

Esther Fernández Grau

Sistema de gestió de l'autonomia de les bateries destinades a e-bikes

TREBALL FI DE GRAU

Dirigit pel Prof. Alfonso Romero Nevado

Dirigit pel Prof. Luis Guasch Pesquer

Grau en Enginyeria Electrònica, Industrial i Automàtica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2022

Índex

Índex de figures.....	5
Índex de taules.....	6
1. Objecte	7
2. Necessitats i factors a considerar	7
2.1 Parts que conformen una e-bike	7
2.2 Consideracions legals.....	9
3. Característiques de la bateria de l'e-bike seleccionada	10
3.1 Bosch-eBike-Battery	10
3.1.1 Modelització de la tensió a la bateria.....	14
4. Criteris per a la gestió del Battery Pack.	17
4.1 Metodologia A.....	17
4.1.1 Obtenció de dades	17
4.1.2 Tractament de dades.....	19
4.2 Metodologia B.....	27
4.2.1 Obtenció de dades	27
4.2.2 Tractament de dades.....	28
5. Conclusions	31
6. Bibliografia	32
7. Annex	34
7.1 Filtratge inicial	34
7.2 Classificació de les dades en funció del pendent.....	35
7.3 Inserció de les noves coordenades.....	38
7.4 Càlcul de la distància mínima i re-càlcul del trajecte restant	39

Índex de figures

Figura 1. Parts de l'e-bike	8
Figura 2. Càrrega de la bateria en funció del carregador	11
Figura 3. Corbes de descàrrega en l'experiment.....	15
Figura 4. Corba de càrrega en l'experiment	15
Figura 5. Corbes de càrrega i descàrrega en l'experiment	16
Figura 6. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track1 original	20
Figura 7. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track1 filtrat	20
Figura 8. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track2.....	21
Figura 9. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track2.....	22
Figura 10. Gràfic distància-altitud track 1	24
Figura 11. Gràfic distància-energia track 1.....	25
Figura 12. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud, track 1	25
Figura 13. Gràfic distància-altitud track 2	26
Figura 14. Gràfic distància-energia track 2.....	26
Figura 15. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud del track 2.....	27
Figura 16. Gràfic corresponent a la verificació del algoritme.....	29
Figura 17. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud, track 1	30
Figura 18. Gràfic corresponent a la verificació del algoritme.....	30
Figura 19. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud del track 2.....	31

Índex de taules

Taula 1. Dades tècniques referents a la bateria.....	11
Taula 2. Característiques de la cel·la comercial utilitzada	12
Taula 3. Descripció de l'experiment a utilitzar	14
Taula 4. Comparativa track original i filtrat	21
Taula 5. Comparativa track original i filtrat	22
Taula 6. Comparativa dels diversos tracks analitzats.....	23

1. Objecte

L'objecte del treball és el disseny d'un sistema de gestió de la bateria d'una bicicleta elèctrica, popularment coneguda com a e-bike.

Es parteix d'una necessitat real dels ciclistes relacionada amb la gestió de l'autonomia de la bateria. Quan s'efectua una ruta llarga es pot produir l'esgotament de l'energia elèctrica emmagatzemada per la bateria, i l'aturada de l'assistència mecànica al pedaleig.

Com a solució al problema presentat, es genera un algoritme que calcula la distribució de l'energia elèctrica per garantir l'abastiment durant tot el recorregut.

2. Necessitats i factors a considerar

Aquest apartat té com a principal objectiu determinar el conjunt d'elements necessaris per al correcte funcionament del projecte a desenvolupar. Bàsicament es procedirà a un estudi basat en les especificacions i característiques pròpies de les cel·les que disposen l'element generador d'energia per a entendre el comportament i funcionament respecte el procés de càrrega i descàrrega, així com de l'entrega d'energia a la resta d'elements que conformen el conjunt. Es parteix d'un model d'e-bike existent amb el que es permet la realització de diverses rutes amb l'objectiu de recopilar diversa informació necessària, per a entendre el comportament de l'element anteriorment esmentat, respecte les diverses fluctuacions de terreny que es produeixen associades als desnivells.

Es consideren dos circuits principals de diversos quilòmetres i relleu, efectuat en localitzacions i anys diferents, per a observar el funcionament de la bateria respecte a dues dates on les característiques de l'element poden variar. S'efectua un filtrat general del conjunt de coordenades obtingudes i proporcionades a través del sistema GPS, per a suprimir les dades considerades com a elements erronis per a futurs càlculs deguts a factors associats a la calibració o mal posicionament, entre altres. Aquest procés permet l'obtenció de dades amb alta precisió, obtenint una ruta més "real" respecte a l'efectuada.

2.1 Parts que conformen una e-bike

Per a entendre millor el projecte, es considera com a fonamental l'explicació sobre el funcionament bàsic de les e-bikes i quins són els elements principals que la conformen. Es defineixen com a prototips adaptats a la configuració d'una bicicleta contemporània, tot afegint-li la part elèctrica que s'encarrega del subministrament de l'energia. Aquesta és aportada mitjançant l'acció d'una bateria autònoma i limitada, que alimenta un motor que transmet el moviment. A més, disposa d'un element controlador adaptat a les funcionalitats i necessitats que l'usuari aporta i transmet, a través d'una pantalla, permetent mantenir una regulació tant del control com del subministrament de potència.

Els diversos components que conformen el vehicle en qüestió, tal i com s'observa en la figura 1, es mostren de forma detallada a continuació:



Figura 1. Parts de l'e-bike

1. **Bloc motor.** El que habitualment s'anomena motor consta de tres elements: motor elèctric, inversor (que transforma l'energia elèctrica de tensió contínua a tensió alterna) i la caixa d'engranatges.
Hi ha diversos tipus i fabricants. En el model que es mostra, concretament, es troba situat a la caixa del propi pedalier i va directament connectat a les bieles per a proporcionar pedaleig assistit.
2. **Bateria.** Encarregada de l'acumulació d'energia i posterior entrega en funció de la demanda de l'usuari, al propi motor. Es troba situada en el tub inferior i es fàcilment desmuntable.
3. **Display.** Ofereix tota la informació necessària per a l'usuari relativa a la ruta en qüestió. A part, proporciona indicacions referents als diversos modes de funcionament a utilitzar o l'autonomia restant de la pròpia bateria. Aquesta informació varia en funció del propi fabricant i les característiques o funcionalitats que es vulguin cobrir.
4. **Comandament de gestió.** A la part esquerra, concretament a la zona del manillar per a una major comoditat. Es troba un polsador digital mitjançant el qual, l'usuari pot variar i escollir els tipus de modes referents a l'assistència al pedaleig.
5. **Quadre.** Aquests elements no només es caracteritzen per a tenir que suportar les elevades forces exercides durant el seu ús, fet que els fa ser més reforçats que els convencionals, sinó que també tenen com a objectiu aguantar el pes addicional del sistema elèctric integrat. Els fabricants i dissenyadors treballen per a garantir innovació i aportar solucions basades en l'augment de la lleugeresa i estabilitat del conjunt per tal d'obtenir avantatges respecte els altres competidors.

6. **Amortiguadors.** Existeixen diversos tipus de forquilles al mercat, els fabricants però, prefereixen l'ús a l'alça de les adaptades a la suspensió degut a la fàcil conducció que proporcionen. Per altra banda, aporten protecció al conductor ja que absorbeixen el xoc en cas de frenada brusca, així com també proporcionar estabilitat davant d'una superfície inestable o rocosa de difícil conducció.
7. **Sistema de frenat.** Aquest apartat té molta relació respecte el punt anterior, ja que va associat a l'apartat de frenat, el que també implica esmorteïment. Els frens són considerats un dels principals components de seguretat per a les e-bikes. Ja que a diferència de les convencionals, al disposar de pes extra en aquesta modalitat elèctrica, fa que als pendents agafin una inèrcia elevada i siguin més difícils d'aturar. Per aquest motiu, un dels factors a considerar a l'hora de seleccionar aquests components, són el pes de la bicicleta i l'ús per a la que sigui destinada. Normalment, es necessitaran uns frens més potents i discos de mides elevades.
8. **Pneumàtics.** S'ha d'augmentar la pressió dels neumàtics més que en una bicicleta convencional, degut a al pes extra que comporten els components elèctrics.

Pel que fa a la part del projecte a desenvolupar, aquest es centrarà en els principals elements numerats que conformen la part elèctrica, deixant en segon pla les parts mecàniques o de disseny del model.

2.2 Consideracions legals

Es considera bicicleta elèctrica, una de tipus convencional a la que se li ha afegit un motor elèctric en una o ambdues rodes i una bateria.

Cada país té associada la seva legislació sobre l'ús de les bicicletes elèctriques, el que fa que a molts d'aquests les lleis siguin lleugeres respecte d'altres on les normes són molt restrictives. Un exemple d'aquest comportament es el que s'estableix en la unió europea.

D'acord amb el reglament de la unió europea nº 168/2013 [1], un EPAC (Electronically Power Assisted Cycles) ha de complir amb:

- Tenir un motor auxiliar, independentment de la seva situació, establert a la roda davantera, al darrere o a l'eix del pedalier, amb una potència continua que no superi els 250 W amb possibles pics al voltant dels 350 W.
- Talla de forma progressiva l'assistència al motor a mesura que el ciclista assoleix la velocitat de 25 km/h o deixa d'accionar els pedals. Es pot disposar d'accelerador únicament mentre s'està exercint treball sobre aquests.
- No superar els 40 kg de pes referent al motor.

Qualsevol bicicleta de tipus elèctrica que s'ajusti a la descripció anteriorment mencionada, està exempta de l'homologació. Tal i com succeeix en totes les directives de la unió europea, els

països membres han de posar en pràctica aquests requisits fer-los part de la seva legislació nacional.

Els vehicles que no compleixin amb les especificacions esmentades, seran catalogats com a ciclomotor i serà necessari una assegurança obligatòria, matriculació, targeta d'inspecció tècnica, casc i permís de conducció per a poder circular per la via pública.

Aquests requisits són idèntics als que estableix la legislació espanyola. Tenint a més, la consideració establerta per la DGT [2].

Aquesta instrucció aclaratòria, publicada el 31 de maig de 2019, indica:

- El conductor no ha de disposar de permís o llicència de conducció.
- No es tracta d'un vehicle de classificació "L", tal i com succeeix amb els ciclomotors i els cicles de motor a dues rodes.
- No es necessari homologació ni matriculació. Tampoc una assegurança obligatòria.

També s'estableixen altres normatives referents a la circulació així com també mesures de conducció que s'han de complir, en cas contrari es procedirà amb una sanció econòmica en funció de la gravetat de la situació.

3. Característiques de la bateria de l'e-bike seleccionada

Com s'ha indicat en apartats anteriors, es parteix d'un estudi realitzat tenint com a referència un model d' e-bike existent al mercat, amb el que es realitzaran el conjunt de proves de forma física per a l'obtenció i verificació de resultats necessaris per a l'elaboració d'una base de dades.

La bicicleta utilitzada, correspon al model E-Spark 720 2015, del fabricant suís Scott [3]. El pes aproximat del vehicle és de 20.70 kg.

Respecte a la part d'accionament elèctric, disposa del motor Bosch Performance 250 W System [4]. Alimentat per una bateria d'Ió-Liti, del mateix fabricant, amb una capacitat de 400 Wh. Tot el conjunt controlat a través del display de comunicacions vehicle-usuari, Intuvia. El prototip permet ser utilitzat per un usuari que no superi els 120 kg de pes.

3.1 Bosch-eBike-Battery

Es procedeix a analitzar el conjunt de característiques que proposa el fabricant respecte a la bateria. Per a poder efectuar els càlculs necessaris i gestionar els consums. Permetent assolir el control d'energia entregada al motor i aconseguir el propòsit final del projecte.

Taula 1. Dades tècniques referents a la bateria [5]

Acumulador d'Ió-Liti		PowerPack 400
Tensió nominal	V	36
Capacitat nominal	Ah	11
Energia	Wh	400
Temperatura de servei	°C	-5...+40
Temperatura Emmagatzematge	°C	0...+40
Pes aproximat	kg	2.5 ^{A)} /2.6 ^{C)}
Dimensions de la bateria	mm	325 x 92 x 90
Grau de protecció		IP 54 (protegit contra la pols i elements líquids)

A) Acumulador estàndard

C) Acumulador per a porta-equipatges

La bateria disposa de temps de càrrega variat en funció del tipus de connector per a la recàrrega. Aquests períodes oscil·len entre 1 i 2.5 h per a l'obtenció del 50%. 2.5 i 6.5 h per al 100%. Destacar que aquest dispositiu es troba muntat al quadre de la bicicleta, proper al centre de gravetat del propi vehicle, proporcionant efectes positius en el comportament de conducció.

