

Treball de Fi de Grau

## Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

### Disseny d'un roadbook basat en microprocessador

#### MEMÒRIA

**Autor:** Marc Llaràs Bertran  
**Director:** Samuel Galceran Arellano  
**Convocatòria:** Juny 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

L'objectiu d'aquest treball de final de grau és dissenyar i crear un "Roadbook" a partir d'un microprocessador Arduino.

Què és un "Roadbook"? Un roadbook o llibre de carretera és un conjunt de senyalitzacions esquemàtiques (usualment amb anotacions addicionals de l'usuari) que fan servir els pilots de ral·li o de trial per tal de guiar-se durant les competicions, ja sigui en el desert, en la muntanya o per carretera. Aquestes indicacions es troben estructurades en forma de vinyetes impreses en un rotllo de paper anomenat "full de ruta".

Per tal de poder fer ús del full de ruta són necessàries moltes informacions del vehicle, que s'indiquen mitjançant una eina anomenada "Tripmaster". El Tripmaster consisteix en una pantalla on s'hi indiquen les dades més essencials per a poder utilitzar el Roadbook. Aquestes són: la distància recorreguda i, en el cas de ser una etapa de travessa com el Dakar, també es molt important el rumb. Cal dir que també es molt important poder modificar la distància total recorreguda degut a que és habitual, especialment en etapes de camp a través, que la distància recorreguda pels pilots sigui diferent a la distància indicada en el full de ruta. És per això que cal modificar-la per compensar les desviacions que han pogut ocórrer durant la ruta.

Per tal de crear aquest Tripmaster, inicialment s'ha indagat i comparat tots els diversos components a fer servir per a realitzar el projecte. Aquests són: Placa Arduino, sensor GPS, sensor d'efecte Hall (juntament amb un imant per poder-lo activar), sensor de camp magnètic i finalment una pantalla de 16x2. Amb tots ells, l'objectiu és poder analitzar totes les dades del vehicle.

El sensor d'efecte Hall i el sensor GPS permetran fer una mesura de la distància recorreguda i la velocitat del vehicle en tot moment. El sensor de camp magnètic, inclòs dins del propi GPS, servirà per orientar la direcció del vehicle en tot moment respecte el Nord magnètic. Finalment s'usarà la pantalla LCD per mostrar els resultats a l'usuari.

Per altra banda hi ha el disseny d'un porta-roadbook, que permet fer ús de qualsevol full de ruta i funciona elèctricament, sense necessitat d'haver de girar manualment els eixos. A més a més, el porta-roadbook està dissenyat per tal de ser imprès amb una impressora 3D, fet que abarateix molt el cost del producte respecte els que hi ha actualment al mercat.

El resultat d'aquest treball ha estat la confecció d'un tripmaster real a partir d'un microprocessador, que compleix amb totes les funcions prèviament seleccionades. I també el disseny d'un porta-roadbook realitzable amb impressió 3D.



# Sumari

<b>SUMARI</b>	<b>5</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>7</b>
1.1. Origen del projecte .....	7
1.2. Motivació .....	7
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
2.1. Objectius del projecte.....	9
2.2. Abast del projecte .....	9
<b>3. QUÈ ÉS UN ROADBOOK?</b>	<b>11</b>
3.1. Història del Roadbook.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4. DISSENY DEL TRIPMASTER</b>	<b>13</b>
4.1. Selecció d'elements d'entrada i sortida .....	13
4.2. Esquemes de connexions elèctriques .....	18
4.3. Programació en Arduino .....	20
4.3.1. Llibreries .....	20
4.3.2. Funcions addicionals .....	21
4.3.3. Variables i codi Arduino .....	22
4.4. Funcionament del tripmaster i manual d'usuari .....	23
<b>5. DISSENY DEL PORTA-ROADBOOK</b>	<b>27</b>
5.1. Disseny d'un porta-roadbook elèctric.....	27
5.2. El futur del porta-roadbook .....	29
5.3. Porta-roadbook digital .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>6. PRESSUPOST</b>	<b>32</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>35</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>38</b>
Referències bibliogràfiques .....	38
Bibliografia complementària .....	40



# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

L'origen del projecte es basa en el meu interès personal pel món dels microcontroladors i de la programació de software. A partir d'aquí, vaig estar investigant quins possibles treballs de final de grau eren interessants de realitzar amb microcontroladors fins que vaig trobar aquest: disseny i creació d'un roadbook.

## 1.2. Motivació

El projecte em va cridar l'atenció des del primer moment, ja que consistia en dissenyar una instrumentació electrònica i a la vegada requeria l'aplicació de softwares de disseny en 3D per fer la carcassa o porta-roadbook.

Un dels factors que més vaig valorar a l'hora d'escollir el treball de final de grau va ser que tingués una part pràctica, ja que no volia fer un treball únicament teòric.

Per altra banda, m'interessa molt el món de les curses de muntanya (he participat en algunes competicions) i crec que és un món poc conegut on la tecnologia no està suficientment present.

En la majoria, per no dir la totalitat, de curses on he pogut participar, les indicacions més complicades o menys evidents es senyalitzen mitjançant cintes d'avertència (color blanc i vermell) o inclús a través de persones de l'organització en els punts més difícils del recorregut.

Aquestes cintes no només suposen una contaminació visual sinó que moltes vegades es poden arribar a deslligar o trencar i quedar al mig de la muntanya, fet que no s'hauria de produir. A més a més de no ser totalment fiables, requereix d'una feina de preparació important prèvia i només estan disponibles en el dia de la competició, per tant si algú vol practicar un recorregut en el seu temps lliure no les pot fer servir.

Per tots aquests motius esmentats anteriorment, considero que aquest sistema d'indicació és una mica arcaic i es podria millorar en gran part. Entenc però que degut al cost que tenen els equips Roadbook que hi ha actualment al mercat, no són accessibles per a tots els usuaris, especialment els que, com jo, participen en aquestes competicions per plaer.





## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en dissenyar i crear un roadbook a partir d'una placa base Arduino i un seguit de sensors i elements de sortida. Aquest Roadbook ha de complir 3 funcions principals: Mesurar els km totals recorreguts en tot moment, indicar la velocitat del vehicle i també el rumb d'aquest. Òbviament, cal mostrar totes aquestes informacions de manera clara per a l'usuari (mitjançant una pantalla LCD) i l'instrument s'ha de poder fer servir de manera intuïtiva (mitjançant un conjunt de polsadors).

Per altra banda, també s'inclou dins del projecte el disseny d'un porta-roadbook electrònic, és a dir, un instrument capaç de mostrar i moure el full de ruta mitjançant un sistema de control que es pugui utilitzar sense necessitat de treure les mans del pilot del volant o manillar del vehicle.

Com que actualment alguns instruments similars a aquests ja existeixen, es considerarà com a objectiu del projecte també abaratir el cost tant com sigui possible i posar a l'abast dels usuaris amb menys capacitat econòmica aquest aparell.

Aquesta disminució del cost, tal i com s'explicarà més detalladament en l'apartat de pressupost, constarà bàsicament d'una modificació respecte a un Roadbook habitual.

S'intentarà, en la mesura del possible, dissenyar una carcassa per al roadbook i per al tripmaster que es pugui crear mitjançant impressió 3D. Això no només suposarà una disminució del cost del roadbook sinó que també seria una manera de distribuir el producte sense necessitat de punts de venda al consumidor, ja que a qualsevol local d'impressió 3D es podria crear la carcassa del projecte.

### 2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte ha quedat parcialment limitat degut a les causes externes de confinament per la pandèmia del COVID-19. Aquest fet ha impedit disposar de les aules d'electrònica de la universitat, on hi ha disponible tot el material necessari per realitzar les diverses connexions i comprovacions (Resistències, llums LED, plaques Breadboard, cablejat, ...) dels components adquirits.

Per altra banda s'han hagut de modificar, durant la confecció del projecte, diversos aspectes. El canvi més important ha sigut en l'adquisició de material, que s'havia encarregat inicialment de manera online a l'empresa "Adafruit", però que degut a problemes logístics d'aquesta no va ser capaç de tenir tot el material necessari per al projecte fins al dia 21 d'agost (havent-lo encarregat el dia 14 d'abril).

Veient que els components d'Adafruit no arribaven, es va decidir que, un cop acabat el confinament, adquirir-los a una botiga física de Barcelona anomenada "Diotronic". D'aquesta manera, tot i que alguns dels components no eren iguals que els previstos, el termini d'entrega seria molt menor i així va ser. El dia 22 de juliol vaig aconseguir els materials per realitzar el projecte.

### 3. Què és un Roadbook?

Roadbook: Full de ruta utilitzat pel copilot en el cas de l'automobilisme o pel propi pilot en el cas de motos, bicicletes o quads. Aquest consta d'un conjunt de vinyetes formades, habitualment, per quatre columnes que contenen les següents informacions:

- 1- Distància Total Recorreguda (Des de l'inici del recorregut)
- 2- Distància Parcial Recorreguda (Des de l'anterior vinyeta)
- 3- Indicacions de Direcció i Punts de referència en la ruta
- 4- Informació i referències addicionals (Coordenades, Àrea amb Serveis Mèdics, Límits de velocitat, Comentaris dels pilots etc.)

Per a una explicació en més profunditat de la nomenclatura i la simbologia utilitzada en les columnes 3 i 4 d'un sistema de navegació Roadbook es recomana visitar la referència bibliogràfica [1], on hi consta tot el lèxic utilitzat en la competició del Dakar 2020. El Dakar és una de les competicions més prestigioses del món dels Ral·lis on es fa ús tant de Roadbooks com de sistemes de seguiment GPS per a tots els usuaris.

Els roadbooks es classifiquen en dos tipus segons el tipus de competició per a la qual es fan servir:

- a) Roadbook de travessa:

Requereix 3 tipus d'informació essencial:

- 1) Distància total recorreguda: Indicada en la primera columna amb negreta.
- 2) Distància Parcial recorreguda: Indicada en la primera columna.
- 3) Rumb magnètic: Angle format entre la direcció i sentit de desplaçament i el nord magnètic verdader. Cal dir que és important restar la declinació magnètica de la zona a l'angle obtingut en el cas d'estar fent servir una brúixola.

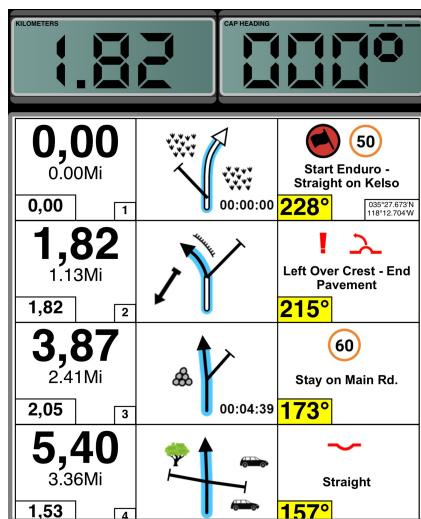


Fig. 3.1\_\_ Disseny d'un Roadbook de travessa estàndard. Font: Referència bibliogràfica [2]

b) Roadbook de carretera:

Requereix 3 tipus d'informació essencial:

- 1) Distància total recorreguda: Indicada en la primera columna.
- 2) Distància Parcial recorreguda: Indicada en la segona columna.
- 3) Distància restant fins a finalitzar l'etapa: Indicada en la cinquena columna.

