

---

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grau en Enginyeria de Sistemes de Telecomunicacions, So i Imatge

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## «Disseny d'un compàs satel·litari de baix cost»

*TREBALL FINAL DE GRAU*

**Autor:**  
*Josep Salvador Pont Sanjuan*

**Tutora UPV:**  
*Maria Asunción Pérez Pascual*

**Tutor Atmosferia Projects S.L.:**  
*Eloy Martinez*

*GANDIA, 2017*

---

El meu pas pel Campus de Gandia està ple d'històries amb companyes de classe, tant de l'enginyeria tècnica com del grau, amb companyes d'audiovisuals, d'ambientals, de turisme, he fet moltes amistats i més que amistat i em quede amb totes elles, amb totes les vivències que ara esdevenen records, records que guardaré amb molta estima.

Aquest treball és la culminació dels esforços de tota una família. Si sóc l'autor material del mateix, la meua família, els meus pares i la meua germana, han sigut els autors de tot el recolzament anímic, econòmic i logístic, factors indispensables per a poder realitzar aquest somni que és transformar-se en enginyer. Gràcies per tot pare, mare, germana, Salva, Rafaela i Esther, moltes gràcies per tota la dedicació amb mi, ara em toca a mi dedicar-me a vosaltres.

---

## Índex

CAPÍTOL 1- INTRODUCCIÓ.....	7
1.1- Breu història de la navegació.....	7
1.2- Sistema de posicionament global per satèl·lit.....	8
1.2.1- Constel·lacions.....	8
1.2.2- Freqüències i modulacions.....	9
1.3- Funcionament.....	11
CAPÍTOL 2- OBJECTIUS.....	13
2.1- Revisió dels compassos satel·litaris existents actualment.....	13
2.2- Proposta de compàs satel·litari.....	13
CAPÍTOL 3- ESTAT DE L'ART.....	14
3.1- Definició de paràmetres.....	14
3.1.1- Requisits operacionals de la navegació per instruments.....	14
3.2- Sistemes de millora del funcionament dels receptors GNSS.....	16
3.2.1- Sistemes d'augmentació.....	16
3.2.2- IMU.....	17
3.3- Angles de navegació.....	17
3.4- Taula comparativa.....	18
CAPÍTOL 4- PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.....	20
CAPÍTOL 5- SISTEMA PROPOSAT.....	23
5.1- Elements que conformen el sistema.....	23
5.2- Posada apunt de les antenes.....	26
5.3- Posada apunt dels dispositius FTDI.....	34
5.4- Implementació del codi.....	37
5.4.1- Codi d'adquisició escrit en Bash.....	37
5.4.2- Codi Java per al calcul de rumb.....	38
5.5- Muntatge del prototip.....	44
5.6- Prototip final.....	47
CAPÍTOL 6- CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR.....	48
6.1- Compliment de l'objectiu.....	48
6.2- Problemes i solucions.....	48
6.3- Conclusions sobre el projecte.....	48
6.4- Treball futur.....	49

## Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1: Trilateració. Font.....	12
Il·lustració 2: Exactitud vs Precisió.....	15
Il·lustració 3: Precisió.....	15
Il·lustració 4: Mesurament del numero de longituds d'ona.....	21
Il·lustració 5: Localització amb tres satèl·lits representada amb circumferències on el radi és la distància al receptor.....	22
Il·lustració 6: Raspberry Pi 2B.....	24
Il·lustració 7: UMFT234XD-01.....	25
Il·lustració 8: Pins UMFT234XD-01.....	25
Il·lustració 9: G-Top Titan 2.....	27
Il·lustració 10: Comparació entre el receptor i una moneda d'un cèntim d'euro i una fila de pins..	27
Il·lustració 11: Entorn de treball d'Sprint Layout 6.0 amb l'editor de footprints.....	28
Il·lustració 12: A l'esquerra, configuració de pads exteriors. A la dreta, configuració de pads interiors.....	29
Il·lustració 13: Traç de pista entre dos pads.....	29
Il·lustració 14: Footprints acabats.....	30
Il·lustració 15: footprint imprès a la PCB.....	30
Il·lustració 16: Vista amb microscopi. Esquerra: Receptor col·locat sobre els pads. Dreta: receptor soldat a la PCB.....	30
Il·lustració 17: Planta i perfil del receptor instal·lat a la PCB.....	30
Il·lustració 18: Estació de soldadura.....	31
Il·lustració 19: Disposició de pins del receptor Titan 2.....	31
Il·lustració 20: Receptor montat al seu suport.....	32
Il·lustració 21: Espai de treball de GPS Vewer.....	32
Il·lustració 22: Pantalla de configuració dels missatges NMEA.....	33
Il·lustració 23: Configuració establerta.....	33
Il·lustració 24: Captura de dades del receptor des de terminal Linux.....	35
Il·lustració 25: Condicions a la mar.....	36
Il·lustració 26: Receptor acoblat a la barra.....	45
Il·lustració 27: Primer prototip.....	45
Il·lustració 28: Raspberry Pi i monitor instal·lats a l'interior del cotxe.....	45
Il·lustració 29: Eina en línia per a traçats a mapes.....	46
Il·lustració 30: Oest.....	46
Il·lustració 31: Sud.....	46
Il·lustració 32: Est.....	46
Il·lustració 33: Nord.....	46
Il·lustració 34: Est.....	46
Il·lustració 35: Oest.....	46
Il·lustració 36: Nord.....	46
Il·lustració 37: Sud.....	46
Il·lustració 38: Prototip Final.....	47

## Índex de taules

Taula 1: Freqüències dels satèl·lits de la constel·lació GLONASS.....	9
Taula 2: Comparativa. Estudi de mercat.....	18
Taula 3: Comparativa antenes.....	25
Taula 4: Funció dels pins del receptor Titan 2.....	31

---

## Llistat d'acrònims:

- ABAS: Aircraft-Based Augmentation System
- Bash: Bourne-Again SHell
- BPSK-NRZ: Binary Phase-Shift Keying Non Return to Zero
- CBOC: Composite Binary Offset Carrier
- CDMA: Code Division Multiple Access
- DOP: Dilution of Precision
- EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service
- FDE: Fault Detection and Exclusion
- FDMA: Frequency Division Multiple Access
- FTDI: Future Technology Devices Internacional
- GAGAN: GPS Aided Geo Augmented Navigation
- GBAS: Ground-Based Augmentation System
- GLONASS: Globalnaya Navigatsionaya Sputnikovaya Sistema
- GNSS: Global Positioning Satellite System
- GPS: Global Positioning System
- IMU: Inertial Measurement Unit
- MCC: Mission Control Central
- MSAS: Multi-functional Satellite Augmentation System
- NMEA: National Marine Electronics Association
- PCB: Printed Circuit Board
- QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying
- SBAS: Satellite-Based Augmentation System
- SMD: Surface Mounted Device
- UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
- UAV: Unmanned Aerial Vehicle
- UML: Unified Modeling Language
- USB: Universal Serial Bus
- UTC: Coordinated Universal Time
- WAAS: Wide Area Augmentation System
- WMS: Wide-area Master Stations
- WRS: Wide-area Reference Stations

---

## Resum

En aquest treball es crea un nou disseny de compàs satel·litari de baix cost el qual és crucial a l'hora de determinar el rumb d'un vaixell. Es realitza un estudi de mercat on es donen a conèixer les principals característiques dels compassos satel·litaris existents actualment al mercat i així poder orientar quin serà l'objectiu a assolir. La idea és aconseguir determinar el rumb amb uns receptors GNSS i com a processador de dades una Raspberry Pi, tots dos amb un preu disponible per a qualsevol persona. A més, haurà de garantir una precisió tant en el posicionament com en el rumb comparables amb els sistemes que operen actualment.

S'aconsegueix mitjançant un codi escrit en llenguatge Bash el qual és l'encarregat d'adquirir les dades dels receptors i un altre codi escrit en llenguatge Java, el qual és l'encarregat de proporcionar les dades processades. Finalment es crea un arxiu de registre d'eixida en format CSV on es trobaran les coordenades del vaixell i el rumb que duu en cadascuna de les posicions.

**Paraules clau:** GNSS, NMEA, Java, Bash, brúixola, GPS, GLONASS, navegació.

## Abstract

In this work, a new low cost satellite compass, which is crucial in determining the course of a ship, is created. A market study has been carried out based on the main characteristics of the existing satellite compasses, in order to define our goal. The main goal of this work is to determine the course of a ship with the aid of some GNSS receivers connected to a Raspberry pi data processor at affordable cost. Additionally, the whole system must have an accuracy comparable to current systems in terms of position and course angle. The software implemented uses the language Bash for developing the functions that acquire data, and Java for programm the application that processes it. Finally, an output file is created in CSV format. This file contains the coordinates and the course of the ship.

**Keywords:** GNSS, NMEA, Java, Bash, compass, GPS, GLONAS, navigation.

### CAPÍTOL 1 INTRODUCCIÓ

---

L'estructura del present document està dividida en sis apartats. Al capítol un, la introducció, es presenta una breu història de la navegació i així entendre els precedents i les motivacions que hi va haver en millorar els sistemes que ajudaven a navegar i la importància que tenen aquests sistemes per tal de efectuar un trajecte de forma eficient. A l'apartat 1.2 s'entra de ple en els sistemes globals de posicionament per satèl·lit (GNSS per les seues sigles en anglès) que engloben tots els sistemes destinats a efectuar la tasca de la geolocalització. S'ha d'entendre que es parlarà de GNSS, no solament del Sistema de Posicionament Global (GPS) el qual és un exemple de GNSS. Es mencionaran detalls de les constel·lacions, freqüències de cadascuna d'elles, modulacions i operativitat. A l'apartat 1.3 s'explicarà el funcionament en el que es basen els receptors GNSS per a calcular la seua posició, és a dir, la trilateració inversa.

Al capítol dos es presenta l'objectiu del projecte prenent com a precedent els sistemes actuals de compàs satel·litaris.

El tercer capítol es presenta l'estat de l'art a partir de la definició dels paràmetres dels quals els sistemes de posicionament i navegació depenen, els sistemes de millora per a la navegació, es donen a conèixer els angles de navegació utilitzats en navegació marítima i, finalment, es presenta una exhaustiva comparativa entre els compassos satel·litaris presents actualment al mercat, en forma de taula.

Al quart capítol es plantegen els problemes existents a l'hora d'utilitzar els GNSS, sobretot quan s'utilitzen receptors de forma independent, és a dir, sense els sistemes de millora per a la navegació, els quals no sempre estan disponibles o mai, si els vaixells estan a indrets allunyats de terra ferma.

Al quint capítol es presenta la solució pensada per al funcionament compàs satel·litari de baix cost i finalment al sext i últim capítol es treuen conclusions i es donen opcions de treball futur per a continuar amb aquest projecte.

#### **1.1 Breu història de la navegació.**

Els nostres avantpassats, quan van començar a viatjar feien ús de la posició dels astres per a poder seguir una ruta. Normalment es guiaven amb l'estrela polar atès que, aquesta, manté una posició quasi fixa al firmament. D'aquesta forma tenien localitzat el nord i el sud i sabent que el sol i la lluna marquen els punts Est-Oest a la seua eixida i la seua posta, ja tenien els quatre punts de referència per a poder desplaçar-se sense gaire pèrdua.

Pel que es sap, quan les persones van començar a navegar a la mar van continuar guiant-se de la mateixa forma però el problema que tenien era que a la mar no existien ni els punts de referència ni els camins a seguir que les persones havien traçat a terra ferma i que tan sols hi havia que tindre cura de no perdre quan les condicions climàtiques no permetien observar el cel. Per a poder mantenir localitzat el nord es va començar a intensificar l'ús de la brúixola o, el seu equivalent nàutic, el compàs, element que està format per una agulla magnetitzada suspesa en un líquid, normalment aigua, que s'orienta en direcció nord-sud seguint el camp magnètic terrestre. Aquest últim detall ens diu que el nord que indica el compàs serà el nord magnètic. S'ha d'entendre que el nord magnètic i el geogràfic no coincideixen al mateix punt ja que el nord magnètic varia contínuament i, a l'hora de traçar el rumb, eixe fet s'ha de tenir en compte. A la desviació entre nord magnètic i geogràfic se l'anomena declinació magnètica. A més a més, a la declinació magnètica se li ha d'afegir el desviament del compàs, creat pels diferents elements metàl·lics del que està format el vaixell i el mateix compàs.

## INTRODUCCIÓ

---

Per a evitar caure en error degut a la declinació magnètica, van començar-se a utilitzar les cartes de navegació. Aquestes cartes indicaven que el rumb havia de calcular-se en referència a l'azimut, es a dir, amb la desviació respecte al nord geogràfic. Per a poder traçar al mapa el rumb s'ha de conèixer primer la declinació magnètica. Si la declinació magnètica és a l'Est, llavors l'azimut serà el rumb més la declinació magnètica ( $Az = Rm + Dm$ ), en canvi, si la declinació magnètica és a l'Oest llavors l'azimut és igual al rumb menys la declinació magnètica ( $Az = Rm - Dm$ ). Per facilitar les equacions i que s'utilitze una sola, s'usa l'equació on l'azimut és el rumb més la declinació magnètica tenint en compte la convenció de signes on Est és positiu i Oest és negatiu. Exemple: per trobar l'azimut en un punt on el rumb és de  $60^\circ$  i la declinació magnètica és de  $5^\circ$  Oest ( $-5^\circ$ ), s'utilitza la fórmula:  $Az = Rm + Dm = 60^\circ + (-5^\circ) = 55^\circ$ . [1]

Més endavant en el temps, en plena revolució industrial, van sorgir més dispositius amb una millor precisió, entre d'altres podem trobar el girocompàs. El girocompàs, creat l'any 1885, és un dispositiu que marca el nord geogràfic utilitzant un complex sistema de discs i anells rotatoris, moguts elèctricament i les forces de fricció per a aprofitar la rotació de la terra. Són amplament utilitzats als vaixells ja que presenten dos grans avantatges respecte al compàs magnètic:

- Apunta al nord geogràfic, estalviant els càlculs on hi havia que tenir en compte la declinació magnètica.
- No es veuen afectats pels metalls del vaixell.