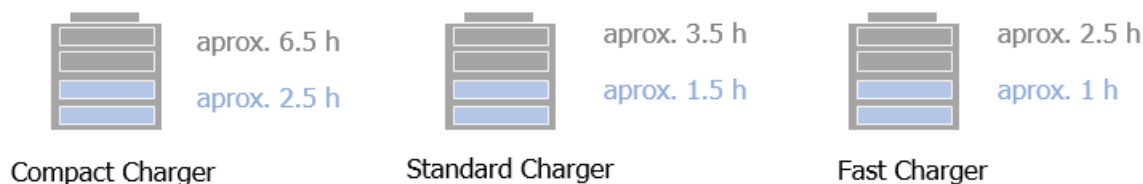


Figura 2. Càrrega de la bateria en funció del carregador

El fabricant subratlla diversos aspectes del sistema PowerPack:

- Extraordinària eficiència de la bateria – Presenten la màxima densitat energètica amb el menor pes i mida del mercat, millorant la conducció.
- Facilitat per a guardar i ràpid de carregar – No disposen d'efecte memòria ni problemes d'auto descàrrega. En funció del carregador utilitzat, el temps de càrrega varia. Permeten la càrrega en qualsevol instant, independentment del nivell d'aquesta. La interrupció d'aquest procés, no produeix cap efecte negatiu cap a la pròpia bateria ni és necessari la descàrrega completa.

- Auto descàrrega baixa – Després de llargs períodes d'emmagatzematge sense generar cap tipus d'utilitat, la bateria pot ser empleada sense necessitat de recarregar-la. En duracions relativament llargues, es recomana un estat de càrrega comprès entre el 30-60% aproximadament.
- Llarga vida útil – El disseny permet una gran quantitat de recorreguts, acumulant quilòmetres i anys de servei. El sistema de gestió intel·ligent electrònic del que disposa, (Battery Management System, BMS) protegeix les bateries d'ió-liti de les temperatures extremes, la sobrecàrrega i la descàrrega excessiva.
- Sistema ergonòmic – Les bateries són fàcils de retirar per a la càrrega. També ofereix la possibilitat de realitzar l'acció directament a la bicicleta sense necessitat de retirar l'element.

Aquest tipus de bateries utilitzen cel·les de Ió-Liti. Concretament disposa del model comercial LG18650MG1. Amb les següents característiques:

Taula 2. Característiques de la cel·la comercial utilitzada [6]

Tensió nominal (U_0)	3.62 V
Capacitat nominal (C_0)	2850 mAh
Corrent màxima de càrrega (I_c)	2.85 A
Corrent màxima de descàrrega (I_d)	10.00 A
Tensió màxima de càrrega (U_{max})	4.20 V
Tensió màxima de descàrrega (U_{min})	2.50 V
Pes	46.00 g
Dimensions	18.20 mm (D) – 65.00 mm (H)

Considerant la informació present en les Taules 1 i 2 del document, es procedeix a la interpretació del disseny de la bateria existent en l'e-bike.

1. Nombre de cel·les a disposar en sèrie.

Es requereix un voltatge nominal de 36 V pel que fa a la bateria. El voltatge en cadascuna de les cel·les de forma individual assoleix el valor de 3.62 V:

$$\mathbf{V_{N\ bat} = 3.62 \cdot 10_{sèrie} = 36.2\ V} \quad (1)$$

2. Càlcul referent a la tensió màxima de càrrega.

Es considera una tensió màxima respecte a la cel·la, segons especificacions, de 4.20 V. Disposades amb el nombre en sèrie determinat en l'apartat anterior.

$$\mathbf{V_{MAX\ bat}} = 4.20 \cdot 10_{\text{sèrie}} = 42 \text{ V} \quad (2)$$

3. Nombre de cel·les a disposar en paral·lel.

L'energia de la bateria s'estableix amb el valor de 400 Wh. D'acord amb aquesta dada i la resta d'elements necessaris per al càlculs s'estableix un total de:

$$\mathbf{N_{\text{paral·lel}}} = \frac{E_{\text{bat}}}{I_c \cdot n_{\text{sèrie}} \cdot U_o} = \frac{400}{2,85 \cdot 10 \cdot 3,62} = 3.87 = 4 \quad (3)$$

Es conclou que la bateria en qüestió aporta una energia de 400 Wh mitjançant una configuració 10S4P (10 cel·les connectades en sèrie i 4 en paral·lel).

Per a la correcta modelització e interpretació de la bateria, es tenen en compte diversos conceptes que intervenen de forma directa en la caracterització del prototip.

- Tensió màxima (U_{max}): Màxim valor de voltatge que el sistema generador d'energia es capaç de suportar durant un procés de càrrega.
- Tensió nominal (U_n): Valor sobre el qual la bateria opera durant la majoria de descàrrega.
- Tensió mínima / Tensió de *cut off*: Punt en el qual es considera descàrrega completa. Càrregues inferiors al nivell establert produeixen malmeses directes interferint de forma dràstica en la vida útil del dispositiu.

De forma addicional, s'expressa la tensió en circuit obert (E). Definida com la tensió present mesurada entre borns de la bateria quan no hi ha circulació a través d'aquesta.

Es consideren un seguit de conceptes relatius al propi estat del sistema d'emmagatzematge d'energia que es defineixen com:

- Estat de càrrega. SoC (State of Charge). Quantitat d'energia restant a la bateria respecte al màxim valor emmagatzemat (recent fabricada). Magnitud expressada en percentatge.
- Estat de salut. SoH (State of Health). Representa l'envelliment del sistema. Capacitat màxima que la bateria es capaç de subministrar en un determinat instant respecte al valor màxim que podia subministrar al inici de la vida útil. S'expressa com a percentatge.
- Profunditat de descàrrega. DoD (Depth of discharge). Paràmetre invers al SoC. Percentatge d'energia que ha estat consumit respecte al màxim emmagatzemat.

Un cop definit els conceptes bàsics que permeten entendre els paràmetres principals que formen la bateria, es procedeix amb la realització d'un estudi per a testear i obtenir dades

importants per a l'estimació del SoC; Paràmetre important per a la realització d'estimacions en el projecte. La part pràctica de l'anàlisi a realitzar al laboratori, es basa en diversos mètodes experimentals. Permet l'aplicació de la metodologia obtinguda on, a partir de qualsevol tipus de cel·la, aquesta es pugui modelar.

Els aspectes principals a determinar són la tensió en circuit obert en funció de l'estat de càrrega (OCV (V_{soc}) "Open Circuit Voltage dependent del State of charge") i la tensió d'histerèsis (V_h) en funció de si es carrega o descarrega la cel·la.

Per a l'estudi, s'apliquen tensions baixes a una única cel·la i un voltatge elevat a la bateria, composta pel mateix tipus de cel·les. El muntatge i passos a desenvolupar per a poder assolir els objectius, es troben especificats al document referenciat. A continuació es mostra un resum de l'experiment a efectuar:

Taula 3. Descripció de l'experiment a utilitzar

Tipus d'experiment	Element d'estudi	Resum
OCV vs SOC	Cel·la	Descàrrega d'una cel·la a baixa intensitat per a la relació de la tensió a circuit obert amb la duració del cicle de treball de la cel·la.

3.1.1 Modelització de la tensió a la bateria

Aquest primer procés, es basa amb l'obtenció del comportament associat a la càrrega i descàrrega de la cel·la. Per al mètode de descàrrega s'han realitzat mesures de tensió de circuit obert utilitzant dues cel·les de forma paral·lela.

En l'inici de la descàrrega, les dues corbes es superposen, tal i com s'observa en la figura 3; A mesura que avança el procés, la diferència entre ambdues s'evidencia. Destacar que degut a les lleugeres diferències en el material (els valors referents als resistors comercials no són exactament iguals) les cel·les s'han descarregat de diverses formes, és a dir, amb temps diferents. Si s'interpreten aquests valors com un tant per cent respecte al total de la descàrrega, s'observa que mitjançant superposició, la coincidència entre elles és evident. Aquest efecte, però, no suposa cap inconvenient front a l'estudi, ja que l'objectiu principal és l'obtenció de la tensió respecte el tant per cent de càrrega.

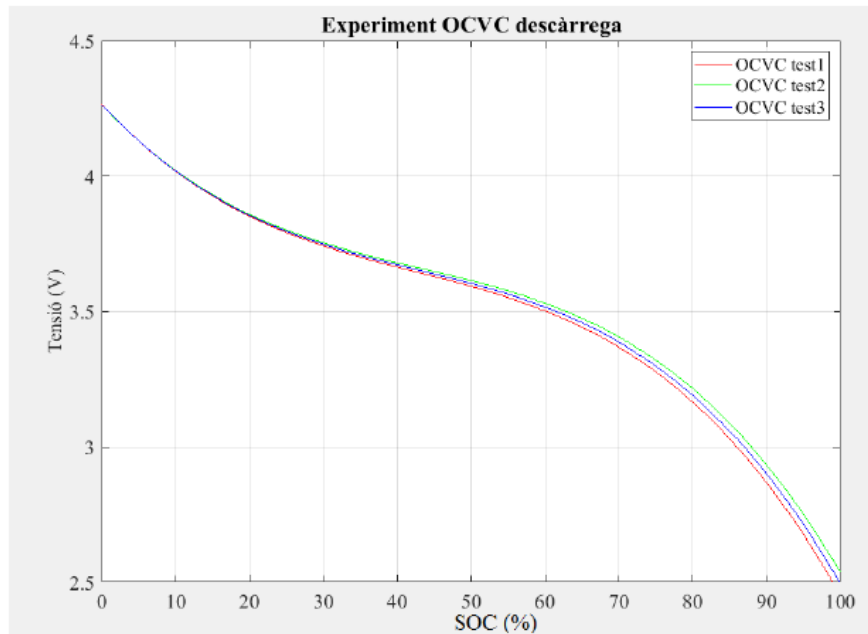


Figura 3. Corbes de descàrrega en l'experiment [7]

S'utilitza el mateix procés per a l'obtenció de la càrrega. La corba, corresponent a la figura 4, és la resultant de la mitja obtinguda en les diferents càrregues realitzades a les cel·les. Aquesta gràfica resulta de gran interès en l'àmbit teòric, però resta importància en l'àmbit funcional; El que interessa és l'obtenció de la descàrrega per a poder interpretar el comportament de l'e-bike al llarg del recorregut.

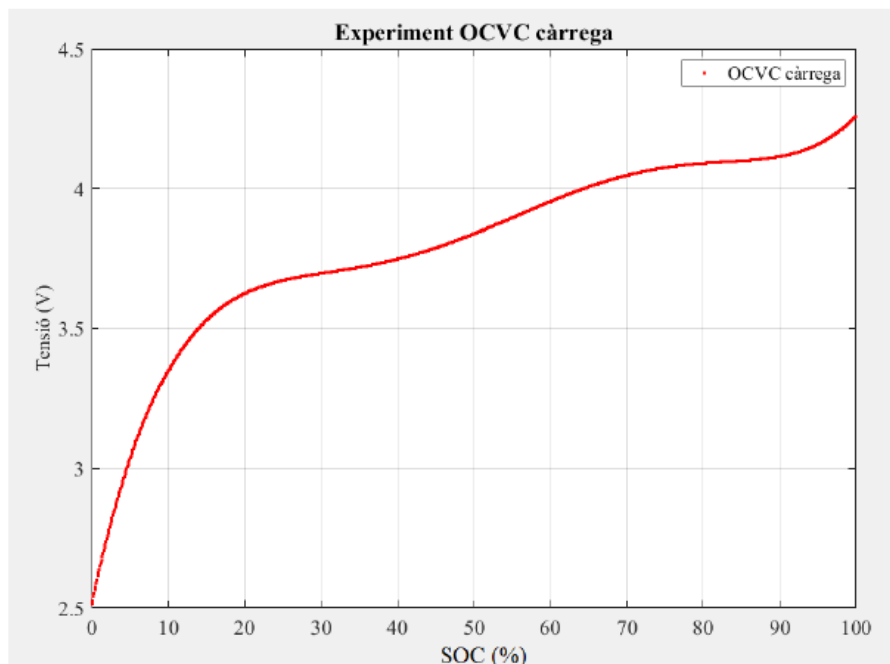


Figura 4. Corba de càrrega en l'experiment [7]

Un cop obtingudes les dues corbes característiques del procés, es va procedir a la superposició d'ambdues, figura 5, considerant que la funció associada a la descàrrega s'ha d'invertir per tal de respectar el que defineix el model; L'eix d'abscisses obtingut fa referència al tant per cent de descàrrega, havent de mostrar el percentatge de càrrega. A continuació es mostra el resultat de la mitja de les dues anteriors, corresponent a la corba de OCV vs SOC.