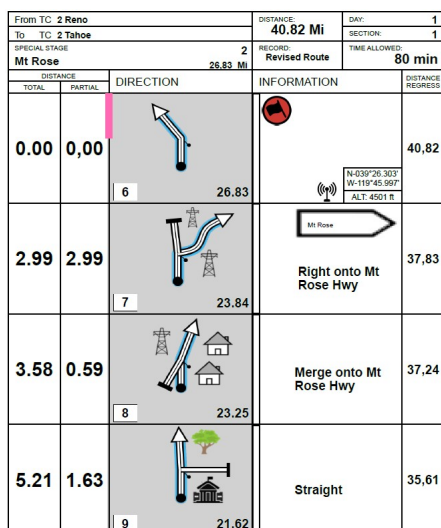


Fig. 3.2\_\_ Disseny d'un Roadbook de carretera estàndard. Font: Referència bibliogràfica [3]

## 4. Disseny del tripmaster

### 4.1. Selecció d'elements d'entrada i sortida

Pel que fa a la selecció dels instruments d'entrada i sortida del tripmaster, en primer lloc cal decidir quines funcions volem que aquest compleixi. En aquest projecte es vol que el tripmaster sigui capaç d'operar en tot tipus de competicions on es requereix un roadbook, per tant, cal que serveixi tant per indicar en curses de travessa (Rally) com en curses de carretera.

És per aquest motiu que cal que el tripmaster compleixi les següents funcions:

- 1) Mesurar la distància total recorreguda per el vehicle
- 2) Mesurar la distància parcial recorreguda per el vehicle (Entre dues entrades del roadbook)
- 3) Posar a zero tant la distància total com la distància parcial
- 4) Modificar manualment la distància total recorreguda. Aquest detall és molt important en la majoria de competicions ja que és habitual que la distància recorreguda pel vehicle no sigui la mateixa que la distància indicada en el full de ruta. Això és degut en la majoria de casos (especialment en travessa) a que els pilots no segueixen a la perfecció la ruta marcada (o rumb en el cas de travessa). Això genera petites diferències que es poden anar acumulant i donar peu a errors en el seguiment de les instruccions del full de ruta. Per altra banda, de vegades els pilots s'equivoquen de ruta i necessiten recular, de manera que també cal modificar la distància recorreguda.
- 5) Calcular el rumb del vehicle (Especialment útil en travessa)
- 6) Calcular la velocitat del vehicle
- 7) Donar les coordenades GPS (Especialment útil en travessa)
- 8) Donar l'altura respecte el nivell del mar (Funció addicional)
- 9) Donar l'hora i data (Funció addicional)

Per tal de poder complir totes aquestes funcions es requereix el material especificat a continuació:

En primer lloc és necessari un sensor GPS, que ens permetrà obtenir les coordenades GPS sempre i quan aquest sigui capaç de captar suficients satèl·lits. A partir d'aquestes coordenades es poden obtenir les dades de distància recorreguda (mitjançant la fórmula de Haversine, explicada a l'apartat 4.3.2) i la velocitat del vehicle. El sensor GPS també proporciona l'altitud respecte al mar i l'hora i data actuals. Tot i que algunes d'aquestes dades no són estrictament necessàries per a l'ús del Roadbook, són d'utilitat en moltes situacions i, per tant, s'usaran en el projecte.

Pel que fa al rumb el sensor GPS ofereix una estimació de l'angle respecte al Nord, però la fiabilitat d'aquesta xifra no és gaire precisa. Especialment en situacions on el sensor no està situat en una posició totalment horitzontal, els errors en l'angle respecte al Nord són molt elevats.

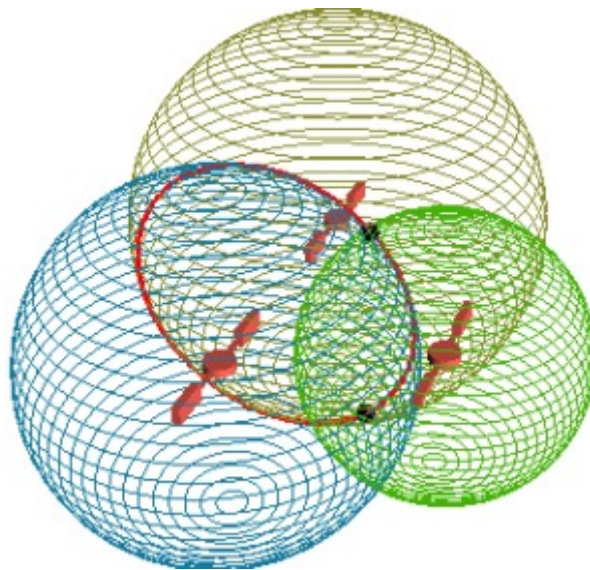
Com que en la majoria de competicions on s'usa el roadbook hi ha desnivells (ja siguin dunes, muntanyes etc.) s'ha considerat que la manera més apropiada de calcular el rumb del vehicle és a partir de les coordenades GPS del mateix. D'aquesta manera, la precisió del rumb augmenta a mesura que s'incrementa la velocitat del vehicle. Òbviament al emprar aquest sistema, la precisió del rumb disminueix molt quan el vehicle està aturat. Veient que el rumb amb el vehicle aturat també és un element d'elevada importància en les curses de travessa, s'ha decidit que si la velocitat del vehicle és inferior a 5km/h s'utilitzarà la mesura magnètica del sensor magnètic del propi GPS. En la resta de casos el rumb serà calculat a partir de les coordenades.

L'inconvenient més gran del sensor GPS és que, per tal de tenir una fiabilitat elevada en les seves dades, necessita ser capaç de detectar un cert nombre de satèl·lits com a mínim.

Per decidir la quantitat mínima de satèl·lits necessària per confirmar l'autenticitat de les dades del sensor GPS en aquest treball s'ha fet ús del funcionament dels GPS i de la geometria.

El funcionament del sensor GPS consisteix en que quan el sensor detecta un satèl·lit al seu abast, es sincronitzen els rellotges d'ambdós elements i es mesura el temps que triga en arribar la senyal del satèl·lit. Com que se sap la velocitat a la que viatja aquesta senyal, podem saber a quina distància es troba el satèl·lit. D'aquesta manera obtenim una esfera amb la distància trobada al voltant de cadascun dels satèl·lits detectats (Es considera que la posició dels satèl·lits és coneguda en tot moment).

Amb dos satèl·lits detectats obtenim dues esferes, que intersecten formant una circumferència, de manera que és totalment insuficient per saber la posició. Amb 3 satèl·lits, és a dir, 3 esferes, la intersecció consta de 2 punts, com s'observa a la figura 4.1.1. Amb aquesta informació es podria arribar a donar una ubicació, sempre i quan sigui possible descartar un dels dos punts. Per descartar un punt, és necessari comprovar si les ubicacions corresponen a un punt sobre l'escorça terrestre o no. Amb 4 satèl·lits, s'elimina el dubte entre els dos punts i s'incrementa la precisió de les coordenades. És per aquest motiu que per a la realització d'aquest projecte s'ha considerat que el mínim de satèl·lits necessaris per fer ús del sensor GPS són 4 satèl·lits.



**Fig. 4.1.1** Intersecció de les distàncies entre 3 satèl·lits. Font: Referència bibliogràfica [4].

El sensor GPS adquirit concretament és un model Velleman U-Blox 7M. Com a detalls particulars, disposa d'una connexió de tipus micro USB per alimentar-lo en cas que sigui necessari i, tot i que porta una antena ceràmica incorporada, disposa de connexió per a una antena addicional en cas que l'anterior no sigui suficient.

Per totes les situacions on el sensor GPS no és capaç de trobar suficients satèl·lits per donar informació fiable, s'ha decidit adquirir un instrument per mesurar les revolucions de les rodes del vehicle. En aquest cas s'ha escollit un sensor d'efecte hall, ja que és el més econòmic i un dels més petits dels sensors magnètics. De fet, se n'han hagut d'adquirir dos degut a que no estaven disponibles en venda individualment.

El sensor adquirit concretament és el model Velleman VMA313. Aquest és de tipus switch i retorna un voltatge nul en detectar un camp magnètic suficientment fort en la seva proximitat. Per a poder fer ús d'aquest sensor magnètic, com és lògic, es requereix d'un imant. Com que ja es disposava d'un imant de suficient intensitat per activar el sensor correctament no s'ha considerat necessari adquirir-ne un de força superior. Cal dir que inicialment s'havia considerat la possibilitat d'adquirir-ne un de Neodimi, però no ha estat necessari.

Per tal de poder mostrar tota la informació recopilada pels sensors a l'usuari, s'ha decidit comprar una pantalla de mida reduïda però amb espai suficient per mostrar dues informacions diferents simultàniament. És per aquest motiu que el model seleccionat ha estat un LCD Display de 16x2 (16 columnes i 2 files). El model adquirit concretament conté també un conjunt de 5 botons programables, que seran utilitzats per realitzar les funcions de modificar la distància recorreguda i posar a zero els comptadors de distància total i parcial respectivament. Els botons també serviran per a desplaçar-se pels "menús" dissenyats mitjançant el software d'Arduino IDE. A més a més, el mòdul LCD disposa d'un potenciòmetre que permet regular la lluminositat de la pantalla, una funcionalitat que no es contemplava inicialment però que pot ser útil, especialment en cas que s'hagin de realitzar trajectes nocturns. Això es deu al fet que un excés de llum als ulls del conductor pot generar una mala adaptació de la pupila a entorns foscos i, inclús, podria arribar a provocar accidents.

Per poder fer ús dels elements seleccionats s'ha decidit fer servir un software Arduino, ja que és un dels més eficients i s'hi havia treballat prèviament en l'assignatura optativa "Tecnologia Vestible", dirigida pel professor Oriol Boix. L'Arduino IDE es programa mitjançant C++. Això permet treballar amb un codi de molt baix nivell, fet que proporciona avantatges i inconvenients. Com a avantatges el codi s'executa de manera molt ràpida i eficient, però com a inconvenients és molt més feixuc de programar-hi que amb altres codis i pot arribar a suposar problemes de memòria. Tasques tant banals com saber quants elements hi ha dins d'un vector poden arribar a suposar múltiples línies de codi, mentre que amb altres llenguatges més abstractes amb una única línia de codi ja es pot resoldre.

En aquest projecte s'ha comprat una placa Arduino UNO, ja que s'ha considerat suficient per a realitzar el projecte.

Adicionalment, degut a la situació de la Covid-19 i, com a conseqüència, la indisponibilitat de les aules d'electrònica de la universitat, ha sigut necessari també adquirir material per realitzar les connexions i poder comprovar que tot ell funcionés correctament i estigués en bon estat. La llista d'aquest material és la següent:



En primer lloc s'ha cregut necessari l'ús d'una Placa Bread Board per poder connectar entre sí els elements d'entrada i els de sortida amb la placa Arduino. La placa adquirida finalment ha estat el model Velleman de 830 punts de connexió.

Per materialitzar aquestes connexions amb la placa Board, s'han adquirit també dos conjunts de cables: mascle-mascle i mascle-femella de 15cm de llargada.

Per la comprovació de les connexions a l'inici, també s'han comprat diversos conjunts de resistències de distints valors i un conjunt de LEDs.

Tot i no estar inclòs dins de la llista de material necessari, també ha estat necessari l'ús d'un multímetre, del que ja es disposava prèviament. S'ha fet servir per a comprovar les connexions, diferències de voltatge i resistències entre diversos punts.