En contrapartida, el també anomenat compàs giroscòpic és un element que degut a la seua complexitat resulta una solució cara de fabricar, afegint que es requereix una constant calibració i manteniment, fets que augmenten més el cost. Així i tot, actualment encara es poden trobar girocompassos als vaixells atès que és una solució precisa i totalment funcional.

## 1.2 Sistema de posicionament global per satèl·lit.

### 1.2.1 Constel·lacions.

Si el girocompàs va néixer a l'època de la revolució industrial, el següent pas en la història de la navegació s'ha donat gràcies a la revolució tecnològica de la segona meitat del segle vint. Es tracta del *GPS*.

El *GPS* és un sistema que utilitza una xarxa de satèl·lits artificials per a determinar la posició d'un element en la terra de forma precisa. La xarxa està formada per un total de 27 satèl·lits (24 operatius i tres de recolzament) que orbiten la terra amb sis plànols orbitals diferents a uns 22200 km d'altitud.

Amb la mateixa premissa van néixer altres sistemes anàlegs al *GPS* com el *GLONASS*, que pertany al ministeri de defensa de la federació russa o el *Galileo*, una iniciativa de la Agència Espacial Europea i de la Unió Europea, aquesta baix control civil i previst que iniciï el seu funcionament a partir de l'any 2019. Des d'aquest punt, començarà a anomenar-se Sistema Global de Navegació per Satèl·lit (amb l'acrònim anglès *GNSS*) de forma que s'entenga que estan tots tres inclosos.

A a les diferents xarxes de satèl·lits que donen el servei se li anomenen constel·lacions. A continuació es presenten en més detall.

- *GPS*: El sistema va ser desenvolupat i instal·lat pel departament de defensa dels EUA qui és també qui actualment l'opera. Inicialment conegut com *NAVSTAR*, és un sistema de navegació per satèl·lit (*GNSS*). Aquest sistema està format per una xarxa de 24 satèl·lits



## INTRODUCCIÓ

que fan servir una òrbita circular intermèdia (Intermediate Circular Orbit -ICO-, en anglès). Els satèl·lits estan repartits en sis plànols orbitals de quatre satèl·lits cadascun. Orbiten la terra a una altitud de 20.200 km i amb una inclinació de 55° respecte l'equador terrestre.[2]

- **GLONASS:** Aquest el sistema anàleg al GPS creat pel ministeri de defensa de la Unió Soviètica i actualment operat pel ministeri de defensa de la Federació Russa. Consta d'una constel·lació de 31 satèl·lits dels quals hi han 24 en actiu, tres de repost, dos en manteniment, un en servei i un altre en proves. Estan situats en tres planols orbitals amb huit satèl·lits a cadascun dels plànols, seguint una òrbita inclinada de 64,8° amb un radi de 25.510 km. Aquesta constel·lació es mou al voltant de la terra a una altitud de 19.100 km, lleugerament més baix que els del GPS. [2]
- **Beidou:** Està desenvolupat per la República Popular Xina. En principi aquest sistema només donava cobertura a la Xina i als països veïns. El fet de que no fos un sistema global és perquè utilitzava satèl·lits geoestacionaris que cobreixen només un àrea determinada. Actualment s'està desenvolupant la segona fase del projecte, anomenada Compass o Beidou-2 que ja serà un sistema de posicionament global com el GPS.
- **Galileo:** És el programa europeu de radionavegació i posicionament per satèl·lit, desenvolupat per la Unió Europea (UE) conjuntament amb l'Agència Espacial Europea (ESA). Al contrari que els sistemes nomenats anteriorment, aquest sistema, que s'espera que estiga en marxa el 2020, serà d'ús civil. Està previst que dispose de 30 satèl·lits operatius en tres orbites diferents inclinats en un angle de 56° i a una altitud de 23.222 km.

### 1.2.2 Freqüències i modulacions.

Les freqüències en les que treballen els satèl·lits dels diferents GNSS són les següents:

#### **GPS:**

Portadora L1 centrada en la freqüència 1.575,42 MHz

Portadora L2 centrada en la freqüència 1.227,60 MHz

Portadora L5 centrada en la freqüència 1.176,45 Mhz

Cadascuna de les freqüències s'obté coherentment com un múltiple de la freqüència fonamental  $f_0=10,23$  MHz.

La longitud d'ona s'obté multiplicant la inversa de la freqüència per la velocitat de la llum.

L1: Per obtenir la freqüència L1 es multiplica per 154 la freqüència fonamental  $f_0$ .

$$L1 = 154 \times f_0 = 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1.575,42 \text{ MHz.}$$

La longitud d'ona d'aquesta freqüència és:

$$\lambda = \frac{1}{1.575,42 \text{ MHz}} \times 299792,458 \text{ km/s} = 0,000190293 \text{ Km} \approx 19,02 \text{ cm}$$

L2: Per obtenir la freqüència L2 es multiplica per 120 la freqüència fonamental  $f_0$ .

$$L2 = 120 \times f_0 = 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1.227,60 \text{ MHz.}$$

La longitud d'ona d'aquesta freqüència és:

$$\lambda = \frac{1}{1.227,60 \text{ MHz}} \times 299792,458 \text{ km/s} = 0,00024421 \text{ Km} \approx 24,42 \text{ cm}$$

L5: Per obtenir la freqüència L5 es multiplica per 120 la freqüència fonamental  $f_0$ .

## INTRODUCCIÓ

$115 \times f_0 = 115 \times 10,23 \text{ MHz} = 1.176,45 \text{ MHz}$ .

La longitud d'ona d'aquesta freqüència és:

$$\lambda = \frac{1}{1.176,45 \text{ MHz}} \times 299792,458 \text{ km/s} = 0,000254828 \text{ Km} \approx 25,48 \text{ cm}$$

Modulació BPSK NRZ.

Tècnica d'accés CDMA.

### **GLONASS:**

L1: Senyal portadora centrada en 1602 MHz. Fase: (I): Ús militar, (Q): Senyal L1 civil.

L2: Senyal portadora centrada en 1246 MHz. Fase: (I): Ús militar; (Q): Senyal L2 civil.

L3: Senyal portadora centrada en 1201.5 MHz. Fase:(I): Portadora senyal L3 civil; (Q) Senyal L3 civil.

Totes les freqüències es deriven d'una freqüència fonamental de 5 MHz que és la freqüència fonamental de l'oscil·lador del rellotge de cesi que duu instal·lat cadascun dels satèl·lits. A diferència del GPS, al GLONASS cadascun dels satèl·lits transmet en la seua pròpia freqüència portadora que es deriva de cadascuna de les següents equacions:

La banda L1 funciona en la freqüència  $1602+0.5625 \cdot K$  MHz, on K és el canal per a cada satèl·lit:

$$f_{K1} = f_{01} + K \cdot f_1. \text{ On } K = (-7, 13). \\ f_{01} = 1602 \text{ MHz}; f_1 = 562.5 \text{ kHz}.$$

La banda L2 funciona en la freqüència  $1246+0.4375 \cdot K$  MHz, on K és el canal per a cada satèl·lit:

$$f_{K2} = f_{02} + K \cdot f_2. \text{ On } K = (-7, 13). \\ f_{02} = 1246 \text{ MHz}; f_2 = 437.5 \text{ kHz}.$$

Modulació BPSK Manchester.

Tècnica d'accés FDMA.

A continuació es mostra un llistat de les freqüències de cadascun dels canals de les bandes L1 i L2:

No. of channel	Nominal value of frequency in L1 sub-band, MHz	No. of channel	Nominal value of frequency in L2 sub-band, MHz
13	1609.3125	13	1251.6875
12	1608.75	12	1251.25
11	1608.1875	11	1250.8125
10	1607.625	10	1250.375
09	1607.0625	09	1249.9375
08	1606.5	08	1249.5
07	1605.9375	07	1249.0625
06	1605.375	06	1248.625
05	1604.8125	05	1248.1875
04	1604.25	04	1247.75
03	1603.6875	03	1247.3125
02	1603.125	02	1246.875
01	1602.5625	01	1246.4375
00	1602.0	00	1246.0
-01	1601.4375	-01	1245.5625
-02	1600.8750	-02	1245.1250
-03	1600.3125	-03	1244.6875
-04	1599.7500	-04	1244.2500
-05	1599.1875	-05	1243.8125
-06	1598.6250	-06	1243.3750
-07	1598.0625	-07	1242.9375

## INTRODUCCIÓ

---

Encara que el número de freqüències siga menor que el número de satèl·lits, dos satèl·lits antipodals d'un mateix plànol orbital poden treballar a la mateixa freqüència ja que mai es podran rebre els dos senyals de forma simultània.

### **BEIDOU**

Per al sistema BEIDOU es tindran en compte els satèl·lits de la segona generació, també anomenada COMPASS. Aquesta decisió es pren perquè la primera generació només té cobertura a la Xina i països veïns degut a que en compte de fer ús de satèl·lits amb orbites mitjanes, s'empren satèl·lits geoestacionaris i la segona, el COMPASS, si que té cobertura mundial.

B1: Senyal portadora centrada en 1561.098 MHz (B1) i 1598,742 MHz (B2).

B2: Senyal portadora centrada en 1207,14 MHz.

B3: Senyal portadora centrada en 1268,52 MHz.

Modulació QPSK.

Tècnica d'accés CDMA.

### **GALILEO**

E1: Senyal portadora centrada en 1575,42 MHz.

Modulació CBOC (E1 Open Service), BOC (PRS)

Tècnica d'accés CDMA

E6: Senyal portadora centrada en 1278,75 MHz.

Modulació BPSK (E6 Commercial Service (CS) data i CS pilot), BOC (E6 PRS)

Tècnica d'accés CDMA.

E5: Senyal portadora centrada en 1191,795 MHz.

Modulació AltBOC.

Tècnica d'accés CDMA.

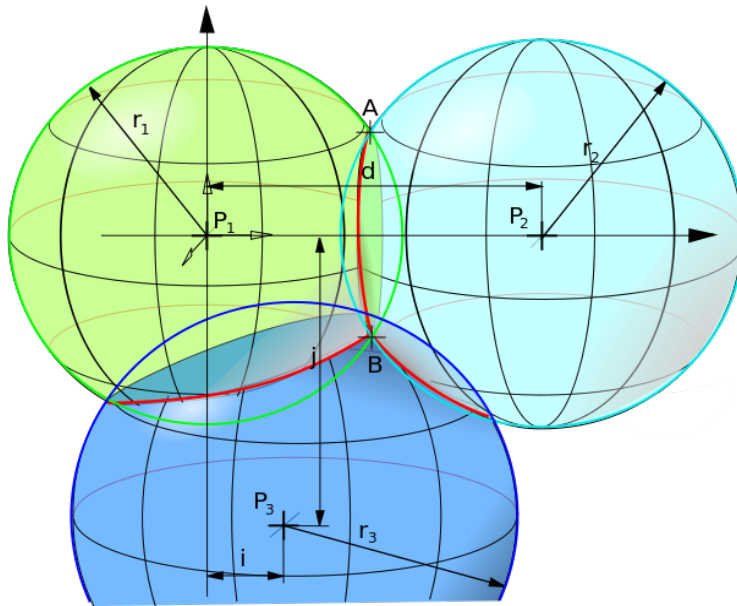
## **1.3 Funcionament**

Per poder determinar la posició d'un receptor GNSS es fa ús de la trilateració. La trilateració és un mètode matemàtic per a poder determinar la posició relativa d'un objecte utilitzant la geometria dels triangles de forma anàloga a la triangulació. El que diferencia la trilateració és que es calcula partint del coneixement de la distància a almenys 3 satèl·lits i també de la localització de cadascun dels satèl·lits en cada moment. Per a saber les dades del satèl·lit, aquest envia contínuament un missatge de navegació a 50 bits per segon en dues freqüències, 1575,42 MHz (L1) i 1227,6 MHz (L2, per a ús militar). Al missatge, de 30 segons de durada, el satèl·lit envia l'hora exacta que marca el rellotge atòmic que duu a l'interior, el numero de setmana del satèl·lit i un informe del seu estat per saber-ne si pot estar defectuós i si cal tenir la seua informació en compte o no. A més a més el satèl·lit també envia una seqüència amb soroll pseudoaleatori (PRN) que és única en cadascun d'ells, fet que permet als receptors identificar-los i descodificar els codis a partir d'una base de dades. Aquestes transmissions són cronometrades per a començar al minut i al mig minut segons el rellotge atòmic intern.

Per tant, el receptor rep dos tipus de dades, unes anomenades efemèrides, que consten de la informació referida al propi satèl·lit com ara la distància a la terra i la seua pròpia orbita i altres anomenades almanacs, que consten d'una serie de paràmetres generals sobre la ubicació i operativitat en relació als demés satèl·lits. Amb l'últim almanac i l'hora precisa, el receptor sap on buscar els demés satèl·lits en l'espai. Amb les dades de les efemèrides, el receptor calcula la

## INTRODUCCIÓ

distància al satèl·lit al veure el retard que ha tingut entre que han estat enviades i l'hora del rellotge intern del receptor. Tenint aquesta distància calculada es pot entendre que el receptor està a la superfície d'una esfera amb centre el satèl·lit i radi la distància del satèl·lit al receptor. Tenint dades d'un segon satèl·lit la posició es redueix a una circumferència que serà el resultat de la intersecció de les dues esferes i, finalment, amb les dades d'un tercer satèl·lit es calcula el punt intersecat amb les tres esferes i s'aconsegueix la sincronització dels rellotges dels satèl·lits amb el del receptor, cosa que fa que els càlculs siguin més precisos, de fet, a major nombre de satèl·lits «visibles» pel receptor, més precisos seran els càlculs per al posicionament obtinguts.



*Il·lustració 1: Trilateració. Font:*

*<https://es.wikipedia.org/wiki/Trilateraci3n>*

Estant a B, volem conèixer la seua posició relativa als punts de referència P1, P2, i P3. En mesurar  $r_1$  es redueix la nostra posició a una esfera. A continuació, mesurant  $r_2$ , la reduïm a dos punts, A i B. Una tercera mesura,  $r_3$ , ens retorna les nostres coordenades en B. Una quarta mesura també pot fer-se per reduir i estimar l'error.