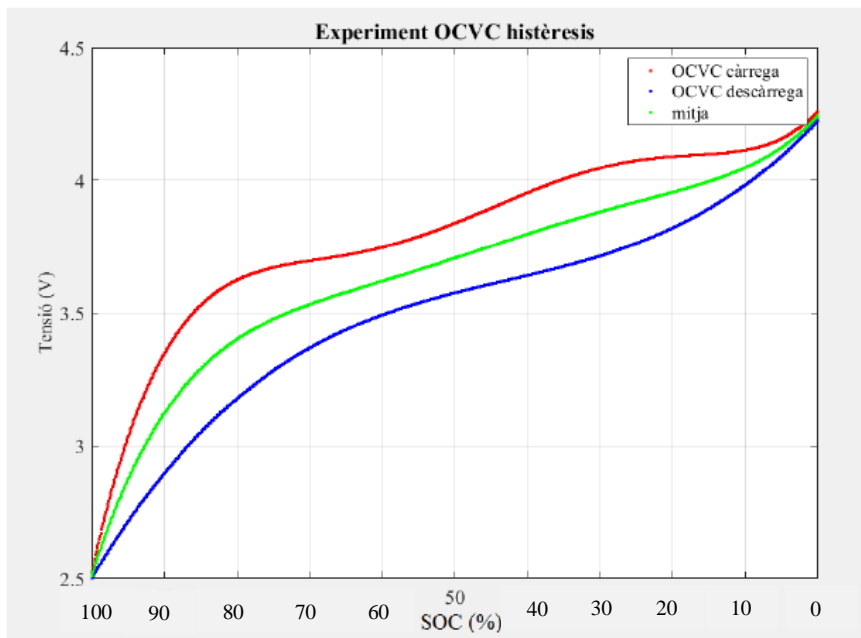


Figura 5. Corbes de càrrega i descàrrega en l'experiment [7]

Es representen les expressions associades a les diverses corbes obtingudes en la figura 5.

Corba de descàrrega

$$\mathbf{OCV} = 4,08055 \cdot 10^{-6} \cdot SOC^3 - 0,0006976 \cdot SOC^2 + 0,0462066 \cdot SOC + 2,5 \quad (4)$$

Corba de càrrega

$$\mathbf{OCV} = 3,824 \cdot 10^{-9} \cdot SOC^5 + 1,0819 \cdot 10^{-6} \cdot SOC^4 + 0,0001138 \cdot SOC^3 - 0,00549 \cdot SOC^2 + 0,12785 \cdot SOC + 2,5 \quad (5)$$

Corba de mitja

$$\mathbf{OCV} = 1,912 \cdot 10^{-9} \cdot SOC^5 + 5,409715 \cdot 10^{-7} \cdot SOC^4 + 2,0403315 \cdot SOC^3 - 0,003095 \cdot SOC^2 + 0,08703 \cdot SOC + 2,5 \quad (6)$$

4. Criteris per a la gestió del Battery Pack.

Es procedeix al disseny del dimensionat associat a la autonomia de la pròpia bateria de l'e-bike. L'objectiu principal, es basa en la creació d'un sistema que permeti, a partir de les dades associades al track a realitzar on es mostra el perfil de la ruta, gestionar el sistema per a poder completar-la sense esgotar abans, el total d'energia.

Es consideren dos escenaris principals. Un primer model (metodologia A), en el qual no es disposa d'informació referent al track. L'usuari es capaç de seguir el trajecte indicat pel GPS amb una gestió de l'autonomia de la bateria de forma prèvia, és a dir, abans d'iniciar la ruta.

Per al segon model (metodologia B), es disposa de la informació referent al track així com també la tensió de la bateria en cada moment, mitjançant la seva lectura instantània. Aquest sistema, permet la realització d'un re-càlcul del trajecte i del nivell de bateria restant, podent gestionar l'autonomia del sistema mentre es realitza la ruta.

Per a la realització dels dos casos a tractar, es parteix de la informació aportada per dos mapes creats mitjançant un sistema GPS. S'utilitzen els dos escenaris proposats, ja que en ambdós casos s'inicia el recorregut amb la bateria al 100 % de la seva capacitat fins el punt final, on el dispositiu es troba al 0 %. Es a dir, s'esgota totalment l'energia. D'aquesta manera es realitza un estudi per tal de comprovar el comportament de la bateria fins que queda sense càrrega, i poder procedir amb la gestió d'aquesta i poder procedir amb el disseny d'un algoritme que permeti completar els trajectes en la seva totalitat, utilitzant dos mètodes diferents.

Abans però, és necessari la realització d'un algoritme de filtrat que permeti eliminar tots aquells punts del track original, considerats com a erronis, a partir d'unes condicions de disseny establertes. Així com l'aplicació de diverses formules per a l'obtenció de dades de gran importància i rellevància per al dimensionat.

4.1 Metodologia A

4.1.1 Obtenció de dades

Per a l'obtenció de dades, es disposa d'un document expressat en format .gpx. En aquest arxiu es mostren el conjunt de punts que conformen la totalitat del trajecte a efectuar. L'usuari, serà l'encarregat de seguir el track per a poder completar la ruta en qüestió.

El document es presenta com el resultat obtingut a partir de la utilització d'un Sistema de Posicionament Global (GPS) [8]. Disposa d'un principi d'operació mitjançant una navegació per part dels satèl·lits a través d'òrbites totalment predeterminades. Cadascun dels elements, disposa d'un rellotge atòmic que permet emetre en direcció a la terra el temps d'aquest. Aquest senyal és rebut per un receptor GPS; A partir de les diferències temporals de cadascun dels satèl·lits i el temps "real", es procedeix amb la triangulació del posicionament del receptor.

En funció de la posició dels satèl·lits, la precisió que es pot adquirir varia. La disposició ideal es considera mitjançant l'element satel·litzat damunt del receptor, la resta de components

distribuïts espacialment de forma equidistant al llarg de l'horitzó i per sobre de l'angle mínim d'elevació.

El sistema receptor del que disposa l'e-bike en qüestió, proporciona un fitxer amb les dades en forma de registres, associats a la longitud, latitud, elevació, data i hora del dia expressada en hores, minuts i segons. A partir d'aquestes característiques bàsiques, s'efectuen un seguit de càlculs on es procedeix a l'extracció d'equacions i aplicació d'expressions destinades a l'obtenció de la resta de paràmetres necessaris per a la totalitat dels càlculs. Aquests fan referència a:

- Temps. Magnitud expressada en segons (s), referents a l'espai temporal transcorregut entre coordenades espaials. Resulta de la diferència existent entre la mesura anterior i l'actual. Destacar que tant la variable del l'hora diària com la que es tracta en l'apartat, s'expressen en funció de la relació existent referent a la porció diària respectiva.
- Distància entre punts. L'expressió resulta cert complexa degut a l'efecte dels hemisferis. Per a la correcta definició d'un punt en la superfície terrestre, és necessari l'especificació de la distància vertical des de la situació atmosfèrica del punt a un angle recte en direcció al centre. La Terra, no disposa d'una forma esfèrica sinó que té un comportament irregular amb aproximació a un el·lipsoide amb un radi superior en un 0,3 % en l'equador. Per a la resolució del problema de la direcció "vertical" i el de la "superfície" sobre la que es procedeix la mesura, s'escolleix un el·lipsoide de referència amb un origen i orientació determinats per a la correcta adaptació a les necessitats referents a l'àrea en qüestió.

Per a determinar les distàncies sobre la superfície terrestre, considerada de geometria esfèrica, es fa ús de la fórmula de Haversine [9]. Si φ_1 i λ_1 es corresponen a la latitud i longitud del primer observador i φ_2 i λ_2 els elements que conformen el segon factor, la distància que els separa es defineix com:

$$d = \pi * r / 90 * \arcsin \left(\sqrt{ \sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos \varphi_2 * \cos \varphi_1 * \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right) } \right) \quad (7)$$

Expressió amb els valors determinats per a medicions d'angles en graus i sent "r", el radi mig de la Terra, aquesta variable defineix el radi polar terrestre, 6357 Km.

- Desnivell entre punts. Sorgeix del resultat de la resta existent entre els punts consecutius referents a l'altitud o elevació. Es considera desnivell positiu aquell que proporcioni valors coherents amb el sentit de marxa ascendent definit i negatius aquells que ofereixin valors amb signe relatiu al descens així com aquells coeficients nuls.
- Pendent. Considerat com un dels aspectes principals i punters en el projecte. Ja que el dimensionament de la bateria es realitzarà tenint en compte aquesta variant combinant-la amb d'altres. Per a la seva obtenció, s'utilitza el producte del coeficient entre el desnivell entre punts i la distància respectiva d'ambdós. S'ofereix el valor final de forma percentual.

- Distància acumulada. Aquesta franja de valors ens permet associar el recorregut realitzat amb la totalitat del trajecte expressat en km. S'efectua el sumatori de forma consecutiva a partir de la distància entre punts i la prèvia total acumulada.
- Velocitat. Ens indica quin és l'espai, en km, recorregut en cada hora.

Es consideren un seguit de factors a tenir en compte per a la correcta visualització del track en qüestió. Aquests elements o condicionants de disseny, s'especifiquen en apartats futurs. La seva implementació permet l'obtenció d'un track pròxim a la realitat, evitant els possibles punts fraudulents o interferències que produeixen expressions o mesures errònies per a la totalitat de l'anàlisi.

4.1.2 Tractament de dades

Per al disseny del filtratge inicial s'ha realitzat un algoritme indicat a l'annex 7.1, on es consideren un seguit de punts denominats com a requisits a complir per a poder procedir amb l'obtenció d'un track amb informació real, evitant mesures errònies per als càlculs.

1. Es considerarà coordenada errònia referent al pendent, aquella mesura amb posicionament inferior al -35 %, associat al desplaçament descendent i tots els valors superiors al 35%.
2. La velocitat acceptable, resulta per a aquells valors inferiors als 30 km/h per a situacions on el pendent és positiu. I inferior a 75 km/h per a aquelles coordenades o punts de l'espai propis de desnivells negatius.
3. Es considera desplaçament nul i per tant, valor incorrecte, aquells en els que la coordenada referent a la distància entre punts sigui inferior als 10 m.

Es procedeix a la realització d'un arxiu mitjançant el software Matlab en el que es tenen en compte el seguit de punts, un cop establerta la normativa per a la correcta obtenció de coordenades.

Per als càlculs i el procediment experimental, es consideren dos recorreguts efectuats en èpoques diferents, per a poder observar el comportament de la bateria en dues situacions on l'edat d'aquesta canvia i, per tant, s'observa l'efecte produït per l'envelliment de la mateixa. Podent procedir amb la comparativa entre els tracks, i efectuant un anàlisi detallat respecte el comportament de l'e-bike. Cal destacar que no s'han tingut en compte per a cap de les metodologies proposades, aspectes relacionats amb les dimensions del ciclista o condicionants ambientals per a la realització dels càlculs.

Es testeja el comportament de la bateria a partir de les dades aportades pel sistema, podent procedir amb la creació d'un programa adaptat a la gestió de la bateria en funció del pendent i el temps transcorregut en el trajecte efectuat.

En el conjunt de proves efectuades per a la visualització del consum respecte a la totalitat d'un recorregut en concret, s'ha requerit la utilització de tota l'energia, és a dir, s'han consumit 400 Wh; Es procedeix amb l'estudi detallat de cadascuna de les rutes efectuades per a poder entendre i controlar com s'ha produït el consum i els factors dels quals en depenen.

El primer recorregut disposa d'una totalitat de 42.60 km en total. A continuació es mostra el gràfic en funció de la latitud i longitud del track efectuat considerant la totalitat dels punts geogràfics dotats pel dispositiu GPS tal i la ruta, un cop ha estat filtrada.