La llista final del material utilitzat per a la creació del tripmaster ha sigut la següent:

- Sensor GPS: Velleman U-BLOX 7M
- Sensor d'efecte hall: 2 x Velleman VMA 313
- Pantalla: LCD & Keypad shield 16X2
- Placa: Arduino UNO Rev3
- Placa Board: Velleman 830 punts
- Cablejat:
  - 40 x Cables mascle-mascle de 15cm
  - 40 x Cables mascle-femella de 15cm
- Conjunt de LED's
- Conjunt de Resistències de 100, 220, 1k i 10k Ohm
- Multímetre

## 4.2. Esquemes de connexions elèctriques

Respecte als diversos components explicats prèviament, s'han realitzat les següents connexions amb la placa Arduino UNO.

En primer lloc s'ha connectat la pantalla LCD, que és un element de tipus "shield". Un "shield" o escut és una placa impresa de circuits modulars, que es poden connectar a la part superior de les plaques Arduino per ampliar les seves capacitats i, en molts casos, es poden apilar entre ells. En aquest cas la pantalla LCD de 16x2 en format "shield" té alguns avantatges i alguns inconvenients: Com a avantatge és molt fàcil de muntar, ja que els pins estan col·locats de manera corresponent a com estan disposats en l'Arduino. D'aquesta manera, per fer el muntatge només cal inserir l'escut damunt seu. El major inconvenient que té aquesta pantalla LCD és que utilitza la gran majoria de pins digitals per a transferir la informació des de l'Arduino fins al display. Així doncs, només deixa disponibles 4 pins digitals corresponents als nombres del 0 al 3. Pel que fa als pins analògics, però, passa una cosa diferent. Sent una placa que conté 5 polsadors, seria habitual pensar que cada polsador podria ocupar un pin digital de la placa Arduino, però en aquest cas no és així ja que, com s'ha comentat anteriorment, només queden 4 pins digitals disponibles. És per això que aquest instrument fa servir un únic pin analògic per tots els 5 botons: el pin A0. Per aconseguir reduir el nombre de pins de 5 a 1 l'escut LCD fa servir un element electrònic anomenat divisor de voltatge, tal i com es pot veure en la següent imatge:

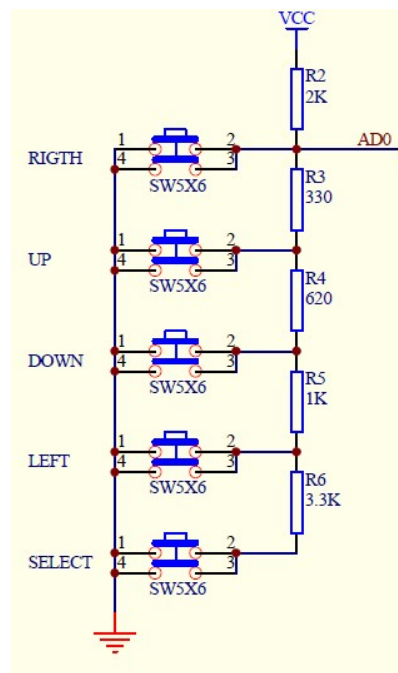


Fig. 4.2.1. Divisor de voltatge del LCD display VMA203, Font: Referència bibliogràfica [5]

Aquest divisor de voltatge permet entregar al pin analògic A0 una mesura de voltatge diferent depenent de quin polsador es premi. Cal dir, però, que té un petit inconvenient i és que en cas que es premin dos polsadors simultàniament, aquest sistema només permet registrar-ne un, donant preferència al circuit amb una menor resistència. Per tant, l'ordre de preferència (en cas de prémer dos polsadors al mateix moment) és el següent: Right > Up > Down > Left > Select.

Un cop connectat el dispositiu a la placa cal calibrar els polsadors mitjançant el software Arduino. És a dir, cal analitzar quin és exactament el voltatge de sortida en el pin A0 corresponent a cadascun dels polsadors, ja que els valors de les resistències no són sempre exactament iguals i de vegades els valors estàndard del fabricant no es corresponen amb els reals. Això permetrà crear una funció en Arduino que, depenent del valor del voltatge d'A0, ens permeti identificar el polsador premut.

En el cas d'aquest projecte, els valors del fabricant proposats no es corresponien amb els reals, doncs amb els valors proposats es trobaven en el mateix rang de voltatge els polsadors "Left" i "Select", de manera que calia realitzar les medicions.

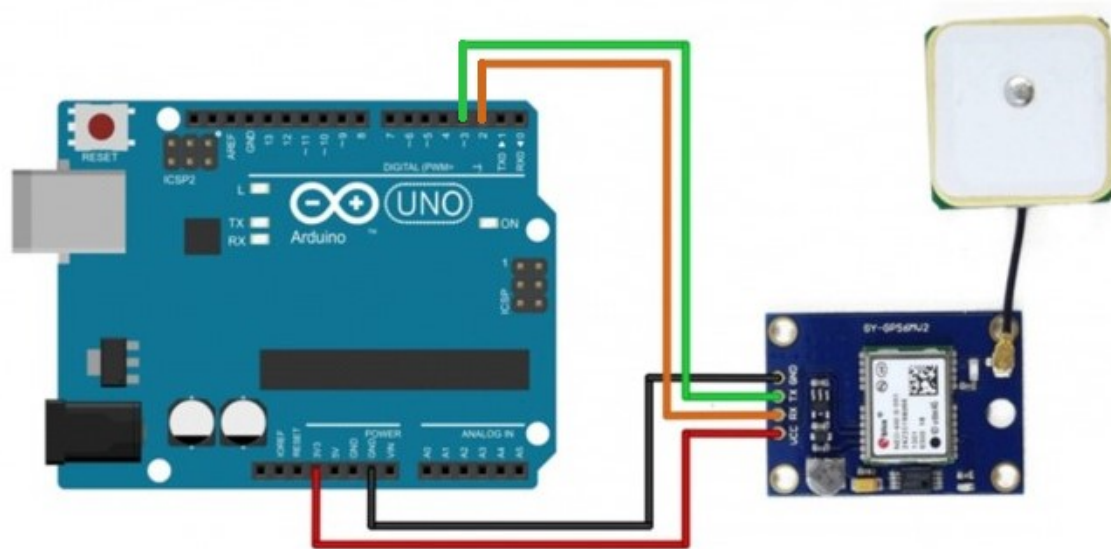
Un cop realitzades les medicions, els voltatges obtinguts han estat els següents:

Right: 0 mV, Up: 99 mV, Down: 257mV, Left: 412mV, Select: 640 mV, Cap botó: 1023mV

A partir d'aquí, les connexions restants es mostraran respecte a la placa Arduino UNO, però realment el cablejat està connectat al "Shield" o placa que conté la pantalla LCD, que a la seva vegada està connectat a la placa Arduino UNO.

Aquí cal comentar que en cap dels manuals o documents oficials del fabricant (tant de la pàgina web com dels que venien amb el producte) no s'ha pogut trobar a quin pin de la placa Arduino van connectats cadascun dels contactes superiors del "Shield". Aquests contactes addicionals serveixen per poder fer ús dels terminals que no estan ocupats per la placa que conté l'LCD display. En aquest treball, per tal de saber a quin pin de l'Arduino corresponia cada contacte del "shield", s'ha fet ús d'un multímetre per trobar entre quins punts la resistència era nul·la.

Pel que fa al sensor GPS, com que només queden disponibles 4 pins digitals, s'ha decidit connectar aquest als pins digitals 2 i 3 de l'Arduino UNO, a la vegada que esta connectat a 3.3V i, lògicament, al pin ground (GND) per tal d'alimentar el sensor. En aquest projecte concretament, s'ha considerat el terminal 2 de la placa Arduino com a terminal transmissor de dades (TX) i el 3 com a receptor de dades (RX). Per tant, des del punt de vista del sensor GPS aquest transmet al terminal 3 (TX) i rep dades del terminal 2 (RX), tal i com es pot veure en el següent esquema:



**Fig. 4.2.2** \_Esquema de connexions del sensor GPS U-Blox 7M. Font: Elaboració pròpia

Pel que fa al sensor d'efecte hall, la connexió és relativament senzilla, degut a la simplicitat del dispositiu. Es requereix d'una alimentació a 5V, connexió a terra (GND) i un pin de transmissió de dades. Habitualment aquests sensors van connectats a pins digitals, ja que la seva sortida és binària. En aquest cas, com no quedaven pins digitals, s'ha hagut d'emprar un pin analògic, el número 5 (A5), a partir del qual es podrà saber si el sensor detecta un imant o no. A diferència d'altres sensors magnètics, aquest només permet saber si hi ha un camp magnètic o no, no permet identificar la intensitat del camp magnètic.

### 4.3. Programació en Arduino

#### 4.3.1. Lliberies

Respecte a la programació en Arduino un dels factors més importants és l'ús de lliberies, ja que permeten utilitzar diversos instruments amb molta més facilitat aprofitant funcions creades per altres usuaris o, en alguns casos, pel propi fabricant de l'aparell.

Per a aquest projecte, més enllà de les lliberies que ja venen incloses en el propi programari d'Arduino IDE, s'han utilitzat:

Com a llibreria pel sensor GPS inicialment es va plantejar fer servir la llibreria del fabricant, que és la llibreria "VMA430\_GPS\_Module-master.h", però en veure que algunes

funcions no estaven suficientment ben actualitzades, es va decidir cercar una nova llibreria GPS. Es va trobar la llibreria "TinyGPS++.h", que permet obtenir totes les dades del sensor GPS en diversos formats. Més enllà d'extreure la informació del sensor GPS, també s'ha fet ús d'aquesta llibreria per calcular el rumb del vehicle mitjançant la funció "courseTo", que donades dues ubicacions amb latitud i longitud retorna l'angle respecte el nord format per aquestes.

Per altra banda s'ha fet servir també la llibreria "SoftareSerial.h", que ha permès identificar quins pins estaven connectats a cada connector del dispositiu GPS per poder intercanviar dades.

Finalment s'ha fet servir també la llibreria "LiquidCrystal.h", que permet identificar els Pins connectats a la pantalla LCD i facilita la transmissió de dades entre la placa Arduino i el display.

#### 4.3.2. Funcions addicionals

Respecte a les funcions addicionals per a poder fer ús del Roadbook, ha sigut necessari trobar una fórmula per calcular la distància recorreguda per el vehicle. Indagant les possibles maneres de calcular la distància recorreguda a partir de les coordenades GPS s'han trobat dues opcions suficientment senzilles com per a poder ser executades per la placa Arduino UNO sense necessitat d'esperar molt temps per a processar el càlcul. Aquestes fórmules són:

Aproximació equirectangular: Consisteix en aproximar la distància mitjançant l'ús del teorema de pitàgores per a una projecció rectangular de les coordenades esfèriques. Aquesta aproximació té una precisió elevada sempre i quant ens desplacem sobre l'equador, però suposa una distorsió elevada com més aprop s'està de les zones polars. L'avantatge d'aquest mètode és que el càlcul és molt senzill i, per tant, es pot executar de manera molt ràpida, tot i que la seva precisió no és excel·lent.

Fórmula del Haversine: Consisteix en calcular la distància entre dos punts suposant que es troben exactament sobre una esfera ideal, ignorant qualsevol muntanya o desnivell que hi pugui haver. Aquesta aproximació, tot i ignorar els desnivells, té una precisió i una dificultat de càlcul bastant superior a l'aproximació equirectangular. La fórmula en qüestió és la següent:

$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Sent  $d$  la distància recorreguda,  $r$  el radi terrestre (aproximadament 6371 km),  $(\varphi_1, \lambda_1)$  el punt inicial en coordenades en radians i  $(\varphi_2, \lambda_2)$  el punt final també en radians.

