecte hivernacle. Per raons com aquestes, el cotxe elèctric es converteix en un bon candidat per a substituir els cotxes convencionals i beneficiar, en conseqüència, al medi ambient.

Tot i que es considera que els cotxes elèctrics són una opció de futur, durant l'últim segle no han aconseguit el mateix èxit que els cotxes convencionals. El problema ha estat la limitació tecnològica, sobretot, en relació a les bateries. Són un dels elements essencials dels vehicles elèctrics. La bateria és una peça indispensable pel funcionament del cotxe elèctric. Emmagatzema l'energia necessària per desplaçar-nos en el dia a dia, sent la seva capacitat l'encarregada de fixar l'autonomia màxima que tindrà el vehicle elèctric. Les primeres bateries de plom-àcid, níquel-cadmi i després les de níquel-MH oferien cada vegada millors prestacions però, a causa d'una densitat energètica baixa i un cost de producció elevat no van aconseguir que els cotxes elèctrics s'imposessin en el mercat automobilístic. No va ser fins el 2010, quan van aparèixer les bateries d'ió-liti, que el consumidor es va començar a interessar pels cotxes elèctrics.

Avui en dia, els cotxes elèctrics representen només una petita fracció del total de ventes de cotxes que es produeixen al món. Es concentra en els cinc mercats més importants: la Xina, els EEUU, la UE, Noruega i Japó ^[1]. A Noruega els cotxes elèctrics suposen la meitat de les matriculacions de l'últim any. A altres països europeus com França i Alemanya s'està impulsant la comercialització del cotxe elèctric i planegen prohibir la venda de cotxes dièsel i gasolina de cara a l'any 2040. A la Xina, líder mundial absolut en volum de ventes, es van comercialitzar 200.000 automòbils d'aquestes característiques en els primers nou mesos de 2017.

El mercat dels cotxes elèctrics evoluciona de manera lenta, però constant. El seu desenvolupament està directament relacionat amb les bateries elèctriques. A dia d'avui, com s'ha esmentat anteriorment, la fórmula de bateria més utilitzada és la d'ió-liti, però s'estan barallant altres opcions que podrien augmentar l'autonomia dels cotxes elèctrics a un altre nivell. A la Figura 1 [2] es pot observar com s'ha reduït considerablement el preu de les bateries d'ió-liti des del moment de la seva aparició. Això fa pensar que és un mercat que evoluciona de manera ràpida i que encara existeix un gran marge de millora.

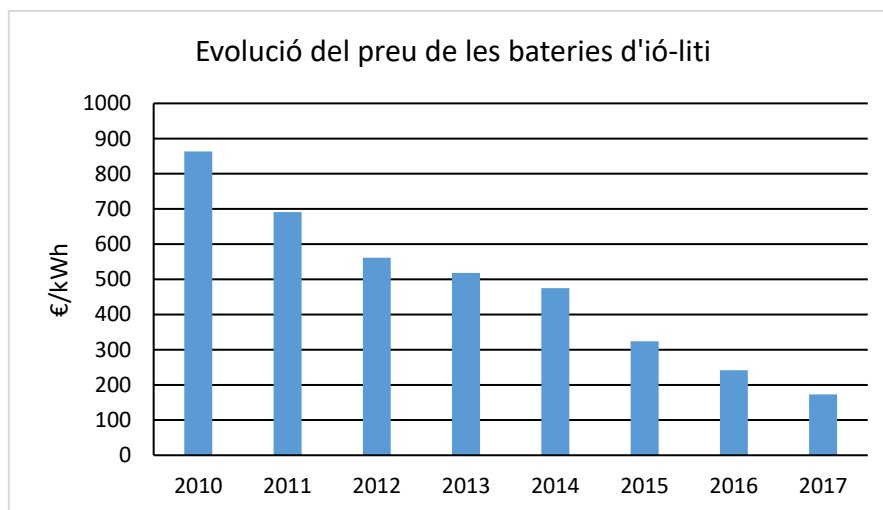


Figura 1. Evolució del preu del kWh de les bateries d'ió-liti des del 2010 fins a l'actualitat [1]

Tenint en compte l'evolució que ha patit el mercat de les bateries d'ió-liti durant els últims anys, les previsions de futur situen les ventes dels cotxes elèctrics en un 35% del total de ventes de cotxes per l'any 2040 [3]. Com es pot observar a la Figura 2, els cotxes elèctrics es faran més presents en el mercat automobilístic a mesura que vagin passant els anys fins arribar als 440 milions de vehicles elèctrics a la carretera.

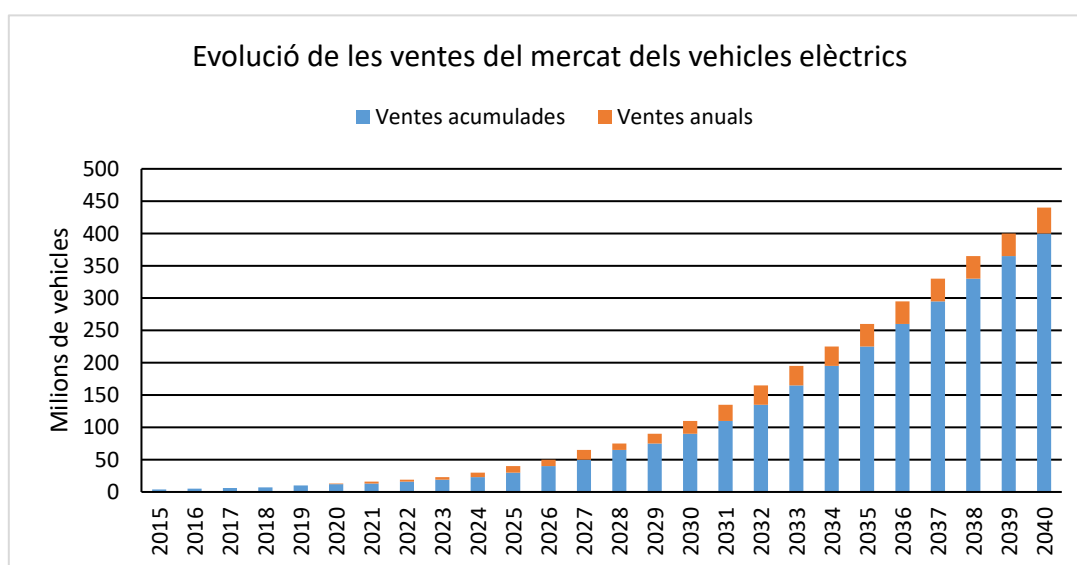


Figura 2. Evolució de les ventes del mercat dels vehicles elèctrics des de l'any 2016 fins el 2040 [2]

Aquest augment de vendes va lligat a una reducció del preu del cotxe elèctric en les previsions de futur. A la Figura 3 [3] es veu com el preu de la bateria és la causa principal de la disminució del preu del conjunt del cotxe elèctric. L'any 2016 la bateria aportava el 48% del total del preu del cotxe elèctric i s'espera que per l'any 2030 el preu de la bateria només sigui un 18% del preu total. Si aquestes previsions es compleixen, el cotxe elèctric assoliria un preu de 21.000€ i la bateria podria reduir-se fins a un preu de 3.400€. El cotxe de gasolina, d'altra banda, té un preu quasi be constant amb el pas dels anys. Com indica la recta negra de la Figura 3, el preu del cotxe convencional ronda els 25.000€. A partir de l'any 2026, es converteix en un cotxe més car que el cotxe elèctric. Aquesta disminució del preu del cotxe elèctric per sota del preu del cotxe convencional aconseguiria que es convertís en una opció viable per competir en el mercat automobilístic.

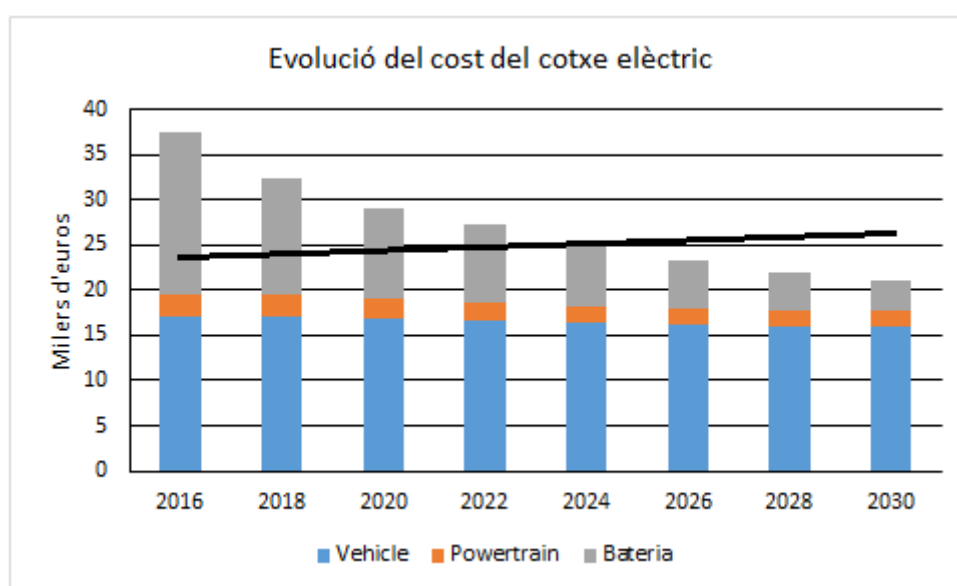


Figura 3. Evolució del cost del vehicle elèctric i de la seva bateria des de l'any 2016 fins el 2030 en comparació al vehicle de combustió [3]

Si estudiem els canvis que han patit les bateries de liti des de que es van començar a utilitzar en el sector automobilístic, s'observa que el preu ha anat disminuint un 8% per any des del 2007 fins al 2017. L'últim any els preus van caure una xifra significativa del 35%. S'espera que l'any 2022 el preu de les bateries costi només una quarta part del preu que tenien a l'any 2010. Aquesta reducció en el preu de les bateries suposaria un preu del cotxe elèctric un 25% inferior.

Com es pot observar a la Figura 4 [3], el preu de del kWh l'any 2025 seria de 92€ i de 61€ per l'any 2030. Es veu un descens del preu continu a mesura que van avançant els anys. En el cas de la densitat energètica, es pot observar que va augmentant amb el pas dels anys. Al 2030 podríem arribar a valors de densitat energètica superiors als 200Wh/kg, mentre que ara es troben al voltant dels 130Wh/kg.

Totes dues figures mostren una evolució positiva de les bateries perquè es milloren els dos problemes principals que podrien evitar que els cotxes elèctrics s'imposessin per sobre dels convencionals. La reducció del cost de la bateria comporta una reducció del cost del cotxe elèctric i l'augment de la densitat energètica, un augment de l'autonomia dels cotxes que podrien fer recorreguts més llargs.

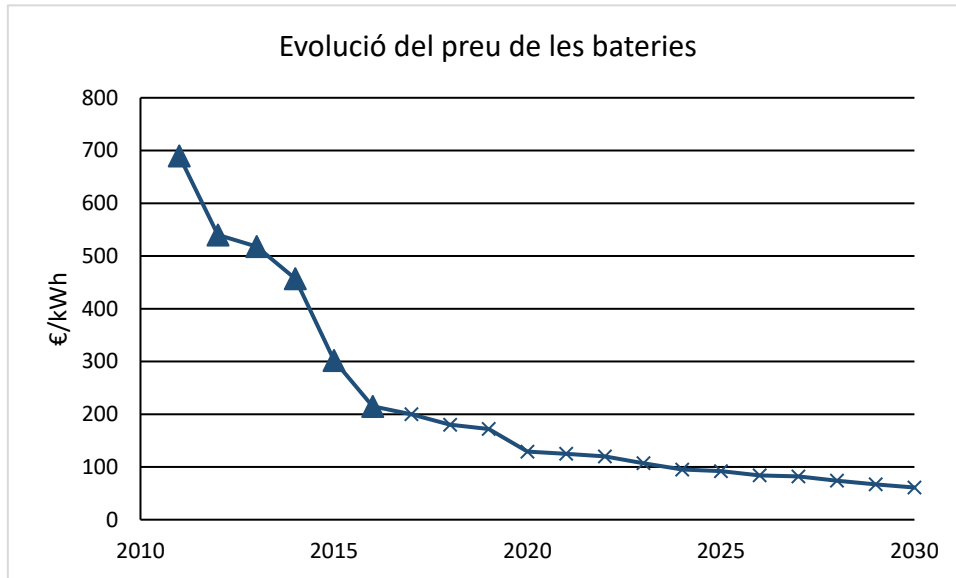


Figura 4. Evolució del preu del kWh de les bateries dels vehicles elèctrics des de l'any 2010 al 2030 [4]

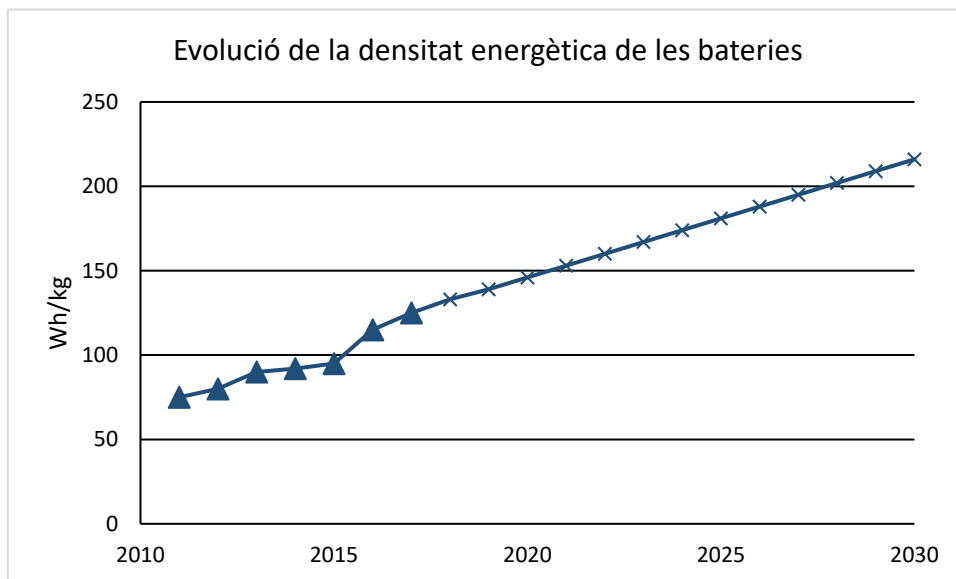


Figura 5. Evolució de la densitat energètica de les bateries dels vehicles elèctrics des del 2010 fins el 2030 [5]

2.1.1 Bateries actuals

El problema principal dels vehicles elèctrics per triomfar com alternativa viable al cotxe convencional és la bateria: el temps de recàrrega és lent i l'autonomia és insuficient. L'autonomia i el preu del cotxe depenen del tipus i mida d'aquesta. Per tant, la clau per aconseguir que el cotxe elèctric s'imposi en el mercat automobilístic radica en el desenvolupament de la seva bateria.

Des de la invenció del vehicle elèctric la bateria utilitzada ha anat evolucionant. La seva química ha anat variant amb l'objectiu de trobar una bateria que oferís millors prestacions a un cost més reduït. Actualment, les bateries que s'imposen al mercat són les de liti. Aquest tipus de bateries han reemplaçat moltes aplicacions que anteriorment van ser subministrades per bateries de plom i níquel. Actualment, les bateries adequades pels vehicles elèctrics són les bateries de Ni-MH i les d'ió-liti. Tot i així, ja s'està experimentant amb altres ions que, es creu, ajudaran a convertir al vehicle elèctric en una alternativa viable que s'acabarà imposant sobre els vehicles convencionals.

Les bateries de Ni-MH són semblants a les de níquel-cadmi, però amb millors prestacions. Tenen una capacitat superior i un efecte memòria més reduït, a més de ser menys agressives amb el medi ambient. D'altra banda, requereixen d'un constant manteniment i es deterioren amb les altes temperatures, les intensitats elevades de descàrrega i les sobrecàrregues. Generen massa calor i es recarreguen lentament. Aquest tipus de bateria s'utilitza per a instruments mèdics, cotxes híbrids i aplicacions industrials.

Les bateries d'ió-liti han estat creades recentment. Actualment, és el tipus de bateria més conegut i demandat en el desenvolupament dels vehicles elèctrics a causa de les seves elevades prestacions. La bateria està composta per un ànode de carboni porós (grafit) i un càtode d'òxid de liti. Com electròlit s'empra una sal de liti i un dissolvent orgànic.

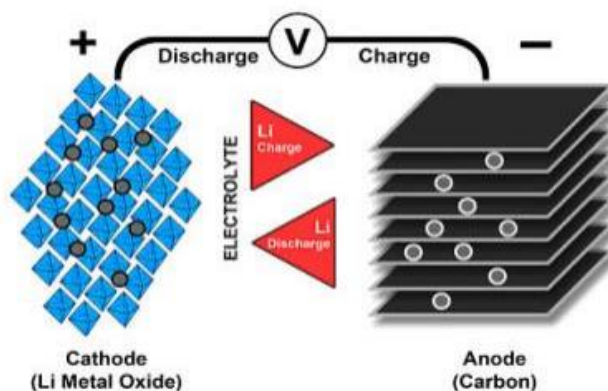


Figura 6. Imatge de la química de les bateries d'ió-liti [6]

Els avantatges i inconvenients que presenten les bateries d'ió-liti són els següents ^[4]:

Avantatges:

- Alta densitat energètica i eficiència: amb les mateixes característiques que altres bateries, el seu pes es redueix a la meitat i ocupa un volum més petit.
- Alt voltatge de la cel·la elemental: el voltatge és el triple que el de les cel·les d'altres bateries i, per tant, es redueix el nombre de cel·les que cal associar.
- No posseeixen efecte memòria.
- No contenen traces de metalls pesants com el Hg, Pb o Cd que són altament contaminants.
- No necessiten manteniment.

Inconvenients:

- Necessiten un circuit electrònic de protecció que limiti la càrrega i la descàrrega de la bateria.
- Tenen un cost elevat.
- No treballen bé a baixes temperatures i es degrada a temperatures elevades.
- El nombre de càrregues és limitat.
- A altes temperatures presenten riscos d'explosió.
- S'han d'emmagatzemar en ambients freds i parcialment carregades.

Tot i els desavantatges nomenats anteriorment, actualment aquestes bateries representen la millor opció pels vehicles elèctrics. A més, són bateries que es troben en constant desenvolupament i, per tant, tenen un gran marge de millora.

Dins de les bateries d'ió-liti es troben cinc tipus de químiques principalment ^[4]. Les que ofereixen unes prestacions més adequades pels vehicles elèctrics són les de NMC, les de fosfat i les de manganès. A la Figura 7 es comparen les diferents bateries en termes de seguretat, densitat energètica, potència específica, resposta davant temperatures extremes, número de cicles i cost. Si bé és cert que les bateries de fosfat ofereixen una seguretat molt elevada, les de NMC tenen una densitat energètica superior. Per tant, els fabricants opten per fer un disseny personalitzat per reforçar les característiques importants.

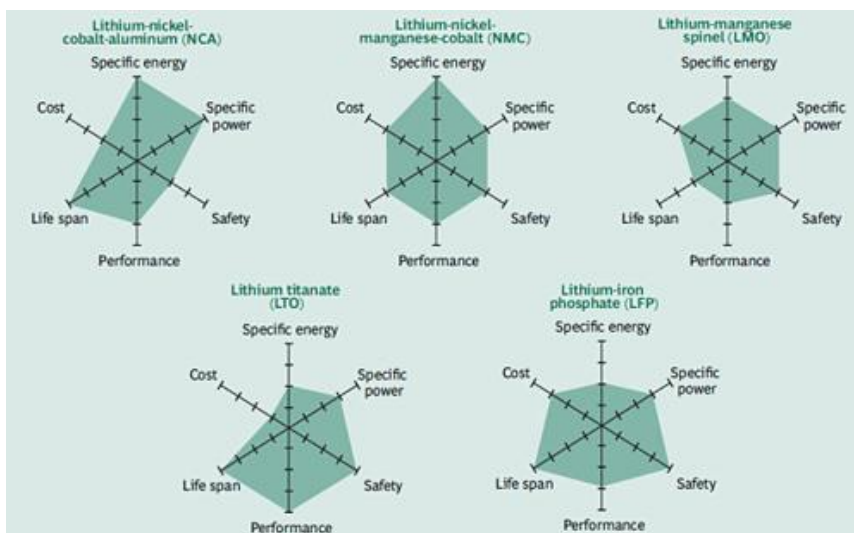


Figura 7. Imatge de les prestacions que ofereixen els diferents tipus de bateries d'ió-liti [7]

Per exemple, un equip de científics sud-coreans ha aconseguit desenvolupar nanopartícules d'òxid de silici (SiO₂), un material pel càtode de les bateries d'ions de liti, que permetran reduir els costos entre un 30% i un 50% i duplicar l'autonomia dels cotxes elèctrics [5]. Els cotxes elèctrics que funcionin amb aquest tipus de bateries podran recórrer fàcilment 500 quilòmetres reals amb una sola càrrega. S'espera una comercialització massiva del producte per l'any que ve.

2.1.2 Noves bateries

Actualment les bateries de Li-S ofereixen energies específiques de l'ordre de 500Wh/kg, un valor significativament millor que el de la majoria de les bateries de liti, que es troben en el rang de 150 a 200Wh/kg. Altres característiques que incrementen el valor d'aquest tipus de tecnologia són el cost reduït de producció i el pes, més lleugeres que la resta.

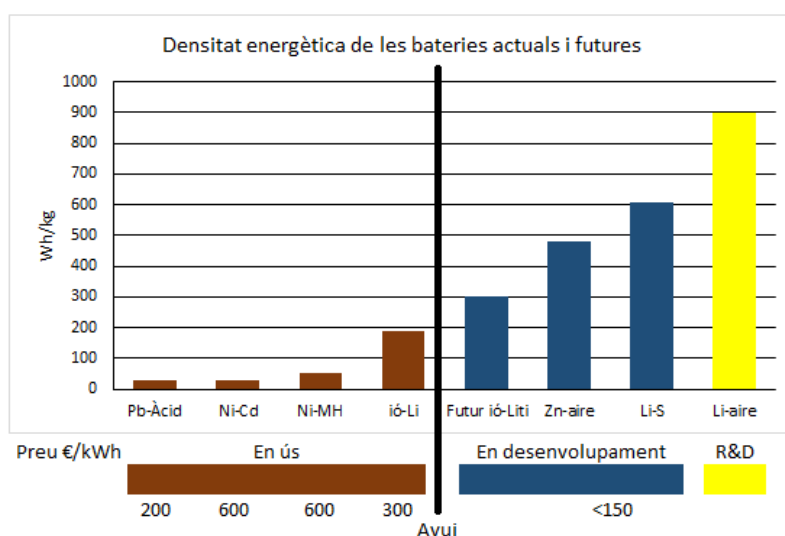


Figura 8. Gràfic de la densitat energètica (Wh/kg) i el cost (€/kWh) de les bateries actuals i les que es troben en fase experimental [8]

La Figura 8 mostra una previsió de futur de la tecnologia de les bateries que competiran amb les bateries de liti en el mercat automobilístic. Com hem esmentat anteriorment, les bateries de liti patiran millores amb el pas dels anys per convertir-se en una opció cada vegada més viable i, a més, apareixeran altres tecnologies que tindran unes prestacions millors. És el cas de les bateries de Metall-Aire, concretament metalls com el Zinc i el liti, i les bateries de liti i sofre. Com es pot observar les bateries de liti i aire són les que podrien oferir una densitat energètica superior i, en relació al preu, es creu que totes les tecnologies arribarien a preus per sota dels 150€/kWh.

Les bateries de liti-sofre són una de les tecnologies més prometedores per la propera generació. Fa servir sofre pel càtode, una matèria primera de baix cost i gran abundància, que té una densitat energètica de 2.500Wh/kg. L'inconvenient més important, el que limita la seva comercialització, és la baixa estabilitat dels elèctrodes de sofre, que tendeixen a degradar-se per la formació de polisulfurs de liti que es dissolen a l'electròlit.

El fabricant japonès de bateries GS Yuasa ^[6] està preparant una nova bateria de liti-sofre que aconseguirà, segons els responsables de l'empresa, oferir el doble d'autonomia amb un preu similar al de les bateries actuals. De moment no es coneixen dades tècniques, però s'espera una producció massiva pel 2020.

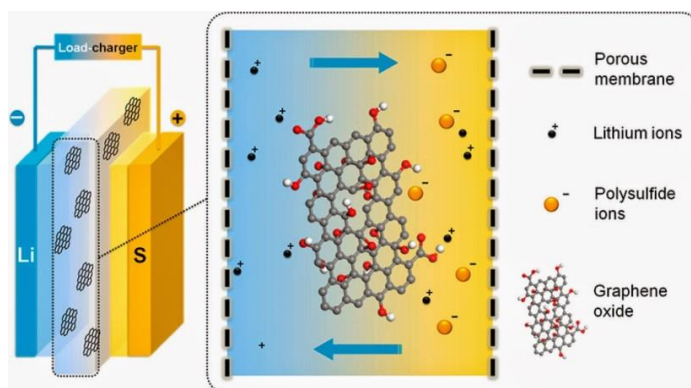


Figura 9. Imatge de la química de les bateries de Li-S [9]

Altres opcions que es barallen en el mercat de les bateries són les de metall-aire. Actualment s'està investigant en el seu desenvolupament, però encara falta un llarg camí.

A Tesla ^[7] ha sorgit la idea d'utilitzar en un mateix cotxe elèctric una bateria de liti com fins ara, però més petita per trajectes de ciutat, combinada amb una de metall-aire que aniria recarregant la de liti en els desplaçaments llargs. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir la mida i pes de les bateries de liti actual. Tot i així, encara segueix present el problema del posterior residu que generen aquestes bateries.

Entre les bateries de metall-aire que s'estan proposant en els últims anys, les d'alumini-aire són les que ofereixen millors prestacions [8]. Es basen en la utilització d'un càtode extern, concretament el propi aire ambient, i un ànode de metall pur en un electròlit líquid. La producció d'electricitat es produeix en la reacció de l'oxigen amb el metall quan entren en contacte. El principal avantatge és que s'aconsegueix la màxima densitat energètica possible amb un pes notablement inferior a les alternatives actuals i amb una autonomia molt superior. Ofereixen una densitat energètica de 1.300Wh/kg. Els problemes són el cost de l'ànode i el cicle de recàrrega, ja que, l'ànode es consumeix formant òxid d'alumini hidratat quan es completa la reacció.

Alguns experts, en canvi, indiquen que les bateries de zinc-aire es posicionaran com el combustible elèctric del futur. Tenen un alt potencial energètic, fiabilitat i són capaces d'emmagatzemar el triple d'energia que les d'ió-liti en el mateix volum i a la meitat del cost.

Finalment, les bateries de liti-aire són la última aposta d'alguns fabricants dins de les bateries de metall-aire. Es creu que aquestes bateries podrien oferir una densitat energètica de 2000Wh/kg, quasi quatre vegades més que les de liti-metall i 20 vegades més que les d'ió-liti comuns. Pel que fa a l'autonomia el salt no seria tan gran, es calcula que es podria trobar entre els 650 i els 700 km. Un dels grans avantatges d'aquesta fórmula és que contribueix a la millor conservació de la càrrega elèctrica, és a dir, amb el temps es perdria menys electricitat. A més, no tenen efecte memòria i el seu impacte mediambiental és gairebé inexistent.

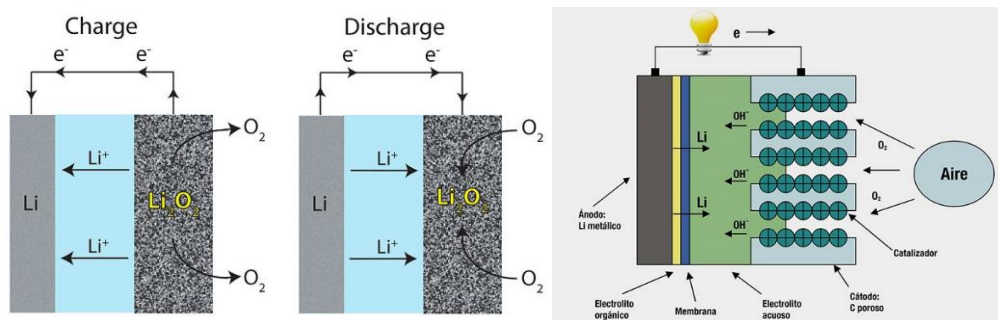


Figura 10. Imatge de la química de les bateries de Li-Aire [10]

Altres fabricants aposten per les bateries de liti-metall [9]. Les bateries de liti-metall són una solució interessant per evitar la corrosió del liti. Aquesta bateria podria ser la gran protagonista de la pròxima dècada perquè ofereixen grans avantatges a tenir en compte. Les bateries d'estat sòlid dupliquen la densitat energètica de les bateries actuals i són més segures perquè s'escalfen poc durant la càrrega i descàrrega. A més, la recàrrega és sis vegades més ràpida i la vida útil és superior. L'autonomia d'aquestes bateries podria arribar a ser d'uns 800 km, un salt significatiu respecte les bateries actuals. Toyota i Hyundai han anunciat la seva intenció de desenvolupar aquest tipus de bateries per als seus propers cotxes elèctrics. Es creu que a partir del 2022 ja s'estarien comercialitzant aquest tipus de bateries.

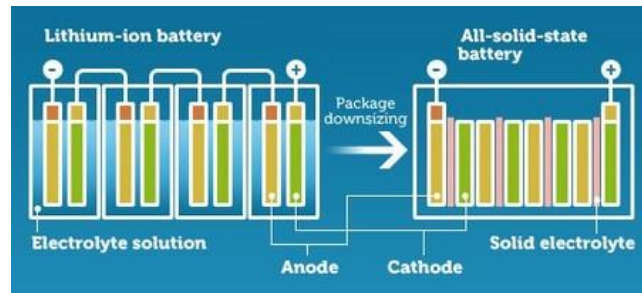


Figura 11. Imatge de la química de les bateries en estat sòlid (Li-Metall) [11]

Finalment, la idea més innovadora en quant a noves tecnologies de bateries per cotxes elèctrics són les bateries de flux. La marca NanoFlowCell ha presentat alguns prototipus de cotxes elèctrics que incorporen aquest tipus de bateries i que ofereixen una autonomia de fins a 1000 km. El gran desavantatge d'aquesta bateria és que requereix d'una infraestructura de repostatge d'electròlits que incrementa substancialment el pes del cotxe.

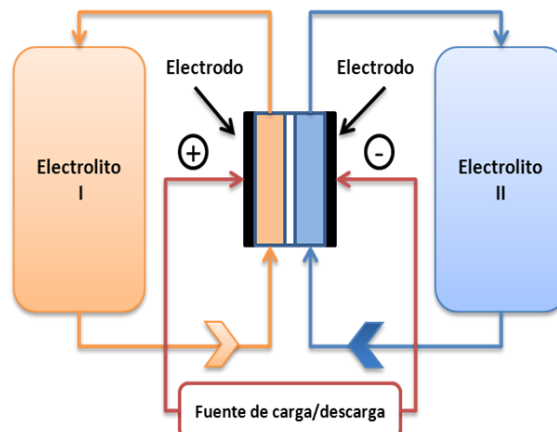


Figura 12. Imatge de la química de les bateries de flux [12]

2.2 Problemàtica de les bateries

A causa del creixement que està patint el mercat dels cotxes elèctrics, durant els últims anys s'ha començat a plantejar un nou problema: l'acumulació de bateries procedents dels vehicles elèctrics. En un futur ple de vehicles elèctrics, sobretot cotxes, segons les bateries vagin envellint, caldrà anar canviant-les per altres de noves. Això podria derivar en una gran acumulació de bateries velles, amb l'impacte ambiental i la despesa de recursos que suposaria per recollir els recursos. No obstant, que una bateria es degradi i acabi deixant de ser vàlida per al seu ús en automoció com a bateria de tracció no vol dir que sigui necessari desfer-se d'ella. I més que un problema, es pot arribar a convertir en una oportunitat.

Per posar un exemple del creixement massiu que poden experimentar les bateries procedents dels vehicles elèctrics en un futur, hem volgut fer un paral·lelisme amb la recent notícia de les bicicletes a Xina ^[10]. L'any passat, el bike-sharing es va disparar a la Xina, desenes de companyies de bicicletes van inundar ràpidament els carrers de la ciutat amb milions de bicicletes de lloguer. No obstant això, el ràpid creixement va superar àmpliament la demanda immediata i va aclaparar les ciutats xineses, on les infraestructures i les regulacions no estaven preparades per manejar una sobtada inundació de milions de bicicletes. Els vianants estacionaven les bicicletes a qualsevol lloc, o simplement les abandonaven, donant lloc a una acumulació de bicicletes bloquejant els carrers concorreguts. A partir d'ara, per intentar que no es torni a repetir aquest esdeveniment, el mercat de les bicicletes continuarà creixent a un ritme més sostenible.

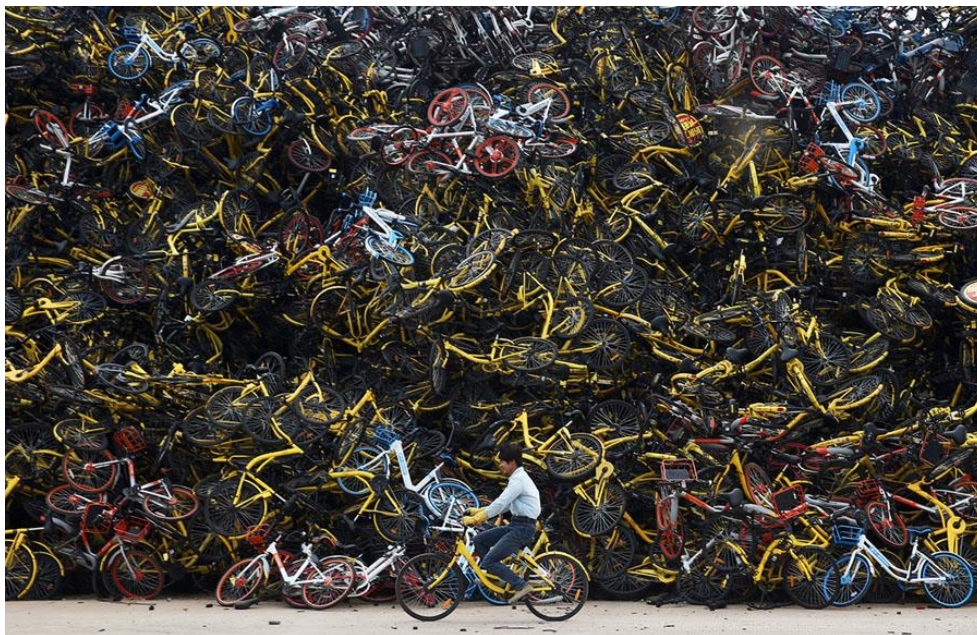


Figura 13. Imatge de l'acumulació de bicicletes als carrers de la Xina [13]

Aquest fet es pot aplicar al creixement del mercat dels vehicles elèctrics que pot arribar a suposar l'abandonament de totes aquelles bateries que ja no serveixin per l'automoció. Si les infraestructures i les regulacions no estan preparades per suportar una sobtada inundació de bateries acabaran acumulant-se a les ciutats com ha succeït amb les bicicletes. Per tant, és important buscar solucions com el reciclatge o la reutilització de les bateries per evitar possibles problemes d'acumulació de residus en el futur.