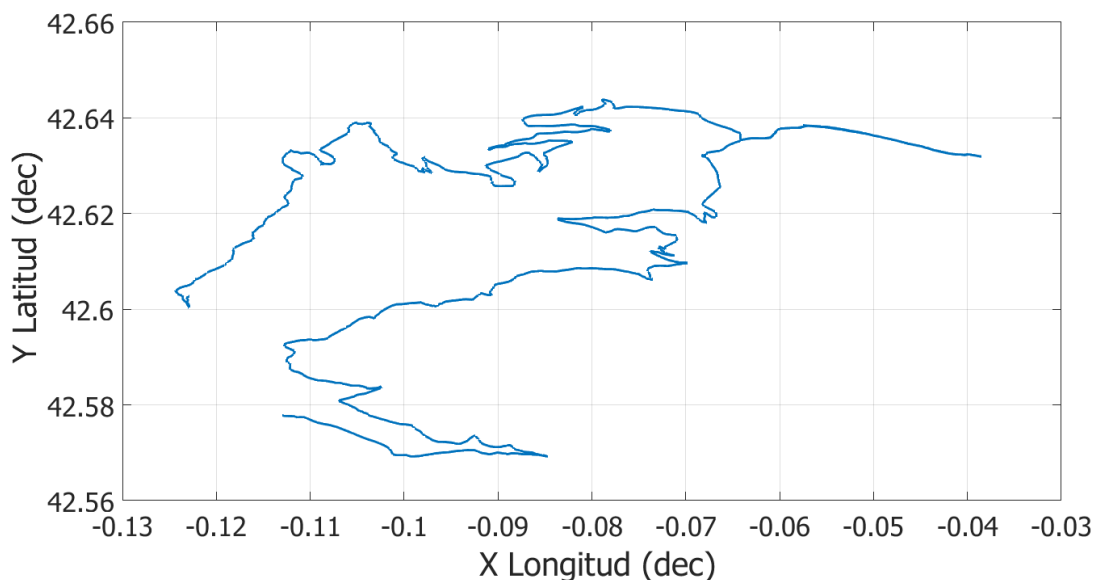


Figura 6. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track1 original

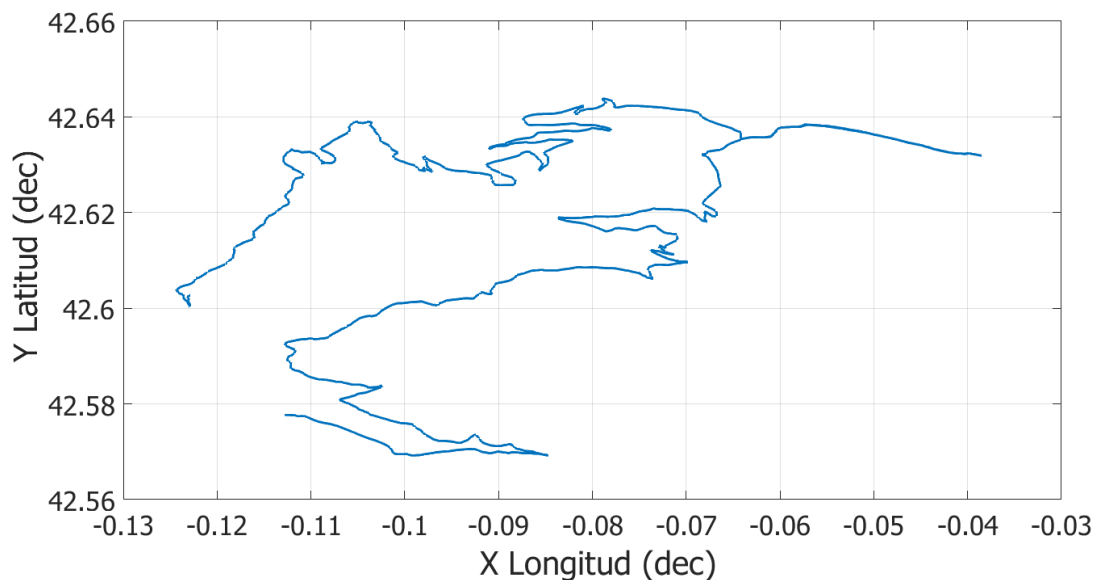


Figura 7. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track1 filtrat

A simple vista no s'observen diferències notables en la silueta del circuit, ja que conserva la pròpia forma d'aquest. Es verifica que el filtre ha estat creat de forma correcta, ja que ha permès mantindre el track original amb poques variacions, la majoria de les quals gairebé imperceptibles. Cal destacar, però, que en el procés de filtratge s'han suprimit un total de 263

punts erronis, dels quals 181 han estat filtrats degut al no compliment dels condicionants associats al pendent, 74 a causa de la distància i 8 per a situar-se fora els marges de la velocitat.

Taula 4. Comparativa track original i filtrat

	Track original	Track filtrat
Punts totals	2669	2406
Punts eliminats associats al pendent	-	181
Punts eliminats associats a la distància	-	74
Punts eliminats associats a la velocitat	-	8

La segona seqüència de punts a analitzar per a la posterior comparativa, es refereix a un recorregut de muntanya assolint un total de 48.90 km.

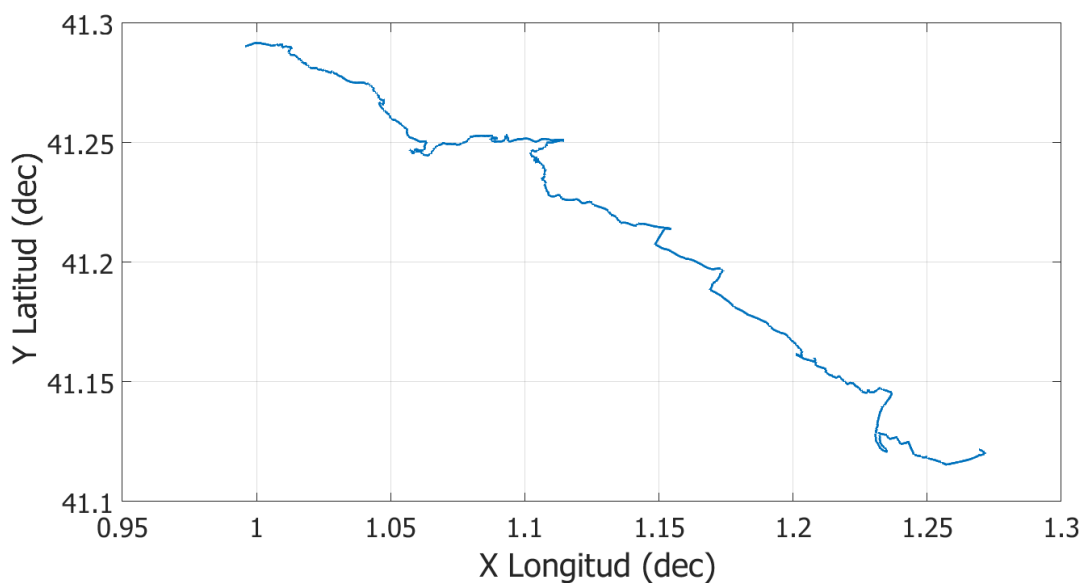


Figura 8. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track2

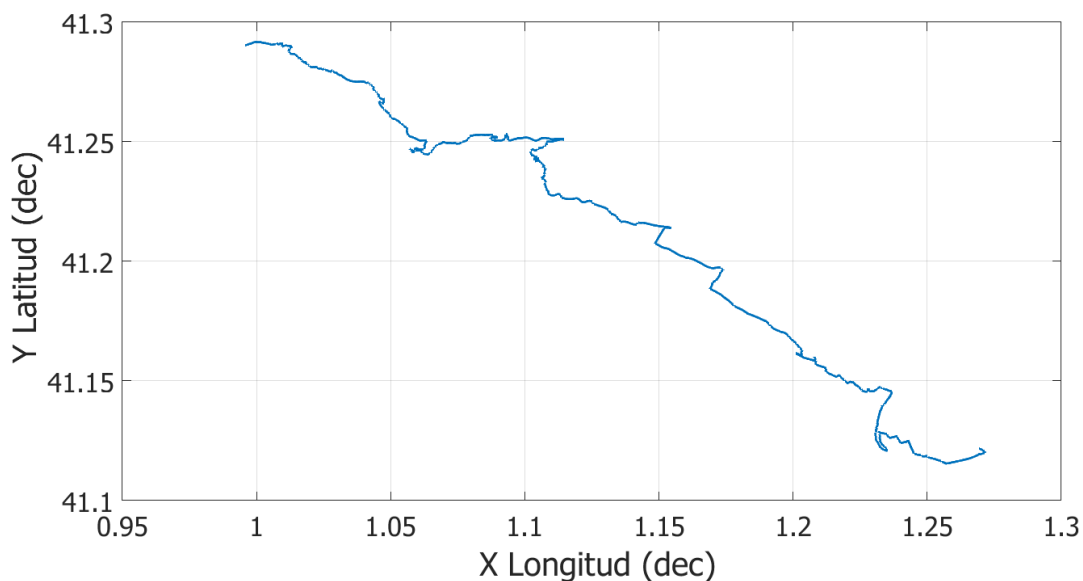


Figura 9. Gràfic corresponent a la latitud-longitud del track2

Amb l'aplicació del filtre, s'ha aconseguit millorar aspectes crítics respecte a la base de dades obtinguda. Destacar que amb el procés de filtratge, s'han suprimit un total de 202 punts erronis, dels quals 66 han estat filtrats degut al no compliment dels condicionants associats al pendent, 134 a causa de la distància i 2 per a situar-se fora els marges de la velocitat.

Taula 5. Comparativa track original i filtrat

	Track original	Track filtrat
Punts totals	3946	3744
Punts eliminats associats al pendent	-	66
Punts eliminats associats a la distància	-	134
Punts eliminats associats a la velocitat	-	2

Els inconvenients associats al perfil del circuit, incideixen en el comportament de l'e-bike, ja que els nivells d'energia requerits a la bateria en cada cas varien en funció, principalment, del pendent. Considerant que la superfície de treball disposa, pràcticament en la seva totalitat, d'un desnivell que varia de forma constant, el vehicle necessita energia per part de la bateria de forma paral·lela. Aquesta elevada demanda d'energia repercuteix directament amb el consum, de tal manera que els nivells de càrrega del propi sistema van disminuint.

A partir de les dades orogràfiques obtingudes i dels perfils referents a l'elevació en funció del temps, s'efectua un sistema que permeti regular els nivells d'assistència i per tant de demanda d'energia a la bateria per tal d'augmentar la vida útil de l'e-bike i poder completar la totalitat

de les rutes que s'efectuen. A continuació es mostra una taula amb el resum de característiques obtingudes amb els estudis efectuats respecte les dues rutes analitzades, per tal d'observar les diferències i similituds en ambos casos.

Taula 6. Comparativa dels diversos tracks analitzats

	Track 1	Track 2
Edat de la bateria (anys)	5 anys	7 anys
Distància total efectuada(km)	42.85 km	49.02 km
Temps transcorregut (h:min:s)	5h 54min 58s	3h 15min 50s
Desnivell positiu (m)	2003 m	1229.6 m
Energia bateria inici (Wh)	400 Wh	400 Wh
Energia bateria final (Wh)	0 Wh	0 Wh

Per a la correcta monitorització del vehicle elèctric, es procedeix al control d'una sèrie de variables necessàries per a la realització de la tècnica en qüestió. Es tindran en compte els següents paràmetres:

- Pendent en cadascun dels trams.
- Total de km en funció del tipus de pendent.
- Temps total realitzant cadascun dels pendents.
- Desnivell positiu acumulat en cada tram.

A partir de la informació aportada per cadascun dels punts que s'especifiquen, es procedeix a l'elaboració d'un algoritme, indicat a l'annex 7.2, que permet fragmentar i classificar, en funció del tipus de pendent. Destacar que s'ha imposat com a requisit de disseny un pendent màxim del 35 %. De tal manera que l'e-bike només podrà requerir assistència, en pendents que compleixin la condició.

Finalment i un cop classificada la informació necessària en cadascun dels possibles pendents on el vehicle disposarà d'assistència per part de la bateria. Es procedeix a la part final, on s'estableix la relació existent entre la potència proporcionada i el pendent. Es consideren com a paràmetres necessaris per al conjunt de càlculs a efectuar:

- Tipus de pendent (%).
- Distància total recorreguda en funció del tipus de pendent (m).
- Temps total realitzant cadascun dels pendents (s).
- Desnivell positiu acumulat en cada tram (m).
- Potència referent a la bateria (pu).