Un cop comprovat que la placa Arduino UNO és capaç d'executar la Fórmula del Haversine sense problemes, s'ha implementat en el programa.

### 4.3.3. Variables i codi Arduino

En quant a variables addicionals, s'ha cregut necessari implementar 5 variables diferents per a un correcte funcionament del Tripmaster:

- Primerament s'ha decidit dividir el funcionament del Roadbook en dos modes mitjançant una variable "P1". Aquesta variable es modifica automàticament depenent del nombre de satèl·lits detectats pel sensor GPS: En cas que el nombre de satèl·lits sigui igual o superior a 4, la velocitat i la distància recorreguda aniran indicades i es modificaran a partir de les dades del sensor GPS. En cas contrari, la informació serà donada pel sensor d'efecte hall que, mitjançant un imant enganxat al radi de la roda del vehicle, calcularà la velocitat angular d'aquesta i, sabent el radi de la roda, donarà la velocitat i distància recorreguda.
- En segon lloc, per al correcte funcionament del sensor d'efecte hall, s'ha trobat necessari indicar una variable "Magnetic" que indica un valor binari segons si es detecta un imant (1) o no es detecta (0). Aquesta variable evita que el sensor compti múltiples vegades una única revolució de la roda. Es compten les revolucions únicament si la senyal "Magnetic" esta en el valor 1 i prèviament es trobava en el valor 0.
- Per disminuir els errors en el càlcul de distància del sensor GPS, s'ha creat una variable comptador K1, que serveix per fer que no s'hagi d'aplicar la fórmula de Haversine a cada cicle del bucle, ja que això alentiria el procés. Amb això s'aconsegueix augmentar la precisió de la mesura de la distància, minimitzant els errors del sistema GPS gràcies a la reducció de punts de control, i fer que el programa funcioni amb una major fluïdesa.
- Finalment s'ha decidit que el funcionament del menú havia d'estar dividit en les dues files que hi ha disponibles en la pantalla LCD. En la primera fila s'hi ha indicat constantment la distància recorreguda total per el vehicle, ja que és la dada més important per al full de ruta. En la segona fila de la pantalla, s'ha dissenyat un menú dividit en 8 "Funcions" cadascuna amb la següent informació:

- Funció 0: Indica la velocitat del vehicle en km/h, ja sigui la velocitat del sensor GPS o del sensor d'efecte hall segons la variable P1.
- Funció 1: Indica el rumb del vehicle. Si la velocitat d'aquest és superior a 15 km/h el calcula a partir de les coordenades GPS, en cas contrari es fa servir el sensor magnètic del GPS.
- Funció 2: Indica la distància parcial recorreguda. Es pot posar a zero prement el botó "Select".
- Funció 3: Indica l'altura respecte el nivell del mar.
- Funció 4: Indica la data actual en el format Dia/Mes/Any.
- Funció 5: Indica l'hora actual en el format Hores : Minuts :Segons.
- Funció 6: Indica la Latitud del vehicle en graus.
- Funció 7: Indica la Longitud del vehicle en graus.

Tot el codi Arduino creat es troba disponible en l'Annex final d'aquest treball.

#### 4.4. Funcionament del tripmaster i manual d'usuari

En quant al funcionament del dispositiu, el tripmaster és senzill i intuïtiu per a l'usuari. Consta únicament de 6 polsadors, cadascun amb les següents funcions:

- ❖ "Select": Permet posar a zero el comptador de distància parcial.
- ❖ "Left" i "Right": Permet desplaçar-se a dreta i esquerra modificant la informació mostrada en la segona fila de la pantalla LCD. Aquesta disposa de 8 funcions diferents. En arribar a la darrera funció es torna a començar per la primera i de la mateixa manera en el sentit oposat: si es va a l'esquerra de la primera funció s'accedeix a la vuitena.
- ❖ "Up" i "Down": Permet modificar el valor de la distància total recorreguda, que es veu indicada en tot moment en la primera fila de la pantalla. No es modifica la distància parcial ja que per "calibrar" o ajustar la distància total cal una referència. Quan s'està en una referència la distància parcial sempre és 0.
- ❖ "Rst": Permet Resetejar el dispositiu sencer, posant a zero d'aquesta manera tots els comptadors.

En cadascuna de les funcions del dispositiu, la informació mostrada s'indicarà amb quines unitats està expressada. En cas que alguna informació no sigui fiable, ja sigui perquè no es detecten prou satèl·lits o perquè algun sensor no està ben connectat, s'indicarà la paraula "INVALID" en la pantalla corresponent.

Pel que fa a la instal·lació del sensor d'efecte hall en el vehicle, cal vigilar que el costat de l'imant més proper al sensor d'efecte hall sigui el Pol Nord. Això es pot comprovar veient si el LED del sensor d'efecte hall s'il·lumina o no rebre l'efecte del camp magnètic de l'imant.

La distància per a una lectura òptima entre l'imant i el sensor d'efecte hall ha de ser de menys de 10 mm. Per tant, és recomanable instal·lar el sensor en la part interior de la forquilla de direcció del vehicle.

### 4.5. Resultat final

Seguidament es mostraran algunes imatges del resultat final obtingut del tripmaster:

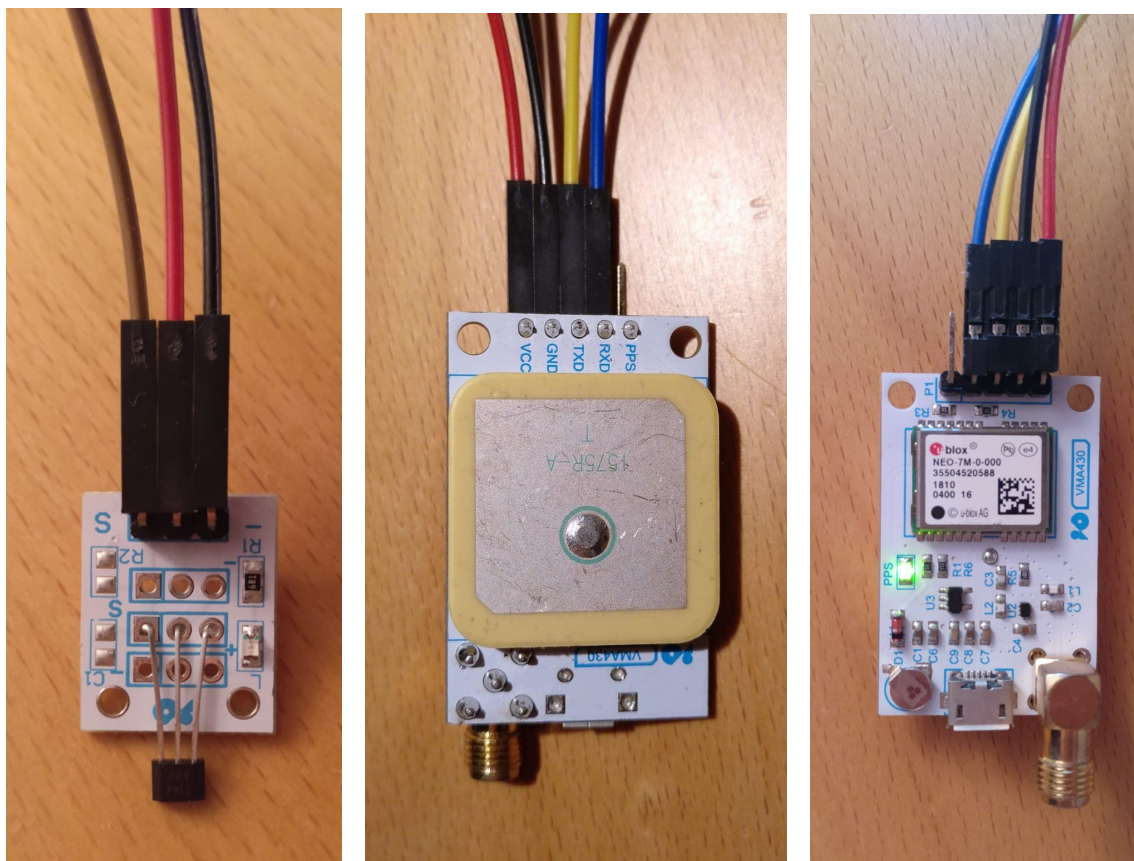
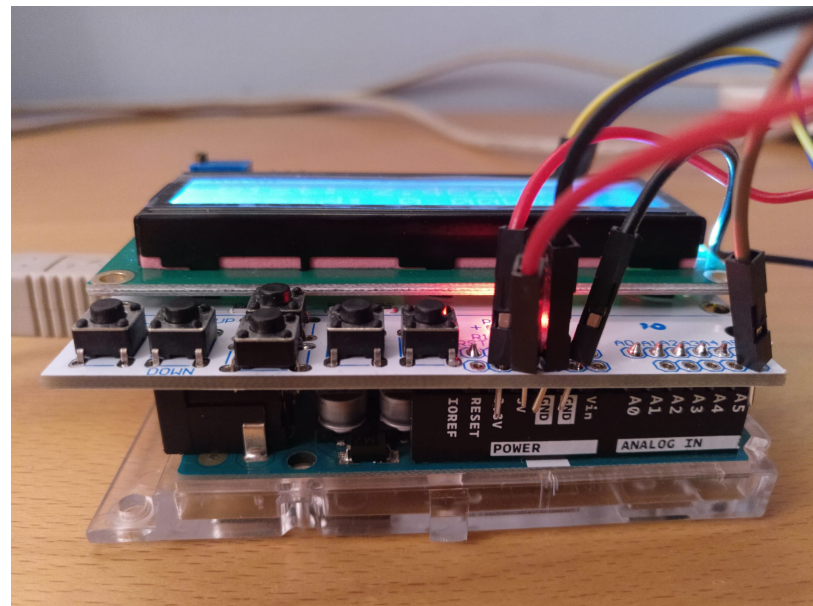
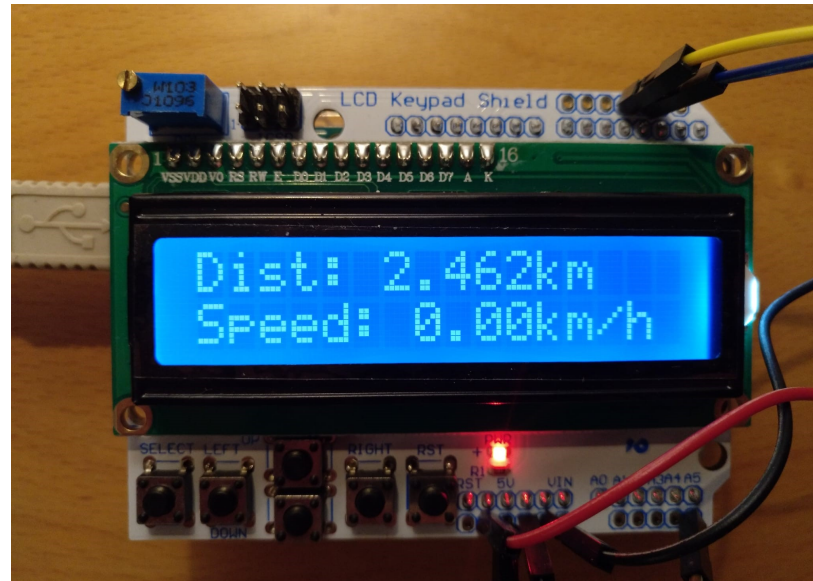


Fig. 4.5.1 \_Fotografies del sensor magnètic (1) i sensor GPS (2 i 3). Font: Elaboració pròpia.