Figura 14. Imatge de l'acumulació de bicicletes abandonades a la Xina [14]

2.3 Possibles solucions: Reciclatge o Reutilització

Segons passa el temps i els quilòmetres, la bateria va envellint. La principal conseqüència d'aquest envelliment és la pèrdua de capacitat d'emmagatzematge. Si la seva capacitat d'emmagatzematge baixa del 80-75%, automàticament aquesta bateria es canvia per una altra amb la capacitat inicial. Encara que aquesta bateria ja no fos capaç d'oferir l'autonomia inicial al seu propietari, segueix sent una bateria capaç d'emmagatzemar una bona quantitat d'energia. És a dir, la bateria segueix funcionant perfectament, només que la seva capacitat d'emmagatzematge ha disminuït. Potser ha deixat de ser una bateria atractiva per a la mobilitat, però encara pot ser apta per a fer moltes altres funcions. Avui en dia, els fabricants de vehicles elèctrics garanteixen una vida útil de les bateries de fins a 10 anys i s'estima que les bateries usades poden funcionar de manera eficient en una aplicació estacionària durant almenys 10 anys més.

La reutilització de la bateria permet posposar els processos de reciclatge i evitar l'extracció de nous materials, els quals comporten alts costos i la generació de CO₂.

Reutilitzar les bateries de Li-ió per a una segona aplicació augmentaria la seva vida útil total, el que retardaria els processos de reciclatge i fabricació, minimitzant efectivament l'impacte ambiental i reduiria els costos de fabricació de les bateries, assegurant una màxima explotació de les matèries primeres i garantint el seu màxim aprofitament alhora que es reduiria la pol·lució associada a la seva manufactura.

Un dels reptes als quals ens enfrontem és, per tant, el de desenvolupar un model d'economia circular al voltant de tecnologies avançades de bateries com les de Li-ió, amb l'objectiu d'ampliar el seu cicle de vida i assegurar la màxima explotació dels recursos en totes les etapes, reduint els costos i l'impacte ambiental, per tal d'incrementar la rendibilitat i sostenibilitat d'aquestes tecnologies.

És aquí on es planteja el concepte de la segona vida de les bateries. I és que en una societat on les energies renovables estan cada vegada més presents i són cada vegada més necessàries, emmagatzemar energia elèctrica és una necessitat.

A la Figura 15 ^[11] s'observa com l'augment dels vehicles elèctrics a la carretera genera un augment de bateries de segona vida considerable. Per l'any 2030 s'esperen més de 90 milions de vendes de cotxes elèctrics que es tradueixen en 1.000GWh de bateries de segona vida disponibles per realitzar altres funcions.

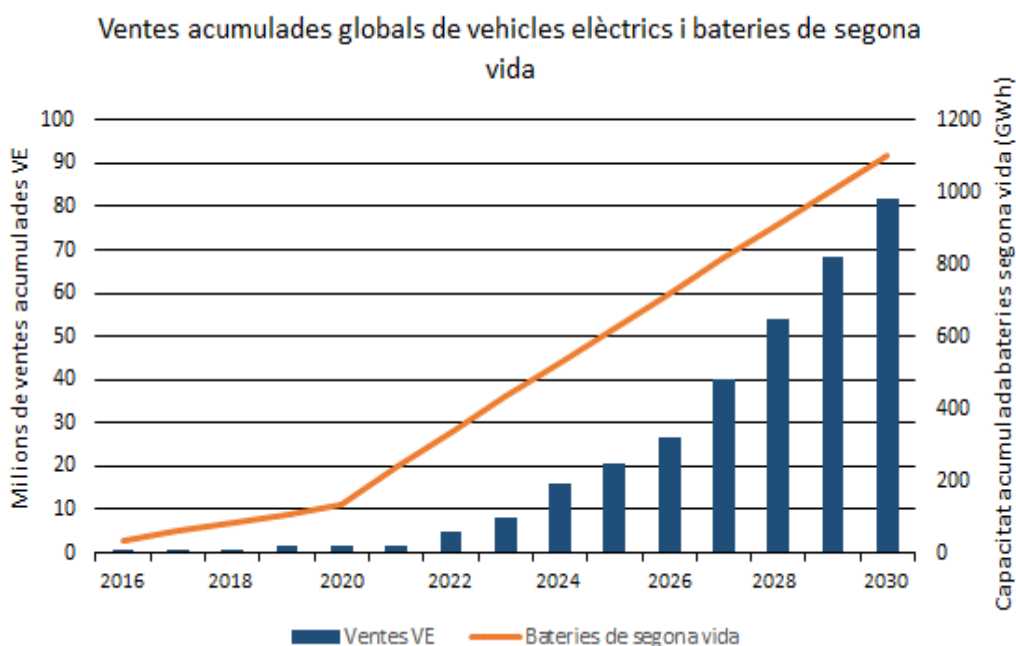


Figura 15. Gràfic de l'evolució de les vendes de vehicles elèctrics i les bateries de segona vida que s'aniran acumulant [15]

L'objectiu és reutilitzar les bateries que ja no són útils en vehicles elèctrics, però encara poden tenir una aplicació en sistemes d'emmagatzematge d'electricitat. Algunes de les aplicacions compatibles amb la segona vida de les bateries que es plantegen actualment són:

- Acumulador de reserva: les bateries poden emmagatzemar energia de suport en cas de fallada del sistema elèctric per apagada, sobrecàrrega o tempesta.
- Complement per les energies renovables: aquells que disposin de plaques solars o molins eòlics i estiguin generant més energia de la que necessiten en un moment determinat, poden emmagatzemar l'excedent en una bateria. Quan calgui energia i no hi hagi sol ni vent segueix havent potència disponible.
- Ajut per baixar el preu del rebut: l'energia és més barata quan sobra, i més cara quan s'ha de produir en pics de demanda. La bateria pren de la xarxa l'electricitat de baix cost en horaris vall i l'aboca a la xarxa domèstica quan el preu és més elevat per utilitzar menys la xarxa exterior.

Utilitzar les bateries en aplicacions estacionàries d'emmagatzematge té un pronòstic molt alentidor. Actualment, molts fabricants de cotxes elèctrics estan començant a col·laborar amb empreses per posar en marxa projectes de reutilització de bateries.

Per fer front a la problemàtica de les bateries, NISSAN ^[12] ha posat en marxa el projecte *The Reborn Light*, que pretén reutilitzar les bateries provinents de cotxes elèctrics per proporcionar l'enllumenat públic de Namie. Nissan i *4R Energy Corporation* s'ha associat amb la ciutat de Namie a Fukushima (Japó), per instal·lar fanals que funcionaran amb una combinació de panells solars i bateries de segona vida com a part dels esforços de recuperació de la ciutat després del terratrèmol/tsunami del 2011. Aquest nou tipus d'enllumenat públic opera completament fora de la xarxa elèctrica general i sense necessitat de cables elèctrics o endolls, proporcionant la il·luminació gràcies a l'energia emmagatzemada per les bateries.



Figura 16. Luminària "The Reborn Light" [16]

Endesa i SEAT ^[13] han unit els seus esforços amb centres tecnològics com CIRCE i IREC, i la UPC, sota el projecte de *Sunbatt*. S'ha realitzat un anàlisi detallat de les necessitats per adaptar les bateries a una segona vida, així com el seu comportament durant aquest nou ús. Dins d'aquest anàlisi s'han estudiat les diferents aplicacions en què tindrien cabuda: podrien abastir tant l'emmagatzematge domèstic com els serveis de distribució en zones aïllades de la xarxa. També s'ha analitzat la integració de fonts renovables al sistema *Sunbatt*, de manera que les bateries s'alimentin amb energies netes. S'ha demostrat que les bateries procedents dels vehicles elèctrics poden tenir un nou paper fora d'ells, amb uns temps estimats de segona vida que anirien des dels 6 als 30 anys, en funció de l'aplicació.



Figura 17. Instal·lació Sunbatt amb bateries de segona vida [17]

L'acord signat per Renault i *PowerVault* ^[14] es plasma en un projecte de prova d'un any que consisteix en instal·lar 50 bateries proporcionades pel fabricant francès en habitatges de clients de l'empresa britànica que ja disposen de panells solars. Fabrica un sistema d'emmagatzematge d'energia solar per a la llar completament integrat utilitzant les bateries de segona vida de Renault. Aquest emmagatzema l'energia renovable produïda pels panells solars durant el dia i l'allibera a la nit quan la demanda d'energia de les llars arriba al seu punt màxim. També tenen la possibilitat d'emmagatzemar energia procedent de la xarxa en les hores en què les tarifes són més assequibles. Renault pretén amb aquest sistema optimitzar el cicle de vida de les seves bateries abans de ser reciclades allargant la vida de la bateria entre 5 i 10 anys més.



Figura 18. Bateria de la marca Renault per cotxes elèctrics [18]

Grup Renault i *Connected Energy* van instal·lar l'any passat dos punts de recàrrega ràpida en autopistes belgues i alemanyes. Aquest dispositiu, anomenat *E-Stor*, utilitza bateries de vehicles elèctrics de Renault en la seva segona vida. Aquesta tecnologia permet emmagatzemar l'energia mitjançant una alimentació de baixa potència i alliberar l'energia emmagatzemada a potències elevades. D'aquesta manera, es possibilita oferir solucions de càrrega ràpida per a vehicles elèctrics en llocs on resultaria molt costós construir una connexió directa a la xarxa. És econòmic i senzill d'instal·lar i afavoreix el desenvolupament de la xarxa de punts de recàrrega a Europa.



Figura 19. Punt de recàrrega en autopista E-Stor [19]

Nissan també ha col·laborat amb *Eaton* en la creació de *XStorage Home*, un sistema d'emmagatzematge d'electricitat domèstic que controla quan i com s'utilitza aquesta electricitat a les cases. Mercedes-Benz ha optat per seguir la mateixa tendència amb les seves bateries usades que ja es comercialitzen al Regne Unit. Nissan i Renault s'han unit amb l'objectiu de crear una planta amb bateries de segona vida d'uns 100 MW. Toyota també crearà, juntament amb *Chubu Electric Power*, un sistema de bateries d'emmagatzematge de gran capacitat reutilitzant les seves bateries.



Figura 20. Sistema XStorage Home de Nissan [20]

Una altra opció que s'ha barallat per solucionar el problema de les bateries és el reciclatge. És un procés que permet recuperar gran part dels materials que formen les bateries, però aquest sistema de recuperació s'enfronta a dos problemes importants. Per una banda, l'increment imparable dels cotxes elèctrics. L'any passat es va arribar als 2 milions de cotxes elèctrics a les carreteres, i pel 2030 s'espera que hi hagi almenys 140 milions. Per l'altra, la manca d'una xarxa d'instal·lacions on tractar aquestes bateries un cop acabada la seva primera vida. L'alt cost del procés i la manca d'estandardització compliquen el reciclatge de les bateries a gran escala.

Actualment, cada kilogram de bateria reciclat té un cost d'1€, però el valor de la matèria primera recuperada equival només a un terç d'aquest preu. A més, el reciclatge del liti costa cinc vegades més que extreure el material verge. Per aquests motius, només es recicla el 5% de les bateries de liti a Europa. La major part roman en les nostres llars o s'amuntega en abocadors, el que es tradueix en un seriós problema pel medi ambient.

Xina ^[15], el govern que més fomenta la venda de cotxes elèctrics i restringeix la de vehicles de gasolina, farà que els fabricants de vehicles elèctrics s'encarreguin d'establir centres de recollida i reciclatge de bateries com a part dels esforços per abordar l'augment dels residus en el sector. En els últims anys s'ha incrementat la producció de bateries d'ió-liti i, com a conseqüència, també han augmentat les deixalles de bateries usades. *Automotive News Xina* calcula que les deixalles de les bateries arribaran a 170.000 tones aquest any, és per aquest motiu que el govern xinès veu la necessitat de millorar els sistemes de reciclatge dels fabricants. També s'encoratja als fabricants de bateries a adoptar dissenys de productes estandarditzats i fàcils de desmuntar per ajudar a automatitzar el procés de reciclatge.

Els fabricants de cotxes elèctrics d'altres països també han començat els seus propis projectes de reciclatge de bateries. Una de les companyies que més fort estan apostant per aquest nou negoci és la belga *Umicore*, que recentment ha invertit 25 milions d'euros en una planta pilot situada a la localitat d'Antwerp. És una fàbrica dedicada al reciclatge de bateries de liti on tractaran amb clients com Tesla o Toyota. En aquesta fàbrica es podrà separar tant el cobalt com el níquel, per tornar a ser usats en la producció de nous components per a bateries. L'únic problema és la recuperació del mateix liti. Segons els responsables d'*Umicore*, és possible separar el liti, però suposa un procés extra el que significa elevar el preu de la recuperació. Els fabricants seran els responsables de recollir les bateries. Per aquest motiu, Toyota coordina un procés de recollida de bateries a Europa mitjançant un sistema de logística inversa, de manera que els concessionaris de Toyota i Lexus reben una bateria nova a canvi d'entregar-ne una de vella.

En la mateixa línia que *Umicore*, es pronuncia l'empresa americana *OnTo Technology*. Tant una com l'altra no esperen resultats importants en el procés de reciclatge a gran escala fins a l'any 2025.

A Espanya l'empresa que s'encarrega del reciclatge de bateries és "*Envirobat Espanya*" i es troba a Azuqueca de Henares (Guadalajara). És una instal·lació de 2100 metres quadrats amb una capacitat de 1600 tones de piles alcalines anuals. Recicla tot tipus de bateries desclassificades pels fabricants i el procés consisteix fonamentalment en un triturat seguit d'un procés hidrometal·lúrgia.

3. Estudi del reciclatge de la química de les bateries de liti

3.1 Importància del reciclatge en el mercat de les bateries

És evident que segons les previsions de futur dels vehicles elèctrics i de les seves respectives bateries es produirà un augment de l'ús de bateries de ió-liti en els propers anys. Aquest creixement comporta la generació d'un flux proporcional de bateries que acaben el seu cicle de vida útil, sigui després del primer ús o després d'haver tingut una segona o més vides amb altres usos. Per tant, és necessària una solució a aquesta inevitable acumulació de bateries gastades: el reciclatge.

Actualment l'únic procés de reciclatge integrat a la cadena de subministrament és el de les bateries de plom-àcid. Al ser bateries utilitzades des de fa temps, la preocupació es va viure fa dues dècades i la tecnologia necessària i els processos s'han desenvolupat per a ser el màxim rendibles. L'*Environmental Protection Agency* (EPA) estima que el 90% de les bateries de plom-àcid es reciclen avui en dia, contenint aquestes entre un 60 i 80% de materials reciclables^[16]. En el cas de les bateries de liti passa el contrari, però el procés de reciclatge de les bateries de plom-àcid pot servir com estructura base.

La situació actual és la imatge d'un sector en creixement amb instal·lacions insuficients per tenir la capacitat de reciclar altes quantitats de bateries i amb uns processos de reciclatge en desenvolupament que de moment resulten menys rendibles que obtenir el material directament d'empreses mineres. Al 2017 només s'han reciclat el 5% de les bateries de liti que han sortit al mercat creant un gran problema de sostenibilitat. S'extreuen els elements que formen les bateries bàsicament de les mines quan moltes d'elles s'acumulen en abocadors i estan desaprofitades.^[17]

Sabent que una gran part dels materials de les bateries de liti tenen gran valor, es planteja el procés de reciclatge i recuperació de materials com a negoci. El problema recau en què per obtenir una matèria prima de qualitat, el procés d'obtenció i purificació constitueix el gruix del cost de manufactura de les bateries. De fet, el cost del liti com a matèria prima representa només una fracció de l'1% del cost final d'una bateria ^[18].

Segons *Global Lithium LLC*, el 39% de la producció mundial de liti es destina a les bateries. La recent preocupació d'escassetat del liti provocada per l'augment previst de la demanda podria provocar un excessiu increment del preu del liti, encara que, podria ser una por infundada, ja que en els propers 12 anys només s'extraurà del sòl un 1% del liti existent. Tot i així, com mostra la Figura 21 en un estudi de BNEF ^[19], un increment del 300% del preu del liti només repercutiria en un increment del 3% del cost final d'un pack de bateries. Mentre que el cobalt tindria una repercussió més elevada al tenir un preu per kg molt més alt.

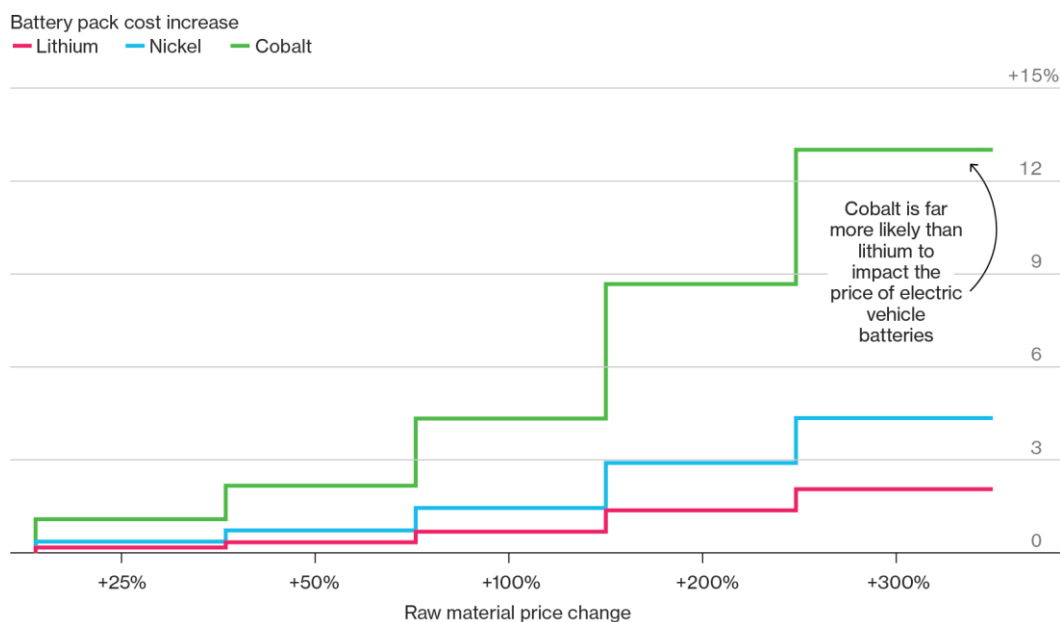


Figura 21. Gràfic de BNEF de l'increment del preu de les bateries en funció de la matèria prima [21]

Un factor que bloqueja una implantació més ràpida de les bateries en el mercat és el seu cost elevat. Aquest fet ve donat perquè el procés de producció és car i tenen un cicle de vida útil relativament curt perquè no tenen un següent ús, per tant, el preu s'ha d'amortitzar en el període d'esperança de vida que tingui cada tipus de bateria. Introduir en el procés de producció de bateries materials provinents de processos de reciclatge i oferir una nova funció un cop s'acaba la seva primera vida provocaria una reducció del cost final de la bateria. També comportaria diferents impactes positius sobre el mercat, com mitigar l'alta dependència de materials crítics com el cobalt.

La creació d'una economia circular és un dels objectius de les empreses que formen part, d'alguna manera, del sector de les bateries d'ió-liti. En el cas de les bateries de plom-àcid, aquest circuit de materials ja és una realitat. Per exemple, Tesla es recolza en aquesta idea per intentar implantar un circuit tancat per les bateries de liti. Treballa a Europa amb la empresa *Umicore* i a Nord Amèrica amb *Kinsbursky Brothers*, on obtenen bàsicament productes refinats per utilitzar en les noves bateries o subproductes per a altres usos. Gràcies a aquesta iniciativa s'aconsegueix reduir els costos i les emissions de CO₂ a l'atmosfera [20].

En relació als aspectes sostenibles pel medi ambient, és primordial implementar processos de reciclatge per evitar que els metalls pesants que poden contenir les bateries de liti (manganès, plom, coure, níquel o cobalt) contaminin el sòl i l'aigua. A més, els electròlits de les bateries són tòxics i inflamables. Segons un estudi fet per *Energy Climate House* [21], un cop s'assoleixi el nivell òptim de tecnologia perquè el nivell de reciclatge sigui rentable, s'estalviarà 1 Kg d'emissions de CO₂ per cada Kg de bateria reciclat, a més de reduir l'explotació dels minerals.

3.2 Components reciclables

Una típica bateria d'ió-liti està formada pels elèctrodes, l'electròlit, el separador i el contenidor. L'elèctrode negatiu (ànode) normalment és una làmina de coure recoberta amb grafit o carboni i el positiu (càtode) sol ser una làmina d'alúmina recoberta amb òxids de liti/metall de transició com LiMnO_2 (LMO), LiNiCoAlO_2 (NCA), LiNiCoMnO_2 (NMC), LiFePO_4 (LFP) o LiCoO_2 (LCO). L'electròlit és una sal de liti dissolta en una barreja orgànica dissolvent, normalment $\text{Li}[\text{PF}]_6$, que comporta els seus riscos pel medi ambient i de seguretat. El separador sol contenir materials ceràmics o polimèrics i el contenidor està format per materials com l'acer, l'alúmina o els plàstics.

Potencialment, es pot arribar a reciclar tot amb un cert grau de reaprofitament. Primer de tot, es retiren de forma manual tots els components electrònics, cablejat, contenidors i plàstics que poden ser reutilitzats per a pròximes bateries. Tot seguit, la resta de materials es reciclen seguint un dels processos explicats posteriorment, sempre que es pugui, i es refinaran per donar-los un següent ús com a bateria o com a subproducte. L'ampli ventall de metalls utilitzats inclou el liti, el níquel, el cobalt, el manganès, l'alumini, el coure, el silici, l'estany, el grafit o el titani.

Com ja s'ha comentat, alguns d'aquests metalls tenen una importància econòmica més elevada al ser considerats matèria prima crítica per motius de dificultat d'extracció o escassetat de material. Dels anteriorment mencionats, hi ha tres material que són considerats crítics: el cobalt, el silici i el grafit ^[23].

3.2.1 Distribució global dels recursos reciclables

A continuació, es fa una anàlisi més extensa dels elements crítics d'una bateria. També s'analitza el liti que, tot i no ser considerat crític, al tractar-se de bateries de ió-liti el seu subministrament i accessibilitat són rellevants.

Per analitzar els diferents elements s'han de tenir en compte les següents definicions prèvies:

Recurs: Concentració natural de material a l'escorça terrestre en una forma en que l'extracció del material és econòmica i actualment o potencialment possible.

Reserva: Aquella part d'un recurs identificat que compleix els requisits físics i químics per ser extret actualment ^[24].

Cobalt

En les bateries d'ió-liti el cobalt s'usa extensament com a material actiu dels càtodes. A finals del 2017 es va determinar que les reserves disponibles mundials de cobalt rondaven els 7,1 milions de tones i que durant un any s'havien extret 0,11 milions de tones. Tot i això, globalment es disposa de 25 milions de tones provinents de diferents recursos, majoritàriament allotjats en sediments de dipòsits de coure. Als oceans Atlàntic, Índic i Pacífic hi ha identificats uns 120 milions de tones incrustades amb manganès.^[25]

Pel 2020 el balanç de mercat pel cobalt es preveu estable i capaç de cobrir totes les aplicacions que se li dona. Previsions a llarg termini mostrarien que per l'any 2050 s'haurien d'utilitzar tots els recursos disponibles per cobrir la demanda a causa de l'augment de la quantitat de vehicles elèctrics en el mercat, però és una estimació basada en què les bateries segueixin tenint la mateixa tecnologia, en aquest cas NMC. En aquest marge de temps es té en compte que noves tecnologies entraran en acció i la necessitat de cobalt disminuirà.

Grafit

De totes les aplicacions industrials que té el grafit, el sector de les bateries representa només el 4%. Incloent tots els recursos possibles, es disposa de més de 800 milions de tones de grafit recuperable amb unes reserves de 230 milions de tones. A l'any 2015 es van extreure 1,2 milions de tones de mines. Al contrari del cobalt, el grafit és fàcilment substituïble en aplicacions per bateries per altres materials que compleixin amb les mateixes especificacions.^[26]

Silici

El silici metàl·lic i aliatges estan emergent com a materials actius per ànodes de cel·les per bateries de liti, però comparat amb altres usos és poc representatiu avui en dia. No es poden comptar amb dades exactes de la quantitat de silici disponible actualment, però no hi ha escassetat. La producció mundial de silici o aliatges de silici s'aproxima als 8,1 milions de tones a l'any 2015 ^[27].

Liti

És un material que no és crític, però és essencial en la química de les bateries estudiades. Pot trobar-se en localitzacions en forma de mineral o de salmorra, una sal de liti en un líquid. Es calcula que hi ha una quantitat mundial de recursos de liti en metall equivalent d'entre 39,5 i 45,2 milions de tones i unes reserves d'entre 12 i 14 milions de tones ^[28]. La distribució geogràfica de les zones on es localitzen els recursos i s'extreuen les reserves es mostra en la Figura 22:

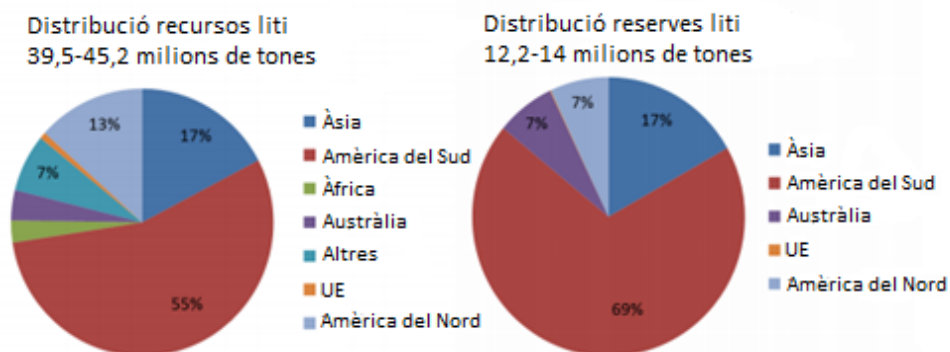


Figura 22. Distribució global de recursos i reserves del liti [22]

Amèrica del Sud posseeix la major part de les reserves de liti, uns 8,5 milions de tones. En canvi, la Unió Europea només, 0,013 milions de tones provinents en gran part d'un dipòsit descobert a Sèrbia l'any 2004.

L'any 2015 el 39% del liti es va destinar a la fabricació de cel·les de bateries d'ió-liti, de les quals un 14% van ser utilitzades per construir packs de bateries per vehicles elèctrics. A 10 anys vista s'estima que només en el sector dels vehicles elèctrics es consumirà la mateixa quantitat que actualment es consumeix en tots els usos, unes 200.000 tones. Com ja s'ha vist, les reserves actuals de liti són suficients per abastir la demanda a llarg termini sense incorporar el reciclatge. El reciclatge és tecnològicament viable, però no era econòmicament factible fins que recentment s'han desenvolupat millores tecnològiques i de mercat.^[29]

La Taula 1 mostra un resum de les dades esmentades anteriorment indicant l'origen dels productors dels materials i l'origen de les importacions a la Unió Europea. L'índex de substitució és un percentatge que indica la dificultat de substituir el material actual per d'altres igual de vàlids per dur a terme les mateixes funcions. El rati de reciclatge a fi de vida útil mostra la proporció de metall o productes metàl·lics que s'obté de residus que contenen el material en qüestió.^[30]

Matèria prima	Productors principals	Exportadors principals cap a la UE	Índex de substitució	Rati de reciclatge a fi de vida útil
Matèria prima crítica en bateries de ió-liti				
Cobalt	RD del Congo: 51% Xina: 6% Rússia: 5% Canadà: 5% Austràlia: 5%	Rússia: 96% EEUU: 3%	0,71	16%
Grafit	Xina: 66% Índia: 14% Brasil: 7%	Xina: 57% Brasil: 15% Noruega: 9%	0,72	0%
Silici	Xina: 68% Rússia: 8% EEUU: 5% Noruega: 4%	Noruega: 38% Brasil: 24% Xina: 8% Rússia: 7%	0,81	0%
Matèria prima no crítica en bateries de ió-liti				
Liti	Austràlia: 41% Xile: 36% Argentina: 12% Xina 7%		N/A	N/A

Taula 1. Productes principals dels materials crítics de les bateries [1]

Dins de la Unió Europea, s’han creat plans d’acció per assolir uns objectius determinats respecte el reciclatge aquest mateix any. L’anomenat Pla d’Acció d’Economia Circular pretén conduir Europa cap a una economia més sostenible amb normatives ambicioses començant aquest gener del 2018. Són directrius que engloben tot tipus de sectors i mercats per promocionar la responsabilitat extensa dels productors (*Extended Producer Responsibility*) contemplant el reciclatge per als seus productes, incloent els costos mediambientals en el preu de mercat.

Dins d’aquest marc legislatiu s’inclou, en concret per les bateries, l’anomenada *Battery Directive* (Directiva 2006/66/EC) [22] vigent des de 2006 que ordena als productors de bateries a finançar el cost de la recollida, tractament i reciclatge dels residus de les bateries. Al ser un mercat en desenvolupament, a aquestes directrius els hi falta especificar més concretament la transferència de propietat i de responsabilitats de les bateries en cas de que se’ls hi doni un segon ús. Per bateries de vehicles elèctrics la *Battery Directive* ha d’anar acompanyada de la Directiva 2000/53/EC sobre vehicles al final de la seva vida útil i la Directiva 2008/98/EC sobre els residus en general.

La *Battery Directive* en un principi marcava com a objectiu un 25% de reciclatge per a les bateries de tot tipus venudes el 2012 i un objectiu del 45% de bateries reciclades per a l'any 2016.

Fixant-se només en les bateries de liti, la capacitat mundial per reciclar-les l'any 2016 era d'un 30% respecte el total de ventes, fet que mostra l'actual manca d'instal·lacions disponibles. Altres indicadors segons la *Battery Directive* són el tractament, les noves tecnologies i el finançaments pel reciclatge de les bateries.

L'ordenament intern espanyol ha transposat les directives europees sobre com tractar i classificar segons la perillositat els residus en general, sobre com transportar-los i sobre possibles riscos laborals.

La classificació dels diferents tipus de bateries segons la seva perillositat ve mostrada a la Taula 2:

Tipus	Pb-àcid	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ió
Residu no Perillós (RnP)			X	X
Residu Perillós (RP)	X	X		
Mercaderia Perillosa (ADR)	X	X		X

Taula 2. Classificació segons el tipus de residu [2]

3.3 Situació actual del mercat de les empreses de reciclatge

Les empreses de reciclatge es troben millor distribuïdes globalment que la matèria prima utilitzada en les bateries. Precisament a Europa, on les mines representen una fracció del total mundial quasi negligible, s'ubiquen diferents empreses rellevants per la seva capacitat de producció. La que té un pes més important és *Umicore*, ubicada a Bèlgica, pel seu recent contracte amb els fabricants de Tesla i Toyota per reciclar les seves bateries a Europa. La finalitat és recuperar, sobretot, el cobalt i el níquel. La seva capacitat actual de 7000 tones de bateries per any la situa al capdavant del mercat^[31]. *Accurec Recycling GmbH* (Alemanya) és propietària d'una indústria que té una capacitat de 1500-2000 tones de bateries d'ió-liti gastades, tot i que la seva producció anual és només de 600 tones^[31]. *Recupyl*, ubicada des de fa anys a França, ha desenvolupat el seu propi procés hidrometal·lúrgic amb una alta eficiència, però amb una baixa capacitat.

A Nord Amèrica, des de 1996, hi ha un programa creat per voluntaris d'empreses de components electrònics anomenat *Call2Recycle* que ha reciclat des d'aleshores 38,5 milions de kg de bateries de petits consumidors, però continua sent una fracció molt petita^[32]. A ciutats de Canadà, on tenen programes de reciclatge obligatori, s'ha arribat a una taxa de reciclatge del 25% de totes les bateries venudes. L'empresa *Toxco*, avui en dia anomenada *Retriev Technologies Inc.*^[33], va desenvolupar el seu propi mètode que porta funcionant 20 anys. Actualment l'empresa està investigant un nou mètode de reciclatge, inicialment portat per OnTo Technology, que consisteix en una "recuperació directa" del càtode, rejuenit al banyar-lo en una solució química. Aquest nou procés necessitaria poca energia, poca temperatura i emetria pocs gasos^[33].

Pel que fa a les companyies d'Àsia, Japó està sota una normativa similar a la UE. Compta amb una organització sense ànim de lucre anomenada *Japan Battery Recycle Center* (JBRC) que distribueix bateries usades a indústries de reciclatge. *Sony* i *Sumitomo* tenen un contracte conjunt per rebre aquestes bateries i reciclar-les amb el seu propi procés que incinera les bateries a 1000°C per recuperar òxid de cobalt principalment^[34].

A la Xina hi ha escassetat de polítiques i normatives per la recollida i reciclatge de bateries. S'espera que amb l'increment de producció i demanda previst en els propers anys, la indústria xinesa sigui capaç de suportar el flux de bateries que arribaran al final de la seva vida útil. Les empreses en actiu amb més capacitat són *GEM Jingmen* i *BRUNP Hunan*.

Empresa (Ubicació HQ)	Localització	Tipus de bateries	Procés	Tones de bateries reciclaades anuals
Europa				
Umicore Battery Recycling (BE)	Hoboken (BE)	Ió-liti, NiMH	Pirometal·lúrgic	7000
Accurec Recycling GmbH (AL)	Mülheim (AL) Krefeld (AL)	NiCd, NiMH Ió-liti	Pirometal·lúrgic amb hidrometal·lúrgic per la escòria	1500-2000
Glencore (Prèviament XStrata)	Kristianstad (NO)	Ió-liti	Pirometal·lúrgic amb hidrometal·lúrgic per la escòria	7000
Recupyl (FR)	Grenoble (FR) Singapur (SG)	Ió-liti	Hidrometal·lúrgic	110
Nord Amèrica				
Retriev Technologies	Trail (Canada) Baltimore, OH Anaheim, CA	Li metall, ió-liti	Hidrometal·lúrgic	4500
Japó				
Sony- Sumitomo	Japó	Ió-liti	Pirometal·lúrgic	120-150
China				
GEM	Jingmen, (XI)	NiMH, ió-liti	Hidrometal·lúrgic	20000-30000
BRUNP Hunan	Ningxiang (XI) Changsha (XI)	Vàries, incluides ió-liti i NiMH	Hidrometal·lúrgic	3600-10000 >6000

Taula 3. Principals empreses de reciclatge de bateries ió-liti [3]

Com es tracta d'un sector en constant desenvolupament, noves empreses i processos van emergent. Un exemple és l'start-up Li-cycle amb seu a Canadà que proposa un mètode similar al de *Toxco* amb baixos costos per obtenir productes d'alt valor, permetent una escabibilitat econòmica i més capacitat per reciclar les grans quantitats de bateries que han de venir en un futur ^[17].

Dins de l'estat espanyol no hi ha instal·lacions de les dimesions necessàries per reciclar grans quantitats de bateries, però si que hi ha algunes opcions. L'empresa privada A3, ubicada a Granollers, ofereix una solució més enfocada per a particulars, però també per fabricants i distribuïdors. Es reciclen bateries de qualsevol tipus incloent les d'ió-liti^[35].

Un dels reptes més importants pel sector del reciclatge és millorar la seva eficiència on trobem un elevat marge de millora. Possibles factors per avaluar l'eficiència d'un procés de reciclatge són ^[36]:

1. Rati de recollida de les bateries: La fracció de bateries que es recullen al final de la seva vida útil (end-of-life) respecte el total de bateries.