### CAPÍTOL 2 OBJECTIUS

#### 2.1 Revisió dels compassos satel·litaris existents actualment.

En l'actualitat els compassos satel·litaris són essencials per a la navegació marítima. Aquests dispositius permeten al comandant del vaixell mantenir el rumb en referència al nord geogràfic sense els problemes que suposen els vents i les corrents transversals. A més a més, al estar basats en la tecnologia GNSS no tenen parts mecàniques pel que el manteniment dels mateixos és mínim i el seu pes i dimensions, en comparació amb els dispositius com el girocompàs, és insignificant i això suposa un gran avantatge sobretot per als vaixells xicotets.

Aquests sistemes es comercialitzen a un preu mínim al voltant dels 2000€ i poden arribar als 10000€, depenent de les característiques. Més endavant, en aquest document es mostra una taula comparativa amb els diferents fabricants i les característiques dels compassos satel·litaris.

#### 2.2 Proposta de compàs satel·litari

La proposta de compàs satel·litari que es presenta en aquest document està basada en les característiques dels compassos dels diferents fabricants existents. Aquest projecte està emmarcat dintre d'un projecte més ampli dirigit per l'empresa Atmosferia Projectes S.L. consistent en el disseny d'una xarxa de dispositius útils per a la navegació. Haurà de donar la posició i el rumb del vaixell amb, com a mínim, la mateixa precisió que els compassos existents i amb una freqüència que permeta reaccionar en cas de necessitar una maniobra d'evasió. L'objectiu és aconseguir-ho sense sobrepassar el 10% del cost de qualsevol dels compassos existents al mercat.

Per a aconseguir-ho s'ha realitzat un estudi exhaustiu dels models existents al mercat per tal d'entendre el funcionament en diferència amb un receptor GNSS independent. També s'estudia el protocol NMEA 0183 el qual conté els missatges composts pels almanacs i les efemèrides dels satèl·lits que contenen informació sobre la posició, l'altitud, l'hora i dades sobre la constel·lació dels satèl·lits.

Partint d'eixos coneixements es dissenya primer un script escrit en Bash per a l'adquisició de les dades de les antenes i posteriorment un programa escrit en Java per al processat de les mateixes. Aquest treball es realitza utilitzant una Raspberri Pi model 2B la qual anirà instal·lada al prototip i donarà una eixida en format CSV per a ser enviada al ordinador principal del vaixell, el qual tindrà control sobre diferents subsistemes que queden fora d'aquest projecte.

## CAPÍTOL 3 ESTAT DE L'ART

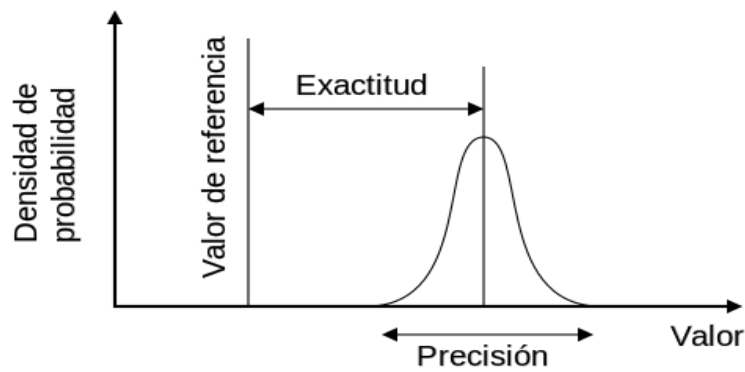
En aquest capítol van a definir-se els paràmetres amb els quals es basa el bon funcionament dels sistemes de navegació. Per altra banda s'expliquen els sistemes d'ajuda en la navegació i millora en la precisió. Finalment s'elabora una taula comparativa en la qual es presenten els principals compassos satel·litaris que es troben actualment el mercat per saber quines són les característiques que tenen i així poder tenir un punt de partida amb el qual començar a treballar amb el compàs satel·litari de baix cost.

### 3.1 Definició de paràmetres

Per a la realització del projecte del compàs satel·litari s'ha considerat tenir ple coneixement dels següents paràmetres:

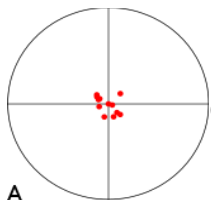
#### 3.1.1 Requisits operacionals de la navegació per instruments. [3]

- ***Exactitud***: És la capacitat d'un instrument d'acostar-se al valor de la magnitud real. La exactitud depèn dels errors sistemàtics que intervenen en el mesurament, denotant la proximitat d'una mesura al vertader valor i, en conseqüència, la validesa de la mesura. En termes estadístics l'exactitud està relacionada amb el biaix d'una estimació. Quant menor és el biaix més exacta és una estimació. Quan s'expressa l'exactitud d'un resultat, s'expressa mitjançant l'error absolut que és la diferència entre el valor experimental i el valor vertader.
- ***Integritat***: Mesura de la confiança posada en la validesa de la informació (precisió de navegació), proporcionada pel sistema total incloent la funció de navegació i guiat. La integritat comprèn l'habilitat d'un sistema supervisor per proporcionar a temps alertes que adverteixen quan el sistema no ha de ser utilitzat per a l'operació desitjada. En aquest context, el temps d'alerta ve definit com el màxim període de temps transcorregut entre l'ocurrència d'un error, com un paràmetre fora de toleràncies i la notificació a l'usuari que aquesta decisió ha passat.
- ***Continuïtat***: Es resumeix en el funcionament del sistema de navegació sense interrupcions no programades. Les interrupcions no programades són aquelles que no són provocades per les persones de forma deliberada. Per exemple, aquestes interrupcions poden donar-se per a realitzar tasques de manteniment.
- ***Disponibilitat***: És una mesura que ens indica quant de temps està disponible el sistema respecte de la duració total durant la que es desitja que funcione. Típicament s'expressa en percentatge. En aquest cas es pot dir que és la part del temps durant la qual el sistema presenta simultàniament l'exactitud, la integritat i la continuïtat requerides.
- ***Precisió***: És la capacitat d'un instrument de donar el mateix resultat en mesuraments diferents realitzats en les mateixes condicions o de donar un resultat desitjat amb exactitud. La precisió reflexa la proximitat de distints mesuraments entre si i és funció exclusiva dels errors accidentals. Els resultats s'expressen amb un número més una indicació de l'error màxim estimat per a la magnitud, es a dir, s'indica una zona dins la qual està comprés el vertader valor de la magnitud.

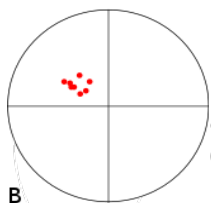


Il·lustració 2: Exactitud vs Precisió. Font: <https://es.wikipedia.org/wiki/Exactitud>. Agost 2017.

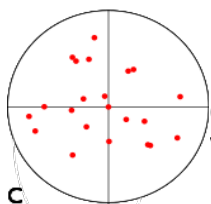
Es pren com a exemple els tirs disparats a una diana representada en la il·lustració 3:



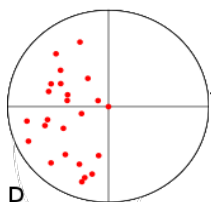
La il·lustració 3-A té un alt grau de precisió ates que els tirs estan molt propers entre ells, o siga, hi ha poca dispersió. També té un alt grau d'exactitud al estar els tirs concentrats al voltant del centre de la diana.



La il·lustració 3-B el grau de precisió és similar al de la figura A però en aquest cas l'exactitud és baixa perquè el grup de tirs s'ha desviat del centre de la diana.



A la il·lustració 3-C en canvi s'observa un baix grau de precisió ja que la dispersió dels tirs és gran. L'exactitud és gran ates que els tirs estan repartits al voltant del centre de la diana.



A l'últim cas, a la il·lustració 3-D, es veu un exemple on tant la dispersió dels tirs com el desviament a la part esquerra de la diana de tots els dispars fan que no hi haja ni precisió ni exactitud.

Il·lustració 3.

Font: [https://es.wikipedia.org/wiki/Precisió\\_y\\_exactitud](https://es.wikipedia.org/wiki/Precisió_y_exactitud)

[4]

## **3.2 Sistemes de millora del funcionament dels receptors GNSS.**

### **3.2.1 Sistemes d'augmentació.**

#### **3.2.1.1 ABAS**

Entre els sistemes que atorguen aquesta augmentació als receptors GPS estan els sistemes de Receptor amb Supervisió Autònoma de la Integritat (RAIM) i la funció de Detecció d'Errors i Exclusió (FDE). Els ABAS proporcionen la integritat requerida per a utilitzar el GPS com a mitjà únic suplementari i principal de navegació durant l'enlairament, en ruta, l'aterrament i les aproximacions de precisió i no-precisió.

RAIM: és una tecnologia per a determinar la integritat dels senyals dels GNSS-. Detecta errors en el senyal d'un satèl·lit d'una constel·lació GNSS comparant la informació sobre la posició i el temps obtesa de diverses combinacions de quatre satèl·lits en un conjunt de almenys cinc satèl·lits visibles. D'aquesta manera, pot detectar-se un satèl·lit defectuós i donar una advertència al pilot. El sistema RAIM no incorpora la capacitat de cancel·lar el senyal d'un satèl·lit avariats i per eixe motiu no es deu continuar confiant en la navegació GPS quan el RAIM detecta un satèl·lit amb problemes.

FDE: És una tècnica que combina el sistema RAIM per a excloure un satèl·lit defectuós i així permetre que es continue utilitzant el GPS exclouent-lo dels càlculs sempre i quan existeixquen suficients satèl·lits disponibles. [5]

#### **3.2.1.2 GBAS**

És un terme que compren tots els sistemes de augmentació basats en estacions terrestres. Es diferencien dels SBAS en que no depenen de satèl·lits geostacionaris ates que el GBAS no està dissenyat per a donar servei en grans extensions geogràfiques.

Du a terme la tasca a través d'una xarxa de receptors terrestres transmetent en les bandes VHF i UHF. D'aquestes estacions es coneix la seua posició de forma precisa i reben les dades de cada GNSS per a després transmetre la informació directament mitjançant radio als usuaris finals. [6]

#### **3.2.1.3 SBAS**

És la que més ens interessa. És un sistema de correcció dels senyals que els GNSS transmeten al receptor GPS. Milloren el posicionament horitzontal i vertical del receptor i donen informació sobre la qualitat dels senyals. Actualment estan en desenvolupament els següents sistemes SBAS. [7]

#### **3.2.1.4 WAAS**

Consisteix en complementar el sistema de satèl·lits GPS amb estacions terrestres que permeten corregir la precisió i la confiança en les coordenades de posició adquirides.

El sistema millora els càlculs de les coordenades compensant les causes típiques que afecten al sistema GPS: desajustos al rellotge intern del satèl·lit (errors de calendari), errors del satèl·lit en la estimació de la seua pròpia posició (errors orbitals) i influència atmosfèrica (amb major ionització, pitjors seran les condicions d'estimació). Aquest sistema millora dels 10 metres que posseeix el GPS als 5 metres el 95% del temps.



## ESTAT DE L'ART

---

El sistema consta de 59 estacions WRS, 2 estacions mestres WMS, 6 antenes per a la retransmissió de dades GES (Ground Earth Stations) i tres satèl·lits geostacionaris.

Les WRS observen els senyals GPS, les condicions ionosfèriques i el senyal de correcció WAAS i transmeten les dades a les estacions WMS. Totes les estacions WRS disposen de receptors de freqüència dual L1 i L2 connectat a un oscil·lador de cesi, un sensor meteorològic, un processador i maquinari necessari per a la transmissió de les dades a través d'Ethernet.

Les WMS prenen les dades de les estacions WRS, verifiquen els senyals de correcció anteriors i generen un nou senyal de correcció WAAS. Aquest senyal és transmès a les estacions GES i des d'aquestes es retransmet als satèl·lits geostacionaris per a després ser enviat als receptors WAAS. L'àrea de cobertura del WAAS es limita als EUA. [8]

### 3.2.1.5 EGNOS

Aquest sistema consisteix en una xarxa de satèl·lits geostacionaris i a una xarxa d'estacions terrestres encarregades de monitorar els errors en les senyals de GPS i actualitzar els missatges de correcció enviats per EGNOS.

Està compost per 34 estacions de referència i supervisió d'integritat (RIMS) que s'encarreguen de supervisar els satèl·lits de les constel·lacions GNSS. Cada satèl·lit ha d'estar supervisat per múltiples estacions RIMS abans que es generen les correccions i els missatges d'integritat.