Per al càlcul d'aquest últim condicionant, es considera com a requisit de disseny, establir un punt de saturació per part de la bateria, en funció del pendent, per a que aquesta no entregui més potència en assolir aquest instant en concret. S'opta per marcar el límit quan el pendent és del 20 % o superior, de tal forma que la potència a entregar, serà màxima en tots aquells trams que compleixin la condició.

També es considera la quantitat d'energia expressada en tant per un i en Wh, per a poder saber quina es la quantitat d'energia restant referent a la màxima. Per assegurar el compliment de l'objectiu del treball efectuat, es considera establir un marge d'energia com a element de protecció en cas de produir-se algun tipus d'inconvenient o emergència i assegurar que l'usuari pugui efectuar la totalitat del seu trajecte de forma completament fiable. Tal i com s'especifica en apartats anteriors, la bateria de la qual es disposa és de 400 Wh. Es consideren uns 395 Wh, es a dir, 5 Wh de marge en la realització dels càlculs referents a l'autonomia.

L'energia s'ha calculat a partir de les dades de potència i temps, obtinguts en cadascun dels trams en que s'ha classificat la informació, on:

$$\mathbf{E (pu)} = P (pu) \cdot T(s) / 3600 \quad (8)$$

$$\mathbf{E (Wh)} = E (pu) / (\sum E (pu) \cdot 395 \text{ Wh}_{\text{totals}}) \quad (9)$$

En el seguit de figures que es mostren a continuació, s'observa la relació existent entre la quantitat d'energia proporcionada per la bateria i l'autonomia de la mateixa, en funció del pendent representat a partir del perfil total del que disposa la ruta en qüestió.

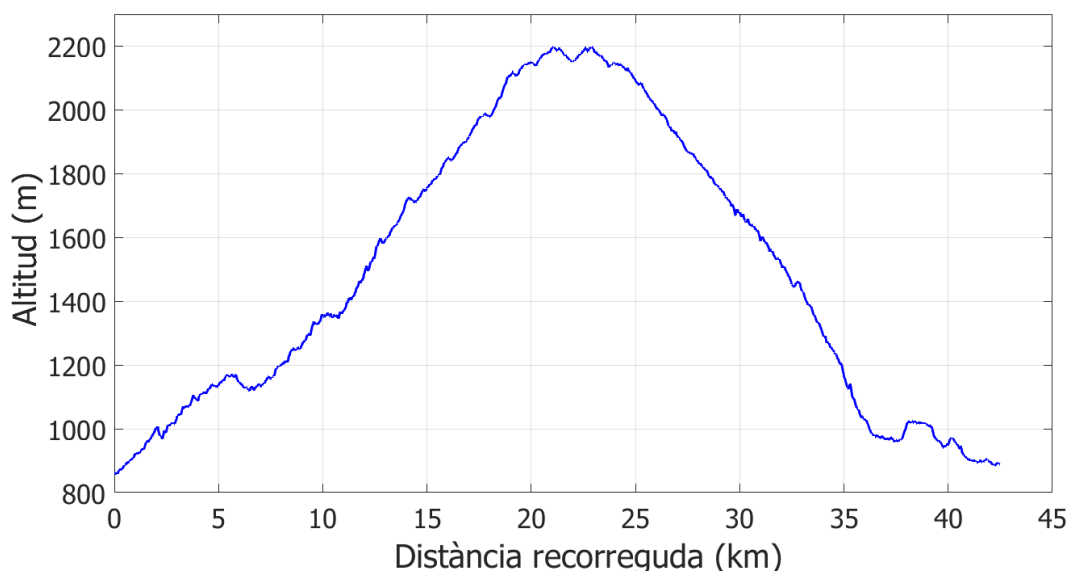


Figura 10. Gràfic distància-altitud track 1

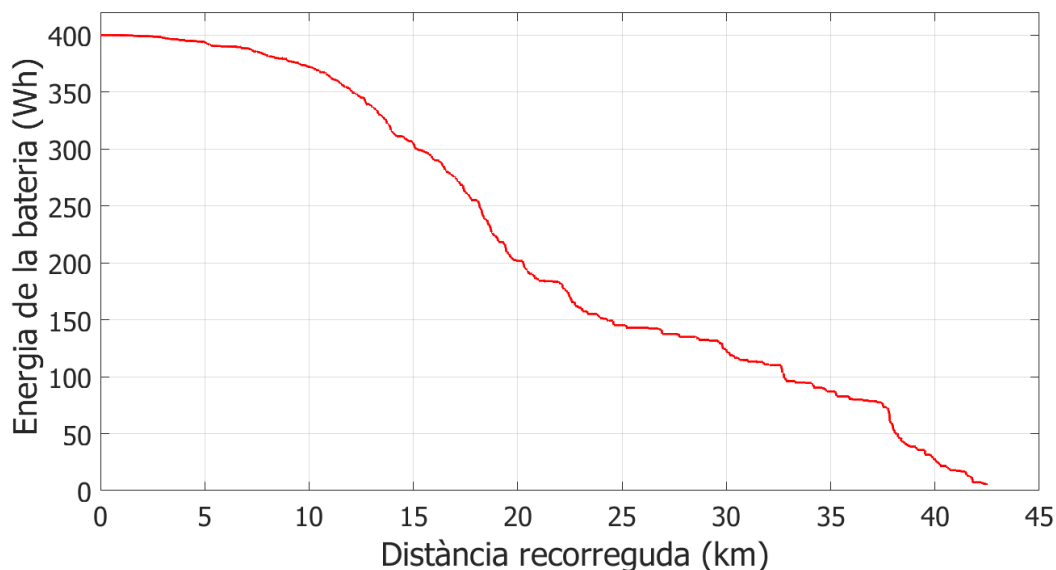


Figura 11. Gràfic distància-energia track 1

Amb les representacions, es mostra l'entrega d'energia per part de la bateria al llarg dels quilòmetres recorreguts en el trajecte. I com es manté el nivell d'assistència en la e-bike, podent completar el trajecte en la seva totalitat. Per a una millor interpretació dels resultats i comprovació del correcte funcionament, es procedeix a la realització de la figura 12.

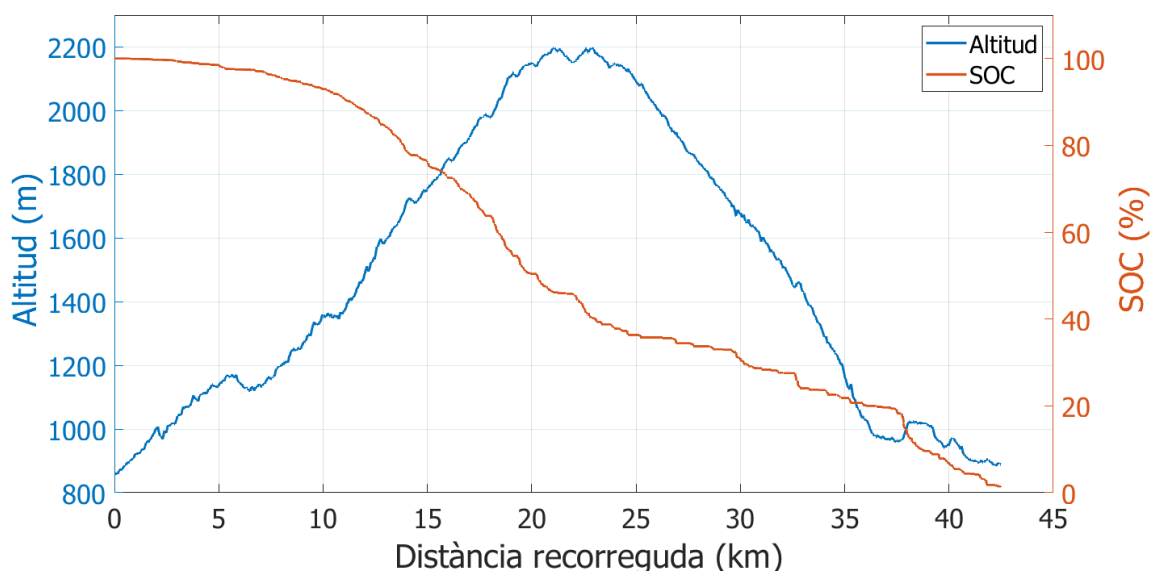


Figura 12. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud, track 1

Com es pot observar en el gràfic, s'inicia la ruta disposant d'una càrrega completa per part de la bateria i aquesta es va gastant a mesura que s'avança en el recorregut. El comportament de descàrrega varia en funció de l'altitud, es a dir, el pendent en cadascun dels trams; A més pendent, la velocitat de descàrrega augmenta, de tal forma que disminueix l'energia restant a

la bateria, ja que es requereixen consums elevats per tal de poder superar els desnivells, de forma proporcional a l'establert en les condicions de disseny del sistema creat. Destacar que es finalitza la ruta amb un 5 % restant de bateria com a element de seguretat en cas de succeir-se qualsevol tipus d'inconvenient o situació d'emergència, per part de l'usuari.

Es realitzen els mateixos càlculs per a les dades que conformen la segona ruta a analitzar.