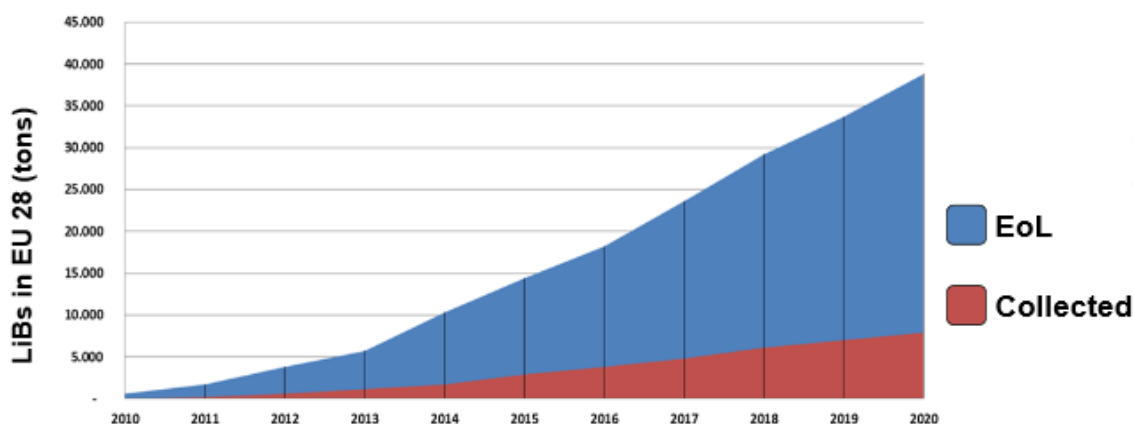


Figura 23. Gràfic comparatiu entre les bateries recollides i les obsoletes [23]

2. Rendiment del procés en relació a la quantitat de massa de metall recuperat (%).

$$\text{rendiment [\%]} = \frac{\text{massa de metall ens els productes}}{\text{massa de metall en el material entrada}} \times 100$$

3. Selectivitat: rellevància d'un metall per ser reciclat respecte la resta (%).

$$\text{Selectivitat [\%]} = \frac{\text{rendiment d'un metall}}{\sum \text{rendiments dels metalls}} \times 100$$

4. Anàlisi comparativa dels materials d'entrada i de sortida i la qualitat del material de sortida.
5. La robustesa del procés a llarg termini.

3.4 Processos químics pel reciclatge de bateries

El reciclatge de les bateries és un procés costós i complex per dos motius principalment: la tecnologia està poc desenvolupada i els processos de producció estan poc estandarditzats. Dificultats addicionals venen donades per la necessitat de desmantellar i pretractar bateries de vehicles elèctrics de grans dimensions per adaptar-les al procés de reciclatge. La majoria de processos ja implantats o per venir tenen com a objectiu aconseguir un circuit tancat de materials per obtenir una economia circular profitosa per a tothom.

Un primer pas que poden requerir els processos químics de reciclatge és la separació mecànica de components electrònics, cables, contenidor, etc. Aquest pas també pot incloure la necessitat d'aixafar certs materials. Els processos químics poden ser molt variats, però bàsicament es redueixen en el procés pirometal·lúrgic, el hidrometal·lúrgic o la combinació d'ambdós [37, 38]. De forma genèrica, el procés pirometal·lúrgic processa cel·les d'ió-liti a altes temperatures sense previ tractament mecànic, ja que la bateria es càrrega directament dins del forn específic. Aquest tipus de procés recupera materials com el cobalt, el níquel, el coure i el ferro en forma d'aliatges metàl·lics. Altres com l'alumini, el manganès i el liti es perden amb l'escòria i el plàstic i altres components orgànics són incinerats.

D'altra banda, el procés hidrometal·lúrgic inclou un pretractament mecànic seguit d'una recuperació a partir de la lixiviació, la precipitació, l'extracció de solvent, l'intercanvi d'ions amb resines i la biolixiviació. A part del níquel, el cobalt, el ferro i el coure, aquest procés és capaç de recuperar el liti amb una puresa elevada. Abans d'un procés hidrometal·lúrgic es pot realitzar un pretractament tèrmic per eliminar els components orgànics i el grafit que afecten negativament a la lixiviació i als passos de separació sòlid-líquid.

Material	Combinació Piro-Hidro (NMC i LFP) [%]	Hidrometal·lúrgic (Només per NMC) [%]	Pirometal·lúrgic (Només per LFP) [%]
Liti	57	94	81
Níquel	95	97	NA
Manganès	0	100	NA
Cobalt	94	100	NA
Ferro	0	NA	0
Fosfat	0	NA	0
Grafit	0	0	0

Taula 4. Eficiència dels processos de reciclatge [4]

3.4.1 Procés pirometal·lúrgic

El procés més utilitzat és el patentat per l'empresa de recuperació de metalls *Umicore*, especialitzada en bateries de ió-liti i de Ni-MH. El procés consta del seu propi mètode pirometal·lúrgic acompanyat d'un procés hidrometal·lúrgic. El principal objectiu de l'empresa és aconseguir la recuperació del cobalt i del liti de les bateries ió-liti i el níquel de les de Ni-MH [39].

El procés es divideix en les següents cinc fases [40]:

- Fase 1: Fosa amb valorització energètica.
- Fase 2: Refinat.
- Fase 3: Purificació de metalls.
- Fase 4: Oxidació de CoCl_2 a Co_2O_3 i obtenció de NiSO_4 .
- Fase 5: Producció d'òxid de liti metàl·lic (LiCoO_2) i de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ per noves bateries.

Fase 1

S'introdueixen les bateries senceres en un forn amb els següents objectius:

1. Evaporar l'electròlit.
2. Fondre tots els metalls.
3. Aprofitar la capacitat calorífica dels plàstics presents.
4. Utilitzar el grafit del càtode com agent reductor per reduir els òxids de metalls a la seva forma metàl·lica.

El control del desenvolupament d'aquesta etapa és fonamental. L'electròlit pot explotar per sobrepressions al escalfar-se i es poden produir fugues de compostos orgànics volàtils. En el forn utilitzat es localitzen tres zones amb temperatures diferents on tenen lloc diferents processos.

A la zona de preescalfament, les temperatures es mantenen per sota dels 300°C . Els gasos calents pugen des de les zones amb temperatures superiors per escalfar l'alimentació de les bateries lentament reduint el risc d'explosions. En aquesta zona s'evapora l'electròlit.

A la zona central es realitza el procés exotèrmic de la piròlisi del plàstic. Es retira el plàstic de la bateria a una temperatura aproximada de 700°C . En aquesta zona es generen els gasos calents esmentats prèviament que són tractats per poder ser evacuats com a gasos no contaminants.

El material restant es fon al fons del forn on les temperatures han de trobar-se entre els 1200-1450°C. S'injecta aire enriquit en O₂ amb llances d'oxigen perquè el metall reaccioni i es redueixi a fases d'aliatge. També s'obté escòria que conté òxid de liti, òxid d'altres metalls i restes de ferro. L'escòria formada s'utilitza per fer blocs de formigó i ser venuda al sector de la construcció [41].

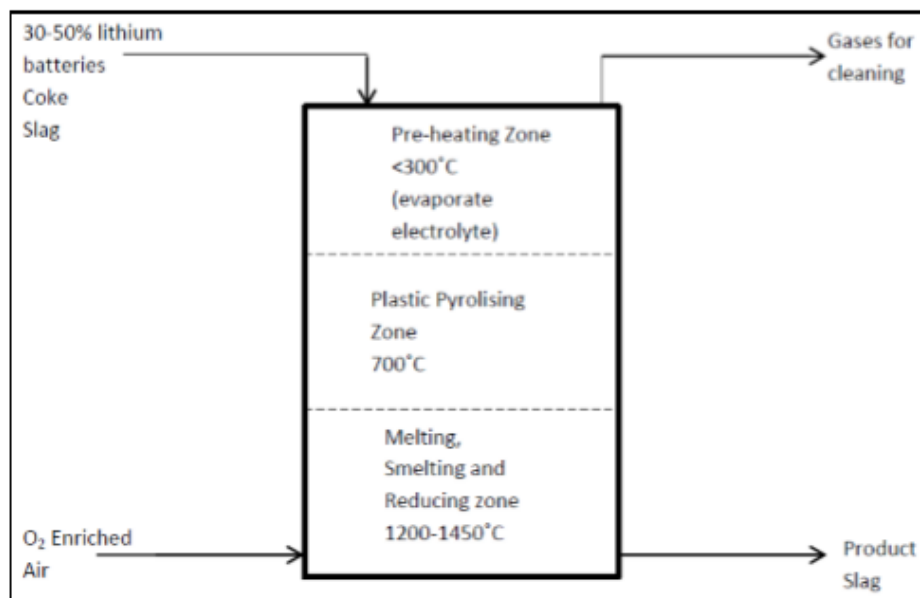


Figura 24. Distribució de les diferents zones del forn [24]

Fase 2 i 3

Consisteix en refinar i purificar els metalls de l'aliatge obtingut en la primera fase (cobalt, níquel, coure i ferro) a través d'un procés hidrometal·lúrgic. Mitjançant el lixiviat amb àcid sulfúric i, després d'ajustar el pH, es poden separar els metalls principals obtenint un flux de NiSO₄ i un altre de CoCl₂. Finalment, es purifiquen aquests fluxos extraient el dissolvent.

Fase 4 i 5

El CoCl₂ s'oxida en un forn sota les condicions específiques desenvolupades per *Umicore*. En aquest forn s'obté òxid de cobalt d'alta qualitat que es requereix per obtenir el LiCoO₂ de l'ànode de les noves bateries d'ió-liti fent-lo reaccionar amb LiCO₃.

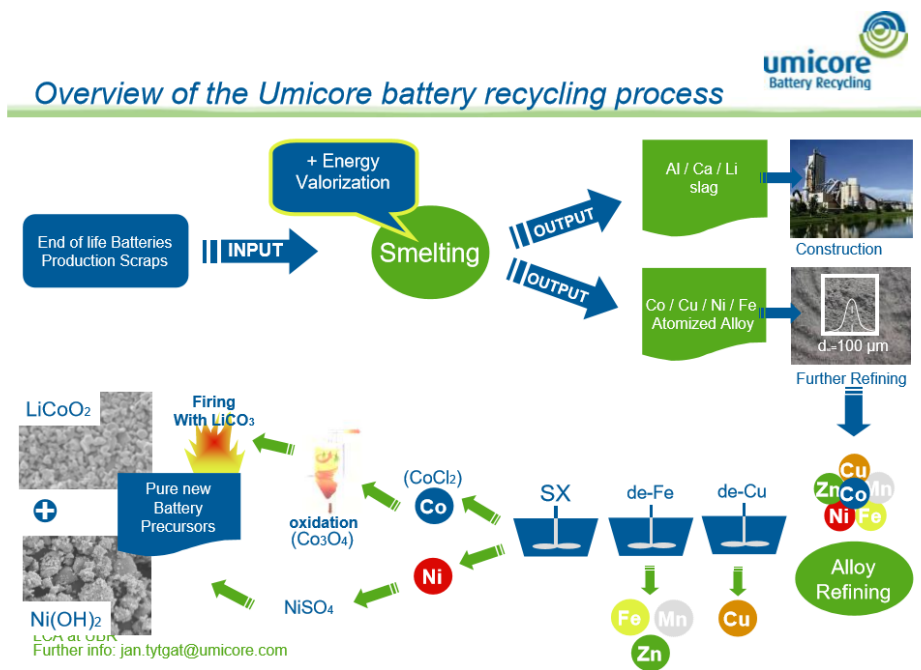


Figura 25. Esquema resum del procés de reciclatge Umicore [25]

3.4.2 El procés hidrometal·lúrgic

Aquest procés va sorgir com a conseqüència de la necessitat legal de complir amb la normativa de recollida i reciclatge de les bateries a Canadà. L'objectiu principal d'aquest procés és recuperar el liti de tot tipus de bateries i, per tant, es tracta d'un procés per cobrir un problema en comptes d'un procés amb una elevada rendibilitat econòmica.

En aquest cas, es segueix una metodologia diferent amb les bateries de Ni-MH i les d'ió-liti perquè els materials dels elèctrodes de les primeres són més estables que els de les segones, al tenir una alta reactivitat a la temperatura de treball [28].

Les fases d'aquest procés són:

- Fase 1: Bany criogènic
- Fase 2: Procés mecànic
- Fase 3: Reacció
- Fase 4: Separació de sals

Fase1

La reactivitat de les bateries d'ió-liti fa que es requereixi submergir-les en un bany de nitrogen líquid a una temperatura de -198 °C per mitigar aquest problema.

Fase 2

Un cop eliminat el risc de que es produeixin reaccions perilloses dins de les bateries de liti, es passa a la fase de mecanització. Aquesta fase consisteix en triturar-les en molins de martells fins aconseguir una reducció de les dimensions i l'homogeneïtzació de les peces.

Fase 3

Els fragments de les bateries s'introdueixen en un tanc de reacció juntament amb aigua i Li-OH per mantenir el pH a 10 com a mínim. Depenent de la naturalesa química de les bateries, es formaran diferents sals a l'interior i precipitaran a mesura que augmenti la seva concentració. Solen ser elements com LiCl, LiCO₃, LiSO₃ entre altres. La resta de materials (plàstics i metalls com el coure, el cobalt o l'acer) es separen i es venen per altres usos.

Fase 4

Les sals a mesura que van sedimentant es van transportant contínuament a un tanc de sedimentació i, tot seguit, passen per un filtre de premsa que concentra les sals amb una humitat del 28%. A continuació, la concentració de sals es situa en un electròlit que conté àcid sulfúric. Les sals es separen en Li⁺ i diferents anions que seran expulsats amb una membrana per on es fa passar el material.

Es pot obtenir Li-OH amb una mescla bàsica que es pot fer servir per ajustar el pH en la etapa anterior o s'obté LiCO₃ fent passar bombolles de CO₂ a través de la dissolució [28].

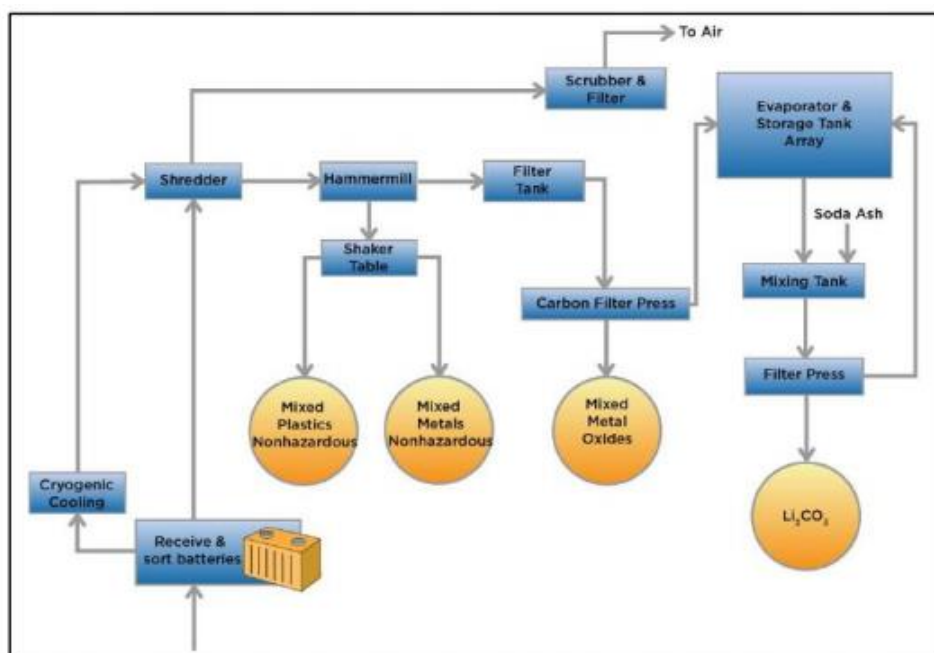


Figura 26. Esquema del procés hidrometal·lúrgic [26]

3.4.3 Procés Recupyl

El procés consisteix en una combinació de tractaments mecànics i químics per obtenir carbonat de liti. Primer de tot es tracta la ferralla de les bateries: s'aixafa i es fa la separació magnètica per densitats per obtenir una pols fina i homogènia. La següent etapa és el procés hidrometal·lúrgic format per les fases d'hidròlisi, lixiviació i precipitació. Es recupera el liti en forma de Li_2CO_3 i el cobalt en forma d'hidròxid de cobalt. El procés d'aixafament en el triturador rotatiu es divideix en dues parts. El triturador opera en una atmosfera de CO_2 i 10-35% argó. El CO_2 reacciona amb liti elemental per formar Li_2CO_3 , menys reactiu que el liti elemental. Les bateries aixafades es traslladen a la zona de la separació física i el gas generat s'usa per crear una atmosfera pels següents passos.

La separació magnètica separa els components d'acer triturats del contenidor de les bateries de dimensions més grans. La resta de material es separa a la taula mètrica de densitats. Elements de baixa densitat com el plàstic i d'alta densitat com els metalls que no contenen ferro es venen. El material separat físicament es tracta per hidròlisi. Es suspèn en aigua i s'afegeix hidròxid de liti per aconseguir un pH de la solució d'entre 12 i 13. El liti dels elèctrodes es dissol en forma de sal de liti en solució. La hidròlisi genera hidrogen que és ventilat amb el gas inert generat a la trituració. Els òxids de metall i el carboni en la solució són separats per filtració i la solució de liti es porta a la fase de sedimentació.

El liti precipita de la solució alcalina de lixiviatos en forma de Li_2CO_3 reaccionant amb el CO_2 , amb un pH de la solució de 9. El flux d'òxids de metall i carboni separats prèviament és lixiviat en àcid sulfúric. L'òxid de metall es dissol deixant carboni com a residu i es purifica per obtenir per precipitació el cobalt [42].

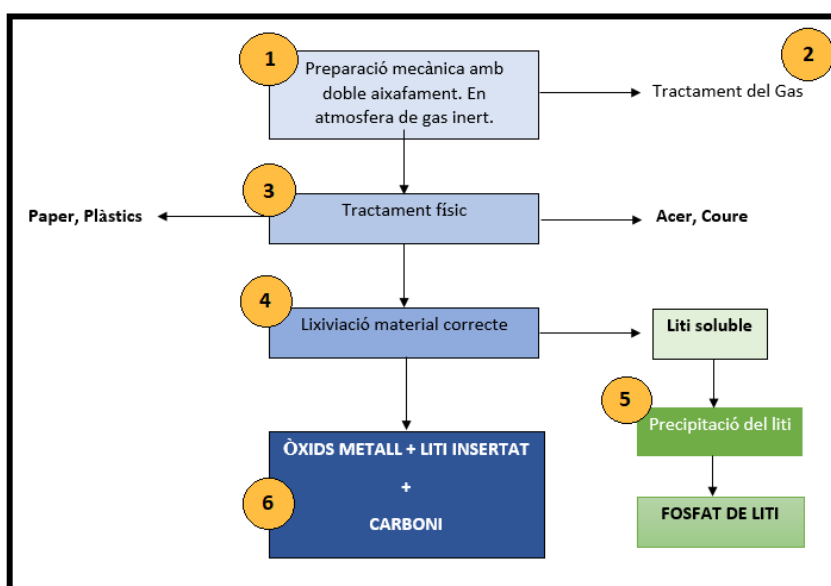


Figura 27. Esquema del procés Recupyl [26]

3.4.2 Evolució de nous processos de reciclatge

Com s'ha vist, en un futur es preveu l'aparició de noves químiques i tecnologies per a bateries de vehicles elèctrics. Si es compleixen les previsions, és probable que els processos de reciclatge siguin molt diferents i que puguin ser rentables econòmicament.

3.5 Viabilitat econòmica del reciclatge

Com bé s'ha explicat, la viabilitat econòmica d'un procés actual de reciclatge és poc factible. El procés industrial ha de ser a gran escala i estandarditzat per poder reduir el seu cost i aconseguir que el valor intrínsec dels materials recuperats sigui superior. Aquest seria el cas de l'empresa *Umicore*.

Com aquest treball no pretén analitzar la viabilitat econòmica d'una planta de reciclatge, a continuació es mostra un estudi dels possibles valors dels materials a recuperar amb el reciclatge. Analitzant els tipus de bateries més usats per vehicles elèctrics (LCO, NMC, LMO, LFP i NCA), s'obté la següent distribució dels pesos mitjans ^[36] dels elements que formen una bateria:

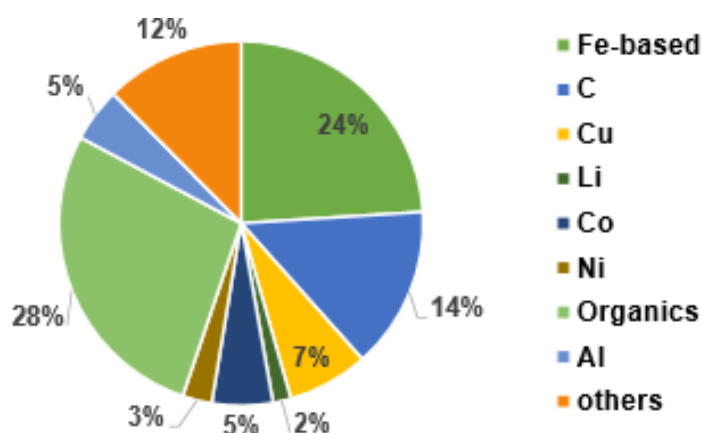


Figura 28. Distribució del pes mitjà en les bateries dels diferents elements [28]

Només un 60% del pes s'intenta recuperar per a futurs usos en bateries, la resta són components orgànics o es converteixen en escòria quan es recicla. Considerant només aquest 60 %, 1 kg de ferralla de bateria conté un valor potencial dels seus elements de 5,34 € ^[36].

Hi ha estudis que mostren que dos processos diferents poden obtenir diferents valors dels productes reciclats. S'ha de considerar que el rendiment o eficiència dels processos de reciclatge no serà mai del 100%, així que el valor calculat és una aproximació, però tot i així és una bona representació ^[36].

El primer procés constava només en dues etapes. La primera és el desmantellament on es retira també el contenidor de la bateria. Normalment s'extreu acer i alumini del contenidor i, a vegades, plàstic. La segona etapa consisteix en un tractament tèrmic i químic per obtenir la fase metàl·lica i escòria i gasos com a conseqüència.

L'anàlisi del valor dels elements d'interès extrets en aquest procés mostra que es poden arribar a obtenir 4,03 €/Kg de bateria, que representa un 75% del valor inicial. De la primera etapa s'obtenen 0,82€/Kg i de la segona, 3,21 €/Kg. La diferència és força considerable perquè tots els materials crítics s'obtenen en la segona fase (Ni, Co, Cu, Li, ...) i el seu preu és molt més elevat.

El segon procés estava constituït per 5 etapes. Com es podien tractar al detall tots els materials, el refinament és superior i es recupera el preu de 5,34€/kg inicial.

Com era d'esperar, quan augmenta la complexitat del procés també es torna més car. Com s'ha pogut comprovar, el segon procés és capaç de recuperar el valor inicial dels components de la bateria, però a un cost de procés molt superior al valor recuperat. El primer procés, encara que resulti més senzill i barat, també resulta ser més car que el valor dels productes refinats.

3.6 Conclusions

La principal conclusió que s'extreu d'aquest estudi sobre el reciclatge de les bateries iò-liti és que, avui en dia, aconseguir un procés de reciclatge econòmic i ambientalment rentable és d'una dificultat elevada per diversos factors.

Al ser un sector que ha sorgit molt recentment, la tecnologia i la industrialització no està suficientment desenvolupada per realitzar processos que aportin beneficis. Sí que hi ha poques empreses, com *Umicore*, que ja tenen un procés implementat que assegurin que és rentable, però aquesta no és la situació més habitual.

L'evolució pronosticada pels pròxims anys promet un increment de l'ús de bateries de liti, suposant el mateix increment de bateries obsoletes a la fi de la seva vida útil. Aquest fet ha de forçar i incentivar al mercat de producció i al de reciclatge a desenvolupar-se per ser capaç de tractar aquesta quantitat de residus de bateries en termes de recollida, tractament i refinat per aconseguir nous materials, reduint així l'impacte ambiental.

Un altre factor a tenir en compte és que el preu del liti no té tanta rellevància com altres materials del càtode de les bateries. L'any 2015 el preu del liti a Xina era de 7,7\$/kg i el 2016 va arribar a un màxim de 26,8\$/kg ^[43] sense provocar un augment significatiu del preu de les bateries. És clar que si el preu de cost d'aquests materials patís un increment significatiu que repercutís en el preu de les bateries, la via del reciclatge per proporcionar metalls refinats per a noves bateries es convertiria en una opció real.

Des del punt de vista empresarial, la situació esmentada provoca que la creació d'un negoci de reciclatge sigui poc rentable. On sí hi ha una oportunitat de negoci és entre el fi de la vida útil de les bateries i el reciclatge d'aquestes. Donar un segon ús a bateries que encara disposen del 80% de la seva capacitat inicial, pot ser un negoci profitós i si aquest procés s'implanta de forma extensa pot arribar a rebaixar el preu final d'una bateria nova. Es reduiria el preu perquè la bateria no s'amortitzaria només en els 8-10 anys del primer ús, sinó que s'afegirien molts més cicles fins que es retirés del mercat. Aquesta oportunitat de negoci és en el que es centrarà la major part d'aquest treball.

Tot i així, aquestes bateries, un cop acabada la seva segona vida, s'han de retirar del mercat i reciclar. Per tant, la importància d'un procés de reciclatge eficient és clara. L'objectiu de totes les parts d'aquest sector hauria de ser aconseguir una economia circular aprofitant al màxim el valor de les bateries per impactar positivament en el medi ambient, mercat i la societat, reduint del preu de les bateries.

4. Estudi de la reutilització de les bateries de liti

4.1 Importància de la reutilització en el mercat de les bateries

En vista dels obstacles trobats per aconseguir que el reciclatge dels elements de les bateries sigui una opció rendible, els fabricants de cotxes han optat per donar-li una altra sortida a les bateries gastades per allargar el seu cicle de vida abans de jubilar-les definitivament. Com s'ha esmentat anteriorment, tant Nissan com Renault han volgut donar una segona vida a aquests dispositius com a cel·les d'emmagatzematge d'energia a les llars, aliant-se respectivament amb les signatures *Eaton* i *PowerVault* ^[44].

La start-up britànica *Acceleron* aposta per seguir el mateix camí com a alternativa als cars processos de reciclatge. La tecnologia que ha desenvolupat permet comprovar si encara són aprofitables i preparar-les perquè puguin ser usades de nou. Com es tracta d'un producte barat, es destina, de moment, a persones amb pocs recursos energètics ^[44].

Per impulsar els avenços tecnològics en el sector, tant en el reciclatge com en l'augment de la seva capacitat d'emmagatzematge, la Unió Europea promou iniciatives com *Green Car*, dins del projecte *Batteries 2020* per a la reutilització de les bateries de l'automoció com acumuladors per energies renovables. Hi van participar universitats i centres de recerca, inclòs un espanyol, i empreses com *Abengoa* o *Fiat* ^[44].

Per tant, a la vista dels fabricants i empreses que aposten per la reutilització de les bateries, s'ha decidit optar per aquesta via per allargar la seva vida útil. D'aquesta manera, es redueix l'impacte ambiental de la producció de bateries i es retarda el seu reciclatge. Així es pot esperar que hi hagi infraestructures adequades o suficients per enfrontar-nos a la quantitat d'acumuladors esgotats que sembla aproximar-se.

4.2 Reutilització de les bateries de les motos elèctriques

4.2.1 Justificació

Com ja hem vist, el processament de la majoria d'elements que componen les bateries d'ió-liti té un cost molt elevat convertint el reciclatge en un procés poc rentable. D'aquí sorgeix el concepte de la segona vida de bateries per trobar una alternativa viable per les bateries que ja no són útils pel sector automobilístic amb l'objectiu de retardar el reciclatge de les bateries. Les principals aplicacions on es poden utilitzar les bateries de segona vida són d'emmagatzematge d'energia en estat estacionari.

A primera vista sembla l'oportunitat perfecta per recuperar part del valor de les bateries d'ió-liti que es perdria en el reciclatge. Malgrat tot, hi ha algunes raons de pes per les quals la reutilització de les bateries dels cotxes elèctrics no és una bona opció en aplicacions d'emmagatzematge d'energia en estat estacionari. Utilitzar una bateria de segona vida no és tan simple com extreure la bateria del cotxe elèctric i instal·lar-la directament a l'aplicació corresponent.

Primer de tot, s'ha d'extreure la bateria del cotxe manualment. En aquest procés ens trobem amb dos problemes principals: l'estandardització del procés i la inversió inicial que comporta. Les bateries es caracteritzen per tenir un pes molt elevat, per tant, no pots extreure la bateria del cotxe i transportar-la tu mateix. Per fer-nos una idea, una bateria de cotxe petita pesa centenars de kg i la que podem trobar en un vehicle elèctric pur estàndard pot arribar a pesar mitja tona. Per aquest motiu es necessita una interfície estandarditzada que permeti extreure i inserir la bateria de manera segura per part dels robots. Un cop dissenyada, cal construir una xarxa d'estacions d'intercanvi. Aquesta instal·lació. Considerada una instal·lació industrial menor, necessita energia trifàsica, un munt de maquinària pesant i accés per a un gran nombre de vehicles ^[45].

Així doncs, la gran inversió de capital i els problemes d'estandardització fan difícil que les bateries de segona vida provinents dels cotxes elèctrics es converteixin en una opció viable per competir en el mercat actualment. Fins que no es trobin solucions pel problema d'extracció de bateries, l'augment de cost que suposa per les bateries de segona vida farà que disminueixin les seves possibilitats de competir amb les de primera vida.

Arribats a aquest punt, com el futur de la tecnologia d'extracció de les bateries dels cotxes elèctrics és incert, hem decidit centrar-nos en les bateries de les motos elèctriques. Aquestes bateries, a diferència de les anteriors, són petites i manipulables. Moltes de les motos elèctriques que trobem avui en dia tenen bateries extraïbles, la qual cosa anul·la el problema de l'extracció de bateria del vehicle que trobem en els cotxes.

4.2.2 El mercat actual de les motos elèctriques

Per poder dur a terme el nostre projecte és important saber quines motos elèctriques es troben actualment al mercat, tenint en compte que seran les seves bateries les que reutilitzarem més endavant per donar-los una altra aplicació.

Segons la XXI edició del Club de Demanda de Moto, organitzada pel mercat MSI al gener d'aquest any, la previsió del mercat de les motos durant el 2018 a Espanya segueix la següent tendència ^[46]:

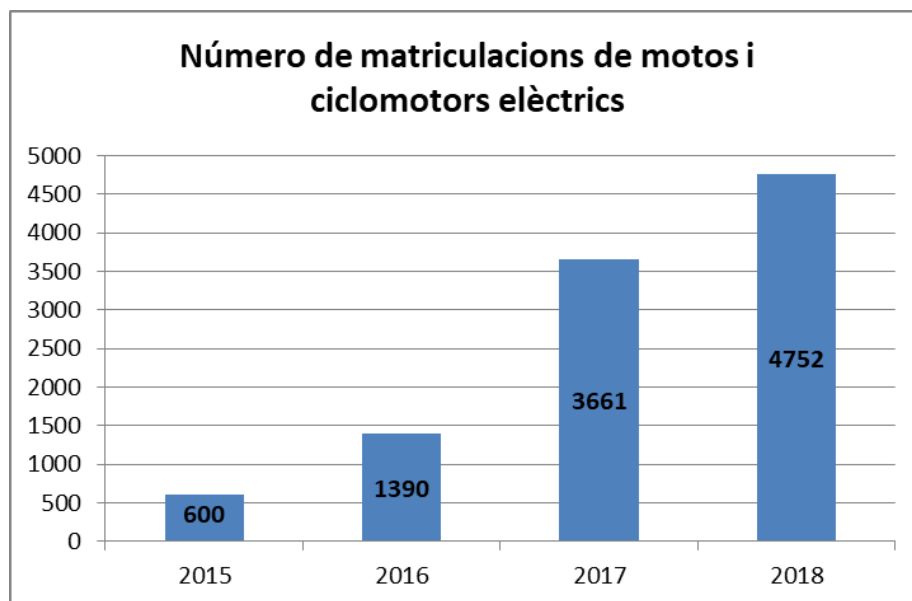


Figura 29. Evolució del nombre de matriculacions de motos elèctriques [29]

La previsió de noves matriculacions per l'any 2018 és de 4.752 motos elèctriques. Com es pot observar, durant els últims anys el creixement d'aquest mercat ha estat positiu, el que ens fa pensar que seguirà creixent en els pròxims anys.

El mercat espanyol de les motos elèctriques, sobretot en la categoria de ciclomotors (fins a 45km/h), ha patit un creixement del 270,6% durant l'any 2017. L'explicació d'aquest fenomen resideix en la competitivitat de les marques al Moto-Sharing de les grans ciutats que va començar l'any 2016. Al 2018, aquestes flotes de motos elèctriques segueixen creixent amb un augment significatiu del 30% ^[46].

	PREVISIÓ MARQUES ELÈCTRIQUES 2017/18							
	2015		2016		2017		2018	
	Unitats	Quota	Unitats	Quota	Unitats	Quota	Unitats	Quota
Torrot		0,0%	21	1,5%	1385	37,8%	2184	46,0%
Govecs	9	1,5%	330	23,7%	640	17,5%	925	19,5%
Scutum	89	14,8%	321	23,1%	546	14,9%	509	10,7%
Going Green	124	20,7%	258	18,6%	337	9,2%	350	7,4%
BMW	86	14,3%	60	4,3%	170	4,6%	153	3,2%
Emco	1	0,2%	58	4,2%	109	3,0%	217	4,6%
Askcoll		0,0%		0,0%	75	2,0%	71	1,5%
Bultaco		0,0%	23	1,7%	50	1,4%	58	1,2%
Kingday		0,0%	9	0,6%	40	1,1%	42	0,9%
Luyuan		0,0%		0,0%	37	1,0%	40	0,8%
Zero	24	4,0%	42	3,0%	30	0,8%	24	0,5%
Jiangsu Dafier		0,0%		0,0%	14	0,4%	12	0,3%
SUNNY		0,0%	3	0,2%	13	0,4%	14	0,3%
Yamaha	6	1,0%	11	0,8%	12	0,3%		0,0%
Znyhug	31	5,2%	7	0,5%	11	0,3%	11	0,2%
KTM	8	1,3%	12	0,9%	10	0,3%	3	0,1%
Quazzar	6	1,0%	9	0,6%	10	0,3%	9	0,2%
Estrima	2	0,3%	4	0,3%	10	0,3%	6	0,1%
Urco		0,0%		0,0%	9	0,2%	8	0,2%
Bereco	15	2,5%	5	0,4%	8	0,2%	6	0,1%
Resto	199	33,2%	217	15,6%	144	3,9%	109	2,3%
Grand Total	600	100,0%	1390	100,0%	3661	100,0%	4752	100,0%

Figura 30. Previsions anuals de ventes de les principals marques [30]

En el Top Ten de les motos elèctriques més venudes apareixen marques de producció nacional com *Scutum*, *Going Green*, *Bultaco* i *Torrot*. Les previsions per l'any 2018 estan liderades per la marca *Torrot* amb una venda de 2.184 unitats del model *Muvi*. Aquest fet, la posiciona amb una quota del 46% del mercat de les motos elèctriques.

Durant els primers mesos del 2018, les matriculacions que s'han produït en el sector de les motocicletes elèctriques han estat els següents. Segons l'article publicat per l'ABC, al febrer es van matricular 35 motos elèctriques i 219 ciclomotors elèctrics. Això suposa un creixement del 6,1% i del 72,4% respectivament. A més, al gener es van registrar 102 motos elèctriques matriculades durant el mes amb un creixement del 39,7%, mentre que, els ciclomotors elèctrics van augmentar un 343% amb 891 unitats matriculades, representant un 35,8% del mercat total de ciclomotors [46].