Existeixen quatre MCC que processen les dades dels RIMS per a generar correccions WAD. El sistema EGNOS és totalment compatible amb el sistema WAAS

A banda existeixen els serveis MSAS, operat pel Japó i el GAGAN planejat per la Índia. Ambdós tenen una estructura de funcionament al WAAS i a l'EGNOS. [9][10]

### 3.2.2 IMU

És un dispositiu electrònic que mesura i informa de la velocitat, orientació i forces gravitacionals d'un aparell utilitzant una combinació d'acceleròmetres i giroscopis. Funciona detectant l'acceleració emprant acceleròmetres i detecta canvis en els atributs rotacionals com ara la direcció, capcineig i el guerxament utilitzant un o més giroscopis. [11]

## 3.3 Angles de navegació

En embarcacions aquests angles són:

- Angle de deriva (guinyada, direcció yaw): Rotació intrínseca al voltant de l'eix vertical de l'embarcació.
  - Angle d'inclinació (capcineig, pitch): Inclinació de la proa de l'embarcació o rotació respecte a l'eix babord-estribord.
  - Angle d'escora (guerxament, roll): Rotació respecte a l'eix proa-popa de l'embarcació. La precisió d'aquests angles ve donada en graus (°).[12]
-

### 3.4 Taula comparativa

BRAND	MODEL	CONSTELLATIONS	FREQUENCY	INTERFACE	SBAS	RAIM	IMU	FOLLOW-UP	ACCURACY (HEADING, PITCH, ROLL)	POSITIONING ACCURACY	DISPLAY	OTHER FEATURES	PRICE	WEAKS
<b>FURUNO</b>														
	SC-30	GPS	L1 (1575.42 MHz)	1 Port CAN-BUS (NMEA2000)	WAAS	NO	3 AXIS GYRO AND ACCELERATION SENSOR	45%/s	0.5 ° RMS	GPS 10 m, 95% WAAS 3 m, 95%	Optional	---	Up to 2000 \$	Interface unit not included, only two antennas
	SC-50	GPS	L1 (1575.42 MHz)	10 ports (5 ports in AD-10 or 10 ports in IEC61162-1/2) 1 Port in AD-10	WAAS	NO	--- (embedded?)	45%/s	0.5 ° RMS	GPS 10m, 95% DGPS 5m, 95% WAAS 3M, 95%	Monochrome LCD	DGPS Input, Pitch/Roll Data in Analog and Digital format	Up to 4000 \$	Monochrome display, no CAN-BUS
	SC-110	GPS	L1 (1575.42 MHz)	10 ports (5 ports in AD-10 or 10 ports in IEC61162-1/2) 1 Port in AD-10	WAAS EGNOS MSAS	NO	--- (embedded?)	45%/s	0.6 ° RMS	GPS 10m, 95% DGPS 5m, 95%	Monochrome LCD	DGPS Input, Pitch/Roll Data in Analog and Digital format	Up to 10000 \$	Monochrome display, no CAN-BUS
<b>JAVAD</b>														
	TRIUMPH-1M	GPS GLONASS	GPS L1/L2/L2C/L5 GLONASS L1/L2	Two RS232 Serial Ports USB Bluetooth WiFi NMEA0183 v. 2.x and 3.0 Output	WAAS EGNOS	YES	---	---	---	Autonomous <2 m Static, Fast Static Accuracy Horizontal: 0.3 cm + 0.1 ppm * Vertical: 0.35 cm + 0.4 ppm * Kinematic Accuracy Horizontal: 1 cm + 1 ppm * Vertical: 1.5 cm + 1 ppm * RTK (OTF) Accuracy Horizontal: 1 cm + 1 ppm * Vertical: 1.5 cm + 1 ppm * DGPS Accuracy < 0.25 m post processing; < 0.5 m real-time	---	4G LTE MicroSIM card slot SD card slot RTK	9990 \$	No display included, Satellite compass is optional. Only receiver. Only for land survey solutions
	TRIUMPH-4X	GPS GALILEO	GPS L1/L2/L2C/L5 Galileo E1/E5A	Two RS232 Serial Ports USB Bluetooth WiFi NMEA0183 v. 2.x and 3.0 Output	WAAS EGNOS	YES	Gyroscopes: 3 Accelerometers: 3	---	0.3°	Autonomous <2 m Static, Fast Static Accuracy Horizontal: 0.3 cm + 0.1 ppm * Vertical: 0.35 cm + 0.4 ppm * Kinematic Accuracy Horizontal: 1 cm + 1 ppm * Vertical: 1.5 cm + 1 ppm * RTK (OTF) Accuracy Horizontal: 1 cm + 1 ppm * Vertical: 1.5 cm + 1 ppm * DGPS Accuracy < 0.25 m post processing; < 0.5 m real-time	---	4G LTE MicroSIM card slot SD card slot RTK	Up to 10000 \$	No display included
<b>SIMRAD</b>														
	HS-70	GPS	L1 (1575.42 MHz)	2 full-duplex RS-232 NMEA0183, NMEA 2000	WAAS EGNOS MSAS	NO	Single axis gyro Tilt sensor on each axis (X and Y axes)	90% maximum	Heading accuracy < 0.75° rms Heave accuracy < 30 cm rms Pitch accuracy < 1.5° rms Roll accuracy = 1.5° rms using accelerometer	DGPS 1.0 m 95% Autonom 4.0 m 95%	Optional	---	2475 \$	Display not included Poor horizontal precision
<b>JLC</b>														
	JLR 21/31	GPS	L1 (1575.42 MHz)	5 independent working NMEA0183 ports	WAAS EGNOS MSAS	YES	---	45%/s	Heading Accuracy 0.25° rms	12m 2dms (C/A code, HDOP<=4, SA OFF) 6m 2dms when SBAS corrected 4m 2dms when DGPS corrected (when connected to beacon receiver)	Monochrome LCD	DGPS Input Pitch/Roll output: -60° to 60°	4999 \$	Poor Position accuracy
<b>COMNAV</b>														
	G1	GPS GLONASS	L1 (1575.42 MHz)	1 full duplex R2-232 1 full duplex RS-422 NMEA 0183 NMEA 2000	WAAS EGNOS MSAS	NO	Integrated 9 Axis Inertial sensor	90% maximum	Heading Accuracy: < 0.50° rms Pitch / Roll Accuracy: < 1° rms Heave Accuracy: < 30 cm rms	DGPS 0.5 m 95% Autonom 2.5 m 95%	Optional	---	1939 \$	Display not included
	G2 & G2B	GPS GLONASS	L1 (1575.42 MHz)	1 full duplex R2-232 1 full duplex RS-422 NMEA 0183 NMEA 2000 Proprietary ASCII	WAAS EGNOS MSAS	NO	Integrated 9 Axis Inertial sensor	90% maximum	Heading Accuracy: < 0.25° rms Pitch / Roll Accuracy: < 1° rms Heave Accuracy: < 30 cm rms	DGPS 0.3 m 95% Autonom 2.5 m 95%	Optional	---	2181 \$	Display not included
	G4 & G4B	GPS GLONASS	L1 (1575.42 MHz)	1 full duplex R2-232 NMEA 0183	WAAS EGNOS MSAS	NO	Integrated gyro and tilt sensor	90% maximum	Heading Accuracy: < 0.3° rms Pitch / Roll Accuracy: < 1.5° rms	DGPS 1 m 95% Autonom 2.5 m 95%	Monochrome LCD	---	3260 \$	Display not included

Taula 2: Comparativa. Estudi de mercat.

## ESTAT DE L'ART

---

A la taula comparativa s'han considerat els models més comercialitzats de cadascun dels fabricants. Es poden veure les principals característiques tant en precisió en el posicionament així com en els graus en el que el pilot automàtic és capaç de mantenir el rumb. En aquest projecte el treball es basa en la precisió de l'angle de ginyada, és dir, en l'angle respecte al nord geogràfic.

Als models que trobem al mercat es pot veure que la majoria dels productes utilitzen antenes que treballen amb la freqüència L1 de la constel·lació GPS. Açò limita els satèl·lits amb els quals pot treballar el receptor GNSS i la precisió en el posicionament pot estar condicionada pel grau de dispersió dels satèl·lits al cel. Quant més dispersos estan els satèl·lits més precisos seran els càlculs. En canvi, si s'utilitza una segona constel·lació de satèl·lits, encara que es treballa en la freqüència estàndard, es té més probabilitat de tenir una millor geometria dels satèl·lits al cel per a poder tenir un posicionament més precís.

És de comentar també que si s'inclouen sensors IMU, es pot aconseguir un grau de precisió més acurat i a més a més pot ajudar en moments de pèrdua total dels senyals dels satèl·lits. Aquest últim cas és molt improbable que pugui ocórrer a mar oberta ja que són situacions que es poden donar al entrar a un túnel, llocs amb vegetació densa o enmig d'una ciutat amb grans edificis.

Finalment la inclusió d'una pantalla on poder visualitzar la posició i el rumb és opcional en gran part dels productes. Aquesta opció veiem que incrementa el preu de forma considerable. En el cas del compàs que es presenta en aquest treball, al estar connectat a un sistema centralitzat el qual mostrarà per pantalla més informació de la relacionada amb el posicionament i rumb, com per exemple, sistemes de seguretat, es prescindeix de la pantalla, abaratint més el cost.

Amb tot, es pot veure que el preu del compàs més simple té un preu de 1939€. Si s'afegen millores i elements opcionals com la pantalla o connectivitat, el preu es dispara fins a, en alguns casos, els 10000€.

## CAPÍTOL 4 PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

El funcionament dels sistemes de navegació per satèl·lit es basa en la mesura de les distàncies existents entre el receptor el qual es vol determinar la posició i un conjunt de satèl·lits els quals es coneix la seua posició amb gran precisió. Aquest procés és conegut com trilateració inversa en tres dimensions. Per a mesurar aquestes distàncies existeixen tres mètodes: mesura per desplaçament Doppler, mesura basada en retards temporals o per pseudodistàncies, i mesures basades en diferència de fase.

*Desplaçament Doppler:* És la variació aparent entre el valor de la freqüència en funció de la velocitat d'apropament o d'allunyament de la font emissora.

Si la font emissora de, per exemple, un tren de deltes s'apropa a l'observador, llavors la freqüència rebuda és aparentment major a la real. Si s'allunya de l'observador, la freqüència serà aparentment menor.

Freqüència observada:

$$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right) f_0$$

Canvi de freqüència:

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_0$$

On:

$\Delta f$ = Variació de freqüència, és a dir:  $f - f_0$ .

$\Delta v$ = Velocitat del receptor respecte a la de la font, és a dir: velocitat del receptor menys la velocitat de l'emissor,  $v_r - v_e$ .

$v_r$ = Velocitat radial d'apropament/allunyament.

$c$ = Velocitat de propagació de l'ona.

$f_0$ = Freqüència de l'emissor.

Aquest tipus de mesurament no és el més precís ja que la precisió la ofereix la ràpida variació en les freqüències rebudes, originades per les ràpides variacions de distàncies. Els satèl·lits estan a una gran altitud (~20.000 Km) i tenen un període d'unes 12 hores i això fa que respecte als receptors terrestres la variació de la distància en funció del temps siga lenta, ja que els satèl·lits són aparentment lents. [13]

*Pseudodistàncies:* S'obté calculant el temps que tarda un senyal electromagnètic que ha estat emes pel satèl·lit en arribar al receptor, multiplicat per la velocitat de la llum.

Per a calcular el temps que tarda el senyal des del satèl·lit fins al receptor, el satèl·lit emet un codi mentre que el receptor genera una rèplica exacta que té en la memòria. És llavors quan compara els codis i contrasta si estan sincronitzats. Ara, el mòdul receptor comença a retardar el codi que genera des de la seua memòria fins a aconseguir la perfecta sincronització amb el senyal que ve del satèl·lit. El temps de retard necessari per a sincronitzar els senyals serà el temps que necessita per a viatjar el senyal del satèl·lit al receptor. [14]

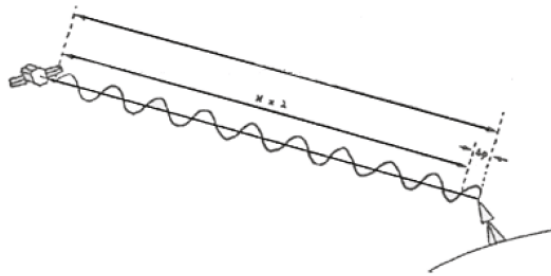
*Diferència de fase:* Permet la màxima precisió. El mètode es basa en el control de la fase d'una emissió radioelèctrica emesa des d'un satèl·lit amb freqüència coneguda i des d'una posició coneguda.

## PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

El que es fa és observar contínuament la evolució del desfasament entre el senyal rebut i la generada al receptor. Aquest desfasament és variable segons varia la distància satèl·lit-receptor.

Quan el senyal arriba a l'antena haurà recorregut una distància  $D$  corresponent a un cert numero sencer  $N$  de les seues longituds d'ona més una certa part de longitud d'ona  $\Delta\phi$ .

$$D = \lambda(N + \Delta\phi)$$

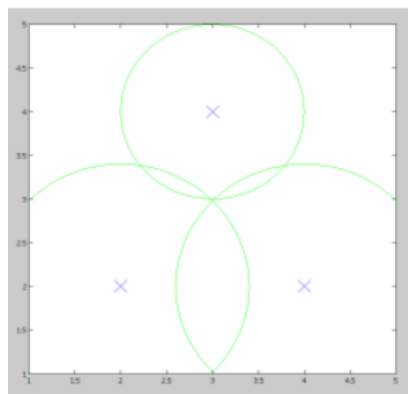


*Il·lustració 4: Mesurament del numero de longituds d'ona. Font: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11417/fichero/Cap%C3%ADtulos+%252F2-+Sistema+de+Navegacion+con+ayuda+de+sat%C3%A9lites.pdf>*

Per a conèixer el numero de longituds d'ona, que és el que es vol esbrinar, s'aplica un procés de calcul complex. Hi ha que destacar una limitació molt important del sistema i és que si per alguna causa es perd la connexió amb el satèl·lit, el compte de cicles es trenca i és necessari tornar a començar. No obstant això, mitjançant un ajust polinòmic en post-processat és possible restablir el compte original. [15]

Per a la resolució de la trilateració inversa es necessiten almenys les distàncies a tres satèl·lits, el que permet calcular la posició del receptor en qualsevol punt del planeta.

Matemàticament es necessiten quatre mesures de distancia als satèl·lits per a determinar la posició exacta ja que s'ha d'afegir la incògnita de l'estat o retard del rellotge del receptor, necessari per als càlculs per pseudodistàncies i per diferència de fase.



*Il·lustració 5: Localització amb tres satèl·lits representada amb circumferències on el radi és la distància al receptor. Font: <https://www.catedras.fcaglp.unlp.edu.ar>*

Si tot fóra perfecte les circumferències intersecarien a un mateix punt però amb rellotges no sincronitzats als receptors i amb menys precisió que els dels satèl·lits, es necessitaria un quart

## PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

---

mesurament. Ates que qualsevol discrepància amb l'hora universal (UTC) afectarà a les quatre mesures, el receptor buscarà un factor de correcció únic que essent aplicat als seus mesuraments de temps farà que els rangs coincidisquen en un sol punt. Aquesta correcció permetrà al rellotge ajustar-se de nou a l'hora UTC i amb aquest ajustament podrà calcular la posició amb precisió.

Però a pesar de tots els esforços per a fer el sistema molt precís, hi han errors que no poden ser totalment eliminats degut a que el seu origen és aleatori. La precisió que un usuari pot aconseguir amb un receptor depèn principalment de com els seus sistemes de maquinari i programari poden tenir en compte els diversos errors que afecten al mesurament. Aquests errors es poden classificar en tres grups: els errors relatius al satèl·lit, els errors relatius a la propagació del senyal a través del medi, i els errors relatius al receptor.

### **Errors relatius als satèl·lits:**

*Relotge intern:* El mesurament del temps es crític per als GNSS. Encara que els satèl·lits porten rellotges atòmics amb oscil·ladors de cesi o de rubidi, cap rellotge és perfecte. Hi han xicotetes imprecisions en la mesura del temps i en la seua sincronització que tenen el seu reflex en una determinació de la posició menys exacta.