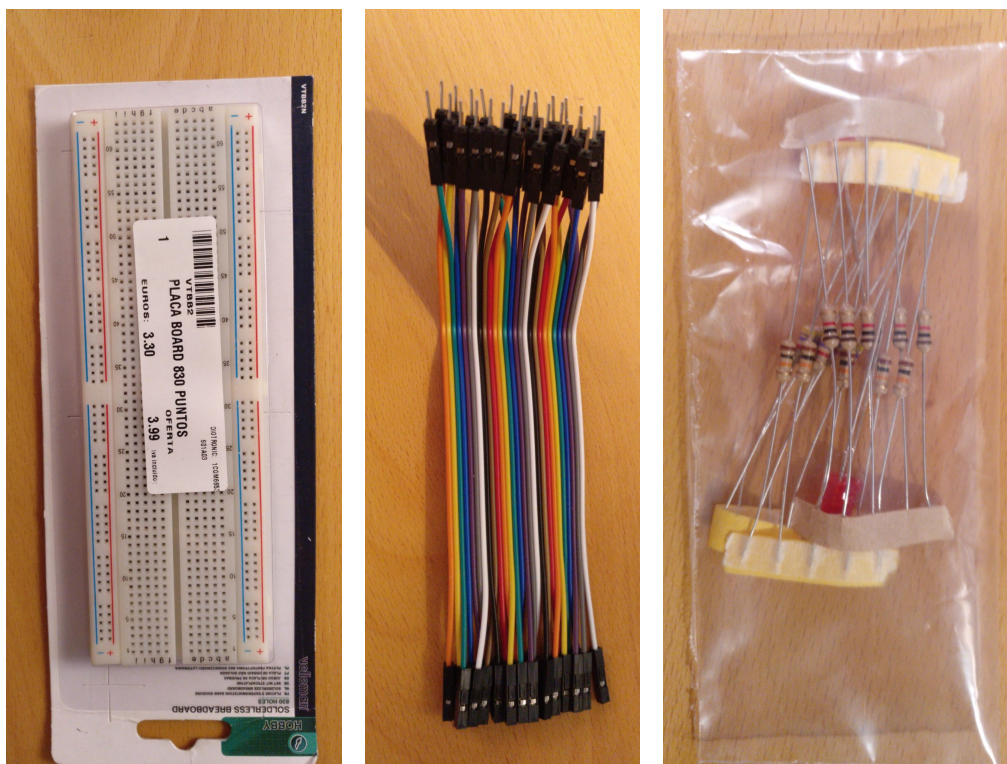
En la primera imatge es pot apreciar que el sensor magnètic disposa de tres pins. D'esquerra a dreta, el primer correspon a la sortida d'informació, que va a parar al pin analògic 5, el segon rep l'alimentació de 5 V de la placa Arduino i el darrer està connectat al terminal ground.

En la segona i tercera imatge es pot apreciar les connexions del sensor GPS, sent el cable blau l'entrada de dades per al sensor (porta RX) i el cable groc la sortida del mateix (porta TX).

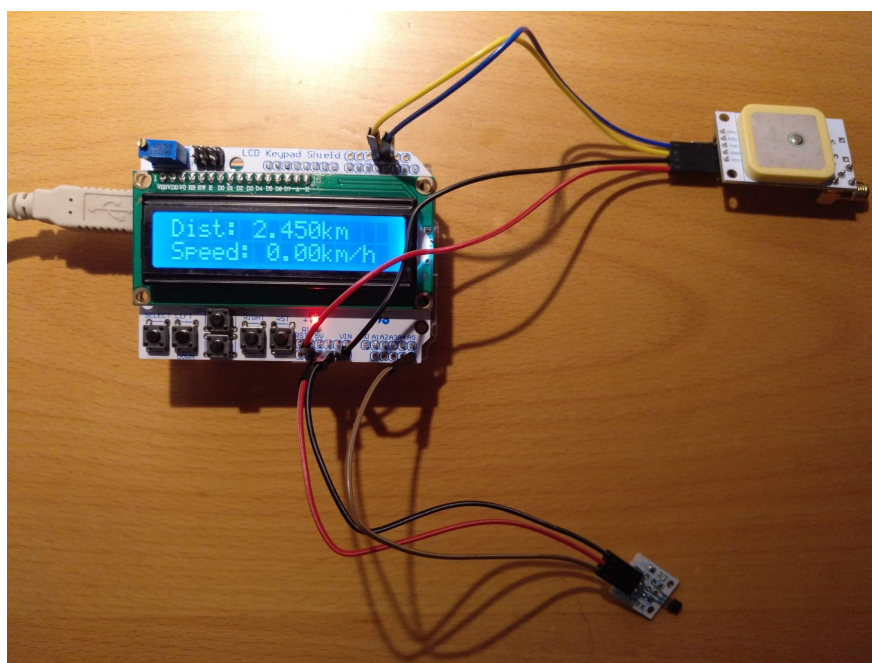


**Fig. 4.5.2** \_Fotografies de la pantalla LCD juntament amb la seva placa de circuits modulars.

Font: Elaboració pròpia.



**Fig. 4.5.3** Fotografies de la placa board (1), els cables mascle-femella (2), les resistències i LEDs (3). Font: Elaboració pròpia.



**Fig. 4.5.4** Fotografia del tripmaster. Font: Elaboració pròpia.

## 5. Disseny del Porta-Roadbook

### 5.1. Disseny d'un porta-roadbook elèctric

Respecte al disseny del Porta-Roadbook s'ha començat investigant quins són els principals avantatges i inconvenients dels que hi ha disponibles actualment al mercat i s'ha arribat a una conclusió evident. Els preus dels Porta-Roadbooks són excessius.

El més econòmic i més senzill que s'ha trobat disponible, només disposa d'un recipient resistent a l'aigua on poder col·locar el Roadbook. El full de ruta queda situat damunt de dos eixos transversals que es poden moure manualment aplicant un parell sobre la part externa de l'eix, que acaba en una rosca rugosa. Veure referència bibliogràfica [6]. El preu d'aquest instrument és de 95€.

Vista la situació, s'ha decidit fer un disseny que es pugui arribar a fabricar mitjançant impressió 3D. Probablement el resultat no tindrà la mateixa durabilitat que altres models de porta-roadbook, però a nivell econòmic serà molt més competitiu.

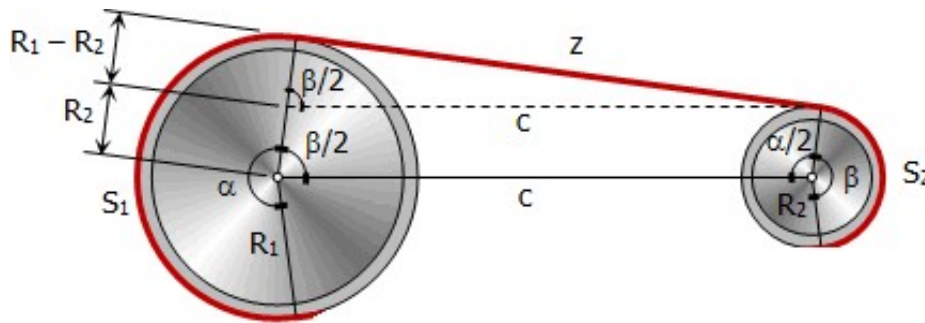
Per tal de dissenyar-lo, s'ha fet ús del programari SolidWorks 2019, degut a l'experiència obtinguda treballant amb aquest software a l'ETSEIB en l'assignatura d'Expressió Gràfica.

Tot el cos del Porta-Roadbook s'ha estimat que és possible de construir mitjançant impressió 3D, excepte la tapa frontal. Aquesta ha de permetre veure'n les instruccions, per tant, ha de ser transparent. Tot i que mitjançant impressió 3D es pot aconseguir fabricar una peça translúcida, el resultat no és totalment satisfactori, ja que es veuria la imatge del full de ruta borrosa. És per aquest motiu que s'ha considerat que és millor adquirir una làmina de plàstic transparent. Aquesta s'haurà de tallar a mida i posteriorment foradar mitjançant una broca per tal de fer-hi passar 4 cargols, que permetran collar-la a l'estructura feta amb impressió 3D. Els cargols s'hauran de retirar per poder obrir la tapa frontal i inserir el full de ruta a l'interior del recinte. Si tots quatre estan suficientment collats, la carcassa dissenyada hauria de ser pràcticament impermeable, deixant com a únics orificis el propi eix de rotació del Roadbook i el del motor.

Pel que fa al moviment, tot i que es podria moure manualment, això suposaria per al conductor del vehicle haver de conduir només amb una mà. Degut al perill que això generaria, s'ha considerat per al projecte l'adquisició d'un interruptor de polsador. Aquest interruptor disposa de 2 posicions diferents que permetran moure'l endavant o endarrere.

Per tal de moure el full de ruta hi ha un petit inconvenient. Els radis dels eixos amb el full

de ruta enrotllat no són constants, degut al moviment del paper. Això provoca que sigui impossible moure els dos eixos amb un mateix motor, doncs el full de ruta es tensaria o destensaria constantment, depenent de cap a quin sentit es desplaçi, tal i com es pot veure en la següent imatge:



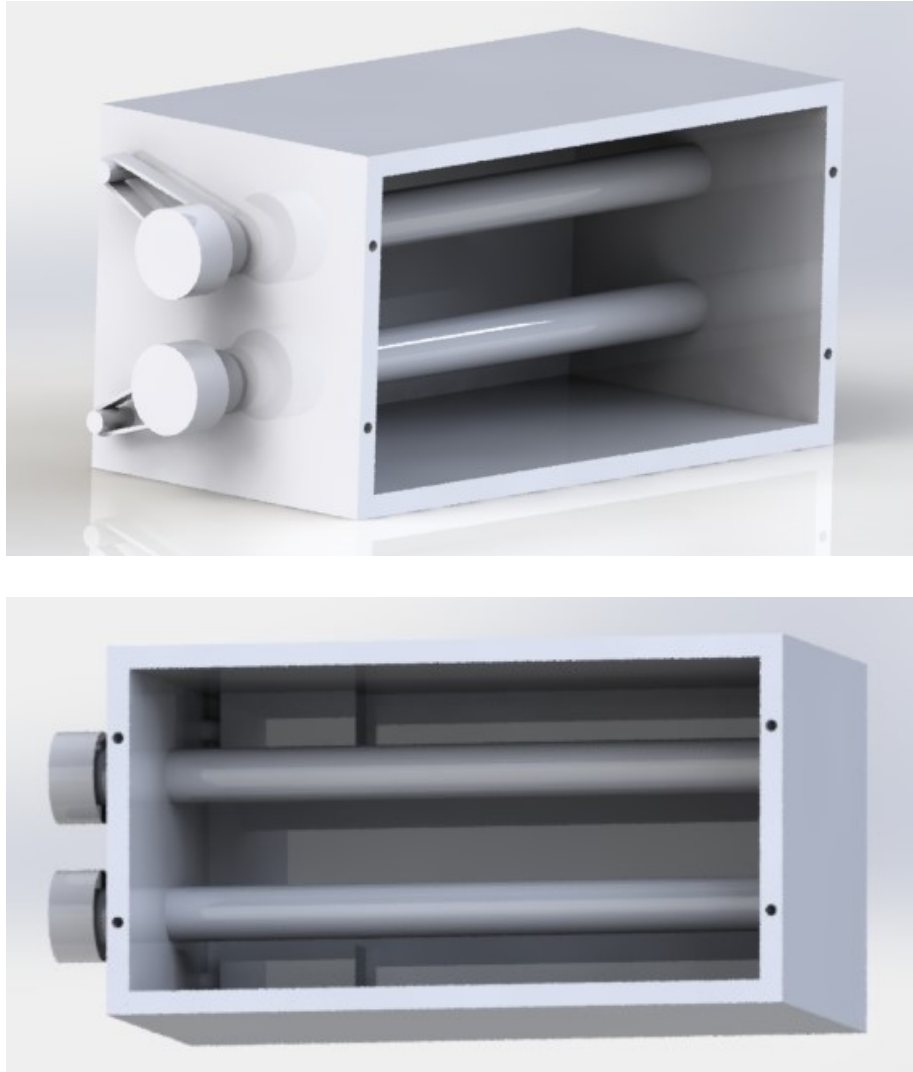
**Fig. 5.1.1** Esquema de gir dels eixos del Roadbook amb el paper enrotllat.  
Font: Referència Bibliogràfica [7], editada posteriorment.