4.2.3 Característiques de les bateries

Tenint en compte les ventes de motos elèctriques de l'any 2018, s'han seleccionat les motos elèctriques més venudes per analitzar les característiques de les seves bateries. Les marques de motos elèctriques que lideren el mercat actualment són les *Torrot*, les *Govecs*, les *Scutum* i les *Going Green*. S'ha decidit escollir aquestes marques perquè com són les més abundants al mercat, les seves bateries també seran les més abundants un cop deixin de ser útils en el sector automobilístic.

A continuació es determinen les característiques de les bateries de les marques esmentades anteriorment.

En el cas de les motos *Scutum*, el model més venut és el *Silence S02*. La seva bateria té una capacitat de 6kWh, superior a la capacitat de la resta de motos. Per tant, és una opció interessant per les aplicacions d'emmagatzematge d'energia.

Model	Scutum Silence S02
Tipus de bateria	LiFePO ₄
Capacitat	6kWh
Voltatge	48V
Extraïble	Sí
Tipus de carregador	Extern 600W amb endoll estàndard 230 V
Número de cicles pel 80%	900

Una altra marca molt venuda a Espanya és la *Torrot*. El model més venut actualment és el *Torrot Muvi*. La bateria de la *Torrot* no té una capacitat tan elevada, però té una vida útil més llarga. Per aquest motiu, també és una opció interessant.

Model	Torrot Muvi
Tipus de bateria	LiNiCoMn
Capacitat	2,4 kWh
Voltatge	48V
Extraïble	Sí
Temps de càrrega 100%	Carregador doble 54,6V a 5A en 3,5 hores
Temps de càrrega 80%	Carregador doble 54,6V a 5A en 3,5 hores

Les *Govecs* i les *Going Green* no ofereixen bones prestacions a nivell de bateria si es volen utilitzar després per altres funcions. Les seves bateries tenen una capacitat molt reduïda. Les bateries dels models que es venen a Espanya es detallen a continuació.

Model	Govecs GO! S1.5
Tipus de bateria	Liti pack recarregable
Capacitat	2,1kWh
Voltatge	72V
Pes	18 kg
Extraïble	Sí
Temps de càrrega (80%)	2-3 h (1 h)
Tipus de carregador	72 V en endoll estàndard 220V
Vida estimada	50.000 km

Model	Govecs GO! S2.5
Tipus de bateria	Liti
Capacitat	3 kWh
Pes	30 kg
Extraïble	No
Temps de càrrega (80%)	4-5 h (2 h)
Tipus de carregador	72 V en endoll estàndard 110-240V
Vida estimada	50.000 km

Model	Govecs GO! S3.6
Tipus de bateria	Liti
Capacitat	4,6 kWh
Pes	45 kg
Extraïble	No
Temps de càrrega (80%)	5-6 h (2 h)
Tipus de carregador	72 V en endoll estàndard 110-240V
Vida estimada	50.000 km

El model *The Core* pertany a la marca *Going Green*. És una moto creada originalment pel servei de Moto-Sharing de *Motit* de Barcelona i la seva bateria té les característiques següents.

Model	Going Green The Core
Tipus de bateria	Liti Polímer
Capacitat	2 a 4 kWh
Extraïble	Sí
Tipus de carregador	De 400 a 650 W extern
Temps de càrrega	5 h

En el cas de les bicicletes elèctriques les marques amb més vendes durant els últims anys són la *Moma Bike* i la *Biwbik*. Aquestes bicicletes tenen una bateria d'ió-liti de 36V i 16Ah.

4.2.4 Classificació dels diferents tipus de bateries

Un cop analitzat el mercat de les bateries de liti provinent de motos i bicis elèctriques convé determinar quines són les més adients segons l'ús que se'ls hi vulgui donar considerant que es reutilitzaran de forma directa sense reconfigurar els mòduls. En el cas d'haver de reconfigurar els mòduls es prendrien altres factors com a determinants.

La distribució de les diferents bateries en relació al segon ús que se'ls doni es decidirà en funció dels següents factors. Com que les aplicacions desitjades no tenen una alta demanda d'energia interessa bateries que treballin per sota del llindar dels 72V. També és desitjable que tinguin una alta capacitat per emmagatzemar més energia i tenir, en conseqüència, cicles entre càrregues més llargs. Per instal·lacions fixes, la mida i el volum no són molt rellevants, així que quanta més capacitat tinguin més autonomia tindrà. En canvi, per aplicacions on les bateries s'hagin de traslladar, es prefereixen bateries amb més densitat d'energia perquè siguin menys pesades. Pel que fa a la química de les bateries, com bé s'ha analitzat, interessin aquelles amb una densitat d'energia i potència altes, amb una vida útil més elevada, més segures i amb el preu més baix. La proximitat de l'empresa productora es té en compte perquè suposaria clarament una reducció dels costos logístics. També es considera la facilitat d'extracció de la bateria per reduir costos de mà d'obra i la quantitat de vendes de l'empresa, ja que significa més mercat de bateries obsoletes en un futur pròxim.

Després d'avaluar tots aquest factors es descarten certes bateries des d'un principi. L'empresa *Govecs* només utilitza en els seus models bateries amb una tensió nominal de 72 V, produeix les motos fora Espanya i el preu és més elevat. Per aquests motius, les bateries d'aquestes motos no s'utilitzaran. El fet que sigui la marca de les motos utilitzades pel servei de mobilitat que existeix a Barcelona *eCooltra* pot fer canviar aquesta decisió.

Les bateries de la marca *Going green* es descarten principalment per la poca quantitat de models existents en el mercat actual, el que comporta disposar de poques bateries.

Les bateries restants són les de les motos *Scutum* i *Torrot* i les de les bicicletes elèctriques. Per decidir quines utilitzem es farà un estudi més profund d'aquests tipus de bateries per diferenciar els respectius avantatges de cadascuna.

Les bateries del model S02 de la marca *Scutum* tenen una capacitat de 6 kWh. Treballen a una tensió nominal de 48 V i són fàcilment extraïbles. La seva química és LiFePO_4 proporcionant una vida útil i una seguretat elevades. Les aplicacions adequades per aquestes bateries seran aquelles on es necessiti una alta capacitat, però el seu pes elevat fa convenient que no s'hagin de moure gaire.

Les motos *Torrot Muvi* disposen de bateries de 2,4 kWh treballant a 48V. El càtode és de NMC i, per tant, aquestes bateries tenen una alta energia específica (Wh/kg). Seran adients per usos on siguin necessàries bateries lleugeres i d'una mida petita, però amb una energia específica elevada.

Finalment les bateries de les bicicletes treballen a 36 V i proporcionen 16Ah i, per tant, tenen una capacitat de 0,576 kWh. S'utilitzaran aquests tipus de bateries per aplicacions on es requereixi poc pes i poca capacitat.

4.3 Possibles aplicacions de segona vida de les bateries

Un cop s'han conegut els diferents tipus de bateries de les quals es disposa, es determina quins possibles usos se'ls hi poden donar i si aquests són adequats per a la nostra idea d'empresa. Les aplicacions escollides s'han dividit en dos grups, segons la seva funció principal:

1. Aplicacions de consum
2. Aplicacions d'emmagatzematge

S'avaluarà la viabilitat tecnològica i econòmica de cada possible aplicació tenint en compte les limitacions que suposa utilitzar bateries de segona vida procedents de bateries elèctriques.

4.3.1 Aplicacions de consum

Són aplicacions en què l'energia generada es consumeix en el mateix lloc de generació. L'ús donat pot ser de consum directe sense necessitat de carregar l'acumulador o recarregant prèviament l'acumulador per utilitzar-lo quan no hi hagi energia solar (o d'altres tipus: eòlica, mecànica...), o bé quan el consum directe sigui insuficient o irregular.

A continuació es detallen les aplicacions de consum que s'han valorat:

1. Equips de vigilància

Una possible aplicació és instal·lar equips de vigilància mòbils en zones sense connexió a la xarxa general. S'alimenten de l'energia solar que capten les plaques solars i acumulen l'energia en les bateries que s'encarreguen de subministrar l'electricitat als equips de vigilància quan és necessari. Actualment, aplicacions d'aquest estil ja s'estan implementant a la xarxa viària de Catalunya. Són sistemes de vigilància col·locats principalment en autopistes i que s'alimenten majoritàriament amb energia solar. Les deficiències de la instal·lació solar les cobreix la xarxa elèctrica.

Per una altra banda, l'empresa *Ecam Secure* s'especialitza en la producció de generadors híbrids per subministrar l'energia necessària als equips de vigilància. Tota l'energia que no poden proporcionar les bateries, la subministra un generador de combustible dièsel.



Figura 31. Equip de vigilància autònom de la marca Ecam Secure [31]

Degut a la demanda energètica d'aquests sistemes i que requereixen una elevada autonomia, no és viable usar únicament bateries d'ió-liti. Per aquest motiu, les aplicacions reals mencionades prèviament incorporen vies d'alimentació alternatives. L'objectiu d'aquest projecte pretén ser utilitzar exclusivament bateries de segona vida i, per tant, es descarta des del principi fer una anàlisi més extensa d'aquest ús.

2. Fanals i senyalitzacions solars

Optar per enlluernar les ciutats amb fanals i senyalitzacions solars és una idea que s'està fent més popular cada vegada. Vitòria, Tarragona, Ciutat Real o Màlaga són algunes de les ciutats espanyoles que han implementat les faroles solars en nuclis urbans. Un bon indicatiu que aquesta aplicació serà més habitual en el futur és que aquesta mesura s'està incloent en projectes viables i de futur com les *Smart Cities* ^[47].

Per exemple, la instal·lació de fanals solars amb generació fotovoltaica en el projecte *Smart City Màlaga* va ser una de les mesures que ha contribuït en la disminució del 20% del consum de l'energia de la ciutat.

Cada vegada són més les ciutats que decideixen que la seva instal·lació és beneficiosa pels ciutadans. El motiu és que a més de generar estalvis energètics, contribueixen al desenvolupament de la sostenibilitat i la protecció del medi ambient.

Pels motius esmentats anteriorment, veient que els fanals solars en els nuclis urbans s'estan convertint en una alternativa real i eficient, hem considerat que aprofitar les bateries de segon ús per emmagatzemar l'electricitat necessària per il·luminar els carrers és una bona solució de reutilització. A part de fanals solars, es pot muntar una instal·lació similar però per alimentar senyalitzacions solars de tot tipus.

Aquesta aplicació també resulta interessant per enlluernar les zones on no arriba la xarxa elèctrica. La llum s'alimenta de l'electricitat que generen les mateixes plaques solars, per tant, no fa falta dissenyar un elaborat sistema d'interconnexions que augmenta el cost de la instal·lació.

Les plaques solars s'encarreguen de captar l'energia solar durant el dia i transformar-la en electricitat. Aquesta electricitat s'emmagatzema en les bateries de segon ús per poder utilitzar-la durant la nit. El regulador de càrrega serveix per evitar que es produeixin sobrecàrregues i l'inversor transforma el corrent continu que s'obté de les plaques fotovoltaïques, en el cas que els fanals funcionin amb corrent altern. Finalment, els elements de control serveixen per controlar l'encès i apagat de les faroles.



Figura 32. Possibles dissenys de fanals i senyalitzacions solars [32]

A més, aquesta aplicació comporta una reducció de l'impacte mediambiental respecte les faroles convencionals. Els avantatges més significatius són els següents:

- Les faroles solars són independents de la xarxa elèctrica i, per tant, els costos d'operació i de manteniment són reduïts.
- L'energia solar és una font d'energia renovable, barata i inesgotable.
- El fet que no faci falta la xarxa elèctrica, permet instal·lar les faroles solars en zones aïllades.
- No existeix cablejat extern, per tant, disminueix el risc d'accidents.

D'altra banda, els costos d'instal·lació són superiors als de les faroles convencionals. Però, si es té en compte que la producció d'energia elèctrica a partir de l'energia solar és econòmica, la inversió pot amortitzar-se en un període assequible pels ajuntaments de les ciutats que apliquin les faroles solars.

Aprofitant la construcció de tot el fanal des de zero, la utilització d'una il·luminació LED és una opció sostenible i d'estalvi d'energia. Suposa una millora en la qualitat de la il·luminació i la visibilitat vial. A més, es redueix el consum elèctric i augmenta la vida útil de la il·luminació (entre 50.000 i 100.000 hores). És una tecnologia duradora amb els mínims costos de manteniment.

En aquest cas, com que el sistema té períodes on només es recarreguen les bateries, es poden usar poques bateries de baixa capacitat i assegurar l'autonomia desitjada fent un disseny adequat. Per tant, les bateries de segona vida de motos elèctriques són ideals per aquest tipus d'aplicació. Tot i que, tot sistema solar depèn de que hi hagin condicions meteorològiques favorables, s'opta per fer un estudi de la viabilitat d'aquesta instal·lació a causa dels grans avantatges que comporta.

3. Pàrquing amb sostre solar

Amb el boom de les energies renovables també s'han començat a veure pàrquings que utilitzen l'energia solar per alimentar els vehicles que es troben estacionats. En el nostre cas, la càrrega de cotxes elèctrics es descarta perquè es necessita un nombre de bateries molt elevat per donar la intensitat requerida. Com les bateries de segona vida utilitzades per emmagatzemar electricitat són de motos elèctriques, tenen unes característiques que no permeten recarregar cotxes elèctrics. Per aquest motiu aquesta aplicació va destinada només a la recàrrega de motos elèctriques. Aquesta aplicació es pot traslladar a diferents àmbits: centre comercial, grans empreses, cases particulars, àrees de servei, pàrquings de pagament o negocis amb flota de vehicles.

Aquesta activitat consisteix en implementar un sistema de captació d'energia solar mitjançant plaques solars que s'acumula i emmagatzema en un sistema de bateries amb l'objectiu de recarregar la bateria de les motos elèctriques que es troben al pàrquing. L'estratègia que es vol seguir és que si a la plaça de pàrquing no hi ha cap moto, s'acumuli l'electricitat que es capta del sol a les bateries d'emmagatzematge. El dia que hi hagi una moto aparcada i faci sol es proporcioni directament a la moto l'electricitat que es capta del sol i, finalment, el dia que no faci sol es pugui utilitzar l'electricitat que estava acumulada a les bateries.

Aquesta aplicació podria triomfar si s'implanta en grans empreses per diversos motius. Primer de tot, perquè és fàcil invertir en la seva implementació. Per les grans empreses no representa una gran inversió posar places de pàrquing solar. A més, és fàcil d'expandir. Hi ha una gran quantitat de places de pàrquing i, per tant, si fos necessària es pot traslladar a altres parcel·les sense problemes. Finalment, els centres comercials i grans empreses solen estar ubicats en espais oberts. Aquest fet permet que les plaques solars captin l'energia sense que els edificis del voltant puguin afectar a la captació.

A la següent il·lustració es mostren els components de la possible aplicació per tenir una idea general de com intervé cadascun dels anomenats anteriorment.

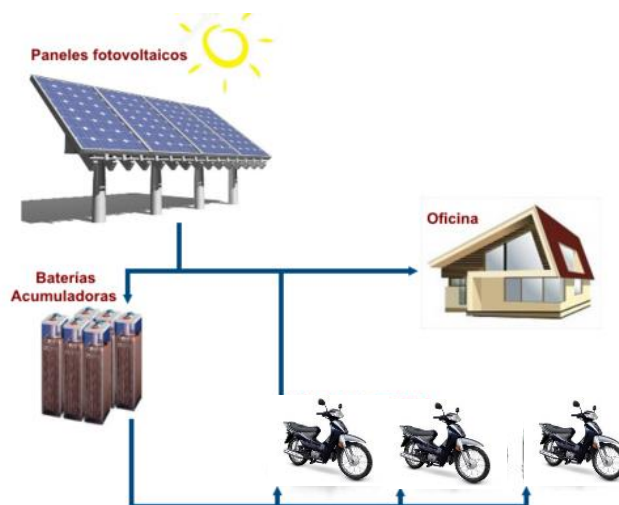


Figura 33. Funcionament d'una instal·lació de càrrega de motos [33]

Per saber l'electricitat que ha d'acumular el conjunt de bateries s'ha de determinar l'energia mitjana absorbida per una moto elèctrica. Prenem com a referència una moto elèctrica que es troba al mercat a l'actualitat, la *Scutum Silence S02*, un vehicle amb una autonomia de 125 km. Escollim aquest model perquè és un dels més venuts a Espanya i, per tant, representa un gran percentatge de les motos elèctriques que hi ha avui en dia ^[49].

Partim de la següent hipòtesi: suposem que la distància mitjana recorreguda per una moto un dia laboral és de 35 km. Són els quilòmetres que fa una treballador cada dia per anar i tornar del treball. Com que la capacitat de la bateria de la *Scutum Silence S02* és de 6 kWh i ens permet recórrer una distància de 125 km (autonomia), necessitarem 1,68 kWh per recórrer els 35 km diaris suposats anteriorment. Per tant, l'energia que hauria d'absorbir el conjunt de plaques fotovoltaïques per poder proporcionar a la moto l'electricitat necessària seria de 1,68 kWh.

Aquesta aplicació comporta un seguit d'avantatges que s'han de tenir en consideració:

1. L'energia solar és renovable no contamina. Reducció d'emissions de CO₂.
2. Autoservei. Deixo el cotxe carregant mentre faig altres activitats.
3. Fàcil d'instal·lar i manteniment senzill i poc costós.
4. No requereix terreny addicional per la seva instal·lació. S'aprofita el sostre del pàrquing.
5. Fomenta l'ús del vehicle elèctric. Més punts de càrrega.
6. Fomenta l'ús dels pàrquings en els centres comercials. Més guanys per l'empresa.

D'altra banda, també trobem dos grans inconvenients. Primer de tot, el sistema de captació d'energia depèn de la meteorologia i, a més, la inversió inicial és molt elevada.



Figura 34. Pàrquing solar per carregar els acumuladors [34]

Encara que es poden obtenir beneficis importants amb aquesta aplicació, el fet que només es puguin recarregar motos elèctriques és una limitació que s'ha de tenir en compte. Primer de tot, fa que es converteixi en una aplicació molt menys atractiva perquè el volum important de vehicles elèctrics són cotxes. Per tant, invertir en una plaça de pàrquing per motos elèctriques no generaria tants beneficis com invertir en una de cotxe, motiu que pot frenar a moltes empreses per provar aquesta aplicació. A més, des del punt de vista de la instal·lació, la capacitat de les bateries de segona vida no permetria carregar una moto elèctrica sencera. Per aquests motius, pensem que no és una bona solució per utilitzar les bateries gastades.

4. Aplicacions per consum allunyat de la xarxa elèctrica

La dificultat per obtenir electricitat directament de la xarxa ha portat a considerar altres opcions per obtenir l'energia i cobrir necessitats quotidianes de les persones. Aquesta problemàtica es veu en aplicacions molt diferents. Tant pot succeir en poblacions desenvolupades per a propietaris de cases particulars aïllades de la xarxa general, com a països del tercer món que no disposen de cap mena de subministrament elèctric.

També es pot aplicar en usos per autocaravanes, vaixells o qualsevol vehicle que necessiti electricitat per alimentar aparells dins del vehicle, que no sigui el motor. Pot ser el cas de la il·luminació, nevera, endolls, etc.

Per fer una anàlisi de la viabilitat, es consideren totes les possibles funcions a cobrir per la instal·lació. Tenint en compte la potència requerida, les hores d'ús en un dia i el nombre d'unitats d'un mateix tipus s'obtenen els kWh al multiplicar els factors.

- Nevera: 150W durant 24h, al 50% ja que un cop arriba a la temperatura desitjada el consum és molt més inferior. Si es considera una nevera de tipus eficient (A+ o A++). Consum nevera = $150 \text{ W} \times 0,5 \times 24 \text{ h} = 1,8 \text{ kWh}$
- TV: 50W durant 2h. Consum = 100 Wh
- Llum: 4 Bombetes LED de 15W durant 4h. Consum = $4 \text{ u} \times 15 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$
- Bomba aigua (dutxa i aixetes) : 30W durant 0.5 h. Consum = 15 Wh
- Endoll de corrent: 2 endolls per donar 60W (potència carregar portàtil) per carregar aparells electrònics durant 2 h. Consum = $2 \text{ u} \times 60 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$

El consum estimat diari que requereix una instal·lació d'aquestes característiques és 2,395 kWh/dia.

Tots el altres possibles aparells domèstics considerem que funcionaran amb gas perquè el consum d'aquests és massa elevat per bateries de segona vida de motos elèctriques. Es necessitaria un conjunt de bateries molt gran per donar abast.

Per a dissenyar la instal·lació s'ha de tenir en compte que el sistema format per les bateries, les plaques, el regulador i l'inversor presenta pèrdues degut a efectes de reflectància, de la temperatura ambient i pèrdues internes de la instal·lació, comportant un rendiment aproximat del 80%. D'aquesta forma es pot calcular la energia a emmagatzemar necessària.

$$\text{Energia total} = 2395 / 0.8 = 2,993 \text{ kWh}$$

Sabent les característiques de les bateries de segona vida de les quals es disposa i que la potència descarregada no és massa alta, es pot considerar l'aplicació real d'una instal·lació com aquesta. A més, són aplicacions esporàdiques, és a dir que no requereixen un consum constant. Durant la majoria de temps les bateries es recarreguen de forma solar, assegurant així una autonomia suficient pels dies que s'utilitzi el sistema. Per aquests motius, es pot procedir a estudiar més profundament la viabilitat d'un projecte d'aquestes característiques.



Figura 35. Disseny d'autocaravana i vaixell solar [35]

4.3.2 Aplicacions d'emmagatzematge

En aquest tipus d'aplicacions la finalitat és carregar les bateries de segona vida per poder utilitzar l'energia posteriorment. Pot ser perquè la instal·lació ho necessita (no fa sol i es capta l'energia del sol) o perquè s'ha de subministrar l'electricitat en llocs diferents utilitzant instal·lacions àmplies o movent la bateria.

1. Emmagatzematge d'energia en un gimnàs



Figura 36. Equipament SportsArt de generació mecànica [36]

Generalment, la font més utilitzada per carregar bateries de forma renovable és l'energia solar a partir de plaques fotovoltaïques. Tot i així, la diversitat de maneres d'aprofitar energia dóna més opcions per pensar en usos per a bateries de segona vida. Una d'aquestes formes és l'energia mecànica, que més concretament és generada pels humans.

Es tracta d'aprofitar energia consumida per les persones per emmagatzemar-la i poder fer-la servir en aplicacions adequades a la quantitat d'energia emmagatzemada. Com que no seria eficient tenir personal treballant en generar aquesta energia, diferents empreses han sorgit amb la idea d'implantar un gimnàs on certes màquines aprofitin aquesta energia consumida pels usuaris. A la davantera d'aquest mercat es troba *Sports Art*, amb la branca verda del seu negoci on ofereixen productes per fer exercici cardiovascular com la bicicleta estàtica, l'el·líptica i, recentment, la cinta de córrer per crear generar electricitat a partir del moviment.

Aquesta empresa assegura que el rendiment dels equips per recuperar energia és d'un 74% i que així amb la cinta de córrer es poden arribar a generar 200Wh, 160Wh amb la màquina el·líptica i 175Wh amb la bicicleta estàtica ^[50].

Per desgràcia, el que afirma aquesta empresa és l'energia màxima que es pot generar, per tant per fer un estudi ajustable a la realitat s'ha de considerar una generació mitjana

aproximada. Diferents estudis ^[51] per avaluar la viabilitat d'aquests productes estimen una generació d'energia de 100Wh en una bicicleta estàtica.

Tenint en compte aquesta dada, pedalant una hora al dia durant 30 dies s'arriba a generar un total de 3 kWh (30 x 100 Wh). Aquest resultat és aproximadament l'1% del consum mitjà d'una família en un mes, considerant que la família mitjana a Espanya està constituïda per 3 persones ^[52]. Tenint en compte el preu de la instal·lació i aquest rati de generació, el període per recuperar la inversió és desproporcionat. Aquest fet fa descartar d'entrada una instal·lació per a particulars.

L'única opció que es pot plantejar des d'un inici és muntar un gimnàs des de zero implementant equips de generació d'electricitat en comptes dels convencionals. S'analitzarà la viabilitat d'aquest projecte només considerant els equips que ofereixen la possibilitat de carregar bateries per veure el període de retorn de la inversió, en vers a si es comprassin màquines convencionals. L'electricitat generada servirà per a aplicacions de poca demanda energètica dins del gimnàs com per alimentar els llums o carregar mòbils.

Primer de tot s'ha de definir les dimensions i característiques del gimnàs. Observant diversos gimnasos de la zona de Barcelona, es sol comptar amb un equipament total de 15 cintes de córrer, 10 el·líptiques i 30 bicicletes estàtiques, sense comptar tots els altres equips i serveis. L'horari del gimnàs del projecte, com la majoria d'altres gimnasos, tindrà un horari d'obertura de 14 hores (de 8 a 22h). Les últimes suposicions a fer són l'ocupació de les màquines i la quantitat d'energia generada per hora d'ús.

L'ocupació de les màquines pels usuaris per determinar el nombre d'hores de generació d'electricitat es suposa que és del 75% de la capacitat total de les màquines en qüestió, ja que perquè el projecte tingui possibilitats de ser rentable, el gimnàs ha de comptar amb un elevat nombre d'usuaris en alta rotació. Sent realistes la taxa d'ocupació de les màquines és generosa. L'energia generada s'haurà de considerar per sota de la capacitat màxima de les màquines, ja que no és viable que tots els usuaris siguin capaços de fer exercici arribant a la potència màxima dels equips. Per tant, es considerarà una generació mitjana del 60% de la capacitat màxima. Obtenint així, 105 Wh de la bicicleta estàtica, 96 Wh de l'el·líptica i 120 Wh de la màquina de córrer.

Un cop definides les característiques del gimnàs, convé calcular la quantitat d'energia generada per posteriorment veure l'estalvi que suposa en €.

Primer calculem l'energia generada en un dia:

$$E_{bici,t} = Màquines \times Ocupació \times E_{bici} \times Hores = 30 \times 0,75 \times 105 \times 14 = 33.075Wh$$

$$E_{cinta,t} = 15 \times 0,75 \times 120 \times 14 = 18,9 kWh$$

$$E_{elip,t} = 10 \times 0,75 \times 96 \times 14 = 10,08 kWh$$

$$E_{total,dia} = E_{bici,t} + E_{cinta,t} + E_{elip,t} = 62,06 \text{ kWh/dia}$$

I considerant que el gimnàs estarà obert 365 dies a l'any, l'energia que el gimnàs és capaç de generar per després aprofitar-la és:

$$E_{total} = \frac{62,06 \text{ kWh}}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dies}}{\text{any}} = 22.650,08 \text{ kWh/any}$$

Tot i així, l'energia útil per aprofitar en altres usos en el gimnàs no serà igual a la generada perquè s'han de comptabilitzar les pèrdues de la instal·lació dels acumuladors i inversors. Considerant aquestes pèrdues del 80%, l'energia útil aprofitable és $22.650,08 \times 0,8 = 18.120,07 \text{ kWh/any}$.

Aquesta energia útil es considera que s'utilitzarà tota per altres aplicacions amb demanda elèctrica i aquesta electricitat serà la que el gimnàs s'estalviarà a final d'any i amb la que es calcularà el període de retorn de la inversió inicial de la instal·lació.

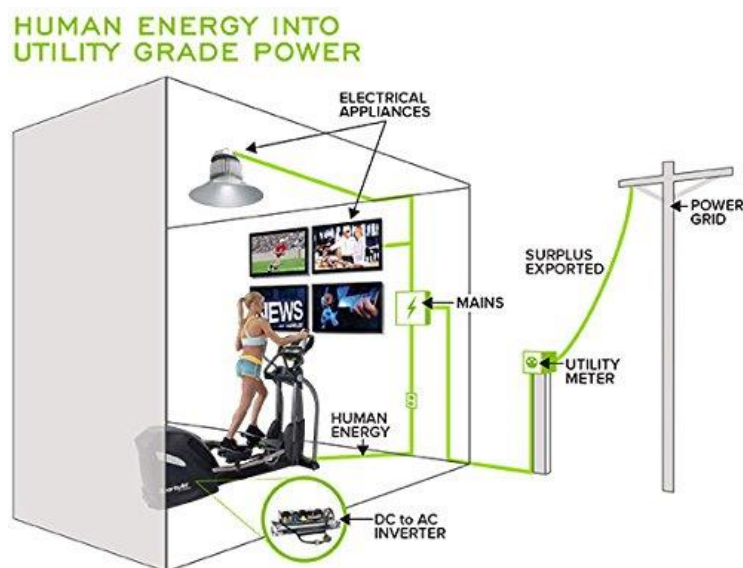


Figura 37. Possible instal·lació per utilitzar l'energia generada [37]

Utilitzant el preu mig (€/kWh) de l'electricitat a Espanya es pot determinar l'estalvi energètic que suposa la implementació d'un gimnàs d'aquestes característiques. Simplement s'ha de multiplicar els kWh generats que es poden aprofitar en un any pel preu mig del kWh durant les hores d'obertura del gimnàs (08-22h) que és de 0,12187 €/kWh utilitzant la tarifa normal [53]:

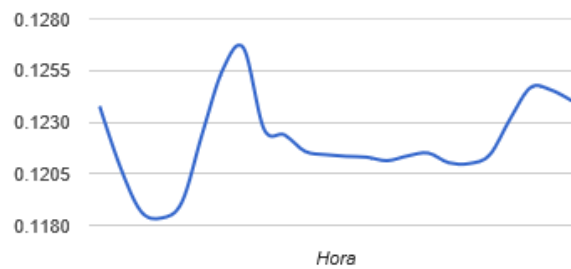


Figura 38. Evolució del preu de l'electricitat durant un dia en l'any 2017 [38]

$$\text{Estalvi} = 18.120,07 \times 0,12187 = 2.208,3 \text{ €/any}$$

Des del punt de vista tecnològic, observem que és viable perquè la quantitat d'electricitat que s'acumula a les bateries diàriament és petita. D'altra banda, des del punt de vista econòmic, s'ha vist que el preu de la instal·lació és molt elevat. Si es té en compte l'energia que el gimnàs pot generar diàriament, es veu que només pot abastir una petita part de la demanda i, per tant, l'estalvi que comporta no és suficient en comparació a la inversió inicial.

Per aconseguir que fos una aplicació viable el sistema utilitzat hauria d'oferir unes millors prestacions i tenir una capacitat de generació més elevada. Per aquest motiu, les bateries procedents de les motos elèctriques no són les més adequades en un projecte d'aquestes característiques.

5. Remolc fet de bateries per cotxes. Millorar autonomia.

Un gran problema dels vehicles elèctrics és l'autonomia actual. Recentment han anat sortint noves idees i start-ups que proposen solucions referents a aquesta situació. Proporcionar als vehicles amb bateries d'una capacitat immensa amb la tecnologia que es disposa significaria implementar bateries d'un pes i volum desproporcionats per a la funcionalitat dels vehicles. També comportaria una eficiència molt més petita quan el vehicle hagi de fer viatges curts, ja que un vehicle amb menys pes donaria més autonomia al consumir menys electricitat.

Un estudi de la Universitat de Zilina ^[54] (Eslovàquia) es va plantejar trobar l'equilibri perfecte entre pes, cost i autonomia d'un vehicle elèctric, estudiant els diferents factors que podien afectar a l'autonomia del vehicle. Es van descartar els factors que depenen de la forma en que es condueixi, és a dir, l'acceleració que es dona, desnivells del viatge i la forma en que es freni de forma regenerativa. Finalment, es va concloure que els principals factors que afecten a l'autonomia eren el pes i les dimensions del vehicle.

L'estudi que es va dur a terme va ser utilitzar diferents vehicles amb bateries de diferents capacitats i variar la càrrega que transportaven, que podrien representar a passatgers. Concretament es van utilitzar packs de 24kWh (300Ah), 20.8kWh (260Ah), 16kWh (200Ah) i 8kWh (100Ah).

Pack Bateries (kWh)	Capacitat (Ah)	Pes bateria (kg)
24	300	240
20,8	260	225
16	200	182,5
8	100	80

Taula 5. Tipus de bateries analitzades en l'estudi

La Figura 39 mostra l'autonomia dels vehicles de diferents bateries al variar la càrrega que porten.

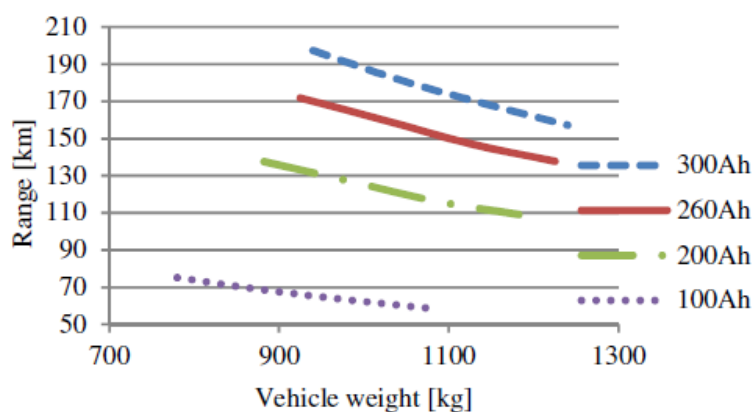


Figura 39. Variació de l'autonomia dels vehicles en funció a la càrrega transportada [39]

Clarament s'observa com afecta la càrrega del vehicle d'un mateix tipus a la seva autonomia. Un increment de 200 kg, pes aproximat de 3 passatgers, en el vehicle de 300 Ah suposa una reducció de 50 km aproximadament.

L'eficiència prèviament mencionada dels vehicles s'estudia més profundament i es reflexa en la següent taula mostrant la quantitat de km que es poden fer amb un kWh d'energia dels diferents vehicles.

Capacitat de la bateria	km/kWh
24	8,223542
20,8	8,263462
16	8,596063
8	9,389875

Taula 6. Quantitat de km per kWh de bateria [6]

És fàcil determinar la relació directa entre el pes del vehicle amb la distància recorreguda per kWh. Lògicament per trajectes llargs els vehicles amb menor capacitat tindran més limitacions, però per recorreguts que tots els vehicles puguin realitzar, com podrien ser urbans, els de menys pes són més eficients.

L'efecte del volum i de la forma del xassís es va analitzar simulant l'efecte del coeficient de resistència aerodinàmica (c_x) amb tres vehicles diferents però amb el mateix pack de bateries i el mateix pes, 24 kWh i 900 kg, respectivament. Com més aerodinàmic és un cos, més petit es fa el c_x i el resultat es mostra a la Figura 40 on es pot veure la influència sobre l'autonomia de la resistència aerodinàmica.

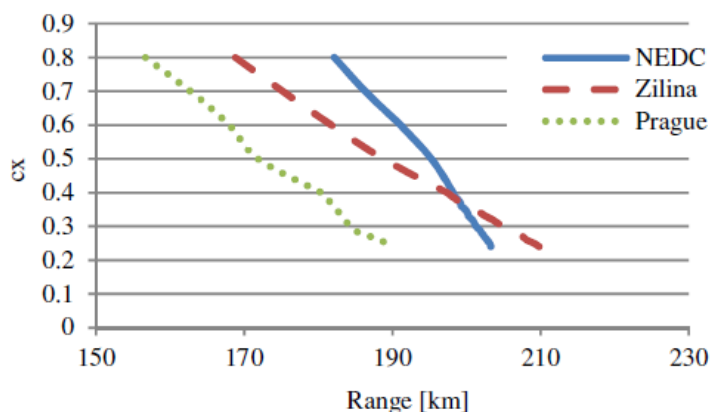


Figura 40. Autonomia dels vehicles en funció a la resistència aerodinàmica [40]

Solució proposada: Remolc de bateries

Tot i que hi ha varis factors significatius que afectin a l'autonomia dels EV el més determinant és el pes, ja que l'aerodinàmica del vehicle en zona urbana influeix menys al tenir un coeficient de resistència aerodinàmica petit a velocitats baixes.