*Errors en els paràmetres orbitals:* Les efemèrides transmeses pels satèl·lits tenen associat un error a causa de que és impossible predir exactament les seues posicions. Les orbites que descriuen els satèl·lits es troben a gran distància de la Terra i estan lliures de perturbacions produïdes per la capa superior de la atmosfera, però així i tot encara estan afectats per lleugeres desviacions de les orbites previstes que alhora també generen errors. [16]

### **Errors de propagació:**

*Errors deguts a l'atmosfera:* Els satèl·lits envien la informació a través d'ones electromagnètiques. Com la llum, es transmeten a una velocitat constant al buit però quan entren a l'atmosfera es veuen afectades per les distintes capes que han de travessar fins arribar als receptors. Així doncs, les partícules carregades de l'atmosfera i el vapor d'aigua dels núvols produeixen un retard en el senyal. Com s'ha vist en punts anteriors, la velocitat de propagació és crítica per a calcular el posicionament i açò es tradueix en error en la posició calculada. Aquest error tan sols pot ser calculat amb precisió pels equips professionals bifreqüència.

*Errors multi-trajecte:* Aquest efecte, també anomenat en anglès, multipath, és causat principalment per múltiples reflexos del senyal en superfícies properes al receptor. L'antena rep primer el senyal directe i posteriorment els senyals reflectits. Aquests senyals reflectits poden interferir al senyal directe produint errors en la recepció.

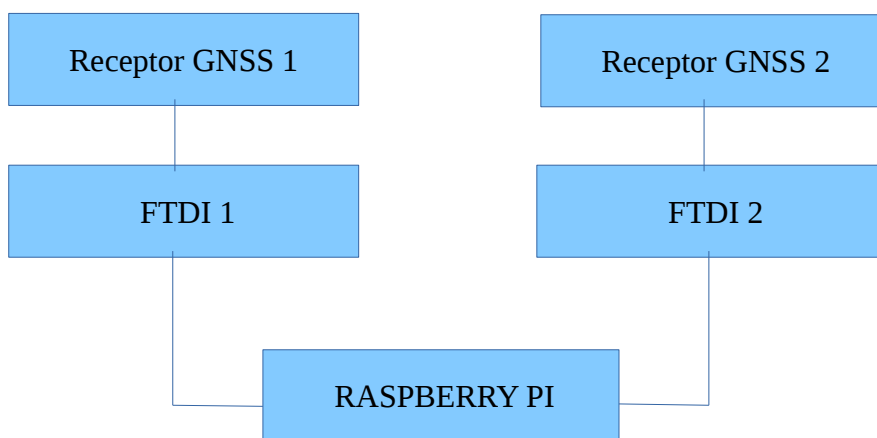
*Disposició dels satèl·lits:* La geometria dels satèl·lits disponibles (visibles) és un factor important a l'hora d'aconseguir altes precisions. La geometria canvia amb el temps com a conseqüència del moviment orbital dels satèl·lits. Un factor que ho mesura és el denominat factor de dilució de a precisió DOP (Dilution Of Precision). El valor DOP pot ser interpretat geomètricament com el volum del cos format pels satèl·lits i el receptor. Quant major siga el volum d'aquest cos, millor serà la geometria i, per tant, menor serà el valor del DOP, sent el valor ideal la unitat.

*Error del rellotge del receptor:* Els rellotges dels receptors no son perfectes, de fet, són menys precisos que els dels satèl·lits i qualsevol imprecisió al rellotge va a conduir a errors. Quant millor siga el rellotge del receptor, més precisió. [17]

## CAPÍTOL 5 SISTEMA PROPOSAT

### 5.1 Elements que conformen el sistema.

En aquest apartat es presenta el sistema que es proposa per a aconseguir que una vegada escollits els elements que conformaran el sistema, es pugui determinar el rumb del vaixell. Partint del diagrama de blocs on es mostren els elements, s'explicarà el perquè de l'elecció dels mateixos, el seu funcionament dins del sistema i la tasca que realitzen. Al diagrama s'observa que el sistema està conformat per dues antenes connectades al processador, una Raspberry Pi, mitjançant un convertidor.



El processador de dades escollit és la Raspberry Pi Model 2B. Aquesta placa conté fins a quatre ports USB que serviran per a connectar els dispositius FTDI. Les millores respecte a la seua antecessora té un processador ARM Cortex-A7 Quad-Core a 900 MHz amb 1 GB de RAM. Gràcies al processador ARMv7, pot funcionar amb tota la gama de distribució ARM GNU / Linux però el més interessant per a aquest projecte és que es redueix el consum a només 1,65W entre 0,5W i 1W menys que els models anteriors. La Raspberry Pi s'alimenta a 5 volts mitjançant un connector microUSB.



*Il·lustració 6: Raspberry Pi 2B. Font: [www.raspberrypi.com](http://www.raspberrypi.com)*

Amb la Raspberry Pi s'executaran els codis en Java i en Bash els quals estaran configurats per a la seua inicialització automàtica i el servidor gràfic estarà deshabilitat per a estalviar consum computacional i, per tant, energètic.

## SISTEMA PROPOSAT

Els dispositius FTDI UMFT234XD-01 són uns convertidors UART a USB. Aquests dispositius convertiran l'eixida UART de les antenes a USB per a poder ser llegides per la Raspberry Pi. S'han escollit aquests model de convertidors, el 01, per que disposen de huit connectors femella per a facilitar la connectivitat.



*Il·lustració 7: UMFT234XD-01. Font:  
<http://www.findic.us/umft201xb-01-price-en-EQavlg8Ll.html>*

La disposició dels pins és la següent:

Pin No.	Name	Type	Description
1	TXD	Output	UART transmit data
2	VBUS	PWR Output	5V Power output USB port.
3	GND	PWR	Module Ground Supply
4	RESET#	Input	Can be used by an external device to reset the FT234XD.
5	RXD	Input	UART receive data
6	3V3	Output	3.3V output from FT234XD integrated LDO regulator. This pin is decoupled to ground on the module PCB with a 10nF capacitor and offers 3V3 at up to 50mA for external hardware.
7	RTS#	Output	UART Ready to Send handshake signal
8	GND	PWR	Module Ground Supply
9	CTS#	Input	UART Clear to Send handshake signal
10	CB0	I/O	Configurable CBUS0 I/O Pin. The function of this pin is configured in the device internal MTP ROM. See Table 3.3

*Il·lustració 8: Pins UMFT234XD-01. Font:  
[http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS\\_UMFT234XD.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_UMFT234XD.pdf)*

Els pins que s'utilitzaran són:

Pin 1 (TXD): Per a la transmissió de dades de configuració del processador a les antenes.

Pin 3 (GND): Massa.

Pin 5 (RXD): Per a la recepció de dades des de les antenes al processador.

Pin 6 (3V3): Alimentació de 3,3 volts.

Els receptors GNSS s'han escollit després d'una minuciosa comparació entre models dels tres principals fabricants.



## SISTEMA PROPOSAT

Fabricant	Model	PPP	Antijamming	Antispoofing	GNSS	Tensió d'alimentació	Interfícies	Preu	Notes
<b>U-Blox</b>									
	MAX-M8 series	No	SI	SI	GPS GLONASS Galileo Beidou	1.65V – 3.6V	UART DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	37€ - 44€ 1-9 pcs	
	NEO-MQ8-01A	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	2.7V – 3.6V	UART USB SPI DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	169€ 1-9 pcs	
	NEO-M8 series	NO	SI	SI	GPS GLONASS Galileo Beidou	1.65V – 3.6V	UART USB SPI DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	169€ 1-9 pcs	
	LEA-M8S module	NO	SI	SI	GPS GLONASS Galileo Beidou	2.7V – 3.6V	UART USB DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	189€ 1-9 pcs	
	NEO-M8P	NO	SI	NO	GPS GLONASS Beidou	2.7V – 3.6V	UART USB SPI DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	189€ 1-9 pcs	
	NEO-7P	SI	SI	NO	GPS GLONASS	2.7V – 3.6V	UART USB SPI DOC (I <sup>2</sup> C compliant)	89€ 1-9 pcs	
<b>G-Top</b>									
	Firefly-X1	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	3.0 V to 4.3 V (Typical 3.3 V)	UART, SPI, I2C, RTCM, 1PPS	----	Només modul. Sense antena
	Titan 3	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	3.0 V to 4.3 V (Typical 3.3 V)	UART, RTCM, 1PPS	----	En proves
	Titan 2	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	3.0 V to 4.3 V (Typical 3.3 V)	UART, RTCM, 1PPS	15,20 €	Recomanada pel fabricant.
<b>Telit</b>									
	SL868 V3	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	1.75 up to 1.85 V	UART, I2C, SPI, PPS	18,33 € 100 pcs	
	SC872-A	NO	SI	NO	GPS GLONASS Galileo Beidou	3.3 to 5 V	UART	10,89 € 400 pcs	

*Taula 3: Comparativa antenes*

A l'hora d'escollir els receptors GNSS s'han observat les constel·lacions amb les quals es té compatibilitat. S'ha preferit escollir unes les quals puguen funcionar en el futur amb el sistema Galileo atès que el sistema Galileo no serà gestionat per cap ministeri de defensa d'un sol país, fet que garanteix que no puguen ser desactivades les funcionalitats en cas d'entrar en una guerra o per motius estratègics geopolítics. Amb eixa premissa queda per escollir, d'entre les que funcionen o funcionaran amb totes les constel·lacions, un receptor amb eixida UART que no siga excessivament car per mantenir el baix preu. En resum, es vol un receptor GNSS amb eixida UART i que funcione amb totes les constel·lacions.

Observant la taula veiem els receptors U-Blox, principal fabricant de receptors (mòdul + antena) que trobem al mercat UAV's. Això ens diu que aquest fabricant ens dóna bones garanties en quant a la precisió i el suport d'usuaris i de la mateixa empresa. El problema que ens trobem és que per a poder adquirir els models amb millor precisió el fabricant no posa les coses fàcils de no ser que siga una empresa fabricant de, per exemple, UAVs, la qual utilitze els receptors U-Blox per a muntar als UAVs. Si optem per les antenes amb precisió estàndard és relativament fàcil poder adquirir-les però en la seua contra, aquests receptors venen amb els mòduls i antenes separades en dos peces, amb una connexió cablejada entre ambdós elements amb connector UFL considerant que amb tal connector poden haver problemes futurs atès que les antenes van a estar funcionant en entorns que poden afectar en l'efectivitat a l'hora de mantindre la seua posició de forma adequada.

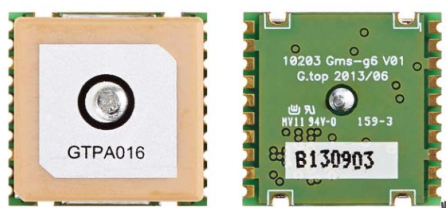
Quant als receptors Telit, tenen un preu molt accessible i compleixen amb la compatibilitat amb totes les constel·lacions i així poder operar amb Galileo una vegada estiga operatiu, tot, si no es té en compte que venen en pacos de 100 unitats el model SL868 V3 i de 400 unitats el model

## SISTEMA PROPOSAT

SC872-A. Per al prototip resulta incòmode comprar tanta quantitat però podria ser una opció a considerar en cas de dur aquest projecte a producció.

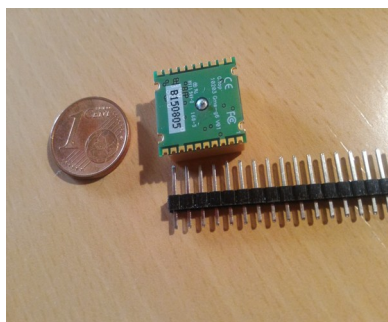
Els receptors amb els quals es treballa en aquest projecte són, finalment, els Titan 2 del fabricant Global Top Technology (G-Top). Aquestes antenes proporcionen compatibilitat amb les constel·lacions GPS, GLONASS, Beidou, i Galileo, les dos últimes una vegada estiguen operatives. Entre les diferències entre el Titan 2 i el Firefly X1 la principal és que el Firefly-X1 és només el modul, sense antena, pel que s'hauria d'adquirir una antena compatible per separat. Finalment, entre el Titan 2 i el Titan 3 és que el Titan 3 aparentment no té diferències en la seua versió de prova en la que actualment s'està treballant, pel que, per seguretat de treballar amb un producte acabat i funcional, s'acaba decidint per incloure al projecte el receptor Titan 2.

El receptor Titan 2 conté un xip MT3333 el qual és compatible, com ja s'ha esmentat, amb les quatre constel·lacions GNSS. També ho és de tots sistemes SBAS.



*Il·lustració 9: G-Top Titan 2. Font: [www.eurocomposant.fr/content/download/8194/118832/file/GlobalTop-Titan-2\(Gms-g6\)-Datasheet-V0D\(TapeReel\).pdf](http://www.eurocomposant.fr/content/download/8194/118832/file/GlobalTop-Titan-2(Gms-g6)-Datasheet-V0D(TapeReel).pdf)*

Els receptors venen en format SMD o, en valencià, Dispositiu de Muntatge Superficial. Aquesta condició va conduir al disseny d'una placa de circuit imprès o PCB per a poder realitzar les connexions amb cable més còmodament.