Per resoldre aquest conflicte hi ha dues possibles solucions:

1. La opció més econòmica és utilitzar únicament un motor i connectar el motor amb els dos eixos de rotació mitjançant una corretja. Aquesta ha de passar obligatòriament per damunt del paper del roadbook. D'aquesta manera, la velocitat lineal d'ambdós eixos en els extrems del full de paper serà la mateixa i, per tant, les seves velocitats angulars seran diferents. L'inconvenient d'aquest sistema és que dificulta molt la col·locació del roadbook, ja que s'ha de tensar la corretja posteriorment en funció del gruix del full de ruta. I, en segon lloc, la transmissió tapa una certa part de les vinyetes.
2. La segona opció, que és la més costosa, consisteix en fer servir dos motors diferents per a moure cadascun dels eixos. D'aquesta manera la tracció la ofereix un únic eix depenent de si es vol desplaçar el full cap amunt o cap avall, sent l'altre eix un eix conduït.

Coneixent les solucions i sabent que el cost dels motors no és molt elevat respecte al total, es proposa adquirir-ne dos d'exactament iguals per desplaçar cadascun dels eixos individualment.

Respecte a la ubicació, aquests motors aniran col·locats a la part interior del recinte per tal de resguardar-los dels elements atmosfèrics tals com la pluja o la incisió directa del Sol. L'eix de rotació del motor travessarà la paret lateral del porta-roadbook i anirà connectat, a través d'una corretja, a l'eix del full de ruta corresponent, tal i com es pot veure en les següents imatges:

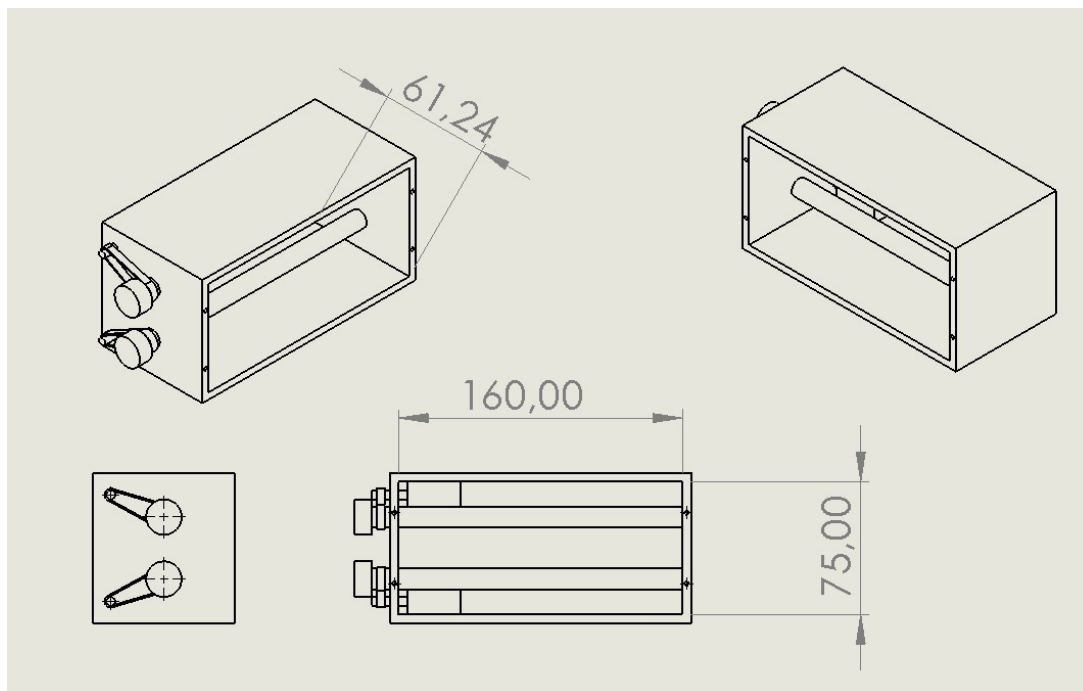


**Fig. 5.1.2** \_ Renderitzats 3D del Porta-Roadbook amb els motors elèctrics a l'interior.

Font:Elaboració pròpia.

Cal dir que no s'ha col·locat tota el sistema de motors i transmissió dins del recinte per dos motius. En primer lloc, perquè en cas que hi hagi qualsevol problema en la transmissió és molt més ràpid de reparar. El segon motiu, i probablement el més important, és perquè en cas de fallada d'algun motor o element electrònic el Roadbook es pugui seguir usant manualment, aportant així una doble seguretat.

Pel que fa a les dimensions del porta-Roadbook, s'ha dissenyat tenint en compte la mida estàndard dels fulls de ruta, que majoritàriament són DIN A5. Aquestes sigles corresponen a unes mides de 148x210mm. Per aquest motiu, la gàbia dissenyada té unes mesures en les parets interiors de 160x75x61,24mm, tal i com es pot veure en la següent figura:



**Fig. 5.1.3** \_Esborrany 3D amb les cotes de la gàbia del Porta-Roadbook.

Font: Elaboració pròpia.

## 5.2. El futur del porta-roadbook

Així com es va anunciar el passat mes d'abril del 2020, la innovació ja ha arribat als ral·lis, doncs s'ha confirmat que en la propera edició del Dakar el Roadbook proporcionat als participants serà en format PDF, és a dir, un arxiu digital. Tot i això, probablement l'organització també proveirà roadbooks en paper per als usuaris que així ho desitgin, tal i com explica aquest article del diari Marca, veure referència [8].

A partir d'aquí pot arribar a sorgir la següent pregunta: Per què no s'ha passat abans al món digital?

La resposta a aquesta pregunta no és gens senzilla, però es creu que els factors més influents en aquest aspecte són dos: En primer lloc la indisponibilitat o passió de la majoria dels usuaris dels fulls de ruta per les instruccions en paper. Ja que molts consideren la preparació dels Roadbooks gairebé com un ritual abans de les competicions. Inclús hi ha alguns codis de colors entre els pilots/copilots per pintar cadascuna de les vinyetes (Verd les fàcils, Vermell les difícils, Taronja els punts de referència, etc.). En segon lloc, els porta-roadbooks han de ser capaços de resistir forts impactes degut als salts o desnivells en el terreny de la ruta. És per això que els usuaris creuen que té una major fiabilitat una capsa metàl·lica o de plàstic amb un full de paper al seu interior que no pas una tauleta digital amb una pantalla de vidre. Doncs tot i saber que la tauleta duu una carcassa protectora aquesta no té la robustesa d'una capsa.

Tot i això, veient aquesta transició imminent cap a les tecnologies digitals, s'ha volgut plantejar en aquest projecte la possibilitat i els materials necessaris per a realitzar un Roadbook digital.

### 5.3. Porta-roadbook digital

En el cas que es vulgui dissenyar un porta-roadbook digital, la feina és més "senzilla", doncs només caldria adquirir una tauleta o un smartphone amb una pantalla d'un tamany suficientment gran i una funda impermeable i altament resistent per a aquest dispositiu. Per poder desplaçar el full de ruta es podrien utilitzar els botons que permeten augmentar o disminuir el volum del dispositiu. L'opció tàctil no seria convenient ja que la majoria de pilots de ral·li duen guants que no poden ser detectats pels sensors tàctils dels smartphones/tablets. També es podria intentar controlar per veu però amb el soroll del vehicle en funcionament seria una tasca pràcticament impossible.

En cas que el pilot desitgés controlar el full de ruta des del propi manillar, també seria possible adquirir 2 polsadors impermeables amb connexió Bluetooth, similars als que estan disponibles a la pàgina web següent per un preu de 159€ (Veure referència [9]).

## 6. Pressupost

Els costos de realització d'aquest projecte estan desglossats de la següent manera:

Pel que fa als components electrònics per al Tripmaster:

Component	Model	Referència Bibliogràfica	Preu [IVA inclòs]
Sensor GPS	U-Blox 7m	[10]	29,90 €
Pantalla LCD	LCD & Keypad Shield 16x2	[11]	9,78 €
Placa Arduino	AVR Arduino UNO Rev3	[12]	22,99 €
Sensor d'efecte Hall	VMA313	[13]	4,95 €
Placa Board	830 Punts VTBB2	[14]	3,99 €
40 Cables Mascle-Femella de 15 cm	VMA428	[15]	4,83 €
40 Cables Mascle-Mascl de 15 cm	VMA427	[16]	4,83 €
Conjunt de resistències	B025	[17]	3,05 €
Conjunt de LEDs			1,99 €

**Fig. 6.1** \_Taula amb el preu dels components del tripmaster. Font: Elaboració propia.

Tots els components han estat adquirits a Diotronic S.A. i el cost total d'aquests ascendeix a 86,31€.



Suposant una producció de 50 Unitats s'obtenen els següents resultats:

En primer lloc cal afegir el cost del disseny enginyeril del programari i el disseny previ de les connexions, que suposarien 40 hores de feina amb un salari per hora de l'enginyer junior de 35 €/h bruts (incloent-hi un 33% de despeses de la seguretat social). Fabricant 50 unitats això suposa un cost addicional de 24 € per unitat.

Posteriorment caldria afegir el temps de muntatge dels components, que s'estima en 1 hora de feina amb un salari de l'operari d'uns 20 €/h bruts (incloent-hi un 33% de despeses de la seguretat social). Això suposa un cost unitari addicional de 40 €.

Un cop coneguts tots els costos caldria afegir al producte el benefici del productor, estimat en aquest cas en un 25% i posteriorment a aquest nou preu caldria aplicar-hi el benefici del distribuïdor, estimat en un 15%. Finalment caldria aplicar el 21% d'IVA al preu obtingut amb aquest procediment.

Cost compra material	86,31 €/u
Cost disseny enginyeril	28,00 €/u
Cost Muntatge	20,00 €/u
Subtotal Costs	134,31 €/u
Benefici producció 25%	33,58 €/u
Subtotal	167,89 €/u
Benefici distribuïdor 15%	25,18 €/u
Subtotal	193,07 €/u
IVA 21%	40,54 €/u
<b>PVP</b>	<b>233,62 €/u</b>

Tot i que el preu obtingut pugui semblar elevat, els tripmaster més econòmics disponibles actualment al mercat (que només disposen d'un sensor de roda, no tenen sensor GPS), tenen un preu de 325 €, veure referència [18]. A més a més, aquests dispositius únicament permeten mostrar un tipus d'informació simultàniament. És per això que la majoria de pilots de Rally fan servir 2, o en alguns casos inclús 3, tripmasters com el descrit, fet que suposaria un cost total de  $2 \times 325 \text{ €} = 650 \text{ €}$ .