Per donar una resposta a aquest problema han començat a sortir empreses com *Nomadic Power* que proposen adaptar la capacitat de les bateries dels vehicles al trajecte a realitzar. Aquesta possibilitat es duu a terme a partir de bateries portàtils en forma de remolc que proporcionen una distància extra a recórrer. Una bateria de 85 kWh podria subministrar 400 km addicionals. Aquest producte és útil per a particulars, però també s'estudia crear un servei de lloguer on poder agafar i tornar la bateria quan es desitgi. Un altre ús pot ser d'assistència a la carretera per a vehicles que s'han quedat sense càrrega.

Tot i que l'increment d'autonomia és el factor d'interès, s'ha de tenir en compte que el pes d'un remolc d'aquestes condicions seria molt elevat.



Figura 41. Disseny de Nomadic Power per un remolc [41]

Analitzant tots els factors exposats, es decideix descartar un projecte per implementar aquesta aplicació. Tot i que és una solució atractiva per a un dels grans problemes dels vehicles elèctrics, només disposem de bateries de segona vida de motos elèctriques. És a dir, necessitaríem un gran nombre de bateries per carregar un cotxe a la intensitat adequada i la química actual de les bateries faria que fos un remolc molt pesant. D'aquesta forma el benefici en autonomia no seria suficientment gran com per plantejar-ne el desenvolupament.

4.4 Conclusions

S'ha observat que en general la venda de motos elèctriques és inferior a la dels cotxes elèctrics, però el rati de creixement que experimentaran les vendes per als dos tipus de vehicles en un futur pròxim és similar. D'aquesta forma tenim garanties de disposar de bateries de forma constant per assegurar una estabilitat de subministrament als possibles projectes a realitzar. A més, hi ha diversos productors de motos i bateries elèctriques locals que faciliten l'aprovisionament.

El problema recau en la gran varietat de tipus de bateries del mercat. Les diferents químiques i la poca estandardització compliquen la creació d'un procés industrialitzat que faci viable fabricar i vendre un producte en sèrie.

Des d'un altre punt de vista, la realitat de què no hi hagi encara bateries de vehicles elèctrics obsoletes aporta una incertesa massa gran per crear un negoci. Com que és un mercat molt recent, els primers vehicles que es van vendre encara gaudeixen de la seva primera bateria en funcionament. Aquest fet genera dubtes sobre què pot passar un cop les primeres bateries siguin obsoletes. Què faran els fabricants amb aquestes bateries? De qui seran propietat si es traspassen? En aquest cas és difícil determinar les condicions d'un possible contracte amb el fabricant per adquirir les bateries de segona vida, ja que no es poden saber encara les intencions dels fabricants. Si el preu d'adquisició fos massa elevat, la hipotètica empresa tindria poc marge per obtenir beneficis.

Un altre factor determinant és el mercat al qual es pretén arribar. Actualment l'ús d'energia solar es troba en augment, però els usuaris finals poden resultar insuficients i més tenint en compte la novetat d'utilitzar bateries reutilitzades. Com una empresa no pot sobreviure sense uns ingressos adequats i constants, la possibilitat de crear un negoci és poc viable actualment.

Per tant, la decisió final és optar per dissenyar projectes de millora social, d'on es pugui extreure un benefici industrial com a empresa d'enginyers, però que l'objectiu principal sigui generar un impacte positiu en la societat.

5. Projectes de millora social

5.1 Millores en la senyalització de la carretera de l'Arrabassada

En l'actualitat, cada vegada són més els municipis que opten per implantar fanals i senyals solars amb l'objectiu de, en un futur, fer extensible aquest tipus d'il·luminació a tota la ciutat. L'enlluernament públic representa al voltant del 40% del consum energètic de les ciutats. El fet d'utilitzar plaques solars per transformar l'energia solar en electricitat evita el malbaratament d'energia en les ciutats i, com a conseqüència, genera als ajuntaments un fort estalvi de diners. A més, contribueixen al desenvolupament de la sostenibilitat i la protecció del medi ambient.

Veient que l'enlluernament públic amb energia solar en els nuclis urbans s'estan convertint en una alternativa real i eficient, hem considerat que aprofitar les bateries de segona vida per emmagatzemar l'electricitat necessària per il·luminar els carrers podria ser una solució viable a la problemàtica de les bateries.

En el nostre cas, hem volgut enfocar aquesta aplicació des d'un punt social traslladant els fanals i les senyalitzacions solars a les zones on no arriba la xarxa elèctrica. Als ajuntaments no els surt a compte l'augment del cost d'instal·lació que suposa dissenyar un elaborat sistema d'interconnexions per arribar a les zones de la perifèria, per aquest motiu, volem oferir una solució viable tecnològica i econòmicament per millorar la qualitat d'aquestes zones.

Les instal·lacions fotovoltaïques, com hem esmentat anteriorment, no necessiten la proximitat a la xarxa elèctrica, ni cablejat, ni sistema subterrani. La zona on s'instal·lin els fanals i els senyals només necessita complir alguns requisits:

1. El territori s'ha de trobar allunyat d'edificis alts o zones que puguin fer ombra.
2. El terra ha de permetre que els fanals es puguin fixar de manera adequada. D'aquesta manera, s'assegura que puguin suportar tot tipus de condicions ambientals.
3. La zona d'instal·lació no pot tenir temperatures sota zero en nombroses ocasions. Les temperatures baixes poden afectar negativament a les bateries.

Després de valorar diferents zones de la perifèria amb il·luminació insuficient hem decidit aplicar el nostre projecte a la carretera de l'Arrabassada, una carretera secundària situada entre Sant Cugat i Barcelona que es caracteritza per tenir moltes corbes. Aquesta falta de visibilitat, entre d'altres factors, provoca que sigui una zona on es produeixen un nombre d'accidents elevat.

5.1.1 Objectiu

L'objectiu del present projecte és descriure i dissenyar la instal·lació d'enllumenat exterior per millorar la seguretat viària de la carretera de l'Arrabassada (BP-1417) entre Sant Cugat del Vallès i Barcelona, pertanyent a la Diputació de Barcelona. Es tracta d'una carretera de doble sentit amb un únic carril que consta d'11,4 km de corbes sinuoses per creuar la muntanya de Collserola amb una alta circulació de vehicles i ciclistes.

La nostra aplicació consisteix a dissenyar un sistema de fanals i senyals solars LED que permeti aprofitar l'energia solar diària disponible per millorar la il·luminació i senyalització en els trams on hi ha falta de visibilitat. Per dur a terme aquest disseny hem tingut en compte les condicions solars de la zona, els càlculs realitzats per dimensionar les plaques fotovoltaïques i bateries necessàries, les hores d'autonomia previstes, la legislació vigent i el pressupost del projecte.

5.1.2 Estat de l'art i necessitats

L'última edició de l'estudi triennal d'avaluació de carreteres de 2016 publicat per *EuroRAP* analitza l'accidentalitat a les carreteres de la xarxa viària catalana [55]. La publicació conté els trams amb més risc d'accidents a Catalunya tenint en compte aquelles carreteres amb una quantitat de vehicles que circulen per dia (IMD) superior a 5.000 i una longitud superior a 5 km.

Els resultats d'aquesta edició situen a la carretera de l'Arrabassada en primera posició. Aquest primer lloc no significa que sigui la carretera amb un nombre més elevat d'accidents, sinó que, en proporció a la quantitat de vehicles que hi circulen, és la que té un rati anual d'accidents mortals i greus més elevat, de 0,5.

Carretera	Inici de tram	Final de tram	Long. (Km)	IMD	Tipus de via	Demarcació	Mitjana Acc.MiFG*	Risc
BP-1417	Barcelona (X B-20)	St. Cugat del Vallès (X BV-1462)	11,4	7.338	Xarxa comarcal	Barcelona	5,0	Molt alt
BV-5001	Accés nord de la B-20	Martorelles (X B-500, X BV-5006)	10,1	9.214	Xarxa local	Barcelona	4,0	Molt alt
B-502	Vilassar de Mar (X N-II)	Argentona (X C-1415c)	6,2	7.465	Xarxa local	Barcelona	2,0	Molt alt
C-1415a	Terrassa (centre)	Sentmenat (X C-1413a)	12,8	5.882	Xarxa comarcal	Barcelona	3,0	Molt alt
C-28	Vielha (X N-230)	Naut Aran, final ZU Baqueira	13,8	5.031	Xarxa bàsica	Lleida	2,7	Molt alt
C-14	X C-1412b a Ponts	X C-26 a Bassella	17,1	6.226	Xarxa bàsica	Lleida	4,0	Molt alt
BV-1221	Terrassa (centre, placeta de la Creu)	Final ZU Matadepera (límit del Parc Natural)	7,1	10.138	Xarxa local	Barcelona	2,3	Alt
BV-4501	Manresa (centre)	Santpedor (BV-4511)	6,2	6.629	Xarxa local	Barcelona	1,3	Alt
GI-641	Torroella de Montgrí (X C-31)	l'Estartit	5,5	7.734	Xarxa comarcal	Girona	1,3	Alt
BV-2041	Gavà (X Av. Joan Carles I)	Begues (X BV-2411)	6,3	9.116	Xarxa comarcal	Barcelona	1,7	Alt

Figura 42. Carreteres catalanes amb un risc d'accidents més elevat [42]

L'any 2006 l'ajuntament de Barcelona va prendre mesures de seguretat per reduir la perillositat d'aquesta carretera implantant separadors físics de carrils en les corbes més tancades i trams de mitjana zebrejada, deixant un espai de seguretat entre els carrils. Més tard, es va fer una ampliació de les mesures l'any 2009 per reduir l'amplada dels carrils per deixar un voral més ample per vianants i ciclistes, aconseguint una amplada total de la calçada de 6 metres [56].

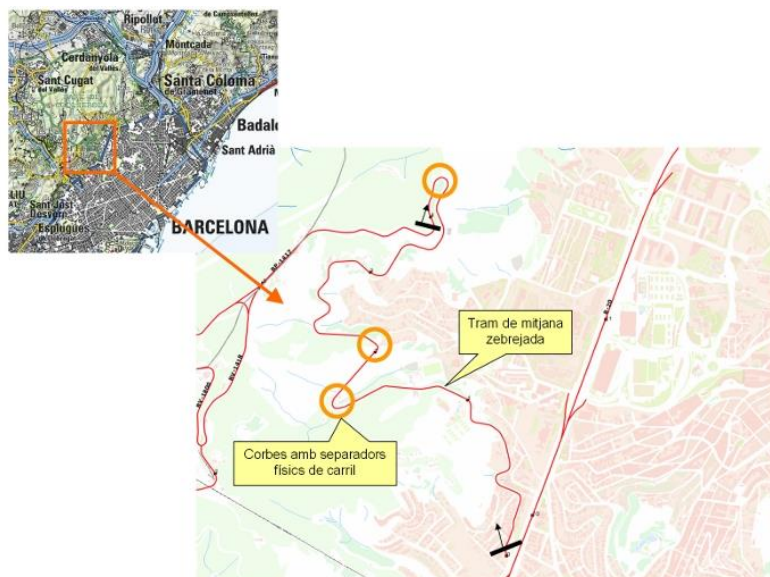


Figura 43. Millores realitzades a la carretera [43]

Per comprovar si les mesures aplicades van provocar un canvi en el nombre d'accidents, l'any 2010 es va dur a terme un estudi estadístic del nombre d'accidents anuals per comparar els resultats respecte l'any anterior. Es va veure que el nombre d'accidents s'havia reduït un 33%, tot i això, la carretera segueix sent la més perillosa uns anys després. També cal destacar que totes les modificacions es van realitzar a la vessant de la muntanya que dona a Barcelona, deixant la meitat de la carretera sense cap millora.

Un altre factor que afecta la seguretat viària és l'elevada presència d'animals salvatges per la zona de Collserola, fet que provoca nombrosos accidents quan aquests animals creuen la carretera. La majoria d'accidents els provoquen els porcs senglars i la poca visibilitat a la carretera que no permeten al conductor reaccionar a temps un cop veu l'animal amb els fars del vehicle. Per aquest motiu, s'han dut a terme diverses campanyes per acabar amb la superpoblació de senglars, però creiem que hi ha altres opcions per aconseguir que els senglars no siguin una causa d'accidents.

Una opció factible per millorar la seguretat de la via és instal·lar un sistema d'enlluernament extern en forma de fanals i senyals lluminosos. Actualment, la carretera només té petits trams degudament il·luminats: al principi i al final de la carretera tocant als dos municipis i el tercer a la meitat del camí, d'uns 350 metres. El recorregut restant de 9,1 km es troba sense il·luminar. És a dir, només hi ha instal·lats 12 fanals convencionals en una carretera de 11,4 km de distància.

Tenint en compte totes les consideracions anteriors en aquest treball i les necessitats d'aquest projecte en concret, la millor solució és instal·lar un sistema de fanals solars i de senyals lluminosos de tipus LED amb acumuladors d'electricitat formats per bateries de segona vida. D'aquesta forma es millora la visibilitat dels vehicles, ciclistes i vianants d'una forma eficient i sostenible que, a més, és adient donada la impossibilitat de connexió a la xarxa elèctrica en la majoria del recorregut.

5.1.3 Fanals solars LED

5.1.3.1 Especificacions de la instal·lació

El principal requisit que ha de complir el projecte és la correcta il·luminació de la carretera i voral, el que significa proporcionar una lluminositat adequada pel tipus de carretera i homogènia en tot el recorregut. S'ha optat per la tecnologia LED pels nombrosos avantatges que comporta respecte la il·luminació convencional:

1. Millora en la qualitat de la il·luminació i la visibilitat vial.
2. Reducció del consum energètic.
3. Reducció de la contaminació lumínica i del resplendor als ulls humans.
4. Opció sostenible amb un impacte ambiental inferior.
5. Augment de la vida útil (entre 50.000 i 100.000 hores).
6. Tecnologia duradora amb els mínims costos de manteniment.

En la següent seqüència d'imatges es pot observar com la il·luminació LED focalitza millor el flux de llum per oferir una il·luminació superior amb una potència més reduïda.

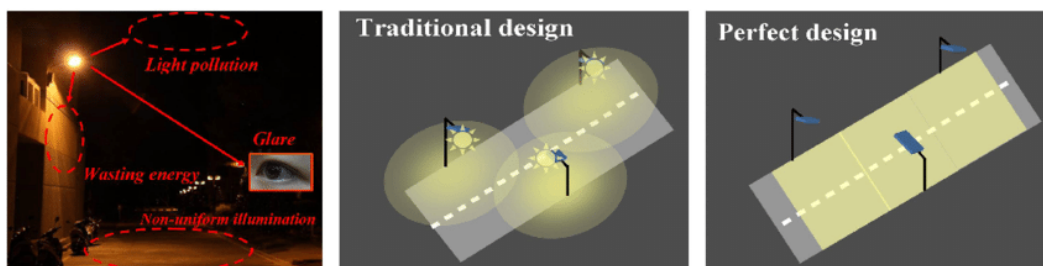


Figura 44. Comparació entre dissenys de lluminàries [44]

Abans de realitzar els càlculs és necessari introduir els conceptes necessaris referents a la física de la llum. La unitat del Sistema Internacional pel flux lluminós és el lumen (lm o Φ). El lux (lx) és la intensitat d'il·luminació que equival a la il·luminació que rep una superfície d'1 metre quadrat d'un flux lluminós de 1 lumen, que s'entén com la concentració de lúmens en una àrea. Per l'usuari final la dada rellevant és els lux necessaris per il·luminar la zona correctament. L'equivalència entre lúmens i lux ve donada per la següent equació:

$$E_v [lx] = \frac{\Phi}{\Omega \times d^2}$$

Sent Ω l'angle sòlid d'obertura del focus emissor de llum i d la distància a la superfície en qüestió.

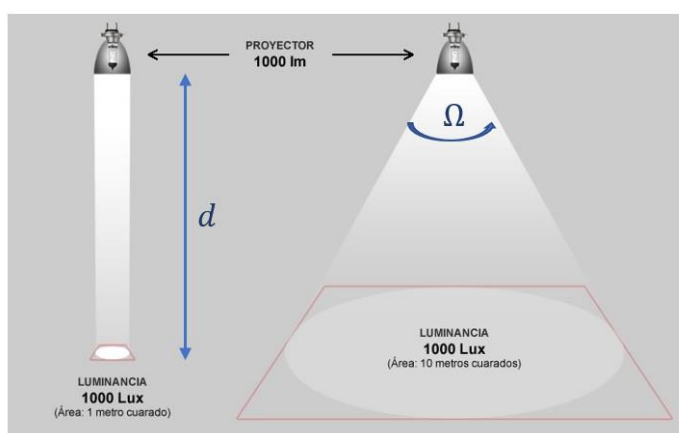


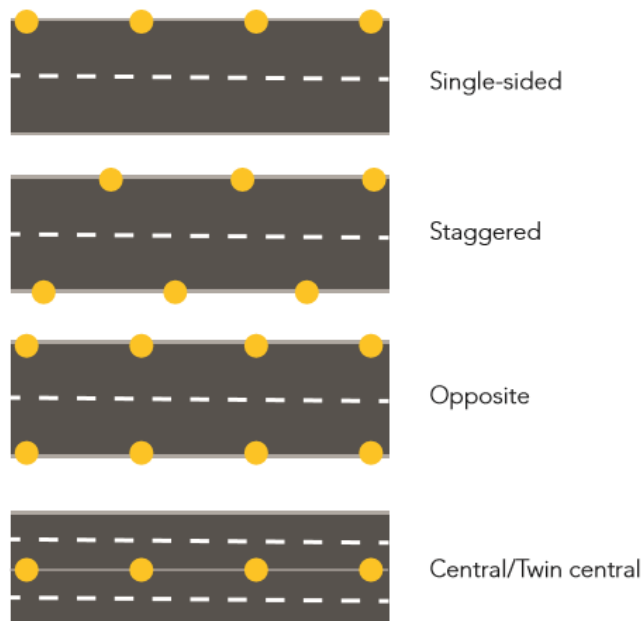
Figura 45. Equivalència entre lúmens i lux [45]

Segons les característiques de via i la quantitat de vianants que hi circulin es necessitarà una quantitat diferent de lux, és a dir, un grau diferent de lluminositat per aconseguir la visibilitat desitjada [57]. Al tractar-se d'una carretera convencional amb circulació mitja de vianants i ciclistes, la lluminositat requerida ha de ser igual o superior a 3 lux. D'aquesta manera es pot garantir una millor visibilitat de la calçada i dels laterals per proporcionar un camp de visió mes ampli. Per aquest motiu, es tria un il·luminació de 5 lux per dissenyar els fanals. Per poder fer-se una idea del que representa la il·luminació d'un espai, s'adjunta la següent taula [57]:

Condicció / Localització	Il·luminació (Lux)
Llum diürna	10.752
Butaca dentista o taula quirúrgica	5.000
Dia nuvolat	1.075
Classe d'estudis	250
Crepuscle	10,8
Lluna plena	0,108

Figura 46. Lux de diferents condicions [46]

Tot seguit, convé determinar la distribució dels fanals al llarg de la carretera. Hi ha diferents maneres de col·locar els fanals al llarg dels trams. A continuació, es representen a les imatges següents les possibles opcions:



En aquest projecte s'opta per l'opció bilateral portell (*staggered*) perquè permet que l'amplada efectiva de la calçada pugui ser 1,5 vegades l'alçada del focus, mentre que la unilateral (*single-sided*) només permet que l'amplada sigui com a màxim l'alçada del fanal. Es descarta l'opció bilateral simètrica (*opposite*) perquè es requereixen més fanals i la distribució central o axial perquè l'amplada de la carretera no és tan gran ni es disposa d'una mitjana ^[58].

Com s'ha comentat anteriorment, l'amplada de la carretera podria ser un 50% més gran que l'alçada del fanal. Tot i així, es dissenyarà la instal·lació amb un bàcul de la mateixa dimensió que la calçada, de 6 metres d'alçada. Al tenir l'amplada i l'alçada iguals s'obtindrà una lluminositat més homogènia en tot l'asfalt i voral i els banys de llum de cada fanal es solaparan més.

El següent pas, partint de les especificacions determinades prèviament, és especificar la potència necessària dels fanals solars LED i la separació que hi haurà entre els fanals.

Les consideracions a tenir en compte per determinar la potència necessària del fanal és la quantitat de lúmens que es voldran obtenir. Un dels molts avantatges d'utilitzar llums LED és el baix consum energètic que necessiten per aportar la mateixa lluminositat que les bombetes tradicionals. És una tecnologia que ha evolucionat exponencialment i encara ho seguirà fent, però avui en dia l'eficiència màxima que podem trobar en els LED és 150 Lm/W. Tot i així, la majoria de fabricants assegura que aquesta eficiència es troba al voltant dels 115 Lm/W ^[59] i, per tant, serà la que considerem en aquest estudi.

Implementant un fanal de 40W s'obtidrien entre 4000 i 5000 lúmens, tenint en compte pèrdues del sistema.

D'altra banda, per obtenir el mateix flux de llum amb una instal·lació d'halògens o incandescents es necessitarien entre 120W i 270W, fent evident l'estalvi energètic que suposen els LED.

La distància entre fanals ha de ser suficientment gran per no tenir més lluminositat de la necessària optimitzant el consum d'energia i disminuint les despeses d'instal·lació, però suficientment petita per tenir una distribució de llum homogènia i oferir una visibilitat òptima.

Segons la intensitat del flux de llum emès, de l'angle d'obertura i de l'alçada del focus s'obtidrà una determinada distribució de llum a la superfície.

A la Figura 47 es pot observar aquesta distribució de llum mitjançant les corbes isolux i segons l'alçada del focus, expressada amb la lletra h.

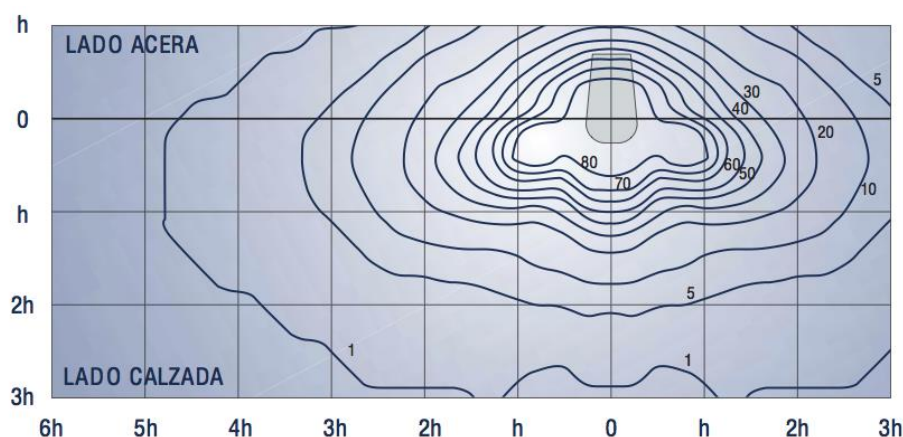


Figura 47. Franges d'igual il·luminació en funció de l'alçada del focus [47]

Per calcular la separació dels focus de llum s'han de tenir en compte dos factors que influiran en el resultat: el coeficient d'utilització (CU) i el factor de manteniment (*mf*).

1. El CU indica la relació entre el nombre de lúmens emesos pel focus i el nombre de lúmens que arriben al pla o superfície d'interès:

$$CU(\eta) = \frac{\Phi_{útil}}{\Phi_{focus}}$$

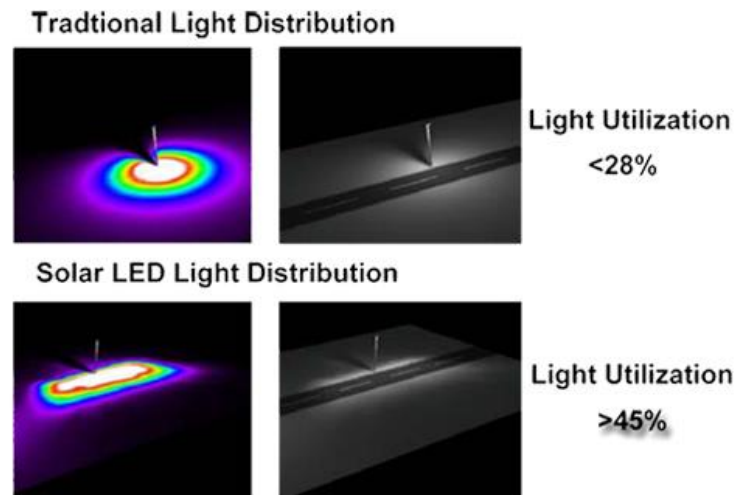


Figura 48. Comparació del Coeficient d'utilització [48]

La forma teòrica i més simple d'obtenir aquest coeficient és a partir de les taules proporcionades pel fabricant de la lluminària [59].

Les taules indiquen el CU de la calçada i el CU de la vorera i el total és la suma. Cada coeficient s'obté amb la seva respectiva corba i la relació entre l'amplada de la calçada i l'alçada (h) del fanal.

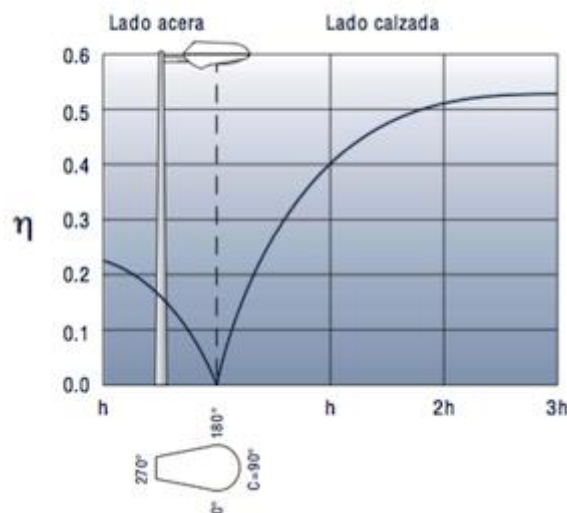


Figura 49. Corbes per determinar el CU [49]

Per tant, utilitzant les taules del fabricant del fanal que s'instal·larà i sabent que l'amplada de 6 metres és igual a l'alçada i que el voral és de mig metre per costat, s'obté un CU total de 0,34 (CUc=0,28 i CUv=0,06).

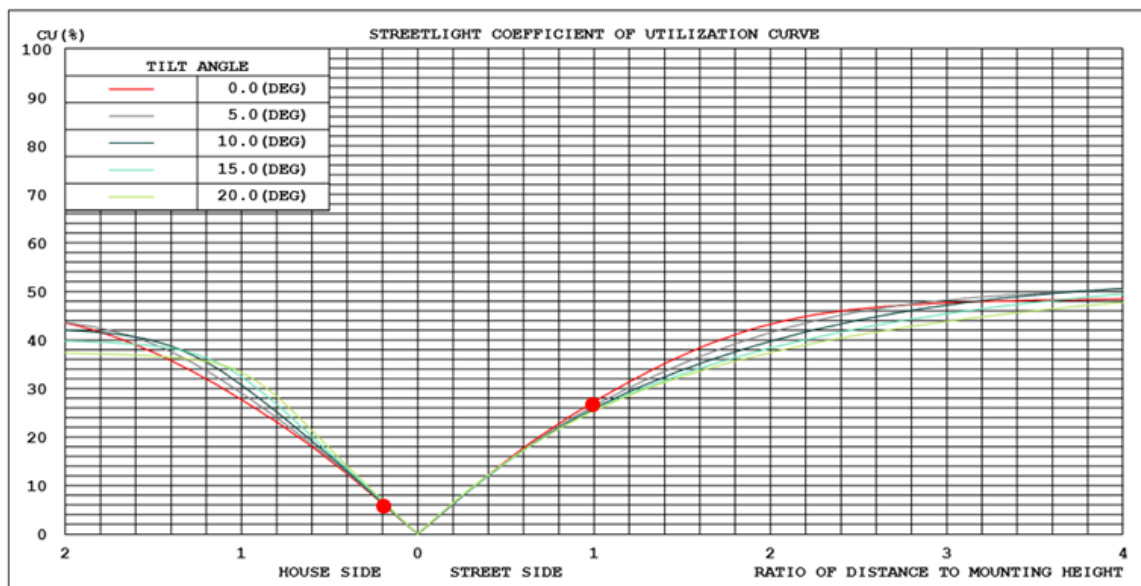


Figura 50. Corbes CU proporcionades pel proveïdor del fanal [50]

El *mf* representa les pèrdues d'il·luminació del sistema per causes d'envelliment, de l'entorn i de la pròpia instal·lació (lents, reflectors...). La tecnologia LED utilitzada té un temps de vida útil de 50.000 hores amb una necessitat de manteniment molt petita i l'entorn en el que es trobaran els fanals és a l'exterior. Per aquests motius, es determina un *mf* de 0,7.

5.1.3.2 Viabilitat tecnològica

Disseny de la distribució dels fanals

Per poder determinar la separació entre fanals s'han de tenir en compte diversos factors que s'especifiquen a continuació.

Primer de tot, els 9,1 km de recorregut de l'Arrabassada a il·luminar no tenen interseccions ni rotondes. Aquest fet simplifica el disseny de la distribució dels fanals podent mantenint una separació constant entre els fanals al llarg de tota la carretera.

L'objectiu principal del disseny de distribució de fanals és aconseguir una il·luminació adequada i homogènia. Per tant, s'ha de tenir en compte les característiques dels LED:

1. Potència fanals: 40W
2. Eficiència: 115 lm/W
3. Lúmens emesos: 4600 lm (Φ_{focus})

Com hem determinat prèviament, la lluminositat desitjada per la carretera de l'Arrabassada serà de 5 lux (E_v) per fanal.

També té un paper important en la definició de la separació dels fanals les característiques de la carretera on s'implantaran.

S'ha de tenir en compte el valor dels paràmetres calculats anteriorment (CU i mf) definits amb l'amplada i alçada de la carretera:

1. CU = 0,34
2. $mf = 0,75$

L'amplada (A) de la carretera és igual a l'alçada (h) dels fanals, amb un valor de 6 metres.

$$L = \frac{\Phi_{focus} \times CU \times mf}{E_v \times A} = \frac{4600 \times 0,34 \times 0,75}{5 \times 6} = 39,1 \text{ m}$$

Finalment, es determina a partir de l'equació anterior que la separació entre fanals serà de 39,1 metres.

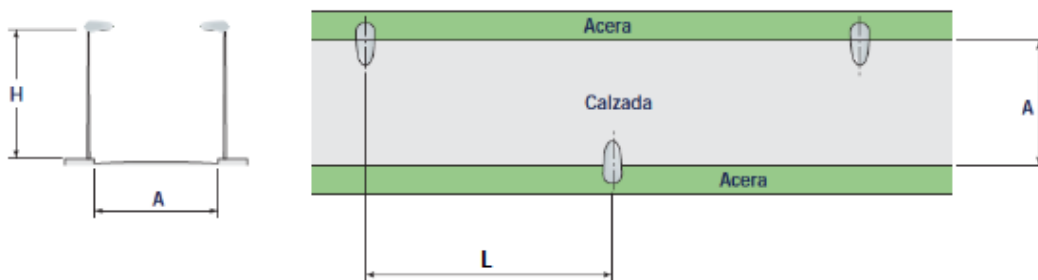


Figura 51. Disseny de l'alçada i separació de les faroles solars [51]

Sabent el total de kilòmetres a il·luminar i la separació que tindran els fanals entre si, el nombre de fanals necessaris per tota la carretera es calcula de la següent manera:

$$N^{\circ} \text{ fanals} = \frac{9,1 \text{ km} \times 1000}{39,1 \text{ m/fanal}} = 232,73 = 233 \text{ fanals}$$

Es necessitarien 233 fanals per aconseguir la il·luminació desitjada.

Si, en canvi, es volguessin il·luminar només els trams que no han rebut cap millora de seguretat, és a dir el tram que dóna a Sant Cugat de 5,2 km, el nombre de fanals seria de 130.

$$N^{\circ} \text{ fanals} = \frac{5,2 \text{ km} \times 1000}{39,1 \frac{\text{m}}{\text{fanal}}} = 132,99 = 130 \text{ fanals}$$

Dimensionament de la instal·lació elèctrica i estructura d'un fanal

En la confecció d'un fanal solar intervenen els següents:

1. Plaques solars
2. Regulador de càrrega
3. Bateries d'emmagatzematge
4. Il·luminació tipus LED
5. Cablejat
6. Estructura del fanal
7. Element de control d'il·luminació

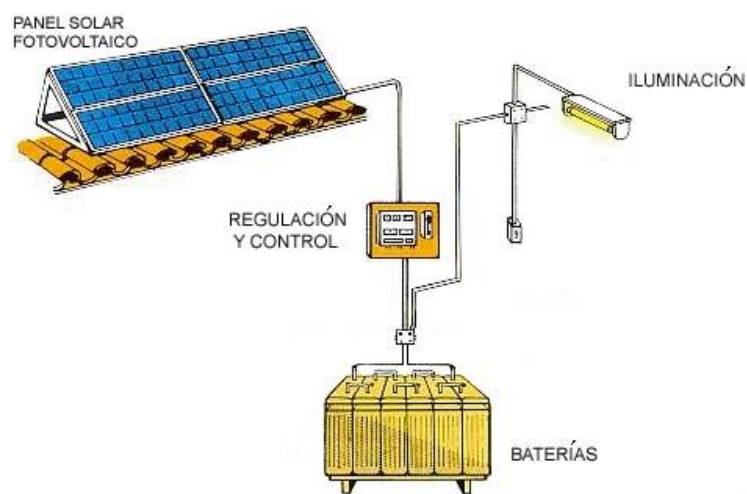


Figura 52. Distribució dels elements de la instal·lació [52]

Les plaques solars s'encarreguen de captar l'energia solar durant el dia i transformar-la en electricitat. Aquesta electricitat s'emmagatzema en les bateries de segon ús per poder utilitzar-la durant la nit.

El regulador de càrrega serveix per evitar que es produeixin sobrecàrregues, sobre descàrregues i curtcircuits. També donarà el voltatge desitjat per la lluminària, ja que el conjunt placa-bateria-llum treballarà a una tensió de 24 V, però algunes bateries de les que es disposa treballen a 48 V.

Finalment, els elements de control serveixen per controlar l'encès i apagat de les faroles quan la llum ambiental està per sota el límit programat. Com que utilitzem il·luminació que funciona amb CC no serà necessari l'ús d'un inversor per transformar-lo a CA.

Dimensionament de la instal·lació elèctrica

1. Definició de l'autonomia dels fanals

Primer de tot, es determina l'autonomia que han de tenir els fanals. Partim de la hipòtesi que els fanals han de tenir la capacitat d'il·luminar la carretera durant una nit d'hivern. Escollim el mes amb menys hores de llum solar per garantir que tindrà l'autonomia suficient durant tots els dies de l'any. Al desembre i gener les hores d'obscuritat són de 14 hores. Per tant, l'autonomia de les faroles que dissenyem serà de 14 hores.

Com s'ha comentat en apartats anteriors, la potència de la il·luminació LED serà de 40 W. S'ha decidit prendre aquest valor perquè és una potència suficient per assolir la il·luminació desitjada i no suposa un consum energètic elevat. La il·luminació LED, a més de ser molt eficient, té l'avantatge de tenir una vida útil més llarga que les bombetes convencionals, quasi quatre vegades superior (50.000 hores).