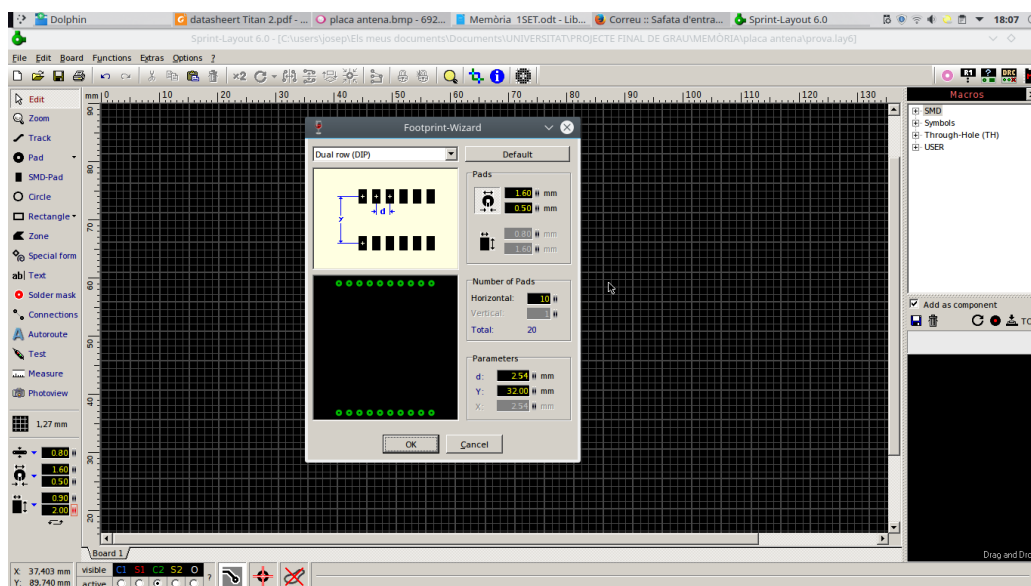


*Il·lustració 10: Comparació entre el receptor i una moneda d'un cèntim d'euro i una fila de pins*

## 5.2 Posada apunt de les antenes

La PCB haurà de tindre unes pistes que unisquen cadascun dels pins del receptor, que estan separats una distància d'1,5 mm, amb una fila de pins estàndard amb una distància de separació de 2,54 mm. Per a dissenyar-la es va utilitzar la versió de demostració del programa Sprint Layout 6.0 la qual té una opció de disseny del que s'anomena footprint, que literalment traduït al valencià seria petjada però que en electrònica es refereix a la petjada que deixen els pins d'un component electrònic en la PCB, això vol dir els punts amb els quals el component està en contacte amb la placa.

Quan s'executa Sprint Layout 6.0 s'obre un espai de treball semblant a qualsevol altre programa d'edició de plaques PCB. Com el que es vol fer són dos footprints, un per als pins del receptor i un altre per a les files de pins, anirem a la pestanya *Extras* i dins d'aquesta a la opció *Footprint-Wizard*.



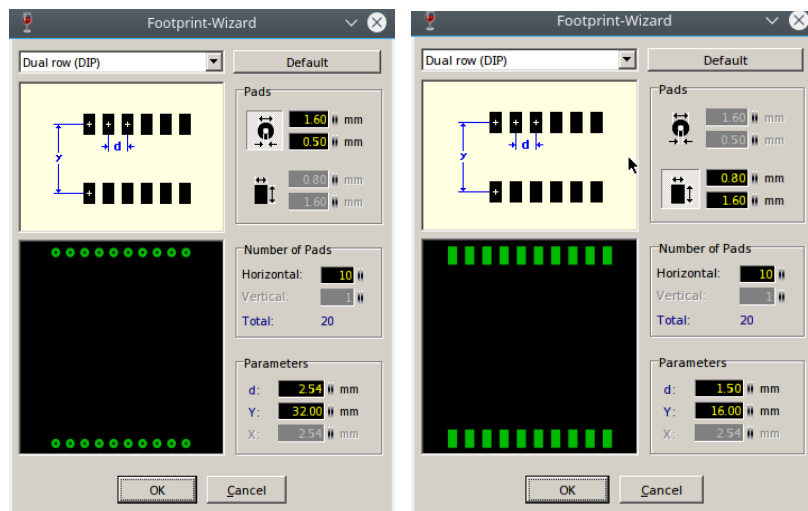
Il·lustració 11: Entorn de treball d'Sprint Layout 6.0 amb l'editor de footprints.

Amb l'editor obert s'escull *Dual row (DIP)* al desplegable superior per a obtenir una segona fila i estalviar feina. A la part dreta de la finestra d'edició es troben les seccions de configuració dels pads. Es pot escollir si volem la forma quadrada o rodona prement sobre la forma. A la dreta de cadascuna de les formes es troben uns requadres on introduir l'amplada dels cercles interior i exterior en el cas d'escollir forma rodona o l'amplada i l'alçada en cas d'escollir la forma quadrada.

A la part central dreta es pot escollir quants pads hi hauran per cada fila horitzontal. També es pot configurar el nombre de pads en vertical si ens trobem amb el cas de soldar un component quadrat amb pins als quatre costats.

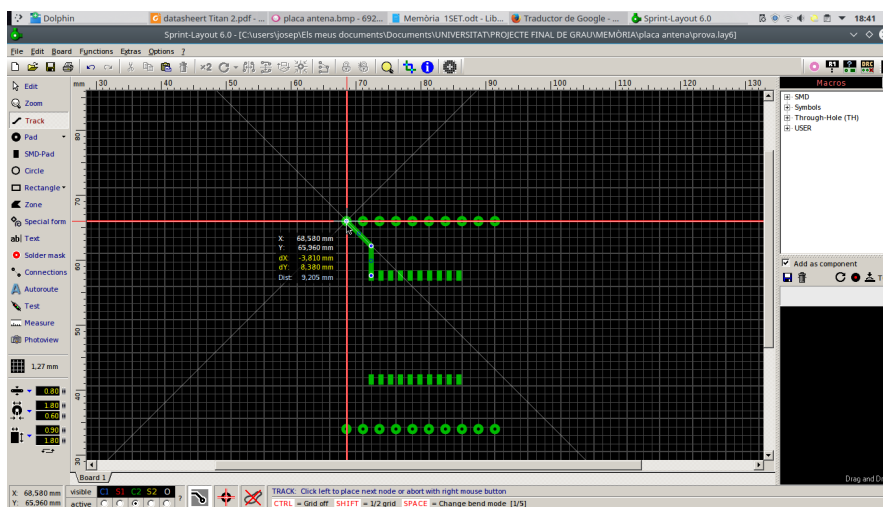
Finalment a la part inferior dreta s'introdueix la informació respecte a la distància entre els pads que estan l'un al costat de l'altre i la distància entre cada grup horitzontal de pads.

Per a aquest projecte s'ha escollit una distància de 32 mm per als pads exteriors i una distància de 16 mm per als pads interiors que seran els que corresponen amb els pins dels receptors.



Il·lustració 12: A l'esquerra, configuració de pads exteriors. A la dreta, configuració de pads interiors.

Quan estan els footprints configurats apareixeran a l'espai de treball. S'haurà de col·locar el que té els pads quadrats entre els que tenen forma rodona. Acte seguit s'escollirà la opció Tracks de la barra d'eines de l'esquerra i podrem traçar pistes entre els pads per tal d'unir-los.

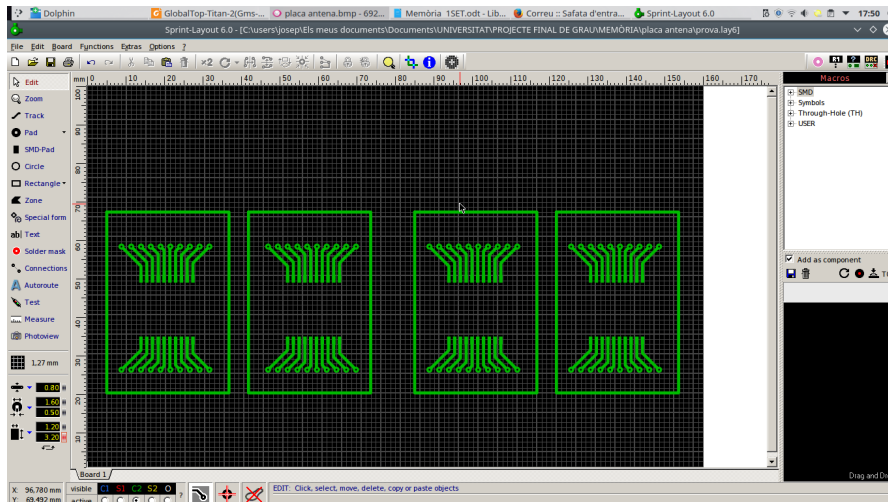


Il·lustració 13: Traç de pista entre dos pads

Una vegada estan totes les pistes creades s'afegeix un marc i es realitzen les còpies que es desitgen seleccionant el conjunt de pistes i pads i utilitzant les dreceres de teclat Control+C i Control+V consecutivament les vegades que es desitge.

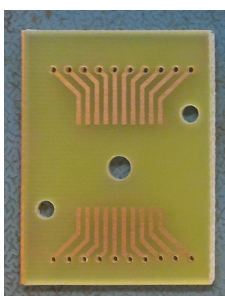
## SISTEMA PROPOSAT

Amb els footprints dissenyats queda imprimir-los a paper de ceba per a introduir-los a la insoladora de llum Ultraviolada de forma que al atacar les PCB amb acid les zones de coure que queden sota les zones obscures queden fixades a la placa mentre que les que queden a la zona sense tinta d'impressió, per l'efecte que ha tingut la llum ultraviolada sobre ella, el coure es desprenga.

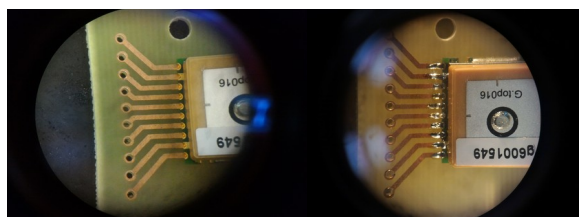


*Il·lustració 14: Footprints acabats*

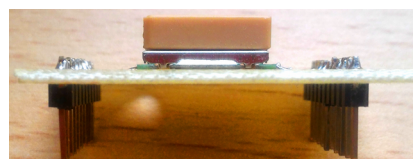
Una vegada les plaques estan impreses se li fan les perforacions als pads circulars, just al punt on no hi ha coure i a més tres perforacions més i més grans, la central per a donar espai a un punt de soldadura del receptor i els dels extrems per poder fixar a un lloc concret. Amb tot, es transporta tot a l'estació de soldatge per a soldar el receptor i la fila de pins a la PCB. Hi que anar amb cura quan es solden els receptors a la PCB atès que 1,5 mm és una distància molt xicoteta tenint en compte que es va a soldar a mà. És més convenient si es solda amb l'ajuda d'un microscopi de soldadura SMD.



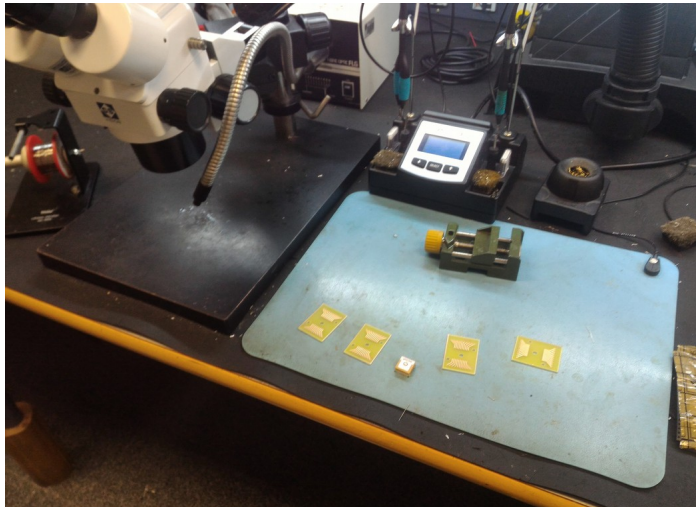
*Il·lustració 15: footprint imprès a la PCB*



*Il·lustració 16: Vista amb microscopi. Esquerra: Receptor col·locat sobre els pads. Dreta: receptor soldat a la PCB.*



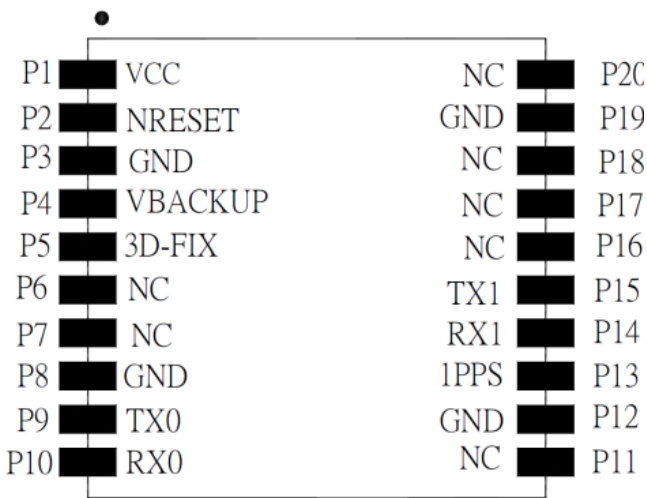
*Il·lustració 17: Planta i perfil del receptor instal·lat a la PCB*



Il·lustració 18: Estació de soldadura.

Aquesta tasca s'ha realitzat al campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València amb l'ajuda i supervisió d'Antoni Bou Escrivà.

Una vegada estan els receptors i els pins soldats es pot procedir a la connexió al dispositiu UMFT234XD-01 mitjançant cables de 10 cm. La disposició de pins del receptor és la següent:



Il·lustració 19: Disposició de pins del receptor Titan 2. Font: [www.eurocomposant.fr/content/download/2F8194/2F118832/file/2FGlobalTop-Titan-2\(Gms-g6\)-Datasheet-V0D\(TapeReel\).pdf](http://www.eurocomposant.fr/content/download/2F8194/2F118832/file/2FGlobalTop-Titan-2(Gms-g6)-Datasheet-V0D(TapeReel).pdf)

Sides Pin	Name	I/O	Description & Note
1	VCC	PI	Main DC power input
2	NRESET	I	Reset Input, Low Active
3	GND	P	Ground
4	VBACKUP	PI	Backup power input for RTC & navigation data keep
5	3D-FIX	O	3D-Fix Indicator
6	NC	-	
7	NC	-	
8	GND	P	Ground
9	TX0	O	Serial Data Output 0 for NMEA output (TTL)
10	RX0	I	Serial Data Input 0 for Firmware update (TTL)
11	NC	-	
12	GND	P	Ground
13	1PPS	O	1PPS Time Mark Output 2.8V CMOS Level (Pulse width/duration can be customized)
14	RX1	I	Serial Data Input for DGPS RTCM data streaming
15	TX1	O	Serial Data Output
16	NC	-	
17	NC	-	
18	NC	-	
19	GND	P	Ground
20	NC	-	

Taula 4: Funció dels pins del receptor Titan 2. Font: [www.eurocomposant.fr/content/download/2F8194/2F118832/file/2FGlobalTop-Titan-2\(Gms-g6\)-Datasheet-V0D\(TapeReel\).pdf](http://www.eurocomposant.fr/content/download/2F8194/2F118832/file/2FGlobalTop-Titan-2(Gms-g6)-Datasheet-V0D(TapeReel).pdf)

Els pins que van a utilitzar-se són els següents:

P1 (VCC): Alimentació de l'antena a 3,3 volts.