D'aquesta manera el tripmaster dissenyat no només suposa una reducció de preu de més d'un 60% respecte a un tripmaster habitual sinó que a més a més disposa d'un sistema GPS, que aporta un extra de fiabilitat al sistema i incrementa la precisió del mateix.

Respecte al cost del porta-Roadbook, el preu més baix per a un dispositiu electrònic similar al que s'ha dissenyat és de 243€, veure referència [19].

Es sap a partir del disseny en Solidworks que el pes total de la peça a imprimir és de poc menys d'1 kg. A partir d'aquí, comparant els preus de diversos serveis d'impressió en 3D online, s'ha trobat fent servir la calculadora de l'empresa "Bitfab" (veure referència [20]) que el cost d'imprimir una peça com la dissenyada és de 50,2 €.

A aquest preu se li ha d'afegir el cost d'adquisició dels dos motors per desplaçar els eixos, en aquest cas el motor escollit ha sigut un motor de 12 V i 100 rpm, veure referència [21] i la compra d'un interruptor de manillar per a controlar-los, veure referència [22].

Desglossament del cost dels components electrònics per al Porta-Roadbook:

Component	Model	Referència Bibliogràfica	Preu [IVA inclòs]
<b>Carcassa</b>	Impressió 3D		50,2 €
<b>Motors elèctrics</b>	2x Motor walfront de 12 V i 100 rpm	[21]	23,58 €
<b>Interruptor</b>	2 Botons, muntatge per a manillar	[22]	7,29 €

**Fig. 6.2** \_ Taula amb el preu dels components del porta-roadbook. Font: Elaboració pròpia.

Amb tot això el cost del material arribaria a la xifra de 81,07€, que tot i aplicar-hi el cost del disseny enginyeril, muntatge, beneficis de producció, distribució i IVA resultaria en un preu bastant inferior als que hi ha actualment al mercat.

## Conclusions

Com a conclusió d'aquest projecte, es pot dir que el món del ral·li i del Roadbook, tot i ser bastant desconegut de cara al públic, és un univers apassionant i amb elevat interès des d'un punt de vista enginyeril. A més a més, al ser poc conegut, no hi ha molta competència a nivell empresarial i és per aquest motiu que la majoria de productes són especialment cars per al públic. Aquest fet pot desil·lusionar a més d'un usuari d'entrar en aquest món, però també hi ha la possibilitat que desperti el seu interès i l'incentivi a dissenyar-se el seu propi equipament.

Per altra banda també he descobert, sorprenentment, que gairebé tots els usuaris del Roadbook en prefereixen un de paper abans que un de digital. De fet, en la darrera competició del Dakar i del Rally de Marroc, es va aplicar una nova normativa consistent en entregar els Roadbooks en paper únicament 5 minuts abans de la sortida de la prova, per tal d'evitar possibles filtracions i intentar eliminar les "dreceres" o altres trampes que puguin fer els competidors.

Un altre aspecte que no estava dins de les meves expectatives ha estat la dificultat en el disseny del Porta-Roadbook. Al fer-lo resistent a l'aigua, s'han complicat molts aspectes com ara la col·locació dels motors, el disseny de la tapa frontal o les ubicacions de les obertures. A més a més la impressió 3D suposa per altra part fer servir materials amb una resistència inferior als metalls o plàstics habituals. D'aquesta manera el disseny ha de ser més robust per compensar les mancances del material.

Fent aquest projecte, un dels reptes més complicats ha estat adaptar-se en tot moment a la situació. Una complicació important ha estat la limitació a l'hora de triar els components del tripmaster, ja que s'ha hagut d'anul·lar la primera comanda realitzada a l'empresa "Adafruit" degut a la impossibilitat de l'entrega dels components en un termini raonable. Ha calgut modificar tots els components inicialment previstos per uns de nous per tal de poder fer la compra en una botiga física, on també hi ha hagut algunes mancances en la disponibilitat del material, sobretot pel que fa als sensors de camp magnètic.

En la realització del projecte, s'ha pogut comprovar la importància de tenir tots els controls a l'abast dels pilots. És per això que considero que es podria millorar el tripmaster construït afegint-hi un polsador extern que permeti realitzar les accions dels botons del tripmaster sense necessitat que el pilot tregui les mans del volant.

Ha estat una experiència interessant i enriquidora per a mi la realització d'aquest projecte, on m'he hagut d'enfrontar a molts reptes a nivell de realització, especialment degut a la situació de la Covid-19 i a no tenir accés a tots els materials i laboratoris de l'ETSEIB.

## Treballs futurs

En acabar el treball, s'ha pogut observar que en el projecte realitzat es podrien modificar els següents aspectes:

- Tot i que el programa amb Arduino funciona correctament, el programa es podria millorar. Especialment en l'àmbit de l'optimització del codi, fet que permetria fer que funcioni de manera més àgil i tingui un temps de resposta inferior.
- També es podria afegir en el tripmaster la possibilitat de realitzar el canvi d'hora automàticament depenent de la ubicació. És a dir, trobar el GMT corresponent a les coordenades GPS i, posteriorment, a partir de la data obtinguda afegir o no l'adaptació d'horari d'estiu.
- Un altre aspecte de millora per al projecte seria la creació d'una capsa o funda protectora per al tripmaster que sigui impermeable i que permeti l'ús dels botons mitjançant una membrana suficientment resistent.
- Es podria afegir també un sensor de camp magnètic per a millorar la precisió de la mesura del rumb, ja que la donada pel GPS té una certa imprecisió.
- En cas que així es desitgi, es pot modificar la pantalla LCD escollida per una de més gran, aquesta permetria veure millor la informació i es podrien mostrar més quantitat de dades a l'usuari sense necessitat de desplaçar-se per el menú.
- Finalment també es podria redissenyar el porta-roadbook i fer-ne una versió totalment digital, que permeti fer ús de fulls de ruta en format pdf.

## Agraïments

M'agradaria fer una menció especial a la botiga de Diotronic S.A., que m'han ofert una atenció excepcional donada la situació pel Covid-19, amb gran agilitat en l'entrega de components i ajuda en la selecció dels mateixos. Gràcies a això he pogut realitzar el projecte amb un menor termini de temps.

Per altra banda m'agradaria donar les gràcies al meu tutor del treball, el professor Samuel Galceran Arellano, per entendre la situació actual i oferir propostes d'adaptació, ja sigui facilitant la realització del treball a nivell teòric o acceptant la sol·licitud de pròrroga a causa de la dificultat per obtenir els components del tripmaster.

# Bibliografia

## Referències bibliogràfiques

- [1] DAKAR, *Dakar 2020 Roadbook Lexicon*.  
[<https://www.dakar.com/en/espace-ccr/navigation/roadbook>, 3 de maig de 2020]
- [2] RALLYNAVIGATOR, *How to create Cross Country Rally Roadbooks*.  
[[https://www.rallynavigator.com/how\\_to\\_create\\_cross\\_country](https://www.rallynavigator.com/how_to_create_cross_country), 3 de maig de 2020]
- [3] RALLYNAVIGATOR, *How to create Road Rally Roadbooks*.  
[[https://www.rallynavigator.com/how\\_to\\_create\\_road\\_rally](https://www.rallynavigator.com/how_to_create_road_rally), 3 de maig de 2020]
- [4] TECNOLOGIA-TECNOXPLORA, *Geometría e ingeniería para localización*.  
[[https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/ciencia/divulgacion/cuantos-satelites-necesitan-que-gps-posicion\\_2014100657fca67c0cf2fd8cc6b0ebc7.html](https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/ciencia/divulgacion/cuantos-satelites-necesitan-que-gps-posicion_2014100657fca67c0cf2fd8cc6b0ebc7.html), 16 d'agost de 2020]
- [5] VELLEMAN, *Infosheets LCD Keypad shield VMA 203 scheme*.  
[[https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/vma203\\_scheme.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/vma203_scheme.pdf), 10 d'abril de 2020]
- [6] TWIN TRAIL STORE, *Roadbook manual model RB701*.  
[<https://www.twintrail.com/rallyraid/414-roadbook-manual-f2r-rb701.html>, 8 de maig de 2020]
- [7] MATTO, *Fabricación de un Roadbook con Tripmaster*.  
[<https://matto.io/roadbook-con-tripmaster/>, 10 de maig de 2020]
- [8] DIARI MARCA, *El Dakar del futuro*.  
[<https://www.marca.com/motor/rallies/2020/04/15/5e95f9f8e2704e428a8b4667.html>, 12 de maig de 2020]

- [9] CARPE ITER, Handlebar controller for Android model CI Control.  
[\[https://carpe-iter.com/carpe-iter-control/\]](https://carpe-iter.com/carpe-iter-control/), 14 d'agost de 2020]
- [10] VELLEMAN, Módulo GPS U-blox 7m para Arduino.  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=439218\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=439218), 10 d'abril de 2020]
- [11] VELLEMAN, LCD & Keypad Shield para Arduino.  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=435510\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=435510), 10 d'abril de 2020]
- [12] ARDUINO, Arduino UNO Rev3.  
[\[https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3\]](https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3), 10 d'abril de 2020]
- [13] VELLEMAN, Sensor magnético de efecto hall (Holzer).  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=435540\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=435540), 10 d'abril de 2020]
- [14] VELLEMAN, Placa Board 830 puntos sin soldadura.  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=437412\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=437412), 10 d'abril de 2020]
- [15] VELLEMAN, Cable Macho a Hembra 40 polos - 15cm - Cable Plano.  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=439214\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=439214), 10 d'abril de 2020]
- [16] VELLEMAN, Cable Macho a Macho 40 polos - 15cm - Cable Plano.  
[\[https://www.velleman.eu/products/view/?id=439212\]](https://www.velleman.eu/products/view/?id=439212), 10 d'abril de 2020]
- [17] DIOTRONIC, Juego de Resistencias 10-1M Ohm.  
[\[https://diotronic.com/juego-resistencias-1-4w-e12\\_10213/\]](https://diotronic.com/juego-resistencias-1-4w-e12_10213/), 10 d'abril de 2020]
- [18] FRE TO RIDE, Tripmaster model ICO Rallye.  
[\[https://www.f2r.pt/epages/f2r.sf/en\\_GB/?ObjectPath=/Shops/f2r/Products/ICO001,8\]](https://www.f2r.pt/epages/f2r.sf/en_GB/?ObjectPath=/Shops/f2r/Products/ICO001,8)  
de maig de 2020]

[19] TWIN TRAIL STORE, Roadbook Elèctric model RB730.

[\[https://www.twintrail.com/rallyraid/491-roadbook-electrico-rb730.html\]](https://www.twintrail.com/rallyraid/491-roadbook-electrico-rb730.html), 8 de maig de 2020]

[20] BITFAB, Calculadora del precio para imprimir en 3D.

[\[https://bitfab.io/es/blog/cuanto-cuesta-imprimir-en-3d/\]](https://bitfab.io/es/blog/cuanto-cuesta-imprimir-en-3d/), 15 d'agost de 2020]

[21] AMAZON, Motor de 12V i 100rpm marca Walfront.