2. Dimensionament de les plaques solars

La distribució de les plaques pot realitzar-se de dues formes diferents, segons la funcionalitat desitjada.

- Distribució centralitzada

Es situen totes les plaques solars en un sol punt creant una anomenada granja fotovoltaica on es genera tota l'energia necessària que després es distribuirà a tots el focus emissors de llum.

Una distribució d'aquest estil comporta una fàcil instal·lació i manteniment a l'agrupar totes les plaques en una localització i, consegüentment, les bateries d'emmagatzemament. Un altre avantatge és que en cas de renovació dels fanals, les plaques no es veurien afectades.

Les pèrdues de rendiment per l'extens cablejat i el seu elevat cost són factors desfavorables per aquest tipus de distribució. Juntament amb la necessitat d'un terreny suficientment gran per encabir tota la instal·lació i sense objectes que projectin ombra sobre les plaques.

- Distribució individual

S'instal·len plaques independents per a cada fanal solar. D'aquesta forma s'estalvia en cablejat i en pèrdues del sistema. Tampoc necessita terreny addicional al col·locar-se a la part superior de l'enllumenat i com que estarà a 6 metres d'alçada hi ha menys possibilitat de que hi incideixin ombres.

Com a desavantatges principals, la distribució representa un cost d'instal·lació i manteniment més elevat per haver d'utilitzar elevadors i revisions de forma individual. Hem de tenir en compte l'augment del pes a la part superior del fanal que pot generar inestabilitat a l'estructura.

Avaluant tots els factors rellevants, ens decantem per la distribució individual. La ubicació de la instal·lació no permet disposar d'un espai de les característiques necessàries per col·locar totes les plaques solars al ser terreny muntanyós i també podrem ajustar els càlculs de la placa a instal·lar més precisament. Tot i així, hauréem d'utilitzar una estructura i una base pel fanal que resisteixi tots els esforços i oscil·lacions possibles. El cost del projecte serà més elevat però el rendiment serà superior amb aquesta distribució.

Per dimensionar les plaques fotovoltaïques necessàries per la instal·lació s'han de tenir en compte diversos factors.

Aquesta aplicació funciona amb l'energia solar que capten les plaques de la llum solar diàriament, per tant, s'ha de saber el valor de la irradiació del territori on es farà la instal·lació. La irradiació varia segons el territori i el mes de l'any. Per determinar la irradiació que farem servir en els nostres càlculs escollim el mes de l'any amb una irradiació inferior, el mes de desembre. Com es pot observar a la taula següent, amb una inclinació òptima de les plaques solars de 35°, la irradiació del mes de desembre és de 3,68kWh/m². Les plaques solars hauran d'estar orientades cap al Sud geogràfic per aprofitar al màxim la irradiació.

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.17	98.4	3.96	123
Feb	3.87	108	4.88	137
Mar	4.69	145	6.10	189
Apr	4.56	137	6.06	182
May	4.83	150	6.55	203
Jun	4.97	149	6.88	206
Jul	5.03	156	7.04	218
Aug	4.76	148	6.65	206
Sep	4.35	131	5.94	178
Oct	3.81	118	5.07	157
Nov	3.16	94.8	4.05	122
Dec	2.94	91.0	3.68	114
Yearly average	4.18	127	5.58	170
Total for year		1530		2040

Figura 53. Irradiació rebuda per la carretera de l'Arrabassada [53]

Un cop determinada la irradiació de la zona, s'ha de calcular la potència que han de captar les plaques solars per proporcionar a les bateries d'emmagatzematge l'electricitat necessària perquè els LED tinguin l'autonomia desitjada.

Els LED tenen una potència de 40W i han de tenir una autonomia de 14 hores, per tant, l'energia necessària ha de ser de 560Wh.

$$\text{Energia LED} = 40\text{W} \times 14 \text{ hores} = 560\text{Wh}$$

La instal·lació fotovoltaica té un 20% de pèrdues, per tant, les plaques han de captar un 20% més de l'energia necessària pels LED.

$$\text{Energia plaques solars} = 1,2 \times 560\text{Wh} = 672\text{Wh}$$

Per tant, l'energia que han d'absorbir les plaques solars és de 672Wh per compensar les pèrdues.

Tot seguit, s'ha d'escollir el model que volem utilitzar per la nostra instal·lació. Per escollir-lo haurem de tenir en compte la seva potència de pic.

Les plaques solars consten d'un paràmetre que s'anomena pic. El pic es defineix com la màxima potència elèctrica que la placa solar pot generar sota les següents condicions estàndards de mesura:

- Irradiació: 1000 W/m²
- Temperatura: 25° C
- AM: 1,5 atm

És important que el cost de les plaques solars sigui el mínim possible, per aquest motiu, s'ha d'avaluar si surt més a compte utilitzar més mòduls de potència petita o menys mòduls de potència elevada.

Després de comparar diversos models de plaques solars del mercat hem vist que surt més econòmic utilitzar un mòdul d'una potència de pic més elevada que dos mòduls amb una potència inferior. A més de l'avantatge econòmic, utilitzar només un mòdul facilita el muntatge del fanal. D'altra banda, el pes del panell és superior, però amb una estructura de fanal robusta no ha de suposar cap problema.

Per calcular el nombre de mòduls solars necessaris s'usa la següent fórmula:

$$N^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies ús}}{\text{HSP} \times \eta \times \text{Potència pic}}$$

On:

- HSP: Són les Hores Solars Pic. Hores que ha de brillar el Sol a 1kW/m² per obtenir la irradiació necessària. En el nostre cas hem determinat una HSP de 3,68 hores.
- η : Rendiment de la instal·lació tenint en compte les pèrdues a les plaques, bateries i regulador. Es determina ser del 80%.
- L'autonomia del sistema és d'1 dia i s'utilitza diàriament.

Al haver decidit utilitzar només un mòdul per fanal la potència de pic obtinguda és de:

$$1 \text{ mòdul} = \frac{560Wh}{3,68 \text{ h} \times 0.8 \times \text{Potència pic}} ; \text{Potència de pic} = 182,61 \text{ Wp}$$

S'obté que la potència de la placa solar ha de ser igual o superior a 182,61Wp. Del proveïdor *Autosolar* s'escull una placa de 200W. Al ser sobredimensionada pot cobrir possibles deficiències del sistema.

La inclinació de les plaques solars, com s'ha determinat anteriorment amb la irradiació, serà de 35°. La placa solar té les següents característiques:

Paràmetre	Valor
Potència de pic	200Wp
Voltatge	24V
Cel·les	72
Categoria	Policristal·lí
Llargada x amplada	1490mm x 990mm
Àrea	1,47m ²
Gruix	40mm
Pes	17,5kg
Vida útil	25 anys

Taula 7. Característiques de la placa solar Waaree 200W [7]

Dimensionament del número i tipus de bateries

Per determinar la capacitat de les bateries d'emmagatzematge d'electricitat és important tenir en compte el concepte de la profunditat de descàrrega (DoD). És el coeficient que determina fins a quin percentatge de la capacitat total es pot descarregar la bateria. Si es superés el límit es causarien danys irreversibles que no permetrien el futur funcionament de la bateria. Per bateries de plom i les AGM el DoD és del 50% i del 70%, respectivament. En el cas de les bateries de liti, per la química LiFePO₄ que és la que utilitzem, el DoD és del 80%.

Les pèrdues del sistema ja s'han tingut en compte en el dimensionament dels panells solars, però la bateria sofreix pèrdues per temperatura i rendiment intern, que es consideren del 20%. Sabem que la bateria ha de ser capaç de cedir 560Wh als LED, però ha d'emmagatzemar 672Wh. Si es tenen en compte les condicions esmentades anteriorment, la bateria ha d'emmagatzemar la següent energia:

$$\text{Capacitat bateria} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies autonomia}}{\text{DoD} \times \eta} = \frac{672\text{Wh}}{0,8 \times 0,8} = 1,054 \text{ kWh}$$

Per tant, per determinar la capacitat del conjunt de bateries s'ha dividit la potència elèctrica que s'ha de proporcionar a vehicle entre el rendiment i el coeficient de descàrrega. Obtenim una capacitat necessària de la bateria d'emmagatzematge de 1,054 kWh.

Les bateries de les motos elèctriques Scutum tenen una vida útil més elevada que les Torrot. Per aquest motiu, preferim utilitzar les bateries de les Scutum per aconseguir una vida útil del conjunt de l'aplicació superior. A més, el pes de la bateria Torrot és més alt, la qual cosa pot dificultar l'estabilitat del fanal perquè la bateria se situa a la part superior del bàcul.

La capacitat inicial de les bateries Scutum és de 6 kWh. Un cop adquirim les bateries es troben al 80% de la seva capacitat, per tant, només 4,8 kWh estan disponibles pels fanals solars.

Hem determinat que la capacitat necessària del conjunt acumulador ha de ser de 1,054 kWh, per tant, només fa falta una bateria Scutum.

Dimensionament de l'estructura de la instal·lació

a. Bàcul i fonaments del fanal

L'alçada ja definida és de 6 metres. S'ha escollit el model ICAP60 de la marca BENITO com a bàcul de la farola. És una columna de forma troncocònica d'acer galvanitzat S-235-JR. La seva base té una superfície quadrada de 30cm de costat. Per ancorar la base al terra s'utilitzen 4 pernès metàl·lics de 18mm de diàmetre i 50 cm de llarg introduïts en una fonamentació de ciment de 50cmx50cmx70cm, segons les taules extretes amb l'equació de Sultzberger ^[61]. Aquesta part de la instal·lació és la que ha de suportar els esforços i moments que rep el fanal en qualsevol situació i per això, les dimensions escollides corresponen a un coeficient de seguretat superior a 3,5. És adient destacar que l'estructura del fanal només ocupa 0,25m² de la calçada.

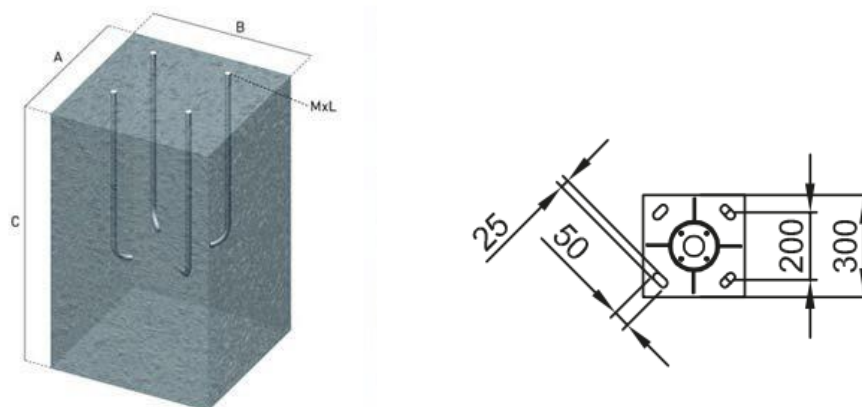


Figura 54. Dimensions de cimentació i base del bàcul [54]

b. Luminària solar

Per la il·luminació hem escollit una lluminiària LED de 40W. Aquest model està fabricat amb una carcassa compacta d'alumini que garanteix una òptima dissipació de la calor i evita la pèrdua de potència de llum aconseguint una durabilitat de 50.000 hores de vida.

Les seves característiques tècniques són les següents:

Especificacions tècniques	Valor
Potència	40W
Lúmens	4000 Lm
To de llum	4000K llum dia
Tensió	24 V
Tipus de LED	Epistar
Factor de potència	>0,95
Angle d'obertura	120°
Durabilitat	50.000 hores de vida
Dimensions	520x230x70 mm

Taula 8. Especificacions tècniques del fanal de 40W [8]

Els principals avantatges d'aquest tipus de tecnologia són els següents:

1. Molt baix consum
2. Potència i sensació lumínica molt elevada
3. Encès immediat i instantani
4. Elevada eficiència i màxima duració
5. No contenen substàncies nocives
6. Són molt fàcils d'instal·lar i tenen un manteniment de baix cost

c. Bateria de segona vida

Per confeccionar la instal·lació elèctrica d'un fanal es necessita una bateria de segona vida. Per aquesta aplicació hem decidit utilitzar la bateria de la moto elèctrica Scutum. És una bateria que es caracteritza per tenir una vida útil duradora en comparació a la resta de bateries de motos elèctriques. A més, pesa poc i és extraïble, la qual cosa la converteix en una bateria fàcilment manipulable. Com ja s'ha comentat, disposarem d'una capacitat inicial de 4,8 kWh.

Quan la bateria es troba al 80%, és capaç de subministrar l'energia necessària per alimentar tres dels nostres fanals. Per tant, convé analitzar la viabilitat de reutilitzar directament la bateria o reconfigurar els mòduls per adaptar-la a les nostres necessitats.

A continuació, es mostra una taula comparativa de les dues estratègies nomenades anteriorment:

Reutilització directa		Reconfiguració de mòduls	
A favor	En contra	A favor	En contra
No necessita comprovació de l'estat de la bateria	Producte final poc adaptable per algunes aplicacions en la segona vida	Producte final optimitzat per l'aplicació escollida en la segona vida	Més inversió de temps en preparar la nova bateria
Procés de rehabilitació senzill	Manipulació de bateries més grans	Fàcil manipulació dels mòduls o cel·les	Necessitat de construir la nova configuració
Reutilització de tots els components de la bateria	Necessitat de noves interfícies de comunicació	Sistema de refrigeració i BMS adaptat	Disseny i programació de nous components
Més barat que la reconfiguració de mòduls	Intrusió a nivell de bateria	Intrusió a nivell de mòdul	Més car que la reutilització directa

Taula 9. Comparació entre reutilització i reconfiguració [9]

Perquè reconfigurar els mòduls sigui una opció viable ha de ser un procés estandarditzat que agilitzi el treball i s'ha de disposar del personal especialitzat per dur-lo a terme. S'hauria de dissenyar la nova configuració, adquirir els components addicionals i programar el comportament d'aquests.

Per una banda, reconfigurar els mòduls d'una bateria suposa un cost addicional. Per l'altra, el número de bateries que s'han de comprar al proveïdor és inferior perquè amb una sola bateria es poden subministrar fins a tres fanals.

Finalment s’opta per la reutilització directa, ja que, al no tenir un procés industrialitzat per un sol projecte, el cost addicional seria massa elevat i no proporcionaria l’estalvi econòmic suficient. Si en un futur s’acordessin més projectes s’estudiaria l’opció d’adaptar les bateries de forma més adequada al seu ús. A més, al sobredimensionar les bateries es disposa de més autonomia en períodes de temps en què la irradiació solar no sigui la prevista, com en dies ennuvolats.

A continuació, es mostra el procés d’extracció de la bateria:

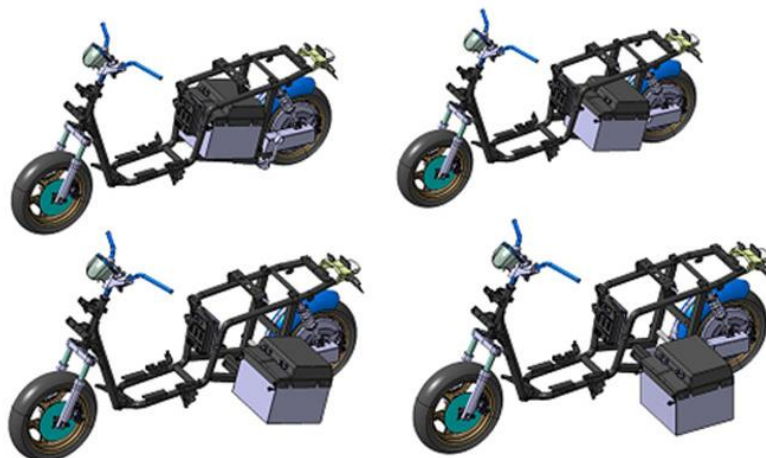


Figura 55. Procediment d’extracció de la bateria de la Scutum [55]

A continuació es detallen les especificacions tècniques d’una bateria:

Especificacions tècniques	Valor
Tipus de bateria	LiFePo ₄
Capacitat	6kWh
Voltatge	48V
Extraïble	Sí
Número de cicles pel 100%	1200
Número de cicles pel 80%	900

La bateria anirà situada a la part superior del fanal una connexió optimitzada i més còmode als LED i a la placa solar. La bateria estarà protegida per una càpsula juntament amb les connexions de la instal·lació fotovoltaica i de la il·luminació. Aquesta càpsula evita que les condicions meteorològiques degradin la bateria i que es produeixin robatoris, ja que es troba situada a 6 metres d’alçada.

A la Figura 56 es pot veure com queden distribuïts els diferents elements de la instal·lació elèctrica.

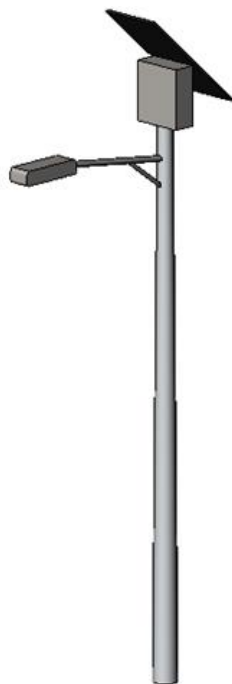


Figura 56. Disseny 3D del fanal a instal·lar [56]

Durant el dimensionament de les plaques solars hem establert que l'angle d'inclinació òptim per absorbir més irradiació solar és de 35° i amb orientació al Sud. Per aquest motiu, el suport de la placa solar oferirà la flexibilitat d'orientar-la convenientment segons la ubicació de cada fanal.

d. Cablejat

Si considerem totes les connexions entre el conjunt bateria-placa-llums, la quantitat de cable a utilitzar serà aproximadament de 5 metres. Donat la quantitat de corrent a transmetre s'utilitza una secció de $2,5 \text{ mm}^2$.

5.1.3.3 Viabilitat econòmica

Un cop determinada la viabilitat tecnològica del nostre projecte s'ha de determinar el seu cost. Encara que suposi un estalvi des del punt de vista de consum de la xarxa elèctrica, la inversió inicial de la instal·lació fotovoltaica és elevada. Per tant, el principal objectiu per aconseguir que aquest projecte sigui rendible és poder finançar la inversió inicial amb l'ajuda de l'Administració.

1. Preu de la bateria

Un cop s'adquireixen les bateries el seu cost final es veu reduït, ja que el fabricant de la moto elèctrica ha amortitzat el seu cost inicial dins de la seva comptabilitat. Un altre factor que influeix en la reducció del preu de compra de les bateries de segona vida és

que es troben al 80% de la seva capacitat inicial i que han pogut patir algun tipus de deteriorament.

A més, s'estableix en el contracte un acord de confiança amb el proveïdor de les bateries que es compromet a comprovar l'estat de salut de cada una d'elles en el moment de la seva retirada i facilitar-nos aquesta informació. D'aquesta manera, ens estalviem el cost que suposa fer els tests de capacitat i de descàrrega.

El preu de sortida de la bateria de la Scutum és de 1.500€. Com que actualment no hi ha encara bateries obsoletes no es pot determinar exactament el preu de segona mà de les bateries. Però, es pot afirmar que el preu no serà massa elevat ni gratuït, ja que una bateria segueix tenint molt valor. Aplicant les consideracions esmentades anteriorment el preu de la bateria passar a ser de 400€ [62].

1. Preu de la instal·lació del fanal

El cost del material utilitzat per dur a terme el fanal solar LED és el següent:

Material	Quantitat	Cost
Plaques solars	1 mòdul 200 W	180,65€
Il·luminació LED	1 focus 40 W	65,95€
Bateries acumuladores	1 bateria Scutum 6kWh	400€
Regulador de càrrega 24V	1 (sensor crepuscular inclòs)	123,27€
Cablejat	Cable de 2,5mm ²	0,44€/metre

Taula 10. Cost dels materials pel fanal solar [10]

5.1.4 Senyalitzacions Il·luminoses

5.1.4.1 Especificacions de la instal·lació

Els principals perills que caracteritzen la carretera de l'Arrabassada són les corbes tancades i l'aparició d'animals salvatges a la calçada. És per aquest motiu que les senyalitzacions que predominen a la carretera són les de límit de velocitat, els indicadors de direcció i de corbes i les de presència d'animals salvatges. Una millor visibilitat d'aquests senyals en moments amb poca llum significaria que els conductors es mantindrien més alerta i informats respecte les condicions de la carretera, reduint així el nombre d'accidents.

Aquest projecte tindrà com a objectiu millorar la visibilitat dels senyals que es troben actualment a la carretera adaptant-les de forma adequada i realitzant les operacions necessàries. D'acord amb els perills mencionats anteriorment, s'il·luminaran només les senyalitzacions d'animals salvatges i els indicadors de direcció i de corbes.

Actualment, en tot el recorregut de la carretera hi ha un total de 4 senyals d'animals salvatges i 42 indicadors de direcció. Considerant la instal·lació de fanals solars LED, la il·luminació de la via haurà millorat ja significativament, per tant, es modificaran només els senyals de corbes molt tancades, és a dir, un total de 20 senyals. Aquests senyals de direcció estan dissenyades per ser vistes des dels dos sentits de la carretera, és a dir, un senyal té dues cares. Per tant, a l'hora de realitzar els càlculs s'ha de comptabilitzar cada senyal amb les dues cares.

5.1.4.2 Viabilitat tecnològica

Disseny de la il·luminació LED de les senyalitzacions

Per il·luminar les senyals s'escullen díodes LED de color groc perquè, a més de ser el color que s'utilitza més sovint juntament amb els LED vermells, consumeixen menys que altres colors. El disseny d'una senyal indicadora de direcció constarà de 18 LED per fletxa. Per tant, cada cara de la senyal tindrà 36 LED al tenir dues fletxes i 72 en total per cada senyal.



Figura 57. Disseny de la distribució dels LED a la senyal de corbes [57]

Per simplificar els càlculs, per la senyal de presència d'animals salvatges també es col·locaran 72 díodes LED distribuïts com indica la imatge.



Figura 58. Disseny de la distribució dels LED a la senyal d'animals salvatges [58]

Dimensionament de la instal·lació elèctrica

Primer de tot s'ha de determinar la potència que consumiran les senyals durant una nit. Els díodes LED solen alimentar-se a una tensió d'entre 1,8V i 2,2V. Els LED seleccionats s'alimenten amb corrent continu a una tensió d'1,8V i amb una intensitat de 20mA que comporta un consum individual de 36mW.

$$1,8V \times 20mA = 36mW$$

El sistema portarà els components resistius necessaris per proporcionar la tensió adequada als díodes, ja que la tensió nominal de la bateria és més elevada.

El sistema funcionarà de forma intermitent. Les dues fletxes (o animal salvatge) d'una de les cares del senyal s'encendran i apagaran a la vegada mentre l'altra cara es troba totalment apagada. És a dir, hi haurà la intermitència dels LED entre les dues cares del senyal. Seguint en la línia de l'estalvi energètic, aquest funcionament l'implementarem amb simples interruptors electrònics que consumeixen poc. Per posar un exemple, el controlador més utilitzat en sistemes similars s'alimenta a una tensió d'1,8V i a 0,3 mA, suposant una potència consumida de 0,54mW, que és suficientment petita en comparació per no tenir-la en compte.

Durant la nit, els díodes seguiran un funcionament periòdic amb un període d'1 s amb el mateix temps d'encès i apagat, 0,5 segons. Com s'ha explicat anteriorment, també hi ha intermitència entre les dues cares del senyal, per tant, durant els 0,5 segons que una cara estigui apagada l'altra estarà encesa. D'aquesta manera, el sistema d'un senyal consumirà 1,3W de manera constant perquè sempre hi haurà 36 LED encesos al mateix temps.

$$Potència\ senyal = 0,036W \times 36LED = 1,3W$$

Com en el cas dels fanals, partim de la hipòtesi que volem que el senyal es mantingui encesa durant els mesos amb menys llum solar de l'any, desembre i gener. En aquesta època de l'any es necessita una autonomia de 14 hores per poder assegurar una bona visibilitat.

Dimensionament de les plaques solars

Per saber l'energia solar que han de captar les plaques solars, prèviament s'ha de determinar l'energia que necessiten les senyals per complir amb la seva funció:

$$Energia\ senyal = 1,3W \times 14\ hores = 18,2Wh$$

Cada nit se li han de subministrar 18,2Wh a cada senyal perquè els LED es mantinguin encesos durant la nit més llarga de l'any.

A continuació, rescatem alguns valors utilitzats per dimensionar les plaques solars en els fanals. La irradiació durant el mes de desembre és de 3,68kWh/m² i les pèrdues que pateix la instal·lació fotovoltaica són del 20 %, per tant, l'energia que han d'absorbir per proporcionar la potència necessària als LED de les senyals és la següent:

$$Energia\ plaques\ solars = 1,2 \times 18,2Wh = 21,84Wh$$

Com es pot observar, l'energia que han d'absorbir les plaques solars és molt petita, per tant, la seva potència de pic serà reduïda. Per saber quants mòduls necessitem, com hem vist anteriorment, hem de dividir l'energia que han de captar les plaques solars entre la irradiació de la zona per la potència de pic:

$$Mòduls\ plaques\ solars = \frac{21,84Wh}{3,68 \times W_p} = 1\ mòdul ; W_p = 5,93\ W$$

Utilitzant una placa solar de 10W de potència de pic només necessitem un mòdul.

Les característiques de la placa solar escollida són les que es mostren a la següent taula:

Paràmetre	Valor
Model	Aleko 24V-10 W
Potència de pic	10Wp
Voltatge	24V
Cel·les	36
Categoria	Monocristal·lí
Llargada x amplada	670mm x 905mm
Àrea	0,105m ²
Gruix	15mm
Pes	2,06kg

Taula 11. Especificacions tècniques de la placa solar Aleko 24V 10Wp [11]

Dimensionament del número i tipus de bateries

Seguint el mateix procediment que hem utilitzat per saber l'energia que han d'emmagatzemar les bateries en el cas dels fanals solars, obtenim el següent valor per les senyals:

$$\text{Capacitat bateria} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies autonomia}}{\text{DoD} \times \eta} = \frac{21,84 \text{ Wh}}{0,8 \times 0,8} = 34,13 \text{ Wh}$$

Amb el resultat obtingut, emprant qualsevol tipus de bateria analitzada en aquest projecte donarem abast amb una sola bateria.

Si considerem totes les connexions entre el conjunt bateria-placa-llums, la quantitat de cable a utilitzar serà aproximadament de 5 metres. Donat la quantitat de corrent a transmetre s'utilitza una secció de 2,5 mm².

5.1.4.3 Viabilitat econòmica

El sistema de les senyalitzacions té una demanda d'energia molt menor que el dels fanals solars, per tant és lògic analitzar si una bateria de segona vida amb menys capacitat que la de la marca *Scutum* seria adient. Com ja s'ha calculat, la bateria ha de subministrar 34,13Wh. Estudiant les característiques de totes les bateries mencionades en aquest projecte s'opta per les bateries de les bicicletes elèctriques. Aquest tipus de bateries tenen la menor capacitat inicial d'entre totes, un total de 576Wh. Quan disposem d'aquestes bateries es troben al 80%, així que tindran una capacitat de 460Wh, sent més que suficient pel sistema dissenyat.

El preu de cost d'aquesta bateria és aproximadament de 145€^[63] i, seguint el mateix raonament que amb la instal·lació dels fanals solars, la nostra empresa les adquirirà per 38,7 €.

Per a la senyalització, el preu de cada component és:

Material	Quantitat	Cost
Placa solar	1 mòdul	24,5€
Il·luminació LED	1 díode LED 5mm	0,17€
Bateries acumuladores	1 bateria de bici	38,7€
Regulador de càrrega	1 (sensor crepuscular inclòs)	123,27€
Interruptor	1 commutador	5,09€
Cablejat	Cable de 2,5mm ²	0,44€/metre

Taula 12. Material utilitzat per la instal·lació elèctrica i el seu cost corresponent [12]

5.1.5 Pressupost

El projecte es divideix en dos grans subprojectes amb metodologies diferents. Per una banda hi ha la instal·lació dels fanals solars LED i, per l'altra, l'adaptació a senyals lluminosos dels senyals existents. A continuació es troba desplegat el pressupost, primer de forma resumida i després desglossat, del projecte separat en les dues etapes.

- Etapa 01: Instal·lació de l'enllumenat amb fanals solars LED.
- Etapa 02: Instal·lació dels senyals lluminosos.

NUM.	RESUM OPERACIÓ	QUANT.	PREU U.	IMPORT €
ETAPA 01. INSTAL·LACIÓ ENLLUMENAT AMB FANALS SOLARS				
01.00	Excavació de forat per la base Operació mecànica amb compressor i grup electrogen de les dimensions de la cimentació que subjectarà la farola. Retirada i càrrega dels materials residuals de l'excavació pel posterior transport a un abocador autoritzat.	233	79,42	18.504,86
01.01	Cimentació forat Emplenar forat de 500x500x700mm amb formigó en massa HM-20. Inclosos els pernès metàl·lics de 18mm de diàmetre i 500mm de llarg i totes les peces i maquinària addicional necessària.	233	37,75	8.795,75
01.02	Instal·lació bàcul Recepció i col·locació de la columna de 6 metres. Serà ancorada per la seva base amb els 4 pernès de la cimentació.	233	249,94	58.236,02
01.03	Lluminària solar LED Subministrament i instal·lació dels components del fanal. Connexions amb cablejat entre la bateria de segona vida, placa fotovoltaica i llum LED controlada amb el microcontrolador.	233	854,33	199.059,27
			4415,73	
Total Etapa 01. Instal·lació enllumenat amb fanals solars				284.595,9

NUM.	RESUM OPERACIÓ	QUANT.	PREU U.	IMPORT €
ETAPA 02. INSTAL·LACIÓ DELS SENYALS LLUMINOSOS				
02.00	Adaptació senyalitzacions existents	24	39,95	958,80
	Realització dels forats i suports en les senyalitzacions existents per la posterior col·locació dels LED intermitents i sistema solar.			
02.01	Lluminària solar LED	24	253,77	6.090,48
	Recepció i instal·lació de les parts que componen les senyalitzacions lluminoses. Connexions amb cablejat entre la bateria de segona vida, placa fotovoltaica i llums LED amb sistema interruptor incorporat.			
Total Etapa 02. Instal·lació senyals lluminosos				7.049,28

NUM.	NOM ETAPA	IMPORT €
01.	INSTAL·LACIÓ ENLLUMENAT AMB FANALS SOLARS	284.595,9
02.	INSTAL·LACIÓ SENYALS LLUMINOSOS	7.049,28
TOTAL EXECUCIÓ		291.645,18

El cost total del projecte són 291.645,18 €. Després s'han de comptabilitzar despeses generals durant la construcció, el cost del disseny del projecte i de realització del mateix (Benefici industrial). Sobre aquest preu se li suma l'I.V.A. El preu final serà el que s'entregarà a client, és a dir, a l'Administració.

5,00% Despeses Generals	14.582,25
8,00% Benefici Industrial	23.331,61
Suma de DG i BI	37.913,86
Preu abans d'impostos	329.559,04
21,00% I.V.A.	69.207,4
TOTAL PRESSUPOST GENERAL	398.766,43€

5.1.7 Normativa a complir

Les actuacions descrites en aquest projecte no afecten a cap edificació ni comporten obres que modifiquin volums o superfícies, només afecten a la il·luminació de la carretera. Per tant, es considera que el present projecte compleix amb la normativa urbanística que recau en l'Ajuntament de Barcelona. S'ha de demanar el corresponent permís de construcció al Ministeri de Foment en els casos en que es causin obstruccions a la via.

La normativa específica del projecte que s'ha de tenir en compte i es donarà compliment d'acord amb el Reial Decret i ENDESA és:

- a. Reial Decret 842/2002 del 02-08-2002. Reglament electrotècnic per noves instal·lacions de baixa tensió.
- b. Reial Decret 314/2006 del 17 de març. Aprovació del Codi Tècnic d'Edificació (C.T.E.).
- c. Normes de l'empresa Distribuidora ENDESA Distribución Eléctrica, S.L.U.
- d. Battery Directive 2006/66/EC Unió Europea.

5.1.7 Impacte social

A l'hora de valorar la viabilitat d'implantació del projecte i la seva utilitat, fer l'anàlisi dels possibles resultats amb dades objectives és una obligació. Un cop se sap el cost del projecte és convenient determinar el període de retorn de la inversió. En el cas d'aquest projecte, no és possible determinar el període de retorn, ja que no es tracta d'una inversió inicial per un negoci. Al treballar pel sector públic, no es crea un negoci per obtenir ingressos continus.

Si que serà d'utilitat, en canvi, analitzar el nivell d'impacte positiu que representa el sistema i l'estalvi que suposa el projecte en comparació a altres opcions. Una d'aquestes opcions és que l'enllumenat públic es realitzi de forma tradicional. Però, donat que la instal·lació tradicional té una viabilitat tecnològica i econòmica remota per la dificultat de connectar el sistema a una xarxa elèctrica que actualment no existeix, es farà una comparació amb el cost i consum d'electricitat que suposaria una instal·lació tradicional.

Es considera que una farola tradicional consumeix 400 W ^[64] i que s'utilitzarien el mateix nombre de fanals. La mitja anual de la duració de la nit a Espanya és de 11 hores aproximadament.

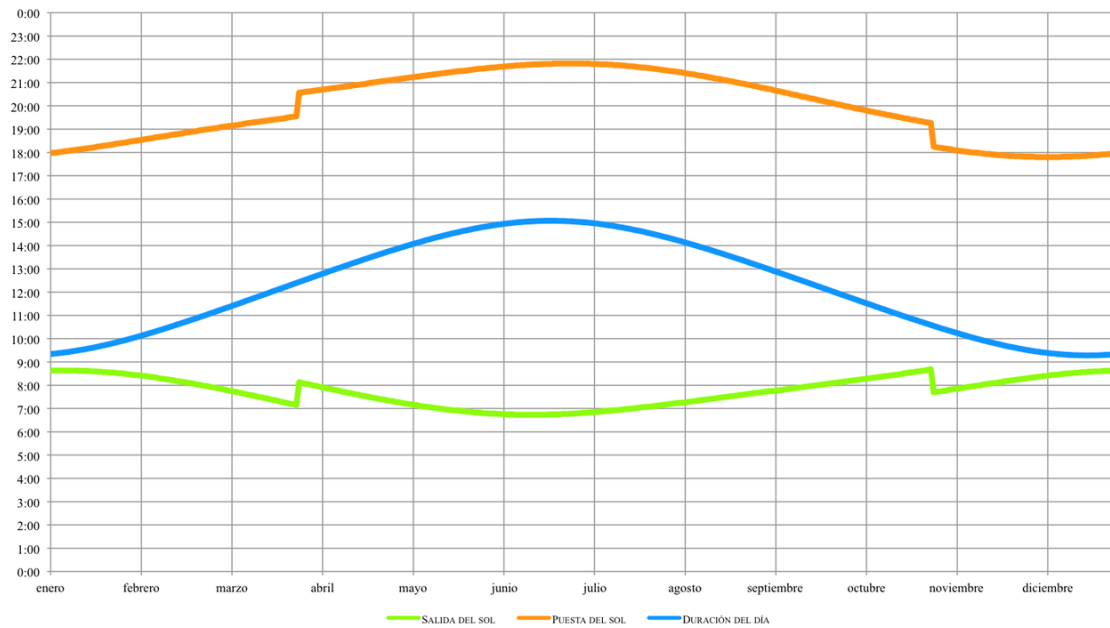


Figura 59. Gràfic de les hores de llum diàries a Espanya l'any 2011 [59]

Un fanal necessita 4.400Wh en una nit i 1606kWh/any. Havent definit que el nombre de fanals seguiria sent 233, el consum d'electricitat de tot el sistema de la carretera de l'Arrabassada pujaria fins els 1606 x 233 = 369.380 kWh/any.