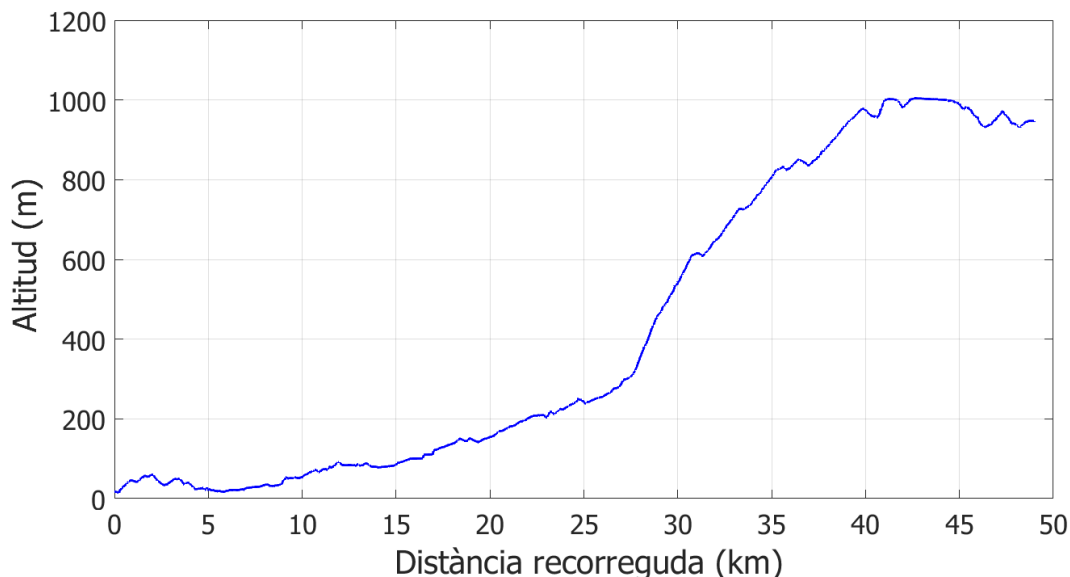


Figura 13. Gràfic distància-altitud track 2

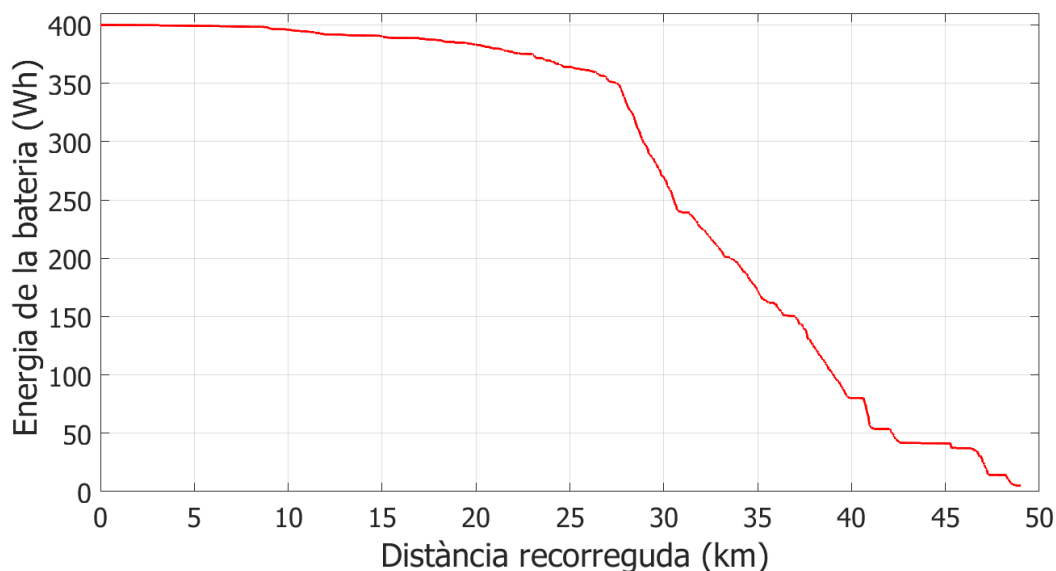


Figura 14. Gràfic distància-energia track 2

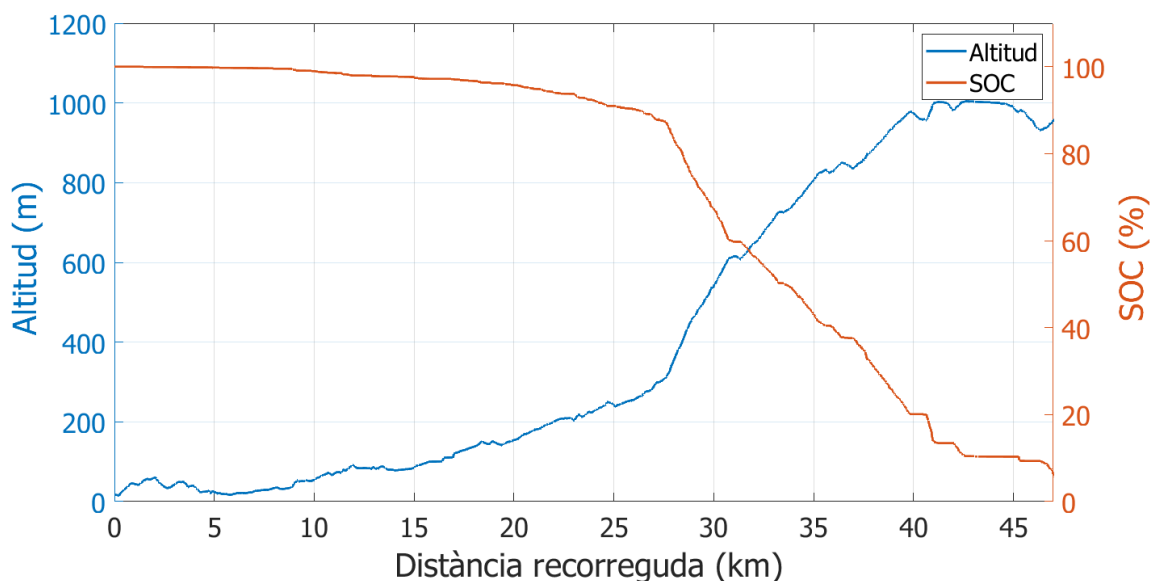


Figura 15. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud del track 2.

Es verifica com, independentment del tipus de ruta, l'algoritme creat és capaç d'adaptar-se gestionant el consum de la bateria i per tant, complint l'objectiu principal d'una de les parts finals del projecte. Permetre a l'usuari la realització total i completa de qualsevol tipus de recorregut independentment del pendent o distància a efectuar.

4.2 Metodologia B

4.2.1 Obtenció de dades

En aquest procediment, es parteix del conjunt d'informació obtinguda amb la metodologia A, aplicant-la directament amb la realització d'aquest segon procediment i s'afegeixen nous elements per a la correcta elaboració del sistema en qüestió.

El procés d'obtenció de dades, s'efectua mitjançant tres factors o àrees diferenciades. Es disposa d'un mètode basat en les rutes que es volen efectuar, on es mostra el trajecte que l'usuari està disposat a replicar. Un Sistema de Posicionament Global (GPS) indicador de la posició en la qual es troba el ciclista. I finalment, es fa ús d'un element multímetre, instal·lat de forma prèvia i com a element addicional al conjunt del vehicle elèctric, que permet mesurar la tensió existent a la bateria en tot moment. Per tal de poder saber quin és el nivell de voltatge del qual disposa l'e-bike mentre efectua la ruta. Gràcies als valors aportats, es procedirà amb l'obtenció del voltatge de descàrrega de la bateria. Podent determinar finalment, el valor del SoC (%); Destacar que per al càlcul d'aquest factor, s'utilitzarà l'expressió corresponent a la fórmula (4), del propi document.

4.2.2 Tractament de dades

El sistema en qüestió, expressat en l'annex 7.4, ha de ser capaç de procedir amb un re-càlcul del trajecte, i per tant, de l'energia restant al sistema per tal de cobrir el recorregut total.

El algoritme creat i indicat en l'annex 7.3, es basa amb una demanda de coordenades, que per a poder dur a terme el conjunt de verificacions referents al procés elaborat, s'introdueixen de forma manual. Les dades a disposar fan referència als valors de latitud, longitud i altitud del punt en concret en el qual es troba l'usuari en aquell mateix instant. Aquesta informació es aportaada gracies al sistema GPS. Cal destacar que el conjunt de coordenades distaran respecte als valors dels quals disposa la ruta a seguir; Malgrat l'usuari intenti replicar el recorregut, no es produirà un seguiment de forma exacta sinó que presentarà un marge d'error. El sistema dissenyat procedirà amb la realització d'un seguit de càlculs per a determinar els següents punts:

- Calcular la distància a tots els punts, partint d'una posició en concret.
- Identificar el punt amb menor distància respecte l'introduït.

De tal forma que es continuarà amb el track partint d'aquella posició identificada, considerant-la com el nou punt inicial.

Els càlculs realitzats per a l'obtenció del comportament definit, es defineixen a continuació:

Es procedeix amb el càlcul del valor mig referent a les dades corresponents a les tres coordenades especificades, latitud, longitud i altitud, respecte l'arxiu resultant del filtratge inicial. La utilització del valor mig permetrà obtindre un conjunt de valors amb una escala pròxima entre ells de tal manera que reduirà el marge d'error o inexactitud entre coordenades, per al càlcul de la distància.

Per al càlcul de l'espai mínim entre punts, es procedeix a l'aplicació de la fórmula característica:

$$d_j = [(X/X_{mig} - X_j/X_{j_{mig}})^2 + (Y/Y_{mig} - Y_j/Y_{j_{mig}})^2 + (Z/Z_{mig} - Z_j/Z_{j_{mig}})^2]^{1/2} \quad (10)$$

Amb l'obtenció del conjunt de distàncies, es calcula quina d'aquestes té el valor menor, considerant-la com a punt més proper al introduït. Determinant finalment, els punts X,Y,Z mínims.

Un cop obtingudes les referències associades al nou punt de la ruta. Es procedeix a la avaluació de la quantitat d'energia restant per part de la bateria en funció del valor introduït expressat en Wh. Podent procedir amb el re-càlcul de l'autonomia (Au) per a poder completar la totalitat del track restant.

S'introdueix un valor consigna (E) que representa la quantitat d'energia de la qual disposa la bateria; S'obté gràcies a l'acció del multímetre instal·lat de forma prèvia a l'e-bike. Aquesta mesura assoleix el nou 100% de capacitat disponible. Es procedeixen al conjunt de càlculs partint d'aquests valors.

$$\mathbf{A}u = E - 5. \text{ (Wh)} \quad (11)$$

L'energia restant (E_r) així com l'estat de càrrega de la pròpia bateria (SoC) s'expressen mitjançant les següents expressions:

$$\mathbf{E}r = E - E_{tram} / E_{total} \cdot Au. \text{ (Wh)} \quad (12)$$

$$\mathbf{S}oC = E_r \cdot 100 / 400. \text{ (\%)} \quad (13)$$

Per a contrastar i verificar el correcte funcionament, es mostren un conjunt de figures a continuació.

Per a dur a terme la verificació del algoritme dissenyat, es seleccionen un conjunt de coordenades auxiliars i similars a les que disposen les bases de dades dels tracks una vegada han estat filtrats. I es procedeix a l'obtenció del punt més proper al introduït, donant com a resultat el gràfic que es mostra en la figura 16.

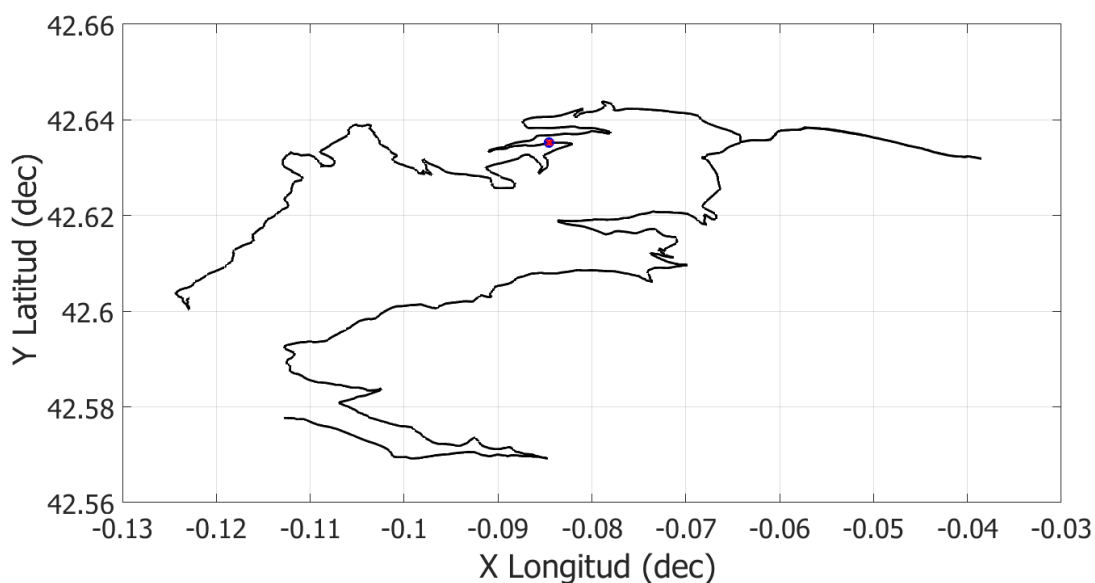


Figura 16. Gràfic corresponent a la verificació del algoritme

A partir del nou punt identificat, es procedeix a calcular el pendent restant i com es manifesta de forma consecutiva la descarrega en la bateria de l'e-bike. Cal destacar que per al conjunt de proves efectuades, es considera un valor màxim de 200 Wh. Corresponent als 195 Wh de forma real, ja que es reserva un 5% del total per a possibles imprevistos o emergències.

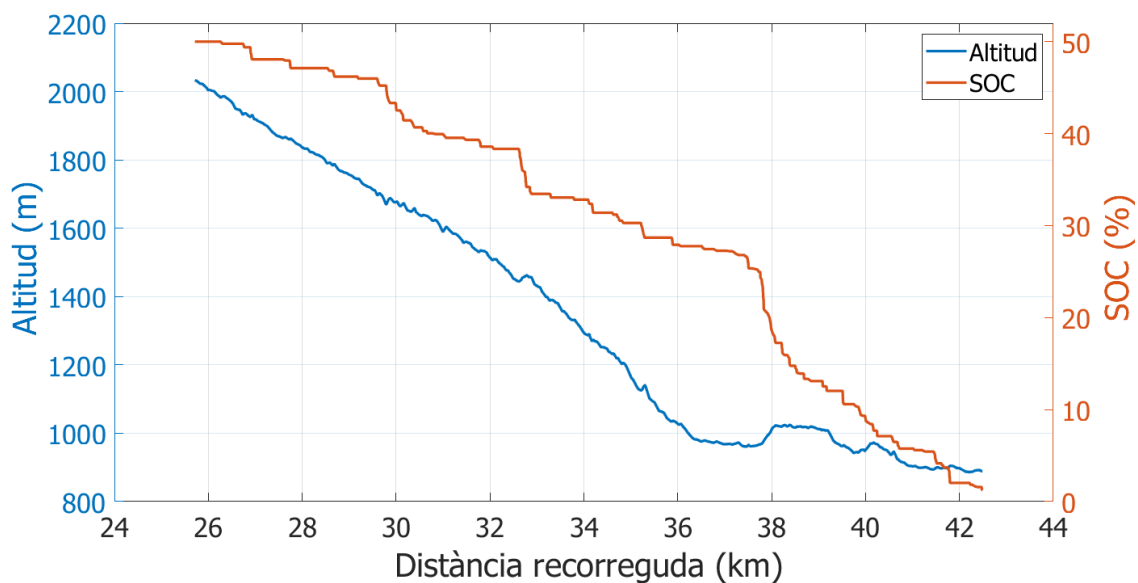


Figura 17. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud, track 1

Es segueix amb el mateix procediment per a la resta de tracks utilitzats en l'estudi per a poder verificar de forma més concreta, considerant altres casos i podent verificar amb total seguretat i fiabilitat el correcte funcionament de l'algoritme dissenyat al llarg del projecte.