P3 (GND): Massa.

P4 (VBACKUP): Pin per mantenir informació relativa a la configuració.

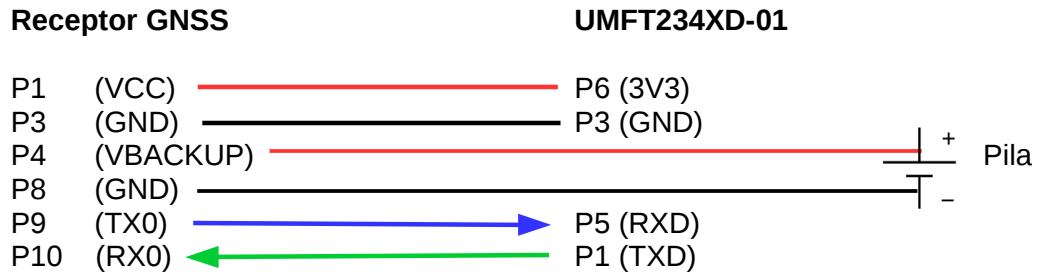
P8 (GND): Massa.

P9 (TX0): Eixida serie de sentències NMEA.

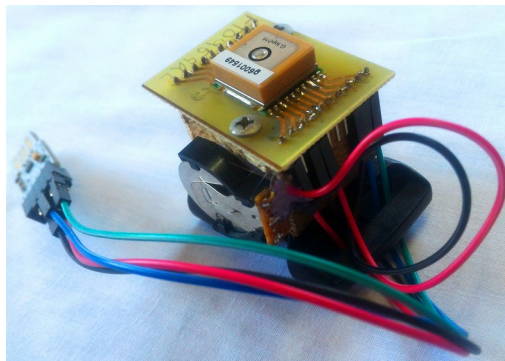
P10 (RX0): Entrada serie per a comandos de configuració i actualització de microprogramari.

## SISTEMA PROPOSAT

La interconnexió entre el receptor i el convertidor UMFT234XD-01 es realitza amb cables de 15 cm amb connector femella a les puntes. La disposició és la següent:

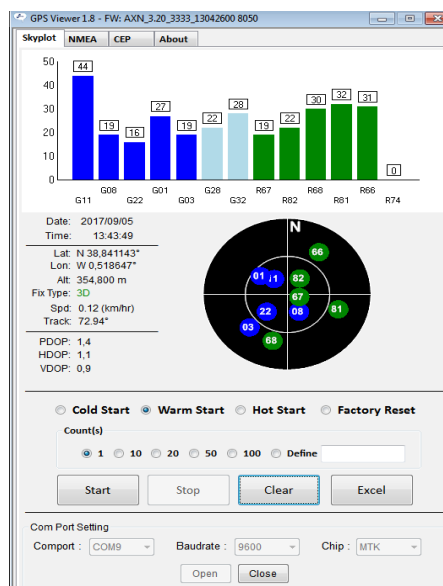


La pila és una pila de botó Maxell CR2032 de 3 volts. Aquesta pila ens permetrà guardar la configuració del receptor GNSS en cas de fallar l'alimentació.



Il·lustració 20: Receptor montat al seu suport.

Quant a la configuració del receptor s'ha utilitzat el programa GPS Viewer.exe, propietat de G-Top, amb el qual es pot prendre el control sobre els missatges NMEA que trauen els receptors, canviar la freqüència de refresc de l'eixida, realitzar un registre del posicionament a un arxiu i visualitzar informació referent a la posició del receptor i dels satèl·lits dels quals està prenent informació.



Il·lustració 21: Espai de treball de GPS Viewer





## SISTEMA PROPOSAT

Una vegada s'ha establert la configuració es quedarà guardada a la memòria del receptor i romandrà així fins que es desconnecte l'alimentació. Com no és pràctic haver de configurar cada vegada el receptor s'instal·la la pila que ens mantindrà a la memòria dita configuració sempre que l'alimentació siga desconnectada. S'ha escollit el tipus de missatge GGA perquè si es revisa l'estàndard NMEA es pot comprovar que aquest missatge ve amb la informació, entre altres, de les coordenades en les que es troba el receptor, que és el que ens interessa.

El missatge GGA pot estar precedit o bé per les lletres GP, que indiquen que correspon als satèl·lits de la constel·lació GPS o bé per les lletres GN, que correspondrien a les constel·lacions GLONASS, Galileo i Beidou.

Un exemple de missatge GGA de la constel·lació GPS és el següent:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

On:

GGA	Dades de fixació del sistema de posicionament global
123519	Posició presa a les 12:35:19 UTC
4807.038,N	Latitud 48 deg 07.038' N
01131.000,E	Longitud 11 deg 31.000' E
Qualitat de la posició:	
	0 = invalid
	1 = GPS fix (SPS)
	2 = DGPS fix
	3 = PPS fix
	4 = Real Time Kinematic (RTK)
	5 = Float RTK
	6 = estimated (dead reckoning) (2.3 feature)
	7 = Manual input mode
	8 = Simulation mode
08	Nombre de satèl·lits que s'està seguint.
0.9	Horizontal dilution of position (HDOP).
545.4,M	Altitud, Metres sobre el nivell de la mar.
46.9,M	Alçada del geoide per sobre de l'el·lipsoide WGS84
(empty field)	Temps en segons des de l'última actualització de DGPS
(empty field)	Identificació de l'estació DGPS
*47	Dades de la suma de comprovació, sempre comencen amb *

[18]

Com es veu a l'estructura del missatge la informació està en camps separats per comes i cadascun dels camps està explicat a la llista anterior. Al camp dos trobem la latitud, al tres N, que significa nord (podria ser S que significaria sud), al quatre la longitud i al cinc E, que significa Est (podria ser W que significaria oest). Aquesta és la informació amb la que es treballarà en aquest projecte.

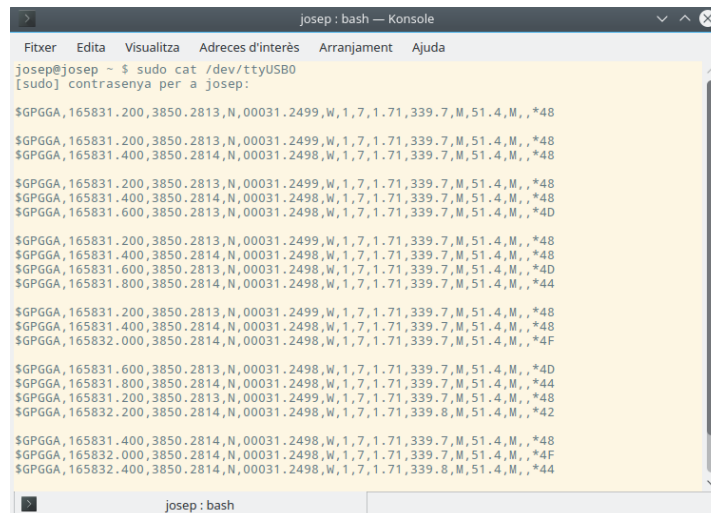
Una vegada estan les antenes configurades es pot comprovar el funcionament mitjançant consola de comandos dels sistemes Linux, tal com ho és el sistema Raspbian que estarà instal·lat a la Raspberry Pi. En Linux, els dispositius són tractats com si foren fitxers pel que a l'hora de trobar el receptor GNSS s'haurà de dirigir fins al directori `/dev`. El directori `/dev` conté els arxius de dispositius especials per a tots el maquinari. Els arxius de dispositius es nombren utilitzant convencions especials En el cas del receptor serà un arxiu TTY ja que aquests són els

## SISTEMA PROPOSAT

responsables de mostrar l'entrada i l'eixida de informació en la terminal, mitjançant el teclat i el monitor. Per al Per a comprovar el funcionament caldrà escriure el següent comando:

```
$ sudo cat /dev/ttyUSB0
```

Aquest comando captura l'entrada USB0, localitzada en forma de fitxer a la ruta `/dev/ttyUSB0`.



*Il·lustració 24: Captura de dades del receptor des de terminal Linux.*

Per a un segon receptor el comando canvia a:

```
$ sudo cat /dev/ttyUSB1
```

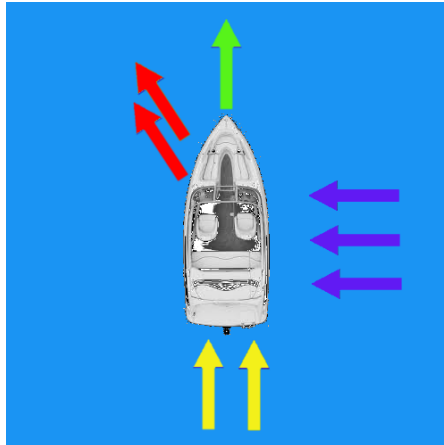
Per a un tercer:

```
$ sudo cat /dev/ttyUSB2
```

I així successivament per a la resta de dispositius TTY.

### 5.3 Posada apunt dels dispositius FTDI.

Com s'ha dit a la introducció, els GPS que es troben als cotxes o als smartphones calculen el seu rumb comparant el punt en el que es troben amb el punt anterior i traçant una recta des del punt anterior al punt present. Aquesta forma de calcular el rumb també és la mateixa que el programa *GPS Vewer.exe* mostra en la pestanya principal, l'anomenen Track. Aquesta forma de saber el rumb que està seguint un cotxe pot ser encertada però quan el receptor es troba a un vaixell pot ser errònia. Un cotxe segueix la carretera i no està condicionat pels vents ni corrents d'aigua transversals que el desplacen de la ruta que ha de seguir però aquests efectes si que ocorren a la mar. Si un vaixell ha de traçar una línia recta en direcció nord i està rebent vent o corrent transversal procedents de l'est, el monitor que està traçant la direcció estarà apuntant a una direcció entre el nord i l'oest.



*Il·lustració 25: Condicions a la mar.*

Tal com s'aprecia a la imatge, es descriuen les fletxes a continuació:

Groc: Direcció en la que el motor empenta el vaixell. Rumb al nord.

Morat: Direcció del vent o de la marea, provinent de l'est i direcció oest.

Verd: Direcció en la que es pretén navegar i cap on apunta la proa del vaixell.

Roig: Direcció en la que s'està navegant i en la que el monitor GNSS apuntarà.

Açò presenta un problema al no haver coincidència entre la direcció de la proa del vaixell i la direcció en la que s'està navegant i el que volem és saber en tot moment cap on està apuntant la proa del vaixell per a, per exemple, saber en quina posició es troba per a realitzar una maniobra. Per a solucionar aquest problema van a utilitzar-se dos receptors instal·lats en la línia popa-proa del vaixell. Es considera que el receptor de la popa serà el punt de referència sobre el que es pivota i el receptor de proa serà el punt de direcció.

Als sistemes Linux els dispositius connectats són gestionats per *udev* que és l'encarregat de controlar els arxius de dispositius localitzats en */dev*.

*Udev*, al iniciar el sistema, carrega els mòduls en paral·lel per a proveir un millor rendiment en compte de carregar-los de forma seqüencial (un després de l'altre). Els mòduls són, per tant, carregats de forma asíncrona. El gran desavantatge d'aquest mètode és que *udev* no sempre carrega els mòduls amb el mateix ordre a l'arrancar el sistema. Això vol dir que si el receptor de popa està en */dev/USB0* i el de proa en */dev/USB1*, cada vegada que es reinicie el sistema podrien estar canviats l'un amb l'altre i això faria que el sistema considerara que el vaixell està girat 180 graus. Per tant, no es pot confiar en que els dispositius són els que per defecte Linux configura una vegada i romanen així per sempre, han de poder diferenciar-se de forma inequívoca.

Per saber quins dispositius estan connectats al sistema s'utilitza el comando `$ lsusb`.

Amb els receptors connectats als dispositius FTDI (UMFT234XD-01) i aquests a la Raspberry Pi s'obté l'eixida:

```
...
Bus 006 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 005 Device 002: ID 0403:6015 Future Technology Devices International, Ltd
Bridge(I2C/SPI/UART/FIFO)
```

## SISTEMA PROPOSAT

---

```
Bus 005 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 004 Device 004: ID 0403:6015 Future Technology Devices International, Ltd
Bridge(I2C/S
PI/UART/FIFO)
Bus 004 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 003 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
```

S'observa que els dispositius FTDI estan connectats al bus 005 i al bus 004. Hi ha que fixar-se en el camp ID 0403:6015 on 0403 és l'identificatiu del venedor (idVendor) i el 6015 és l'identificatiu del producte (idProduct). El cas, però, és que aquesta opció no dona molta més informació ja que els anomena de la mateixa forma i no es poden diferenciar.

Amb el comando `$ udevadm info /dev/ttyUSB*`, on l'asterisc serà el numero del dispositiu a examinar, si que s'obté una eixida amb més informació de cadascun d'ells:

```
$ udevadm info /dev/ttyUSB0
...
E: ID_REVISION=1000
E: ID_SERIAL=FTDI_UMFT234XD_FT095GKL
E: ID_SERIAL_SHORT=FT095GKL
E: ID_TYPE=generic
...

$ udevadm info /dev/ttyUSB1
...
E: ID_REVISION=1000
E: ID_SERIAL=FTDI_UMFT234XD_FTWJNZ5K
E: ID_SERIAL_SHORT=FTWJNZ5K
E: ID_TYPE=generic
...
```

Amb aquest comando si que s'obté un paràmetre diferencial entre els dos dispositius i és el camp `ID_SERIAL_SHORT`.