El preu mig del kWh l'any 2017 ha estat de 0,11916 € [65]. Amb aquestes consideracions el cost de l'electricitat amb el sistema d'il·luminació tradicional és de 44.005,32 €. El cost de la instal·lació tradicional seria inferior, sense tenir en compte el cost que suposaria una connexió a la xarxa elèctrica. De la forma tradicional el sistema costaria 447,11 € per fanal, ja que el preu de la lluminària és molt més baix al no incloure plaques fotovoltaïques o bateries de ió-liti. El cost de la instal·lació seria de 102.835,3 €.

La comparació de costos es farà en funció del temps i seguiran les següents equacions:

$$Cost f. solars = 284.595,90 \text{ €}$$

$$Cost f. tradicional = 102.835,3 + t \times \frac{369.380kWh}{any} \times 0,11916\text{€/kWh}$$

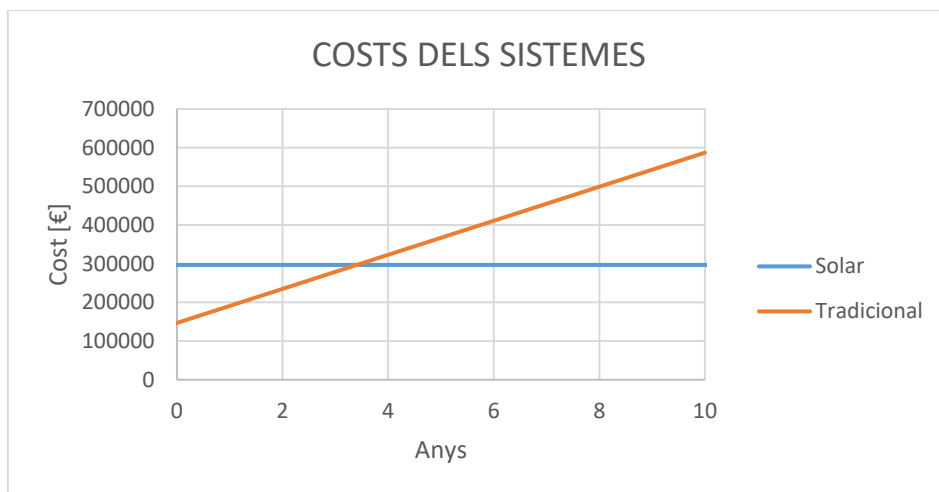


Figura 60. Gràfic comparatiu del cost d'un fanal solar envers un tradicional amb el pas del temps [60]

Amb el gràfic temporal és fàcil veure que si el sistema es realitza de la forma determinada en aquest projecte, en comptes de la forma tradicional, amb menys de 4 anys des de la instal·lació s'hauria amortitzat la inversió inicial. A partir del punt d'equilibri, la diferència entre les dues rectes representa l'estalvi que suposa el sistema solar. Per tant, des del punt de vista econòmic, es pot determinar la viabilitat del projecte.

Per una altra banda, el principal problema que pretén resoldre aquest projecte és millorar la seguretat viària d'una carretera, i a més de forma sostenible.

La proposta d'il·luminar la carretera de l'Arrabassada adequadament reduiria la taxa d'accidents nocturns en un 35%, segons un estudi de la Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE) [66]. Principalment el sistema ajudaria a estalviar danys potencials a persones, ja siguin conductors o ciclistes, però el sector públic també es beneficiaria.

Aproximadament, la neteja de la calçada per retirar objectes perillosos per a la circulació com cristalls, pneumàtics o oli després d'un accident, suposa un cost de 600 €. Tornar a asfaltar un tram d'1km de carretera costa un 65.000 €, el que significa que un tram de 30 m costaria 1.950 € [67]. Aquestes possibles despeses es reduirien conseqüentment.

De cara a la societat afectada per aquestes millores, és a dir, les persones que transiten la carretera, es pot concloure que la finalitat d'aportar una millora es veu completada.

5.1.8 Impacte ambiental

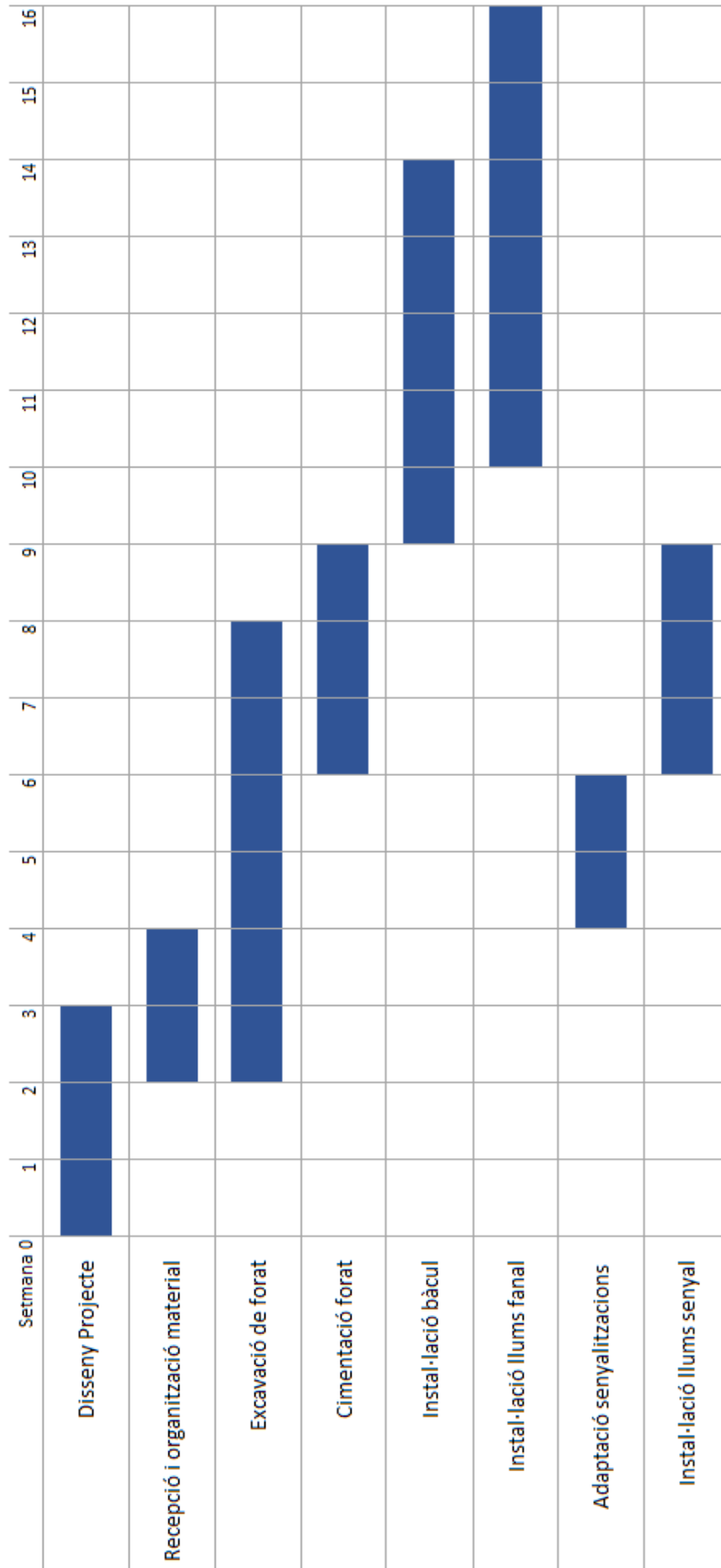
Aquest projecte pretén reduir l'impacte ambiental en totes les seves fases: instal·lació, vida útil i retirada. La primera fase pot resultar la més perjudicial pel medi ambient. L'energia que necessita tota la maquinària de la construcció sol ser proporcionada per combustibles fòssils i la fabricació dels components sol ser proporcionada per combustibles fòssils que no són renovables i emeten contaminants a l'atmosfera.

Una de les grans finalitats d'aquest projecte és que durant el funcionament del sistema no es genera cap mena d'impacte ambiental degut als següents factors:

1. No hi ha cablejat extern. A l'estar ubicada en una zona de bosc amb molta vegetació amb el sistema escollit s'estalvia el risc d'incendi. La instal·lació té un volum petit sent poc invasiu amb l'entorn.
2. Ús de bateria de segona vida. Es redueix l'impacte donant alternativa a bateries que estaven obsoletes que anirien a un centre de tractament o de reciclatge.
3. Energia solar 100% és renovable, no contaminant i un recurs que no s'esgota. Per això, és adient per zones sense xarxa elèctrica.
4. Distribució de llums LED: es crea un millor aprofitament de la llum sobre la calçada, menys contaminació lumínica i menys enlluernament dels conductors. Aquesta tecnologia també requereix menys manteniment que la convencional.
5. S'incentiva l'ús d'energies renovables i llums de baix consum. Es mostra a la ciutadania la viabilitat i bon resultat d'utilitzar energies renovables. Aquest fet resulta en un estalvi energètic respecte sistemes tradicionals.
6. Com ja s'ha vist una farola convencional necessita 4,4kWh diaris per funcionar. Comptabilitzant que el total de faroles de la carretera fossin convencionals es necessitaria 1.012 kWh diaris per alimentar tot el sistema. Generar tota aquesta energia a partir de recursos no renovables en centrals de generació suposa una emissió de 350 kg de CO₂ a l'atmosfera ^[68].

Per últim, el component del sistema que abans arriba a la fi de la seva vida útil és la bateria. Els LED tenen un cicle de vida garantit de 50.000 hores, que són uns 13 anys, i les plaques solars tenen una garantia de 25 anys. Per tant un cop les bateries perdin la seva utilitat s'hauran de retirar apropiadament i portar-les a un centre de recollida especialitzat. Com ja s'ha vist, actualment el reciclatge encara està per desenvolupar-se, però en el moment en què les bateries quedin obsoletes la tecnologia pot haver evolucionat i es poden portar directament a plantes de reciclatge, pagant el preu corresponent. D'aquesta forma es tancaria el cicle, formant una economia circular favorable pel medi ambient i la societat, creant bateries noves a partir del material de bateria reciclat.

5.1.9 Planificació



5.2 Abastiment del poblat del tercer món d'Abomey amb electricitat per escoles i hospitals

5.2.1 Objectiu

Proporcionar energia a poblacions pobres i amb falta de recursos per millorar la qualitat de vida de la zona. Implementant un sistema per obtenir electricitat de manera renovable i emmagatzemant-la en bateries de segona vida és possible generar canvis significatius en l'estil de vida de països en desenvolupament. S'haurà d'acordar col·laboracions amb altres empreses, inversors, ONG's i organitzacions de contacte al país on s'actua per fer viable els projectes.

5.2.2 Motivació

L'obligació moral, que tota empresa i individu hauria de seguir, de generar un impacte positiu a la societat per davant d'un major benefici, dona lloc a oportunitats d'ajuda a països pobres.

El terme "pobresa energètica" significa que una població no té cap mena d'accés a energia. Lògicament, aquest fet comporta que la població en qüestió es troba en desenvolupament, però també que no tindrà la capacitat ni possibilitat de sortir de la pobresa. La falta d'energia impossibilita a un país desenvolupar-se de forma econòmica i tecnològica per generar riquesa, ja que una falta d'energia moderna, adequada, confiable i a preus competitius limita la creació d'activitats econòmiques dins la població.

La situació actual és que 1.300 milions de persones no disposen d'accés a electricitat, que és aproximadament una cinquena part de població mundial. Un total de 2.700 milions de persones utilitzen mètodes perjudicials per a la salut per cuinar i escalfar les llars, sobretot a Àfrica en zones rurals. Per una altra banda, 5.000 nens moren al dia per falta d'aigua potable ^[70].

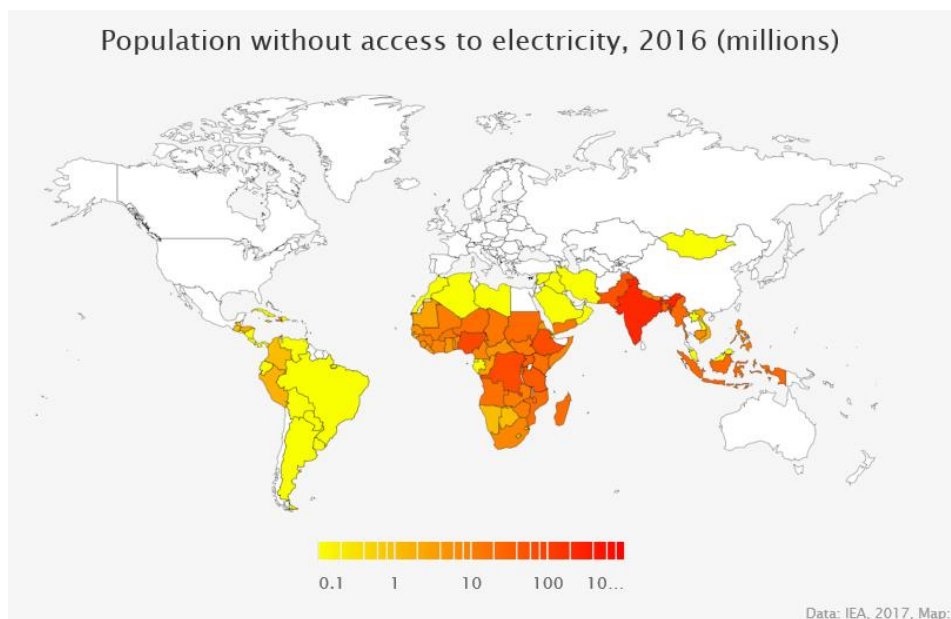


Figura 61. Imatge de la població sense accés a l'electricitat a l'any 2016 [61]

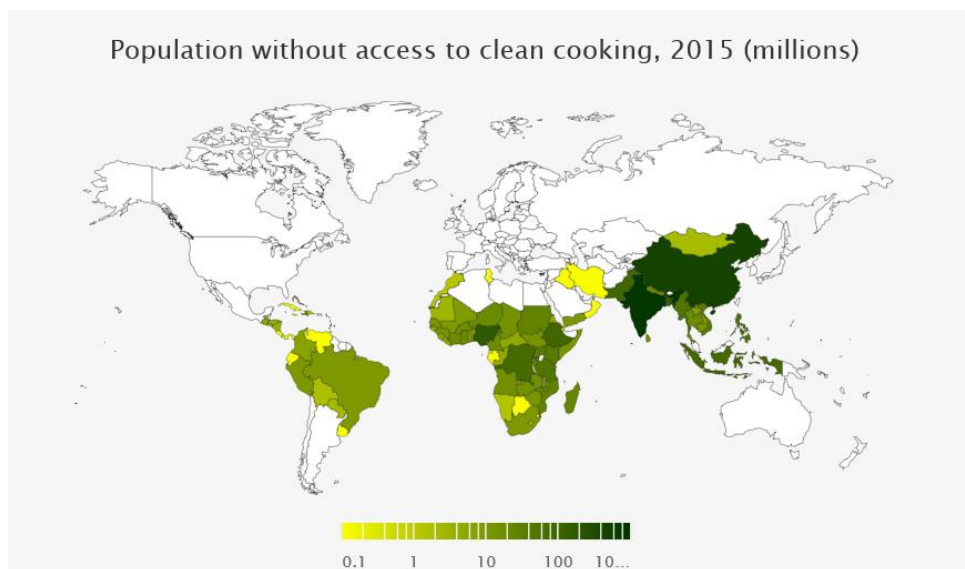


Figura 62. Imatge de la població sense accés a una cuina neta a l'any 2015 [62]

En un futur escenari hi haurà 1.000 milions de persones sense accés a energia al 2030. Aquestes dades donen lloc a poder realitzar millores, i més tenint en compte que només s'explota entre el 10% i el 20% del potencial hidroelèctric i el solar d'Àfrica o Àsia [71].



EN 2030 HABRÁ 1000 MILLONES DE PERSONAS SIN ACCESO A LA ENERGIA

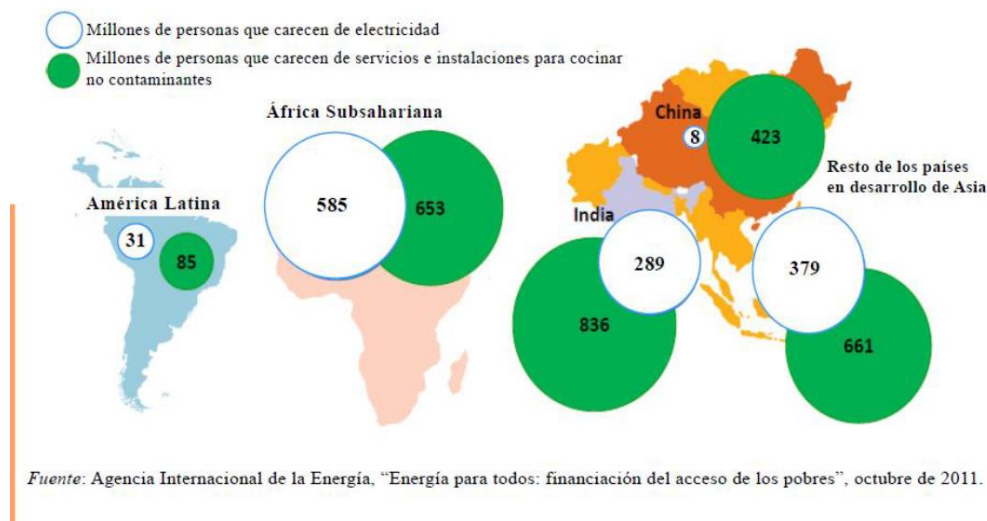


Figura 63. Distribució de la població sense accés a l'electricitat ni als serveis per cuinar no contaminants [63]

Energía Sin Fronteras (ESF) [72] és una organització amb seu a Madrid que dirigeix la seva activitat a instal·lar sistemes de generació i emmagatzemament d'energia amb recursos renovables per a poblacions de tot el món. Han desenvolupat projectes, ja actius, de sistemes fotovoltaics per alimentar elèctricament escoles, cases o hospitals. Col·laboren amb una extensa llista d'empreses i organitzacions per finançar els projectes realitzats.

Entre aquestes organitzacions, s'hi troben enginyeries i productores de bateries.

Com a abast d'aquest projecte es considera ser una empresa d'enginyers que realitza l'estudi del projecte. Es proporcionarà a la ONG col·laboradora el disseny de les instal·lacions, selecció dels proveïdors de bateries i anàlisi de costos.

Tenint en compte que s'haurà de treballar amb diverses empreses, s'ha de determinar els beneficis de totes les parts interessades per acordar una col·laboració. Per una empresa que col·labora amb una ONG els factors determinants per realitzar una aliança són [73]:

- Capacitat d'aportar valor social e els sectors i llocs geogràfics on s'actua.
- Involucrar-se amb la comunitat.
- Capacitat de canviar les coses.
- Reputació.

Aquests factors es poden resumir en beneficis per les empreses en termes de bona imatge al projectar una identitat i valors de gran responsabilitat social i no només per les empreses que col·laboren directament, sinó també per a les companyies associades a aquestes. L'altre factor positiu és el benefici fiscal que comporta una col·laboració. Des de 2015, les donacions que realitzen persones físiques o societats poden representar deduccions fiscals fins al 40% de la donació si es fan durant tres o més anys [74]. Al primer any les deduccions poden arribar al 35%.

Per tots aquests motius, es considera que els preus d'obtenció dels materials necessaris i els costos dels serveis usats es reduiran significativament respecte al projecte anterior de la carretera de l'Arrabassada. Els proveïdors involucrats es comptabilitzaran com a col·laboradors de l'ONG, comportant així tots els beneficis comentats.

5.2.3 Lloc d'actuació

S'ha escollit una localització que realment necessiti ajuda i que el nombre d'habitants no sigui massa petit per beneficiar al màxim de persones possibles. Benín és un dels països més pobres d'Àfrica on la meitat de la població és menor de 20 anys i amb una elevada taxa de mortalitat infantil. És una regió que el 80% viu de l'agricultura i les fonts d'obtenció d'aigua són pous contaminats. D'aquest país s'ha triat Abomey per realitzar el projecte. És una ciutat d'uns 40.000 habitants al sud del país, molt a prop de l'Oceà Atlàntic, que logísticament facilita el subministrament i transport de material. Com a aspecte determinant de la localització, a Benín resideixen moltes organitzacions locals sense ànim de lucre amb les que es podria col·laborar per gestionar tots els aspectes locals del projecte *in-situ*.



Figura 64. Mapa de la situació geogràfica de la població d'Abomey [64]

5.2.4 Viabilitat tecnològica

Instal·lació elèctrica fotovoltaica per alimentar tres aplicacions diferents.

1. Un generador d'emergència per cobrir deficiències del subministrament actual d'un hospital. En aquestes regions es tracten diverses malalties com el sida, tifus, etc. i es poden realitzar petites operacions quirúrgiques.
2. Una instal·lació per obtenir mètodes culinàries més saludables i possibilitat d'obtenir aigua potable.
3. Cobrir la demanda elèctrica d'un centre d'ensenyament i formació per millorar els mètodes i la capacitat de la població per aspectes de l'agricultura i incrementar la productivitat i les possibilitats de progrés personal.

5.2.4.1 Definició preus i costos

Com ja s'ha comentat anteriorment, tot contribuent amb el projecte rebrà certs beneficis en proporció a la donació feta. Tenint present aquesta dada, el cost de la majoria de materials i serveis es veurà reduït.

Per les primeres condicions esmentades al projecte de l'Arrabassada sobre les bateries i per les mencionades aquí respecte a les empreses que poden subministrar-les, es determina que s'obtindran les bateries de segona mà de manera gratuïta, en forma de donació. S'aplicarà un raonament similar al preu de les plaques solars, podent contactar amb empreses que proporcionin productes en bon estat que ja no necessitin o que tinguin fora d'stock, però com que no sempre serà possible es considerarà un preu mitjà del 50% del cost total de la placa. Tots els components electrònics o elements addicionals de les instal·lacions s'adquiriran pel preu de cost del proveïdor, no pel preu de mercat. Es considera que el preu de cost dels productes serà el 75% del preu de venda. Tot i així, sempre s'intentarà aconseguir material de segona mà que pugui satisfer les condicions desitjades. S'ha de tenir present la importància de voluntaris pel que fa a la mà d'obra. Tant els tècnics de les instal·lacions, com els enginyers o treballadors d'empreses consultores energètiques poden oferir donacions en forma de voluntaris, estalviant així el cost de contractar personal.

5.2.4.2 Condicions solars en la localització

Al trobar-se en una latitud molt petita, ja que es troba a prop del paral·lel de l'Equador, Abomey rep una elevada irradiació solar mitjana de 5,32 W/m² anualment. Aquesta irradiació es pot aprofitar al màxim si les plaques fotovoltaïques s'instal·len amb una inclinació d'11° i s'orienten cap al Nord, ja que en aquest cas ens trobem per sota el paral·lel de l'Equador.

Fixed system: inclination=11°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	4.51	140	6.35	197
Feb	4.22	118	5.97	167
Mar	4.26	132	6.05	188
Apr	3.91	117	5.55	166
May	3.60	111	5.00	155
Jun	3.19	95.6	4.38	131
Jul	3.12	96.6	4.32	134
Aug	3.08	95.3	4.29	133
Sep	3.32	99.6	4.61	138
Oct	3.70	115	5.15	160
Nov	4.29	129	5.98	179
Dec	4.43	137	6.21	192
Yearly average	3.80	116	5.32	162
Total for year		1390		1940

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Taula 13. Taula de la mitjana de la irradiació solar rebuda cada mes [13]

5.2.4.3 Generador hospital

Un generador d'emergència ha de servir per subministrar energia en moments concrets. Al tractar-se d'un hospital és d'elevada importància que es dissenyi el sistema per estar llest en qualsevol circumstància imprevista i que sigui capaç d'aportar l'energia necessària durant el període de temps en funcionament.

Els generadors convencionals funcionen amb gasolina o dièsel. Fan funcionar un motor que genera moviment i un alternador converteix aquest moviment en electricitat. Si es desitja extreure un corrent altern es requerirà un inversor per transformar el corrent de continu a altern. En el nostre cas la font d'energia és el sol, per tant un element de potència necessari serà un regulador per aprofitar al màxim l'energia solar i adaptar-la a l'entrada del pack de bateries de segona vida. L'energia emmagatzemada s'utilitzarà en aplicacions que requereixen corrent altern, així que a la sortida de les bateries es connectarà un inversor per aconseguir els paràmetres necessaris del corrent.

Els hospitals de països desenvolupats poden comptar amb generadors d'emergència amb potències totals molt elevades. El rang de la potència depèn del tipus d'hospital, però poden arribar a més de 12MW utilitzant generadors d'entre 150 kVA i 2000 kVA [75]. Per sistemes de potències elevades de corrent altern s'utilitza la unitat kVA, ja que si el factor de potència del sistema no és molt alt la potència entregada (potència activa) serà diferent de la consumida (potència aparent).

En canvi, l'hospital d'Abomey seria de dimensions molt inferiors i les activitats mèdiques realitzades requeririen menys energia. En aquest hospital es dissenyaria el sistema de suport energètic per una sala quirúrgica molt bàsica, formada per una llitera d'hospital regulable amb motor elèctric, sistema d'aspiració i compressió quirúrgic i il·luminació d'alta intensitat. Una instal·lació d'aquestes característiques consumeix 950 W (300W, 500W i 150W respectivament ^[76]). És una instal·lació que normalment estaria connectada a la xarxa elèctrica i que en casos de deficiència o aturament de l'energia de la xarxa es connectaria a les bateries. Per tant, s'ha de disposar d'un inversor d'una potència superior a 950 W i que transformi la tensió de 48V de les bateries a tensions sinusoidals de 220V d'alterna a 50 Hz.

Com que el funcionament de subministrament d'energia és deficient i de poca confiança, es vol dissenyar el sistema per tenir autonomia durant 24 hores seguides de fallada de la xarxa. Per tant es necessitarà cobrir la demanda de $950 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 22,8 \text{ kWh}$.

Per decidir quins i quants panells solars utilitzem primer imposem una potència de pic d'aquests de 200 Wp, al ser una aplicació que requereix molta potència hi ha d'estar sempre llesta. Es considera que el generador s'utilitzarà un cop a la setmana, i si el període de temps entre usos és més llarg es pot utilitzar l'energia restant per usos quotidians de l'hospital. Conseqüentment, el nombre de mòduls serà:

$$N^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{22,8 \text{ kWh} \times 1/7}{5,32 \times 0,8 \times 200} = 3,82 = 4 \text{ mòduls}$$

El nombre total de panells serà 4. Aquest nombre no ens suposarà un problema al disposar d'un edifici amb un sostre on instal·lar totes les plaques.

Tenint en compte les pèrdues internes de les bateries i la DoD determinem la capacitat de les bateries pel sistema:

$$\text{Capacitat bateria} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies autonomia}}{\text{DoD} \times \eta} = \frac{22,8 \text{ kWh}}{0,8 \times 0,8} = 35,62 \text{ kWh}$$

Al haver de proporcionar una quantitat d'energia tant elevada, en comparació amb els altres usos, dissenyarem el sistema amb les bateries disponibles amb més capacitat. Per tant, escollim les de la marca Scutum amb 4,8 kWh cada una. D'aquesta manera es necessiten 8 bateries per emmagatzemar l'energia necessària.

Per les connexions d'aquest sistema utilitzarem un cable d'una secció més gran perquè hi circularà un corrent més elevat. Farem ús d'un cablejat de secció de 4mm^2 i un total de 50 metres.

5.2.4.4 Cuina solar

Aquesta aplicació pretén solucionar el problema dels mals hàbits alimentaris de la població, degut a la falta de recursos, i reduir significativament les malalties que causen una mala alimentació i beure aigua contaminada. El mètode més comú en la regió és cremar llenya per cuinar, generant així fums perjudicials per a la salut. Si es poden estalviar els fums, i a més es pot bullir aigua per eliminar tots els microorganismes perjudicials després d'haver fet una primera filtració, els beneficis per a la població poden ser molt significatius.

La solució escollida és la instal·lació de plaques d'inducció alimentades amb energia solar en un centre proporcionat per l'organització local amb la qual es col·labora. Tot i ser més cares, s'opta per plaques d'inducció i no per vitroceràmica, ja que consumeixen menys energia a l'aplicar la calor generada directament sobre els utensilis de cuina i són més ràpides.

S'escull una placa d'inducció amb 3 zones de cocció que a màxima potència consumeix 5700 W. És el model *Zanussi Z6123IOK*.

Es considera que durant un dia s'utilitzarà la placa durant 3 h, comptant dos àpats i bullir aigua, a una potència mitjana de 4 kW. Per tant en un dia la demanda d'energia serà de 12 kWh. De la mateixa forma que el generador d'emergència per a l'hospital, aquesta aplicació també requerirà un inversor per alimentar la placa d'inducció amb corrent altern i haurà de suportar potències superiors a 4 kW.

Per determinar el nombre de panells solars necessaris seguim el mateix procediment que anteriorment. A l'haver de subministrar energia diàriament, les plaques hauran d'obtenir una quantitat elevada ràpidament, així que s'utilitzaran plaques amb una potència pic elevada. S'escullen les que tenen una major potència del proveïdor *Autosolar* que es connectin a 24V. Així que amb una potència de 325W, el nombre de mòduls és:

$$N^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies ús}}{\text{HSP} \times \eta \times \text{Potència pic}} = \frac{12 \text{ kWh}}{5,32 \text{ h} \times 0,8 \times 325 \text{ W}} = 7,46 = 8 \text{ mòduls}$$

Aquests 8 mòduls generaran l'energia que s'haurà d'emmagatzemar amb un conjunt de bateries amb una capacitat total de:

$$\text{Capacitat bateria} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies autonomia}}{\text{DoD} \times \eta} = \frac{12 \text{ kWh}}{0,8 \times 0,8} = 18,75 \text{ kWh}$$

Utilitzant bateries de la marca *Scutum* es necessitarà un total de 4 bateries per emmagatzemar els 18,75 kWh. Les connexions necessàries es realitzaran amb cable de secció de 4 mm² amb una longitud total de 30 metres.

5.2.4.5 Centre d'ensenyament

Es concebrà el centre d'ensenyament com una aula ja existent que s'adaptarà amb il·luminació i suports visuals per realitzar les classes. Per il·luminar una aula amb capacitat per a 30 persones es necessitaran 8 llums de baix consum i com a suport visual es considera l'ús d'un ordinador i d'un projector.

S'utilitzaran llums de baix consum de 12 W. El portàtil consumeix 50 W i un projector EPSON consumeix 400 W. Considerant que es repartiran classes durant 3 dies a la setmana de 3 h es definirà el sistema a instal·lar.

En una classe es consumiran 1,386 kWh i es disposarà, com a mínim, de 48 hores entre cada classe perquè es recarreguin les bateries.

En aquest projecte no hi ha la necessitat de limitar el nombre de mòduls, ja que es disposa de més terreny per instal·lar les plaques. D'aquesta forma es calcula la potència necessària que hauran d'absorbir les plaques de la mateixa forma que en el projecte de l'Arrabassada:

$$N^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{\text{Consum} \times \text{dies ús}}{\text{HSP} \times \eta \times \text{Potència pic}} = \frac{1,386 \text{ kWh} \times 1/2}{5,32 \text{ h} \times 0,8 \times \text{Potència pic}}$$

Analitzant les possibles opcions, s'opta per utilitzar plaques de 100 Wp. Es necessitarien 1,62 mòduls d'aquesta forma, així que s'instal·laran 2 deixant marge per possibles deficiències del sistema.

A continuació determinem la capacitat de les bateries de segona vida. Amb les mateixes pèrdues del sistema i la profunditat de descàrrega màxima que abans es té que les bateries necessàries han d'emmagatzemar:

$$\text{kWh bateries} = \frac{1,386}{0,8 \times 0,8} = 2,17 \text{ kWh}$$

Amb una bateria de la marca *Scutum* de segona vida amb una capacitat de 4,8 kWh es cobriria el consum d'un dia amb un marge per possibles variacions o per a usos addicionals.

Per a realitzar les connexions entres tots els components del sistema utilitzarem un total de 30 metres de cable de 2,5 mm² de secció.

5.2.5 Viabilitat econòmica

Per a totes les aplicacions s'utilitzarà un inversor-carregador que combini les funcions d'inversor de corrent i de regulador de la càrrega de les bateries. A més, també controla la càrrega de les plaques solars. El regulador determina quan la xarxa elèctrica alimenta correctament el sistema i quan no pot i s'utilitza el pack de bateries. Quan les bateries de cada sistema es troben al màxim de capacitat, l'inversor-carregador pot dirigir l'energia generada cap a altres aplicacions elèctriques si es fan les connexions pertinents. Per les condicions esmentades, l'inversor-carregador 48V/10kW de la marca *Must Solar* seria adequat.

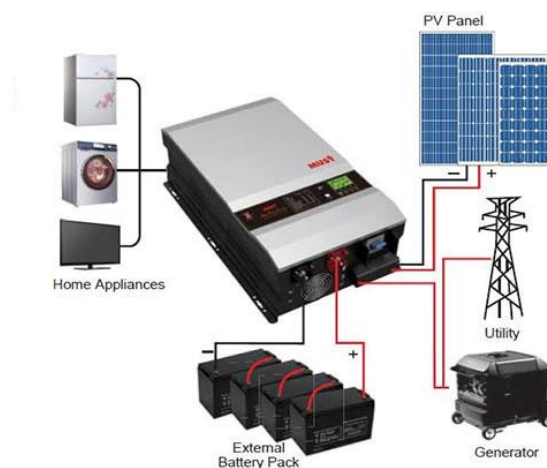


Figura 65. Inversor-carregador Must Solar 48V 10kW [65]

Com que l'inversor és de 48 V, les connexions entre les bateries no s'hauran de fer en sèrie ja que ja s'assoleix la tensió nominal si utilitzem les de la marca *Scutum*. S'hauran de connectar en paral·lel per aconseguir la quantitat de Ah necessaris.

5.2.6 Pressupost

Els costos logístics del transport de material es calcularan per separat, ja que els components de les tres aplicacions es poden transportar a la vegada. La via de transport més adequada en aquest cas és la marítima, sobretot perquè Barcelona disposa d'un port amb alta activitat de mercaderies i Abomey té un port a 100 km, a la ciutat de Cotonou.

El cost del transport marítim depèn sobretot del preu de transport internacional i del volum dels contenidors, de les despeses de càrrega i descàrrega als ports i de taxes portuàries. Per transportar tot el material es poden adquirir contenidors de 20 peus o de 40 peus. El primer resulta massa petit pel volum desitjat, així que es pagarà un de 40 peus que en el Sistema Internacional té unes dimensions de 12m x 2.34m x 2.28m, resultant en un volum de 64 m³, suficient pel nostre cas.

En aquestes condicions s'obté una tarifa de 1.360 €^[77] disposant de sortides setmanals des del port de Barcelona i amb un temps de transport de 19 dies. Un cop arriba la mercaderia al port de Benín, amb l'ajuda dels vehicles de les organitzacions locals, es transportaria el material a Abomey en diferents trajectes, d'hora i mitja aproximadament, per estalviar despeses de transport addicionals.