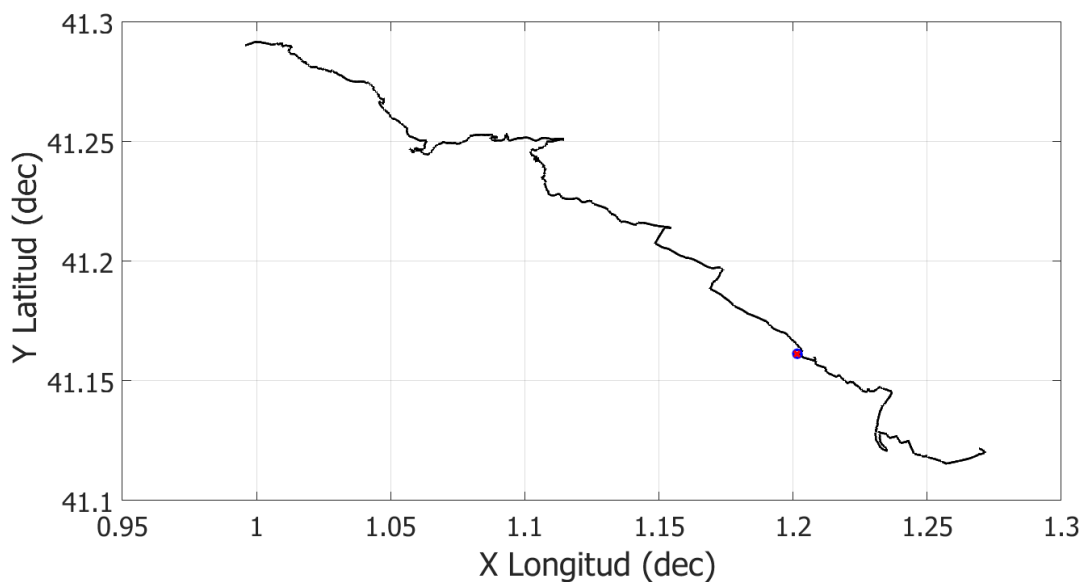


Figura 18. Gràfic corresponent a la verificació del algoritme

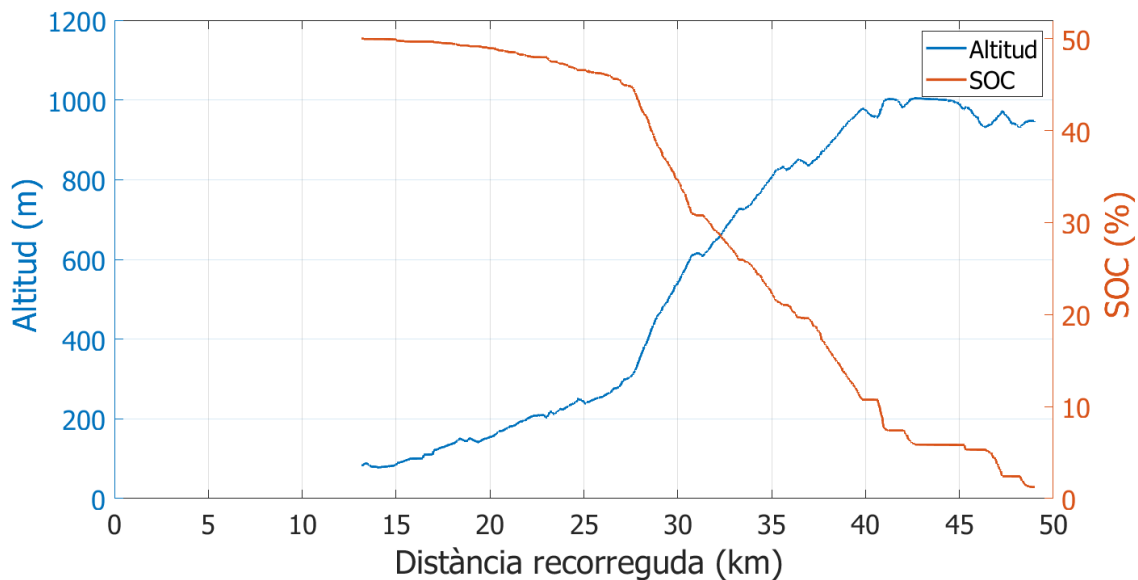


Figura 19. Descàrrega de la bateria en funció de l'altitud del track 2

5. Conclusions

Amb la realització del treball presentat, s'ha aconseguit el disseny d'un sistema que permet la gestió més adequada de la bateria, resolent d'aquesta manera un dels problemes associats a les e-bikes, fins ara sense solució existent.

S'utilitzen dos metodologies diferents, cadascuna amb l'objectiu associat a la gestió de la bateria per tal de completar qualsevol trajecte en la seva totalitat disposant de l'energia necessària en tot moment.

6. Bibliografia

- [1] REGLAMENT (UE) nº 168/2013 DEL PARLAMENT EUROPEU I DEL CONSELL. Consultat el febrer de 2022. En línia. Disponible a:
[Reglamento \(UE\) no 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos](#) Texto pertinente a efectos del FEE (boe.es)
- [2] NORMATIVA DE LA DGT PER A BICICLETES ELÈCTRIQUES EL 2022. Consultat el febrer de 2022. En línia. Disponible a:
[Normativa de la DGT para las bicicletas eléctricas en 2022](#) ¡Todo lo que debes saber! (topmovilidad.com)
- [3] ESPECIFICACIONES TÈCNIQUES DE L'E-BIKE UTILITZADA. Consultat l'abril de 2022. En línia. Disponible a:
[SCOTT E-Spark 720](#) (bikronos.com)
- [4] CARACTERISTIQUES DE L'ELEMENT MOTOR DE L'E-BIKE UTILITZADA. Consultat l'abril de 2022. En línia. Disponible a:
[Baterías de eBike: gran autonomía, bajo peso y facilidad de carga - Bosch eBike Systems](#) (bosch-ebike.com)
- [5] DADES TÈCNIQUES REFERENTS A LA BATERIA DE L'E-BIKE UTILITZADA. Consultat l'abril de 2022. En línia. Disponible a:
[Baterías de eBike: gran autonomía, bajo peso y facilidad de carga - Bosch eBike Systems](#) (bosch-ebike.com)
- [6] CARACTERISTIQUES DE LES CEL·LES QUE FORMEN LA BATERIA DE L'E-BIKE UTILITZADA. Consultat l'abril de 2022. Disponible a:
[LG MG1 18650 Battery, 2850mAh, 10A, 3.62V, Grade A Lithium-ion \(LG18650MG1\) - 18650 Battery - Lithium Ion Battery - Voltaplex](#)
- [7] Sebastià Rullo, Max. RESULTATS EXPERIMENTALS REFERENTS A LA DESCÀRREGA DE LA BATERIA. [*Selecció de la bateria d'un vehicle elèctric a partir d'assaig a una cel·la*]. Consultat l'abril de 2022.
- [8] DEFINICIÓ DEL FUNCIONAMENT DEL SISTEMA DE POSICIONAMENT GLOBAL (GPS). Consultat el maig de 2022. En línia. Disponible a:
[¿Qué significa GPS? | Geotab](#)

- [9] OBTENCIÓ DE LA FORMULA DE HAVERSINE. Consultat el maig de 2022. En línia.
Disponible a:

[¿Cómo calcular la distancia entre dos puntos geográficos en C#? \(Fórmula de Haversine\) \(genbeta.com\)](https://genbeta.com/¿Cómo calcular la distancia entre dos puntos geográficos en C#? (Fórmula de Haversine))

7. Annex

7.1 Filtratge inicial

```
clc
clear

load mat_tracks

P_Ordesa = Ordesa(Ordesa(:,9)<35 & Ordesa(:,9)>-35,:);
disp(['O: punts filtrats per pendent: ', num2str(length(Ordesa)-length(P_Ordesa))])

Vp_Ordesa = P_Ordesa(P_Ordesa(:,9)>0 & P_Ordesa(:,11)<30,:);

Vb_Ordesa = P_Ordesa(P_Ordesa(:,9)<=0 & P_Ordesa(:,11)<75,:);
V_Ordesa = [Vp_Ordesa; Vb_Ordesa];
V_Ordesa = sortrows(V_Ordesa);
disp(['O: punts filtrats per velocitat: ', num2str(length(P_Ordesa)-length(V_Ordesa))])

F_Ordesa = V_Ordesa(V_Ordesa(:,7)>2,:);
disp(['O: punts filtrats per distancia: ', num2str(length(V_Ordesa)-length(F_Ordesa))])

P_Prades = Prades(Prades(:,9)<35 & Prades(:,9)>-35,:);
disp(['P: punts filtrats per pendent: ', num2str(length(Prades)-length(P_Prades))])

Vp_Prades = P_Prades(P_Prades(:,9)>0 & P_Prades(:,11)<30,:);

Vb_Prades = P_Prades(P_Prades(:,9)<=0 & P_Prades(:,11)<75,:);
V_Prades = [Vp_Prades; Vb_Prades];
V_Prades = sortrows(V_Prades);
disp(['P: punts filtrats per velocitat: ', num2str(length(P_Prades)-length(V_Prades))])

F_Prades = V_Prades(V_Prades(:,7)>2,:);
disp(['P: punts filtrats per distancia: ', num2str(length(V_Prades)-length(F_Prades))])

save mat_tracks.mat Ordesa F_Ordesa Prades F_Prades
```

7.2 Classificació de les dades en funció del pendent

```
clc
clear
```

```
load mat_tracks
load mat_potencia
```

```
P_Ordesa = [0:1:35]';
```

```
for P=0:35
```

```
    distancia = F_Ordesa(:,7);
    temps = F_Ordesa(:,12);
    desnivell = F_Ordesa(:,8);
```

```
    if P==0
```

```
        P_Ordesa(P+1,2) = numel(F_Ordesa(F_Ordesa(:,9)<=0));
        P_Ordesa(P+1,3) = sum(distancia(F_Ordesa(:,9)<=0));
        P_Ordesa(P+1,4) = sum(temps(F_Ordesa(:,9)<=0))*24*3600;
        P_Ordesa(P+1,5) = sum(desnivell(F_Ordesa(:,9)<=0));
```

```
    else
```

```
        P_Ordesa(P+1,2) = ...
            numel(F_Ordesa(and(F_Ordesa(:,9)>P-1,F_Ordesa(:,9)<=P)));
        P_Ordesa(P+1,3) = ...
            sum(distancia(and(F_Ordesa(:,9)>P-1,F_Ordesa(:,9)<=P)));
        P_Ordesa(P+1,4) = ...
            sum(temps(and(F_Ordesa(:,9)>P-1,F_Ordesa(:,9)<=P)))*24*3600;
        P_Ordesa(P+1,5) = ...
            sum(desnivell(and(F_Ordesa(:,9)>P-1,F_Ordesa(:,9)<=P)));
```

```
    end
```

```
end
```

```
P_Prades = [0:1:35]';
```

```
for P=0:35
```

```
    distancia = F_Prades(:,7);
    temps = F_Prades(:,12);
    desnivell = F_Prades(:,8);
```

```
    if P==0
```

```
        P_Prades(P+1,2) = numel(F_Prades(F_Prades(:,9)<=0));
        P_Prades(P+1,3) = sum(distancia(F_Prades(:,9)<=0));
        P_Prades(P+1,4) = sum(temps(F_Prades(:,9)<=0))*24*3600;
        P_Prades(P+1,5) = sum(desnivell(F_Prades(:,9)<=0));
```

```
    else
```

```
        P_Prades(P+1,2) = ...
            numel(F_Prades(and(F_Prades(:,9)>P-1,F_Prades(:,9)<=P)));
```

```

    P_Prades(P+1,3) = ...
        sum(distancia(and(F_Prades(:,9)>P-1,F_Prades(:,9)<=P)));
    P_Prades(P+1,4) = ...
        sum(temps(and(F_Prades(:,9)>P-1,F_Prades(:,9)<=P)))*24*3600;
    P_Prades(P+1,5) = ...
        sum(desnivell(and(F_Prades(:,9)>P-1,F_Prades(:,9)<=P)));
end
end

P_PradesPN = [0:1:35]';

for P=0:35
    distancia = FN_Prades(:,7);
    temps = FN_Prades(:,12);
    desnivell = FN_Prades(:,8);

    if P==0
        P_PradesPN(P+1,2) = numel(FN_Prades(FN_Prades(:,9)<=0));
        P_PradesPN(P+1,3) = sum(distancia(FN_Prades(:,9)<=0));
        P_PradesPN(P+1,4) = sum(temps(FN_Prades(:,9)<=0))*24*3600;
        P_PradesPN(P+1,5) = sum(desnivell(FN_Prades(:,9)<=0));

    else
        P_PradesPN(P+1,2) = ...
            numel(FN_Prades(and(FN_Prades(:,9)>P-1,FN_Prades(:,9)<=P)));
        P_PradesPN(P+1,3) = ...
            sum(distancia(and(FN_Prades(:,9)>P-1,FN_Prades(:,9)<=P)));
        P_PradesPN(P+1,4) = ...
            sum(temps(and(FN_Prades(:,9)>P-1,FN_Prades(:,9)<=P)))*24*3600;
        P_PradesPN(P+1,5) = ...
            sum(desnivell(and(FN_Prades(:,9)>P-1,FN_Prades(:,9)<=P)));
    end
end

F(:,1) = P_PradesPN(:,1);
F(:,2) = P_PradesPN(:,3);
F(:,3) = P_PradesPN(:,4);
F(:,4) = P_PradesPN(:,5);
F(:,5) = P_PradesPN(:,1)/20;

if F(F(:,5)>=1,5)
    F(F(:,5)>=1,5)=1;
end

PradesPN_Pot=F(F(:,1)>0,:);