[\[https://www.amazon.es/gp/product/B072LVF2J9/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o09\\_s00?tag=eleinst-21&th=1\]](https://www.amazon.es/gp/product/B072LVF2J9/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o09_s00?tag=eleinst-21&th=1), 15 d'agost de 2020]

[22] AMAZON, Interruptor para motos de carreras marca Alamor.

[\[https://www.amazon.es/gp/product/B0788KG8HD/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o09\\_s01?tag=eleinst-21\]](https://www.amazon.es/gp/product/B0788KG8HD/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o09_s01?tag=eleinst-21), 15 d'agost de 2020]

## Bibliografia complementària

- Disseny de microcontroladors per a tecnologia vestible

<https://recursos.citcea.upc.edu/vestible/>

- Tutorial per a mòdul GPS mitjançant Arduino

<https://naylampmechatronics.com/blog/18-Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html>

- UNIVERSITAT DE BARCELONA, *Adaptació a la obscuritat*

<http://www.ub.edu/pa1/node/adaptacion>



- Exemples de codis Arduino per a sensors GPS

[https://github.com/Velleman/VMA430\\_GPS\\_Module](https://github.com/Velleman/VMA430_GPS_Module)

- Càlcul de distàncies mitjançant coordenades GPS

<http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

- Exemples de codis Arduino per a sensors d'efecte hall

<https://arduining.com/2012/07/17/arduino-hall-effect-sensor-gaussmeter/>



## Annex

### Codi Arduino

Codi Arduino creat específicament per la realització del tripmaster d'aquest projecte:

```
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// INICIALITZAR VARIABLES
float distancia = 0;
float distancia2 = 0;
int p2 = 0;
int magnetic = 0;
float diametre = 1.27; // en metres
uint32_t timer = millis();
int k1 = 0;
float latantiga = 0.0;
float longantiga = 0.0;
float latnova = 0.0;
float longnova = 0.0;
unsigned long previousMillis = 0;
float speedhall = 0;
int revolucions = 0;
int p1 = 0;
float rumb=0;

// select the pins used on the LCD panel
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

// define some values used by the panel and buttons
int lcd_key = 0;
int adc_key_in = 0;
```

```

#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5

// Definir constants
#define PI 3.1415926535897932384626433832795
#define HALF_PI 1.5707963267948966192313216916398
#define TWO_PI 6.283185307179586476925286766559
#define ToRad 0.017453292519943295769236907684886
#define R 6371
#define PI3600 11309.7335529 //PI*3600
#define PI1000 0.0031415926535897932384626433832795 //PI/1000
#define RAD_TO_DEG 57.295779513082320876798154814105

// Definir Funcions
//-----Haversine-----//
float Haversine(float lat1, float lon1, float lat2, float lon2){
    float dLat = (lat2-lat1) * ToRad;
    float dLon = (lon2-lon1) * ToRad;
    float a =
    sin(dLat/2)*sin(dLat/2)+cos(lat1*ToRad)*cos(lat2*ToRad)*sin(dLon/2)*sin(dLon/2);
    float c = 2*atan2(sqrt(a),sqrt(1-a));
    float d = R*c; // distancia en km
    return d;
}

// read the buttons
int read_LCD_buttons()
{

```

```
adc_key_in = analogRead(0); // read the value from the sensor
// VALORS DELS BOTONS DEL MEU DISPOSITIU: 0, 99, 257, 412, 640 mv
// we add approx 50 to those values and check to see if we are close
if (adc_key_in > 950) return btnNONE; // We make this the 1st option for speed reasons
since it will be the most likely result (V sense cap boto: 1023)
if (adc_key_in < 50) return btnRIGHT;
if (adc_key_in < 195) return btnUP;
if (adc_key_in < 380) return btnDOWN;
if (adc_key_in < 555) return btnLEFT;
if (adc_key_in < 790) return btnSELECT;
return btnNONE; // when all others fail, return this...
}

static const int RXPin = 3, TXPin = 2;
static const uint32_t GPSPBaud = 9600;

// The TinyGPS++ object
TinyGPSPlus gps;

// The serial connection to the GPS device
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  ss.begin(GPSPBaud);
  Serial.print(F("GPS ON"));
  Serial.println();
  lcd.begin(16, 2); // start the library
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Dist:");
}
```

```
void loop()
{
  if (p2>7)
  {
    p2=p2-8;
  }
  else if (p2<0)
  {
    p2=p2+8;
  }

  // Això permet mostrar informació cada vegada que es genera un nou conjunt de dades.
  while (ss.available() > 0)
  {
    if (gps.encode(ss.read()))
      displayInfo();

    if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
    {
      Serial.println(F("No GPS detected: check wiring."));
      while(true);
    }
    if (gps.location.isValid() && gps.satellites.value()>=3)
    {
      p1=0;
      if (k1==0){
        latnova = float(gps.location.lat());
        longnova = float(gps.location.lng());
      }

      else if (k1==50){
        latantiga = latnova;
```

```
    longantiga = longnova;
    latnova = float(gps.location.lat());
    longnova = float(gps.location.lng());
    rumb=TinyGPSPlus::courseTo(latnova,longnova,latantiga,longantiga);
    distancia = distancia + Haversine(latnova,longnova,latantiga,longantiga);
    distancia2 = distancia2 + Haversine(latnova,longnova,latantiga,longantiga);
    k1 = 1;
}
k1=k1+1;
}
else {
    p1=1;
    unsigned long currentMillis = millis();
    int temps = currentMillis - previousMillis;
    if (temps >= 3000) {
        speedhall = revolucions*PI3600*diametre/temps;
        previousMillis = currentMillis;
        revolucions=0;
    }
    if (analogRead(5)<50) { //Si el sensor d'efecte hall detecta l'imant
        if (magnetic==0) { //Si el sensor prèviament no estava en contacte amb l'imant
            distancia = distancia+(diametre*PI1000);
            distancia2 = distancia2+(diametre*PI1000);
            magnetic=1;
            revolucions=revolucions+1;
        }
    }
}
else {
    magnetic=0;
}
}
```

```
lcd.setCursor(6,0); // moure cursor a la columna 6 fila 0 (primera fila)
lcd.print(distancia,3); // display distancia
```

```
lcd.print("km ");
// lcd.print(p2);
// lcd.print(magnetic);
lcd.setCursor(0,1);      // moure el cursor a l'inici de la segona fila
if (p2==0){
  lcd.print("Speed: ");
  if (p1==0){
    if (gps.speed.isValid()){
      lcd.print(gps.speed.kmph());
    }
    else {
      lcd.print("INVALID  ");
    }
  }
  else {
    lcd.print(speedhall);
  }
  lcd.print("km/h  ");
}
else if (p2==1)
{
  lcd.print("Course: ");
  if (gps.course.isValid())
  {
    if (gps.speed.kmph(>15)
    {
      lcd.print(rumb); //rumb calculat amb les posicions actual i anterior. Major precisió en
moviment, preecisió nul·la sense desplaçament.
    }
    else {
      lcd.print(gps.course.deg());
    }
  }
  lcd.print(" ");
  lcd.print((char)223);
```



```
    lcd.print("    ");
}
else
{
    lcd.print("INVALID    ");
}
}
else if (p2==2)
{
    lcd.print("Partial: ");
    {
        lcd.print(distancia2,2);
        lcd.print("km    ");
    }
}
else if (p2==3)
{
    lcd.print("Height: ");

if (gps.altitude.isValid())
{
    lcd.print(gps.altitude.meters());
    lcd.print(" m    ");
}
else
{
    lcd.print("INVALID    ");
}
}
else if (p2==4)
{
    lcd.print("Date: ");
    if (gps.date.isValid())
```

```
{
  lcd.print(gps.date.day());
  lcd.print("/");
  lcd.print(gps.date.month());
  lcd.print("/");
  lcd.print(gps.date.year());
  lcd.print("  ");
}
else
{
  lcd.print("INVALID  ");
}
}
else if (p2==5)
{
  lcd.print("Time: ");
  if (gps.time.isValid())
  {
    lcd.print(gps.time.hour()+2); // GMT+2 horari d'estiu local
    lcd.print(":");
    lcd.print(gps.time.minute());
    lcd.print(":");
    lcd.print(gps.time.second());
    lcd.print("  ");
  }
  else
  {
    lcd.print("INVALID  ");
  }
}

else if (p2==6)
{
  lcd.print("Lat: ");
```

```
if (gps.location.isValid())
{
  lcd.print(gps.location.lat(),6);
  lcd.print(" ");
  lcd.print((char)223);
  lcd.print(" ");
}
else
{
  lcd.print("INVALID ");
}
}
else if (p2==7)
{
  lcd.print("Long: ");
  if (gps.location.isValid())
  {
    lcd.print(gps.location.lng(),6);
    lcd.print(" ");
    lcd.print((char)223);
    lcd.print(" ");
  }
  else
  {
    lcd.print("INVALID ");
  }
}
}
lcd_key = read_LCD_buttons(); // read the buttons

switch (lcd_key) // depending on which button was pushed, we perform an
action
{
  case btnRIGHT:
  {
```

```
p2 = p2 + 1;
delay(200);
break;
}
```

```
case btnLEFT:
```

```
{
p2 = p2 - 1;
delay(200);
break;
}
```

```
case btnUP:
```

```
{
distancia =distancia+0.05;
delay(25);
break;
}
```

```
case btnDOWN:
```

```
{
distancia = distancia-0.05;
delay(25);
break;
}
```

```
case btnSELECT:
```

```
{
distancia2=0;
```

```
// if (p2==0 && p1==0){p1=1;} //passar manualment de gps a efecte hall
```

```
// if (p2==0 && p1==1){p1=0;}
```

```
break;
}
```

```
case btnNONE:
```

```
    {  
    }  
}  
}  
  
void displayInfo()  
{  
  if (gps.location.isValid());  
  {  
    Serial.print(F("Satellites: "));  
    Serial.print(gps.satellites.value());  
  }  
  Serial.print(F(" Location: "));  
  
  if (gps.location.isValid())  
  {  
    Serial.print(gps.location.lat(), 7);  
    Serial.print(F(", "));  
    Serial.print(gps.location.lng(), 7);  
    Serial.print(", Altitude:"); Serial.println(gps.altitude.meters());  
  }  
  else  
  {  
    Serial.print(F("INVALID"));  
  }  
  Serial.print(F(" Speed(km/h): "));  
  if (gps.speed.isValid())  
  {  
    Serial.print(gps.speed.kmph());
```

```
}  
else  
{  
  Serial.print(F("INVALID"));  
}  
  
Serial.print(F(" Date/Time: "));  
if (gps.date.isValid())  
{  
  Serial.print(gps.date.day());  
  Serial.print(F("/"));  
  Serial.print(gps.date.month());  
  Serial.print(F("/"));  
  Serial.print(gps.date.year());  
}  
else  
{  
  Serial.print(F("INVALID"));  
}  
  
Serial.print(F(" "));  
if (gps.time.isValid())  
{  
  if (gps.time.hour() < 10) Serial.print(F("0"));  
  Serial.print(gps.time.hour());  
  Serial.print(F(":"));  
  if (gps.time.minute() < 10) Serial.print(F("0"));  
  Serial.print(gps.time.minute());  
  Serial.print(F(":"));  
  if (gps.time.second() < 10) Serial.print(F("0"));  
  Serial.print(gps.time.second());  
}  
else  
{
```

```
    Serial.print(F("INVALID"));
}

Serial.print(F(" Course: "));
if (gps.course.isValid())
{
    Serial.print(gps.course.deg());
}
else
{
    Serial.print(F("INVALID"));
}
Serial.println();
}
```