NUM.	RESUM OPERACIÓ	QUANT.	PREU U.	IMPORT €
APLICACIÓ 1. GENERADOR D'EMERGÈNCIA PER UN HOSPITAL				
01.00	Adaptació hospital per a instal·lació Realitzar les operacions mecàniques i elèctriques necessàries per adaptar l'hospital per poder connectar el pack de bateries i les plaques solars.	1	50,00	50,00
01.01	Instal·lació sistema d'emergència Recepció i instal·lació dels components que inclou el sistema amb les seves connexions pertinents.	1	1.913,93	1.913,93
Total Aplicació 1. Generador d'Emergència per un hospital				1.963,93

NUM.	RESUM OPERACIÓ	QUANT.	PREU U.	IMPORT €
APLICACIÓ 2. INSTAL·LACIÓ DE CUINA SOLAR				
02.00	Adaptació centre actual Realitzar les operacions mecàniques i elèctriques necessàries per adaptar el centre actual a les necessitats de la futura instal·lació.	1	40,00	40,00
02.01	Instal·lació cuina solar Recepció i instal·lació dels components que inclou el sistema amb les seves connexions pertinents.	1	2.832,69	2.832,69
Total aplicació 2. Instal·lació de cuina solar				2.872,69

NUM.	RESUM OPERACIÓ	QUANT.	PREU U.	IMPORT €
APLICACIÓ 3. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA PER CENTRE ENSENYAMENT				
03.00	Adaptació centre actual Realitzar les operacions mecàniques i elèctriques necessàries per adaptar el centre actual a les necessitats de la futura instal·lació.	1	30,00	30,00
03.01	Instal·lació elèctrica Recepció i instal·lació dels components que inclou el sistema amb les seves connexions pertinents.	1	2.000,99	2.000,99
Total aplicació 3. Instal·lació elèctrica per centre ensenyament				2.039,99

NUM.	NOM APLICACIÓ	IMPORT €
01.	GENERADOR D'EMERGÈNCIA PER UN HOSPITAL	1.963,93
02.	INSTAL·LACIÓ DE CUINA SOLAR	2.872,69
03.	INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA PER CENTRE ENSENYAMENT	2.039,99
04.	TRANSPORT MATERIAL	1.360,00
TOTAL EXECUCIÓ		8.236,61

El cost total del projecte són 8.236,61 €. Després s'han de comptabilitzar despeses generals (diets, acomodació...) durant la construcció, el cost del disseny del projecte i de realització del mateix (Benefici industrial). El percentatge de BI serà la meitat que de normal, ja que és un projecte solidari.

5,00% Despeses Generals	411,83
4,00% Benefici Industrial	329,46
Suma de DG i BI	741,29
Total abans d'impostos	8.977,91
21,00% I.V.A.	1.885,36
TOTAL PRESSUPOST GENERAL	10.863,27€

5.2.7 Impacte social

Tenint en compte el nombre d'habitants d'Abomey, uns 40.000, el nombre de beneficiaris directes dels projectes seria molt elevat. S'ha escollit aquestes aplicacions perquè creiem que poden ser realment d'ajuda i poden marcar la diferència per moltes persones en situacions desfavorables.

Com ja s'ha comentat anteriorment, la situació actual d'aquestes regions, pel que fa a disposar d'energia, provoca greus problemes per a la salut dels habitants. Gràcies a donacions i inversions no massa altes es pot arribar a salvar vides al solucionar problemes crítics d'una societat que per si sola no pot resoldre. L'objectiu d'aquest projecte era implementar aplicacions per millorar el nivell de vida d'aquestes poblacions. Però, per garantir la durabilitat dels projectes també es necessari formar a persones que duguin a terme el manteniment de les instal·lacions, generant així llocs de feina perquè individus puguin prosperar econòmicament.

La formació és imprescindible perquè els usuaris facin un bon ús, ja que les bateries necessiten temps en carregar-se a partir del Sol, i no es malgasti energia per tenir-la disponible en els moments de vertadera necessitat. I un cop les bateries han arribat al fi de la seva vida útil, els col·laboradors locals han de tenir els coneixements i les competències necessàries per saber on i com reciclar-les.

L'aplicació d'electrificar un centre d'ensenyament comporta el benefici indirecte d'augmentar la productivitat de l'agricultura en la zona i, d'aquesta forma, impactar positivament a tota la població que pugui adquirir aliments provinents de l'agricultura.

Introduir les energies renovables com a forma viable d'obtenir energia en aquestes regions pot impulsar el desenvolupament d'altres projectes similars, ja siguin creats per entitats locals o per organitzacions com la nostra.

Finalment, l'erradicació de possibles malalties que provoca una mala alimentació i beure aigua contaminada, a part de les millores de salut i de les taxes de mortalitat, significa a la vegada una disminució de pacients als hospitals. Per tant, amb una imatge general de tots els possibles impactes des de la perspectiva de la societat, es pot determinar que la materialització del projecte seria beneficiosa.

5.2.8 Impacte ambiental

Aquest projecte també pretén reduir l'impacte ambiental en totes les seves fases: instal·lació, vida útil i retirada.

L'etapa de la instal·lació és la que pot causar un impacte més greu al medi ambient. La construcció dels components i, sobretot, el seu transport al lloc d'actuació per via marítima generen emissions a l'atmosfera.

El funcionament durant la vida útil de les instal·lacions és sostenible. Tot i que les aplicacions dissenyades no requereixen una quantitat d'energia desproporcionada, el fet d'utilitzar energia solar en exclusivitat comporta diversos avantatges. És energia 100% renovable així que si hipotèticament, ja que no és viable, es realitzés les instal·lacions amb connexions convencionals a la xarxa elèctrica, es generarien emissions a l'atmosfera. Si totes les aplicacions estiguessin en funcionament un dia en concret, tenint en compte les seves hores d'ús determinades, es consumirien 36,186 kWh que representen 12,51 kg de CO₂ emesos en un dia. Després de la inversió inicial de la instal·lació, el cost de funcionament és nul i el seu manteniment molt baix.

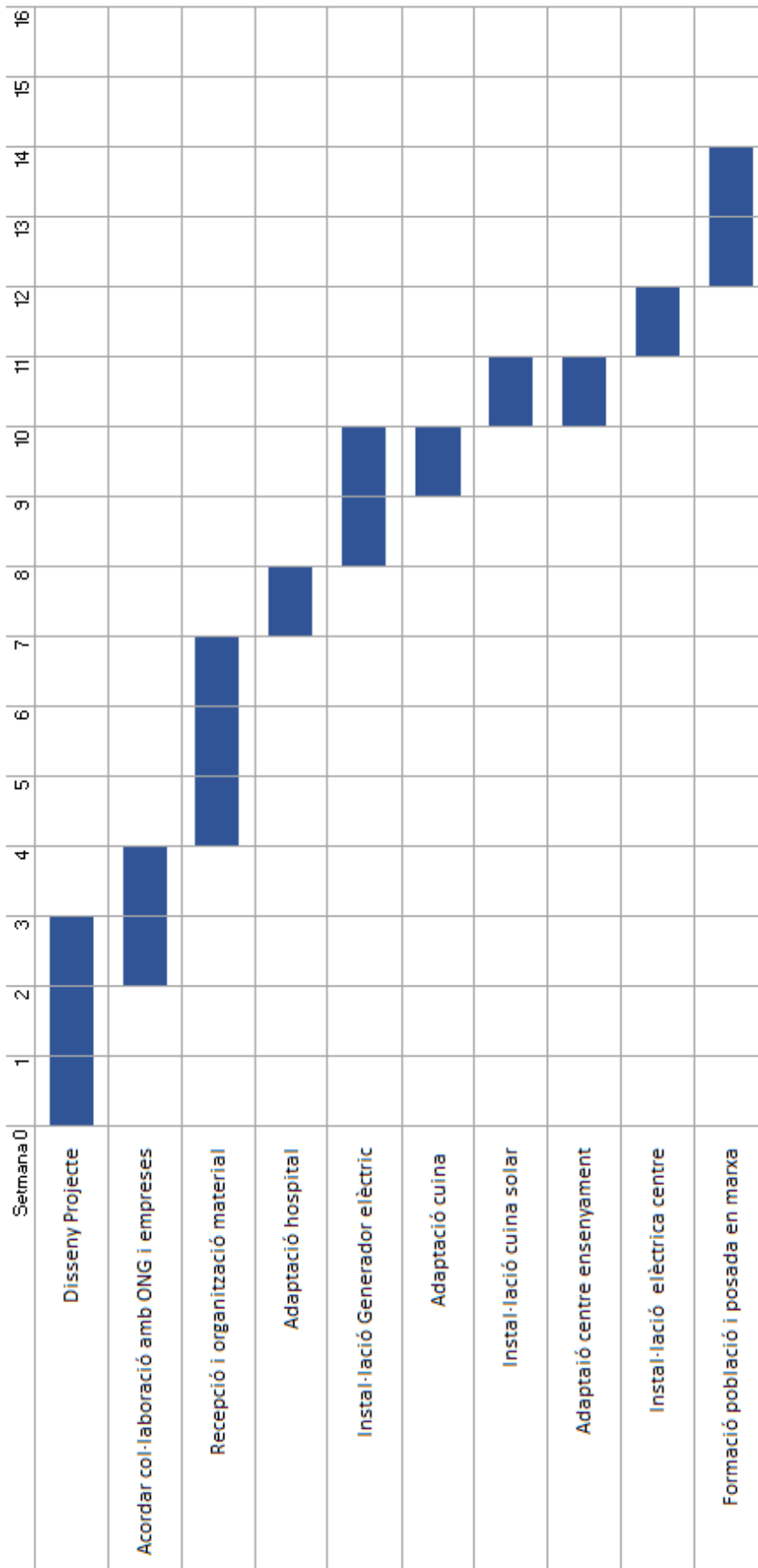
Per una altra banda, a l'utilitzar bateries reutilitzades es disminueixen els costos de les aplicacions, no s'emeten tants contaminants al reciclar-les menys sovint, no es corre el perill de contaminació de sòls si es retiressin de forma inadequada i es pot arribar a una economia circular un cop les bateries reutilitzades quedin obsoletes i es portin a reciclar. La sostenibilitat és un factor determinant que pot fer possible realitzar aquests projectes. Menys les bateries, tots els components de les instal·lacions tenen un temps de vida llarg, així que només proveint les aplicacions amb noves bateries quan sigui necessàries disposarà durant un llarg període d'anys dels beneficis.

Els productes escollits per les instal·lacions com els llums de baix consum i la placa d'inducció col·laboren al fet que el sistema consumeixi més energia donant-li més autonomia i temps de vida útil.

La mostra que aquestes energies renovables són viables per aplicacions de la regió pot incentivar nous projectes verds que, a part de beneficiar a la ciutadania, reduirà l'impacte ambiental.

Finalment, és d'alta importància assegurar-se que hi ha un correcte procediment de retirada de les bateries un cop són obsoletes. S'han de portar a un centre de tractament especialitzat local. En el cas de no disposar de tal centre, s'hauria de retornar les bateries donada la perillositat que representen com a residu no tractat.

5.2.9 Planificació



6. Conclusions

Com ja s'ha vist, entre les bateries existents, les d'ió-liti són les que destaquen per sobre de la resta. Tot i així, les limitacions que tenen actualment en comparació als mètodes convencionals dificulten que guanyin terreny en el món de l'energia. En el sector automobilístic els aspectes de les bateries que provoquen que els vehicles elèctrics no s'imposin en el mercat actual són: la baixa densitat energètica (250-620Wh/kg) en comparació als motors de combustió interna (12.200Wh/kg per gasolina i 13.762Wh/kg per dièsel), el cost elevat, la mida i el pes que necessiten per donar rendiments acceptables i, finalment, els alts temps de recàrrega.

Tot i això, hi ha grans expectatives i previsions que indiquen que en el pròxim període de 10 anys es produirà un creixement significatiu en el número de vendes de bateries d'ió-liti. L'increment dels vehicles elèctrics que s'espera en un futur impulsarà l'increment de la producció de bateries que es traduirà en una reducció del seu cost. En aquest període de temps es preveu que es realitzin grans inversions en tecnologia i I+D que millorin les característiques de les bateries. Una millora de les prestacions de les bateries juntament amb la reducció de cost és la combinació perfecta per impulsar definitivament el mercat dels vehicles elèctrics.

A causa del creixement que està patint el mercat dels cotxes elèctrics, durant els últims anys s'ha començat a plantejar un nou problema: l'acumulació de bateries procedents dels vehicles elèctrics. En un futur ple de vehicles elèctrics, sobretot cotxes, segons les bateries vagin envellint, caldrà anar canviant-les per altres de noves. Això podria derivar en una gran acumulació de bateries velles, amb l'impacte ambiental i la despesa de recursos que això suposaria. No obstant, que una bateria es degradi i acabi deixant de ser vàlida pel seu ús en l'automoció com a bateria de tracció no vol dir que sigui necessari desfer-se d'ella. I més que un problema, es pot arribar a convertir en una oportunitat. Avui en dia, es barallen dues solucions possibles: el reciclatge dels elements que componen les bateries o la reutilització d'aquestes per dur a terme altres funcions.

Per decidir quina és la millor solució per implantar actualment, s'ha realitzat una anàlisi de viabilitat tecnològica i econòmica de les dues possibles opcions. Primer de tot, s'ha realitzat l'estudi sobre el reciclatge de les bateries ió-liti. La principal conclusió extreta ha estat que, avui en dia, aconseguir un procés de reciclatge econòmic i ambientalment rendible és d'una dificultat elevada per diversos factors ja esmentats. En ser un sector que ha sorgit molt recentment, la tecnologia i la industrialització no estan suficientment desenvolupades per realitzar processos que aportin beneficis.

L'evolució pronosticada pels pròxims anys, ha d'incentivar al mercat de reciclatge a desenvolupar-se per ser capaç de tractar aquesta quantitat de residus de bateries en termes de recollida, tractament i refinat per aconseguir nous materials, reduint així l'impacte ambiental.

Un altre factor és que, actualment, el preu del liti no té tanta rellevància sobre el preu final com altres materials del càtode de les bateries. A més, tenint en compte que estan apareixent noves químiques de bateries per vehicles elèctrics, ens fa pensar que el preu del liti no es dispararà en els anys pròxims per causes d'esgotament.

Des del punt de vista empresarial, la situació mencionada fa que la creació d'un negoci de reciclatge sigui poc rentable. L'oportunitat de negoci es troba entre el fi de vida útil de les bateries i el reciclatge d'aquestes. Podent donar un segon ús a bateries que encara disposen del 80% de la seva capacitat inicial, pot ser un negoci profitós i si aquest procés s'implanta de forma extensa pot arribar a rebaixar el preu final d'una bateria nova. Es donaria aquesta reducció del preu, ja que la bateria no s'amortitzaria només en els 8-10 anys del primer ús, sinó que s'afegirien molts més cicles fins que es retiri del mercat. Aquesta oportunitat de negoci és en el que s'ha centrat la major part d'aquest treball.

Tot i així, aquestes bateries, un cop acabada la seva segona vida, s'han de retirar del mercat i reciclar. Per tant, la importància d'un procés de reciclatge eficient és clara. L'objectiu de totes les parts d'aquest sector hauria de ser aconseguir una economia circular aprofitant al màxim el valor de les bateries per impactar positivament al medi ambient, al mercat i la societat, amb una reducció del preu de les bateries.

Un cop descartat el reciclatge com a solució immediata es decideix focalitzar l'estudi en possibles aplicacions d'emmagatzematge d'energia on poden anar integrades les bateries de segona vida. S'ha decidit acotar les bateries utilitzades a les que procedeixen de les motos elèctriques. Les bateries procedents dels cotxes elèctrics, s'han d'extreure del cotxe manualment. En aquest procés ens trobem amb dos problemes principals: l'estandardització del procés i la inversió inicial que comporta. En canvi, les bateries de les motos elèctriques són lleugeres i manipulables eliminant la barrera tecnològica que ofereixen les anteriors.

S'ha observat que en general la venda de motos elèctriques és inferior a la dels cotxes elèctrics, però el rati de creixement que experimentaran les vendes per als dos tipus de vehicles en un futur pròxim és similar. D'aquesta forma tenim garanties de disposar de bateries de forma constant per assegurar una estabilitat de subministrament als possibles projectes a realitzar. A més, hi ha varis productors de motos i bateries elèctriques locals que faciliten l'aprovisionament.

Tot i així, s'ha comprovat que un gran obstacle per a un negoci d'aquestes característiques és la gran varietat de bateries en el mercat. Les diferents químiques i la poca estandardització compliquen la creació d'un procés industrialitzat que faci viable fabricar i vendre un producte en sèrie.

Des d'un altre punt de vista, s'ha determinat que el fet que no hi hagi encara bateries de vehicles elèctrics obsoletes aporta una incertesa massa gran per crear un negoci. Com que és un mercat molt recent, els primers vehicles que es van vendre encara gaudeixen de la seva primera bateria en funcionament. Aquestes condicions han generat dubtes sobre què pot passar un cop les primeres bateries siguin obsoletes. D'aquesta forma, ha resultat complicat determinar les condicions d'un possible contracte amb el fabricant per adquirir les bateries de segona vida, ja que no es poden saber encara les intencions dels fabricants. A l'obtenir les bateries per un preu massa elevat, la hipotètica empresa hauria tingut poc marge per obtenir beneficis.

Un altre factor determinant per prendre una decisió ha estat el mercat al qual es vol arribar amb els productes. Actualment l'ús d'energia solar es troba en augment, però els usuaris finals encara resulten insuficients per obtenir una rendibilitat sostenible al llarg del temps. Com una empresa no pot sobreviure sense uns ingressos adequats i constants, la possibilitat de crear un negoci és poc viable actualment.

Per tant, s'ha deixat de banda la idea d'un negoci per la manca de rendibilitat i hem optat per orientar els possibles usos de les bateries de segona vida per crear projectes de millora social. L'objectiu final dels projectes és generar un impacte positiu a societats per davant d'extreure un benefici econòmic. No obstant això, s'han analitzat possibles usos que en un futur es poden implementar si la tecnologia i els costos evolucionen com s'ha pronosticat.

Els dos projectes socials escollits han estat: la millora de la senyalització de la carretera de l'Arrabassada i l'abastiment del poblat Abomey amb electricitat per escoles i hospitals.

La carretera de l'Arrabassada es caracteritza per les corbes tancades i per la falta de senyalització donades les seves característiques. És la carretera a Espanya amb un risc d'accidents més elevat, per tant, vam creure que augmentar i millorar la senyalització produiria un impacte mediambiental i social molt positiu.

Com la carretera es troba allunyada de la xarxa elèctrica, la senyalització s'alimenta de l'energia solar que capten les plaques fotovoltaïques. El fanal solar dissenyat consta d'un sistema fotovoltaic format per una placa solar de 200Wp i un regulador de càrrega que inclou l'interruptor crepuscular. La bateria de segona vida utilitzada és la procedent de la marca *Scutum* i l'estructura del fanal és molt robusta. Els fanals mesuren 6 metres i es troben intercalats a banda i banda de la carretera per aconseguir una il·luminació més homogènia i millorar la visibilitat. La bateria i la placa solar es troben a l'extrem superior del fanal juntament amb la il·luminació LED de 40W. En el cas de les senyalitzacions de corbes i animals salvatges, el disseny consta d'una il·luminació LED groga intermitent resseguint la forma del senyal. Aquest tipus d'instal·lació té un consum energètic inferior que l'anterior, fent que qualsevol de les bateries avaluades siguin aptes en aquest cas.

El cost també es redueix gràcies al fet que es necessita una placa solar de 10Wp. El sistema d'enlluernament complet consta de 233 fanals solars i 24 senyals. El pressupost total del projecte és de 398.766,43€ i té una durada de 16 setmanes.

En el cas del poblat del tercer món d'Abomey, l'objectiu principal és millorar la qualitat de vida de tots els seus habitants abastint les escoles i hospitals amb l'electricitat necessària per funcionar correctament. Com en el cas de la senyalització, les bateries s'alimentaran amb l'energia que captin les plaques solars. A l'haver de proporcionar una quantitat d'energia tan elevada, en comparació amb els altres usos, dissenyarem el sistema amb les bateries disponibles amb més capacitat. Per tant, escollim les de la marca *Scutum* amb 4,8 kWh cada una. D'aquesta manera es necessiten 13 bateries per emmagatzemar l'energia necessària. D'aquesta manera es podrà cobrir la demanda d'un generador d'hospital, una cuina solar i un centre d'ensenyament. El pressupost total del projecte és de 10.863,27€ i té una durada de 14 setmanes.

Des del punt de vista econòmic, l'objectiu social del projecte a Abomey és un incentiu per les empreses per invertir en ell i proporcionar material a preus més baixos. Les empreses que contribueixen milloren la seva imatge i obtenen patrocini. Tenint present aquest factor, el cost de la majoria de materials i serveis s'ha considerat que seria inferior al de venda. Les bateries de segona mà s'han obtingut de manera gratuïta, en forma de donació. Seguint un raonament similar, el preu de les plaques solars s'ha marcat al 50% del de mercat. Tots els components electrònics o elements addicionals de les instal·lacions s'han adquirit pel preu de cost del proveïdor, al 75% del preu de venda. Tot i així, sempre s'intentarà aconseguir material de segona mà que pugui satisfer les condicions desitjades. S'ha de tenir present la importància de voluntaris pel que fa a la mà d'obra. Tant els tècnics de les instal·lacions, com els enginyers o treballadors d'empreses consultores energètiques poden oferir donacions en forma de voluntaris, estalviant així el cost de contractar personal.

També s'ha de tenir en compte els possibles inversors. En el cas de l'Arrabassada, es compta amb el suport dels ajuntaments de les ciutats afectades i el poblat d'Abomey rep ajuts d'ONG i del Banc Mundial. Per tant, es determina que els projectes acaben sent rendibles gràcies a tots els ajuts rebuts i la millora social i mediambiental que comporten.

Com a conclusió final, es valora molt positivament la fidel imatge que ha proporcionat aquest treball de la situació actual i de com es preveu el futur del sector de les bateries elèctriques. És un assumpte d'alta rellevància i que ofereix moltes oportunitats a l'estar encara en desenvolupament.

S'ha mostrat la importància de trobar una solució per anticipar el gran problema que pot suposar l'acumulació de residus en un futur i el gran potencial a aprofitar que contenen les bateries de segona vida. Per tant, és d'interès realitzar un seguiment en un futur pròxim per poder contrastar les expectatives de creixement aquí exposades.

7. Bibliografia

- [1] *Research for TRAN Committee - Battery-powered electric vehicles: market development and lifecycle emissions*. European Parliament. Febrer 2018. Disponible a: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617457/IPOL_STU\(2018\)617457_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617457/IPOL_STU(2018)617457_EN.pdf)
- [2] *Batteries Keep On Getting Cheaper*. N. Zart. Desembre 2017. Disponible a: <https://cleantechnica.com/2017/12/11/batteries-keep-getting-cheaper/>
- [3] *Here's how electric cars will cause the next oil crisis*. T. Randall. Febrer 2016. Disponible a: <https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>
- [4] *Is the Li-ion the solution for the Electric Vehicle*. Battery University. Disponible a: <http://batteryuniversity.com/learn/archive/is-li-ion-the-solution-for-the-electric-vehicle>
- [5] *Las baterías del coche eléctrico doblarán su autonomía con esta nanotecnología*. J. Castells. Març 2018. Disponible a: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/baterias-coche-electrico-doblaran-autonomia-nanotecnologia/20180312132754018130.html>
- [6] *GS Yuasa lanzará una batería con el doble de capacidad que las actuales, y al mismo precio*. C. Noya. Disponible a: <https://forococheselectricos.com/2017/08/gs-yuasa-bateria-litio-azufre-2020.html>
- [7] *Tesla recibe la patente de las baterías de metal aire*. G. Martínez. Març 2017. Disponible a: <https://movilidadelectrica.com/baterias-de-metal-aire/>
- [8] *'Al-aire', baterías con 10 veces más autonomía que las de litio*. C. González. Enero 2017. Disponible a: <https://www.adslzone.net/2017/01/22/al-aire-baterias-10-veces-mas-autonomia-las-litio/>
- [9] *Toyota planea utilizar baterías con electrolito sólido*. G. Martínez. Juliol 2017. Disponible a: <https://movilidadelectrica.com/toyota-planea-utilizar-baterias-con-electrolito-solido/>
- [10] *The bike-share oversupply in China*. A. Taylor. Març 2018. Disponible a: <https://www.theatlantic.com/photo/2018/03/bike-share-oversupply-in-china-huge-piles-of-abandoned-and-broken-bicycles/556268/>
- [11] *Batteries can be part of the fight against climate change*. J. Eckart. Novembre 2017. Disponible a: <https://www.weforum.org/agenda/2017/11/battery-batteries-electric-cars-carbon-sustainable-power-energy/>
- [12] *El innovador proyecto de Nissan para reutilizar baterías de sus coches eléctricos*. J. Álvarez. Abril 2018. Disponible a: <https://smart-lighting.es/nissan-baterias-coches-electricos-iluminacion-fukushima/>
- [13] *El proyecto Sunbatt apuesta por ofrecer una segunda vida a las baterías de los vehículos eléctricos*. Maig 2018. Disponible a: <https://www.smartgridsinfo.es/2018/05/17/proyecto-sunbatt-apuesta-segunda-vida-baterias-vehiculos-electricos>
- [14] *Asociación de Renault y Powervault para la segunda vida de las baterías*. G. Martínez. Juny 2017. Disponible a: <https://movilidadelectrica.com/asociacion-renault-powervault-la-segunda-vida-las-baterias/>
- [15] *China obligará a los fabricantes de coches eléctricos a reciclar las baterías usadas*. Febrer 2018. Disponible a: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/china-obligara-fabricantes-coches-electricos-reciclar-baterias-usadas/20180228200417017835.html>

- [16] *Recycling electronics*. Environmental Protection Agency. Disponible a: <https://www.epa.gov/smm-electronics>
- [17] *Li-cycle news*. Ajay Kochhar. Setembre 2017. Disponible a: <https://www.li-cycle.com/news>
- [18] *Battery recycling as a business*. Battery University. Març 2018. Disponible a: http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_recycling_as_a_business
- [19] *We are going to need more lithium*. BNEF. Setembre 2017. Disponible a: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/>
- [20] *Tesla's Closed Loop Battery Recycling Program*. Kurt Kelty. 2011. Disponible a: <https://www.tesla.com/blog/teslas-closed-loop-battery-recycling-program?redirect=no>
- [21] *Circular economy perspectives for future end-of-life EV bateries*. E. Drabik & V. Rizos. Febrer 2018. Disponible a: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/low_carbon_-_drabik.pdf
- [22] *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council on Batteries and Accumulators and waste bateries and accumulators*. Setembre 2006.
- [23] *Report on critical raw materials for the EU, report of the Ad hoc working group on defining critical raw materials.*, 2014, DG ENTR.
- [24] *US Geological Survey, Minerals Information. APPENDIX C—Reserves and Resources*. 2016. Disponible a: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcsapp2016.pdf>
- [25] *US Geological Survey, Minerals Information, Cobalt. Statistics and Information, Mineral Commodity Summaries*. Gener 2018. Disponible a: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cobalt/index.html#mcs>
- [26] *US Geological Survey, Minerals Information, Graphite. Statistics and Information, Mineral Commodity Summaries*. Gener 2018. Disponible a: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite/>
- [27] *US Geological Survey, Minerals Information, Silicon. Statistics and Information, Mineral Commodity Summaries*. Gener 2018. Disponible a: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/silicon/>
- [28] Chagnes, A. and J. Swiatowska, eds. *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling*. 2015, Elsevier: Amstedom.
- [29] Hocking, M., et al., *Industry - Lithium 101 - Welcome to the Lithium-ion Age, FITT in Markets Research*. 9 Maig 2016, Deutsche Bank.
- [30] *US Geological Survey, Minerals Information, Lithium. Statistics and Information, Mineral Commodity Summaries*. Gener 2018. Disponible a: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/>
- [31] Reuter, B., et al., *Future Resource Availability for the Production of Lithium-Ion Vehicle Batteries*. 2014. Disponible a: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1226680/1226680.pdf>
- [32] Accurec Recycling: <http://accurec.de/lithium>
- [33] Gies, E., *Lazarus batteries*. *Nature*. 2015. 526: p. S100-S101
- [34] *Solving spent lithium-ion battery problems in China: Opportunities and challenges*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Zeng, X., J. Li, and L. Liu. 2015. 52: p. 1759-1767
- [35] Empresa espanyola A3. Disponible a: <http://residuos.info/reciclaje-baterias-vehiculos-electricos/>

- [36] *Status and Trends of industrialized Li-Ion battery recycling processes with qualitative comparison of economic and environmental impacts*. B. Friedrich, L. Peters. Setembre 2017
Disponible a: https://www.researchgate.net/publication/319964237_Status_and_Trends_of_industrialized_Li-Ion_battery_recycling_processes_with_qualitative_comparison_of_economic_and_environmental_impacts
- [37] *State of Research oof Li-ion Recycling process*. B. Friedrich, L. Peters. Març 2017.
Disponible a: https://www.researchgate.net/publication/315808572_State_of_research_on_Li-Ion_battery_recycling/comments
- [38] *Recovery and recycling of lithium: A review. Separation and Purification Technology*. B. Swam. 2017. 172: p. 388-403
- [39] <http://ev-sales.blogspot> , J.P.-. Disponible a: <http://evobsession.com>
- [40] *Battery recycling, Umicore*. Cheret, D. & Santen, S. 2007. US patent 7 169 206B
- [41] *Umicore's Battery Recycling process*. LCA. Juliol 2011. Disponible a: http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/umicore_pres_18072011.pdf
- [42] *Lithium Battery Recycling process*. F. Salooje, J. Lloyd. 2015. Disponible a: <http://www.sagreenfund.org.za/wordpress/wp-content/uploads/2015/07/Lithium-Battery-Recycling-Literature-Review-CM-Solutions.pdf>
- [43] *Lithium recycling still too expensive*. M. McCormick. Desembre 2016. Disponible a: <http://www.indmin.com/Article/3648970/Lithium-recycling-still-too-expensive.html>
- [44] *La sombra tóxica del coche eléctrico*. L. Caballero. Gener 2018. Disponible a: https://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/toxica-realidad-electrico-reciclar-montana_0_727578033.html
- [45] *Why are electric cars not equipped with easily removable batteries*. S. Kinahan. Desembre 2015. Disponible a: <https://www.quora.com/Why-are-electric-cars-not-equipped-with-easily-removable-batteries>
- [46] *Previsión mercado 125cc para 2018*. A. Cuadra. Enero 2018. Disponible a: <http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tematico/item/1589-prevision-125-2018-msi>
- [47] *Características, funcionamiento y requisitos de las farolas solares*. G. Portillo. Mayo 2018.
Disponible a: <https://www.renovablesverdes.com/farolas-solares/>
- [48] *Cuantos paneles solares necesito para cargar un coche eléctrico*. Disponible a: <http://www.soloclima.com/2018/02/cuantos-paneles-solares-necesito-para.html>
- [49] *Baterías de litio para vehículos eléctricos*. Febrer 2013. Disponible a: <https://www.evwind.com/2013/02/01/baterias-de-litio-para-vehiculos-electricos-2/>
- [50] Empresa SportsArt, Green Fitness. Disponible a: <http://www.gosportsart.com/>
- [51] *Generating electricity with a bicycle*. Gener 2016. Disponible a: <http://michaelbluejay.com/electricity/bicyclepower.html>
- [52] Consum electricitat de les llars a Espanya. Disponible a: <https://tarifasgasluz.com/faq/consumo-electricidad-hogares/espana>
- [53] Preu de la llum per hores. Disponible a: <https://tarifaluzhora.es/?tarifa=normal>
- [54] *Analysis of parameters influencing electric vehicle range*. M. Mruzek & I. Gajdác. Gener 2016. University of Zilina. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581600059X>

- [55] *Las carreteras con más riesgo de sufrir un accidente*. RACC. 2017. Disponible a: <http://blog.racc.es/coche/carreteras-peligrosas/>
- [56] *Millora de la seguretat viària a la carretera de l'Arrabassada*. Diputació de Barcelona. Disponible a: http://xarxamobal.diba.cat/mobal/cat/actualitat/actualitat_noticia.asp?codi=108
- [57] *Recommended light levels*. NOAO. Disponible a: https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf
- [58] *LED Street Lighting*. Austrian Energy Agency. Setembre 2017. Disponible a: http://www.premiumlightpro.eu/fileadmin/user_upload/Guidelines/Premium_Light_Pro_Outdoor_LED_Guidelines.pdf
- [59] *Aprovechamiento real del flujo luminoso*. Disponible a: http://www.hiled.es/paginas/estudio_aprovechamiento/es
- [60] *Rentabilidad y funcionalidad de las baterías de Litio*. Hybridstein. Disponible a: <http://www.hybridsteingroup.com/rentabilidad-y-funcionalidad-de-el-litio-frente-a-otros-tipos-de-baterias/>
- [61] *Cimentaciones para báculos y columnas*. JOVIR. Disponible a: <http://www.jovir.es/Jovir/cimentaciones/>
- [62] *Los fabricantes esperan ganar dinero con baterías usadas de VE*. K. Bullis. Julio 2011. Disponible a: <https://www.technologyreview.es/s/2103/los-fabricantes-esperan-ganar-dinero-con-baterias-usadas-de-vehiculos-electricos>
- [63] *El precio de las baterías caerá a 100\$/kWh en 2025*. G. Martínez. Disponible a: <https://movilidadelectrica.com/precio-las-baterias-litio-caera-100-kwh-2025/>
- [64] *Coste del servicio del alumbrado público*. SIELocal. Gener 2014. Disponible a: <http://www.sielocal.com/informe/1085/Coste-del-servicio-del-alumbrado-público>
- [65] *Precio de la luz en 2017*. Selectra. Disponible a: <https://comparadorluz.com/faq/precio-luz-2017>
- [66] *Luz para salvar vidas*. Revista DGT. Disponible a: <http://www.dgt.es/revista/archivo/pdf/num168-2004-Iluminacion.pdf>
- [67] *Cuánto pagaras si rompes un radar, una señal de tráfico...* Autofácil. Diciembre 2014. Disponible a: <https://www.autofacil.es/novedades/2012/06/02/pagaras-rompes-radar-guardarrail-senal-traffic/10158.html>
- [68] *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2017*. GOV UK. Disponible a: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2017>
- [69] *Generador de preus de construccions*. Disponible a: <http://www.generadordeprecios.info/>
- [70] *World Economic Outlook*. Disponible a: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2018/01/11/world-economic-outlook-update-january-2018>
- [71] *Lo que debemos saber acerca de la energía y la pobreza*. S. Mulyani. Juliol 2015. Disponible a: <https://blogs.worldbank.org/voices/es/lo-que-debemos-saber-acerca-de-la-energ-y-la-pobreza>
- [72] *ONG Energía Sin Fronteras (ESF)*. Disponible a: <https://energiasinfronteras.org/>

- [73] *Colaboraciones ONG y empresa que transforman la sociedad*. S. Abenoza, I. Carreras, M. Sureda. ESADE-PwC. 2015. Disponible a: <https://www.pwc.es/es/fundacion/assets/programa-esade-liderazgo-social-2015.pdf>
- [74] *Donar a tu ONG tiene más ventajas fiscales*. Soluciones ONG. Disponible a: <http://www.solucionesong.org/posts/1216>
- [75] *9MW de energía de emergencia para el nuevo hospital de Guayaquil*. HIMOINSA. Disponible a: <http://www.himoinsa.com/esp/noticias/78/news/energia-de-emergencia-para-hospital-de-guayaquil-ecuador.html>
- [76] Equipament clínic. Proclinic. Disponible a: <https://www.proclinic.es/tienda/media/catalogos/pdf2/Equipamiento.pdf>
- [77] Tarifa Transport marítim BCN-Benín: <https://www.icontainers.com/>