```

```
P_OrdesaPN = [0:1:35]';
```

```
for P=0:35
```

```
    distancia = FN_Ordesa(:,7);
```

```
    temps = FN_Ordesa(:,12);
```

```
    desnivell = FN_Ordesa(:,8);
```

```
    if P==0
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,2) = numel(FN_Ordesa(FN_Ordesa(:,9)<=0));
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,3) = sum(distancia(FN_Ordesa(:,9)<=0));
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,4) = sum(temps(FN_Ordesa(:,9)<=0))*24*3600;
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,5) = sum(desnivell(FN_Ordesa(:,9)<=0));
```

```
    else
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,2) = ...
            numel(FN_Ordesa(and(FN_Ordesa(:,9)>P-1,FN_Ordesa(:,9)<=P)));
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,3) = ...
            sum(distancia(and(FN_Ordesa(:,9)>P-1,FN_Ordesa(:,9)<=P)));
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,4) = ...
            sum(temps(and(FN_Ordesa(:,9)>P-1,FN_Ordesa(:,9)<=P)))*24*3600;
```

```
        P_OrdesaPN(P+1,5) = ...
            sum(desnivell(and(FN_Ordesa(:,9)>P-1,FN_Ordesa(:,9)<=P)));
```

```
    end
```

```
end
```

```
F(:,1) = P_OrdesaPN(:,1);
```

```
F(:,2) = P_OrdesaPN(:,3);
```

```
F(:,3) = P_OrdesaPN(:,4);
```

```
F(:,4) = P_OrdesaPN(:,5);
```

```
F(:,5) = P_OrdesaPN(:,1)/20;
```

```
if F(F(:,5))>=1,5)
```

```
    F(F(:,5))>=1,5)=1;
```

```
end
```

```
OrdesaPN_Pot=F(F(:,1)>0,:);
```

```
save mat_tracks.mat E Ordesa F_Ordesa P_Ordesa P_OrdesaPN FN_Ordesa Prades F_Prades
P_Prades P_PradesPN FN_Prades
```

```
save mat_potencia.mat Ordesa_Pot Prades_Pot PradesPN_Pot OrdesaPN_Pot
```

7.3 Inserció de les noves coordenades

```
clc
clear
close all

load mat_potencia.mat
load mat_tracks.mat

X=input('Coordenada X: ');
if isempty(X)
    X = 1.20158;
end

Y=input('Coordenada Y: ');
if isempty(Y)
    Y = 41.1614;
end

Z=input('Coordenada Z: ');
if isempty(Z)
    Z = 80;
end

E=input('Energia restant: ');
if isempty(E)
    E = 200;
end

long_Prades = length(F_Prades);

d_Prades(:,1) = F_Prades(:,1);

X_mig = mean(F_Prades(:,2));
Y_mig = mean(F_Prades(:,3));
Z_mig = mean(F_Prades(:,4));

d_Prades(:,2)= X/X_mig*ones(long_Prades,1);
d_Prades(:,3) = Y/Y_mig*ones(long_Prades,1);
d_Prades(:,4) = Z/Z_mig*ones(long_Prades,1);

d_Prades(:,5)= (d_Prades(:,2) - F_Prades(:,2)/X_mig).^2;
d_Prades(:,6)= (d_Prades(:,3) - F_Prades(:,3)/Y_mig).^2;
d_Prades(:,7)= (d_Prades(:,4) - F_Prades(:,4)/Z_mig).^2;

d_Prades(:,8) =((d_Prades(:,5)).^2+(d_Prades(:,6)).^2+(d_Prades(:,7)).^2).^0.5;

[d_min,pos] = min(d_Prades(:,8));

X_min = F_Prades(pos,2);
```

```
Y_min = F_Prades(pos,3);
Z_min = F_Prades(pos,4);

FN_Prades = F_Prades(F_Prades(:,1)>=pos,:);
FN_Ordesa = F_Ordesa(F_Ordesa(:,1)>=pos,:);

save mat_tracks.mat E Ordesa F_Ordesa Prades F_Prades FN_Prades FN_Ordesa

save mat_potencia.mat Ordesa_Pot Prades_Pot
```

7.4 Càlcul de la distància mínima i re-càlcul del trajecte restant

```
clc
clear
close all

load mat_potencia.mat
load mat_tracks.mat

final_O = length(F_Ordesa);

for k=1:final_O
    pendent_O= round(F_Ordesa(k,9));

    if pendent_O>0
        pot_unit_O = Ordesa_Pot((Ordesa_Pot(:,1)==pendent_O),5);
        F_Ordesa(k,13)=pot_unit_O*F_Ordesa(k,6);

    else
        F_Ordesa(k,13)=0;
    end
end

suma_O = sum(F_Ordesa(:,13));
autonomia_O = 395;
F_Ordesa(1,14) = 400 - F_Ordesa(1,13)/suma_O*autonomia_O;
F_Ordesa(1,15) = F_Ordesa(1,14)*100/400;
F_Ordesa(1,16) = (4.08055*10^-6*F_Ordesa(1,15)^3-
0.0006976*F_Ordesa(1,15)^2+0.0462066*F_Ordesa(1,15)+2.5)*10;

for k=2:final_O
    F_Ordesa(k,14) = F_Ordesa(k-1,14)-F_Ordesa(k,13)/suma_O*autonomia_O;
    F_Ordesa(k,15) = F_Ordesa(k,14)*100/400;
    F_Ordesa(k,16) = (4.08055*10^-6*F_Ordesa(k,15)^3-
0.0006976*F_Ordesa(k,15)^2+0.0462066*F_Ordesa(k,15)+2.5)*10;
end

bateria_O=F_Ordesa(:,14);
```

```

distancia_O = F_Ordesa(:,10);
altura_O = F_Ordesa(:,4);
SOC_O = F_Ordesa(:,15);
OCV_O = F_Ordesa(:,16);

final_P = length(F_Prades);

for k=1:final_P
    pendent_P= round(F_Prades(k,9));

    if pendent_P>0
        pot_unit_P = Prades_Pot((Prades_Pot(:,1)==pendent_P),5);
        F_Prades(k,13)=pot_unit_P*F_Prades(k,6);

    else
        F_Prades(k,13)=0;
    end
end

suma_P = sum(F_Prades(:,13));
autonomia_P = 395;
F_Prades(1,14) = 400 - F_Prades(1,13)/suma_P*autonomia_P;
F_Prades(1,15) = F_Prades(1,14)*100/400;
F_Prades(1,16) = (4.08055*10^-6*F_Prades(1,15)^3-
0.0006976*F_Prades(1,15)^2+0.0462066*F_Prades(1,15)+2.5)*10;

for k=2:final_P
    F_Prades(k,14) = F_Prades(k-1,14)-F_Prades(k,13)/suma_P*autonomia_P;
    F_Prades(k,15) = F_Prades(k,14)*100/400;
    F_Prades(k,16) = (4.08055*10^-6*F_Prades(k,15)^3-
0.0006976*F_Prades(k,15)^2+0.0462066*F_Prades(k,15)+2.5)*10;
end

bateria_P=F_Prades(:,14);
distancia_P = F_Prades(:,10);
altura_P = F_Prades(:,4);
SOC_P = F_Prades(:,15);
OCV_P = F_Prades(:,16);

final_PN = length(FN_Prades);

for k=1:final_PN
    pendent_PN= round(FN_Prades(k,9));

    if pendent_PN>0
        pot_unit_PN = PradesPN_Pot((PradesPN_Pot(:,1)==pendent_PN),5);
        FN_Prades(k,13)=pot_unit_PN*FN_Prades(k,6);
    end
end

```

```

else
    FN_Prades(k,13)=0;
end
end

suma_PN = sum(FN_Prades(:,13));
autonomia_PN = E-5;
FN_Prades(1,14) = E - FN_Prades(1,13)/suma_PN*autonomia_PN;
FN_Prades(1,15) = FN_Prades(1,14)*100/E;
FN_Prades(1,16) = (4.08055*10^-6*FN_Prades(1,15)^3-
0.0006976*FN_Prades(1,15)^2+0.0462066*FN_Prades(1,15)+2.5)*10;

for k=2:final_PN
    FN_Prades(k,14) = FN_Prades(k-1,14)-FN_Prades(k,13)/suma_PN*autonomia_PN;
    FN_Prades(k,15) = FN_Prades(k,14)*100/E;
    FN_Prades(k,16) = (4.08055*10^-6*FN_Prades(k,15)^3-
0.0006976*FN_Prades(k,15)^2+0.0462066*FN_Prades(k,15)+2.5)*10;
end

bateria_PN =FN_Prades(:,14);
distancia_PN = FN_Prades(:,10);
altura_PN = FN_Prades(:,4);
SOC_PN = FN_Prades(:,15);
OCV_PN = FN_Prades(:,16);

final_PN = length(FN_Ordesa);

for k=1:final_PN
    pendent_PN= round(FN_Ordesa(k,9));

    if pendent_PN>0
        pot_unit_PN = OrdesaPN_Pot((OrdesaPN_Pot(:,1)==pendent_PN),5);
        FN_Ordesa(k,13)=pot_unit_PN*FN_Ordesa(k,6);

    else
        FN_Ordesa(k,13)=0;
    end
end

suma_PN = sum(FN_Ordesa(:,13));
autonomia_PN = E-5;
FN_Ordesa(1,14) = E - FN_Ordesa(1,13)/suma_PN*autonomia_PN;
FN_Ordesa(1,15) = FN_Ordesa(1,14)*100/E;
FN_Ordesa(1,16) = (4.08055*10^-6*FN_Ordesa(1,15)^3-
0.0006976*FN_Ordesa(1,15)^2+0.0462066*FN_Ordesa(1,15)+2.5)*10;

for k=2:final_PN
    FN_Ordesa(k,14) = FN_Ordesa(k-1,14)-FN_Ordesa(k,13)/suma_PN*autonomia_PN;

```

```
FN_Ordesa(k,15) = FN_Ordesa(k,14)*100/E;  
FN_Ordesa(k,16) = (4.08055*10^-6*FN_Ordesa(k,15)^3-  
0.0006976*FN_Ordesa(k,15)^2+0.0462066*FN_Ordesa(k,15)+2.5)*10;  
end
```

```
bateriaO_PN =FN_Ordesa(:,14);  
distanciaO_PN = FN_Ordesa(:,10);  
alturaO_PN = FN_Ordesa(:,4);  
SOCO_PN = FN_Ordesa(:,15);  
OCVO_PN = FN_Ordesa(:,16);
```

```
save mat_tracks.mat E Ordesa F_Ordesa P_Ordesa P_OrdesaPN FN_Ordesa Prades F_Prades  
P_Prades P_PradesPN FN_Prades
```