Utilitzant aquest paràmetre diferent, s'ha de configurar una regla per a que el sistema reconega i assigne un nom de forma permanent a cada dispositiu. Les regles `udev` escrites per l'administrador es troben al directori `/etc/udev/rules.d` i el nom de l'arxiu acabarà amb l'extensió `.rules`. L'arxiu amb les regles incorpora els diferents paràmetres dels dispositius i el nom amb el que es vol que s'identifique. Per al cas dels dispositius que van a utilitzar-se s'escriuran de la següent forma([https://wiki.archlinux.org/index.php/Udev\\_\(Espanol\)](https://wiki.archlinux.org/index.php/Udev_(Espanol))):

```
SUBSYSTEM=="tty",ATTRS{idVendor}=="0403",ATTRS{idProduct}=="6015",ATTRS{serial}=="
FTWJNZ5K", SYMLINK+="ttyFTDI0", MODE="0660"
```

```
SUBSYSTEM=="tty",ATTRS{idVendor}=="0403",ATTRS{idProduct}=="6015",ATTRS{serial}=="FT095G
KL", SYMLINK+="ttyFTDI1", MODE="0660"
```

On es dedueix que els dispositius pertanyen al subsistema "tty", conté els atributs `{idVendor}=="0403"`, `{idProduct}=="6015"` i per a donar-li permisos d'administrador i s'execute en cada inici, el `{mode}="0660"`. El que els diferencia és l'atribut `{serial}` que indica el numero de sèrie del dispositiu i `SYMLINK`, on s'indicarà el nom amb el qual es desitja identificar el dispositiu que, en aquest cas, s'anomenaran `ttyFTDI0` i `ttyFTDI1`. El nom de l'arxiu serà `44-ftdi.rules`, el 44 és un numero que indica la jerarquia amb la que es tindran en compte les regles a l'hora de carregar-les. En aquest cas ha sigut un numero aleatori atès que no existeix cap altra regla i bé podria haver sigut 1 que 99. Els efectes de les regles seran efectives quan es reinicie el sistema o si s'executa el comando `$ udevadm control -reload-rules`.

## SISTEMA PROPOSAT

Amb aquesta tasca realitzada ja no s'haurà d'apuntar a `/dev/ttyUSB*` quan es vulga monitorar l'eixida dels receptors GNSS les quals entren a l'ordinador a traves de UMFT234XD-01 sinó que s'haurà d'apuntar a `/dev/ttyFTDI*` amb la seguretat que sempre que s'estarà apuntant a un dispositiu en concret.

### 5.4 Implementació del codi

Una vegada estan els receptors preparats i el dispositiu FTDI configurat adequadament s'ha d'elaborar un codi el qual prenga les dades dels fitxers `ttyFTDI*` i els guardi a un arxiu en format csv. S'escull aquest format perquè als missatges de l'estàndard NMEA els camps amb informació estan separats per comes. Aquest fitxer serà llegit pel codi Java que de forma iterativa anirà calculant el rumb que està seguint el vaixell.

#### 5.4.1 Codi d'adquisició escrit en Bash.

En Linux es pot programar de forma senzilla un un programa escrit en Bash. Bash és un interpret d'ordres encarregat de comunicar el sistema amb l'usuari. Amb Bash es poden crear xicotets programes o guions que puguen administrar diverses tasques del sistema utilitzant programes que estiguen instal·lats. Dit d'altra forma, és un xicotet llenguatge de programació sovint emprat per a automatitzar certes tasques com les de manteniment del sistema, per exemple. Al present projecte va a utilitzar-se per a automatitzar tant la posada en marxa de l'adquisició de dades dels receptors així com del programa que calcularà el rumb que s'està seguint.

Els codis escrits en Bash sempre han de començar amb la línia `#!/bin/bash`. Aquesta línia li diu al sistema que execute l'arxiu en la consola. A continuació es defineixen els ports que representaran els arxius de dispositius que apunten als FTDI. Es crea una ruta indicant on es troba l'arxiu que guardarà les dades dels receptors i s'eliminarà si hi havia un prèviament. A continuació s'entra en un bucle que es repetirà sempre en l'interior del qual es troben les línies que permeten la lectura dels ports i l'enviament del que s'ha llegit a l'arxiu creat anteriorment. Cadascuna de les línies tindrà al davant `Antena1` o `Antena2` per tal d'identificar posteriorment a quin receptor correspon cada lectura. Amb aquest codi obtindrem un arxiu amb les línies NMEA precedides per l'antena de la qual venen, com si d'un camp adicional del missatge es tractara. L'arxiu estarà en constant creixement, línia a línia.

El codi és força senzill i es presenta a continuació.

```
#!/bin/bash    #Capçalera amb la que comença un programa escrit en Bash.

### BEGIN INIT INFO
# Provides:          GPSADQ
# Required-Start:    $all
# Required-Stop:    $remote_fs $syslog
# Default-Start:    2 3 4 5
# Default-Stop:     0 1 6
# Short-Description: Adquisició dades GNSS
# Description:       Adquisició dades GNSS
### END INIT INFO
```

## SISTEMA PROPOSAT

---

```
PORT1=/dev/ttyFTDI0 #Definició dels ports que s'utilitzaran.
PORT2=/dev/ttyFTDI1

RUTA1=/home/pi/Track.csv #Ruta per guardar les dades recollides.

if [ -f "/home/pi/Track.csv" ]; then
rm /home/pi/Track.csv #Si existeix un arxiu de dades anterior borra'l.
fi

sleep 1;

while true # Executa sempre
do|
while read -r line < $PORT1 # Quan entre informació pel PORT1
do
echo ""Antena1", $line" >>$RUTA1 # Escriu: "Antena1, (línia llegida al PORT1)" a l'arxiu Track.csv
break #Eixir del while
done

while read -r line < $PORT2 #Repetir el procés anterior però llegint el PORT2

do
echo ""Antena2", $line" >>$RUTA1
break
done

done #Fi del programa
```

Una vegada escrit el programa es guardarà a la carpeta */usr/local/bin* amb el nom GPSADQ.

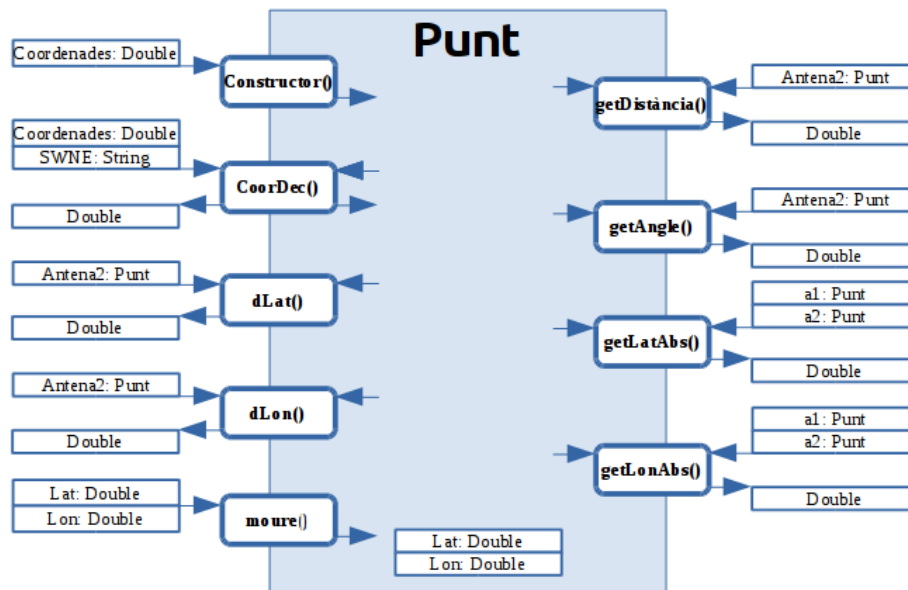
### 5.4.2 Codi Java per al calcul de rumb

En Java el més important és el disseny. Es pretén escriure un programa amb el qual es puga determinar cap on està apuntant la proa del vaixell. Tenim dos **punts**, un punt de referència i un altre punt de direcció. La idea és crear una classe en la qual estiguen els mètodes que operen amb els punts que tenim, a eixa classe l'anomenarem Punt. Aquesta classe tindrà els mètodes següents:

- Constructor: Mètode que crea els objectes de la classe punt a l'introduir unes coordenades.
- CoordDec: Torna les coordenades transformades de sexagesimal a decimal. Se li envien les coordenades i el punt cardinal S o N per a la latitud i E o W per a la longitud.
- dLAt: Mostra la diferència entre les latituds dels dos receptors.
- dLon: Mostra la diferència entre les longituds dels dos receptors.
- moure: Introduint les coordenades es mou un punt a una posició nova.
- getDistància: Torna la distància entre els dos receptors.
- getAngle: Torna l'angle respecte al nord dels dos receptors.
- getLatAbs: Calcula i torna el punt intermedi de les latituds entre els dos receptors.
- getLonAbs: Calcula i torna el punt intermedi de les longituds dels dos receptors.

## SISTEMA PROPOSAT

Diseny UML de la classe punt:



Codi de la classe Punt:

```
public class Punt {

    private double Lat, Lon; // Variable per a la longitud i latitud

    public Punt(double lat, double lon) { // Constructor
        this.Lat = lat;
        this.Lon = lon;
    }

    public double dLat(Punt antena2) { // Torna la resta de les latituds
        if (this.Lat < 0) {
            return antena2.Lat + (this.Lat);
        }
        return antena2.Lat - (this.Lat);
    }

    public double dLon(Punt antena2) { // Torna la resta de les longituds

        return antena2.Lon - (this.Lon);
    }

    public double getDistancia(Punt antena2) { // Torna la distància entre els Punts
    (Antenes)

        return Math.sqrt(this.dLat(antena2) * this.dLat(antena2) +
this.dLon(antena2) * this.dLon(antena2));
    }

    public double getAngle(Punt antena2) { // Torna l'angle en el que estan les
// antenes. Com hem restat els punts podem considerar que l'antena1 està a
// l'origen(0,0).
        double angle;
    }
```

## SISTEMA PROPOSAT

---

```
        if (this.dLon(antena2) < 0) {
            angle = (Math.toDegrees(Math.atan(this.dLat(antena2) /
this.dLon(antena2))) + 90)*(-1);
        } else
            angle = (Math.toDegrees(Math.atan(this.dLat(antena2) /
this.dLon(antena2))) - 90)*(-1);

        return angle;
    }

    public void moure(double lat, double lon) { // Mou els punts des del punt anterior
al punt present
        this.Lat = lat;
        this.Lon = lon;
    }

    public double CoordDec(double coordenada, String SWNE) { // Mètode per a passar els
graus de sexagesimal a Decimal i

        // poder calcular l'angle
        int grausCoor = (int) Math.floor(coordenada / 100);
        double minutsCoor = coordenada % 100;
        minutsCoor = minutsCoor / 60;
        double CoordDec = grausCoor + minutsCoor;

        if (SWNE.equals("S") || SWNE.equals("W")) {
            CoordDec = CoordDec * (-1);
        }
        return CoordDec;
    }

    public double getLatAbs(Punt a1, Punt a2) { //Calcule el punt intermedi entre les
dos antenes

        return (a1.Lat+a2.Lat)/2;
    }
    public double getLonAbs(Punt a1, Punt a2) {

        return (a1.Lon+a2.Lon)/2;
    }
}
}
```

El codi que du a terme les cridades als mètodes de la classe Punt és el Main. El codi principal inicialitza les variables necessàries per a l'adquisició de dades de l'arxiu creat pel programa GPSADQ i crea un arxiu en format .csv d'eixida on hi haurà la longitud, la latitud i el rumb en graus. A més conté totes les cridades als mètodes que calculen la posició i el mateix rumb.

Codi Main:

```
import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileReader;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;

public class Main {
    public static final String SEPARADOR = ",";
    public static final String RUTA = "/home/pi/Track.csv";
}
```



## SISTEMA PROPOSAT

---

```
public static final String RUTAout = "/home/pi/Output.csv";
public static final File arxiu = new File(RUTAout);
final static String NEXT_LINE = "\n";
static int i = 0;
static Punt antena1 = new Punt(0, 0); // Coordenades inicials antena1
static Punt antena2 = new Punt(0, 0); // Coordenades inicials antena2

public static void main(String[] args) throws IOException {

    BufferedReader br1 = null;
    FileWriter fw = null;

    try {
        br1 = new BufferedReader(new FileReader(RUTA));
        fw = new FileWriter(arxiu);
        while (true) {
            String line = br1.readLine();

            while (null != line) {

                if (line.length() <= 8) { // Ens assegurem que entra
                    //tinga
                    sempre i quant el missatge
                    més de 8 camps

                    break;
                }

                String[] fields = line.split(SEPARADOR);

                if (fields.length > 8 && fields[0].equals("Antena1") &&
                    fields[1].equals("$GPGGA") || fields[1].equals("$GNGGA") && i == 0) {

                    double latitud1 =
                    (Double.parseDouble(fields[3]));
                    String SN1 = fields[3];
                    double latitudDec1 = antena1.CoordDec(latitud1,
                    SN1); // Convertir graus latitud a Decimal

                    double longitud1 =
                    (Double.parseDouble(fields[5]));
                    String WE = fields[6];
                    double longitudDec1 = antena1.CoordDec(longitud1,
                    WE); // Convertir graus longitud a Decimal

                    antena1.moure(latitudDec1, longitudDec1); //
                    Coordenades antena1

                    i = 1;
                }

                if (fields.length > 8 && fields[0].equals("Antena2") &&
                    fields[1].equals("$GPGGA") || fields[1].equals("$GNGGA") && i == 1) {

                    double latitud2 =
                    (Double.parseDouble(fields[3]));
                    String SN2 = fields[3];
                    double latitudDec2 = antena2.CoordDec(latitud2,
                    SN2); // Convertir graus latitud a Decimal

                    double longitud2 =
                    (Double.parseDouble(fields[5]));
                    String WE2 = fields[6];
```

## SISTEMA PROPOSAT

```
double longitudDec2 = antena2.CoordDec(longitud2,
WE2);// Convertir graus longitud a Decimal

antena2.moure(latitudDec2, longitudDec2); //
Coordenades antena2

        i++;
    } else {
        break;
    }

    if (i == 2) { // Condició que tinga informació de les
dos antenes abans de fer el calcul de
// l'angle

        double ang = antena1.getAngle(antena2); // Guarde
l'angle en 'ang' cridant al mètode getAngle de

// la classe Punt
        double LatAbs = antena1.getLatAbs(antena1,
antena2);
        double LonAbs = antena1.getLonAbs(antena1,
antena2);

        System.out.println("Track: " + ang + ",
Posició: " + LatAbs + ", " + LonAbs);

        fw.append(Double.toString(LatAbs)).append(",").append(Double.toString(LonAbs)).append(",
").append(Double.toString(ang)).append(NEXT_LINE);
        fw.flush();

        i = 0; // Resetejar la condició d'entrada al
calcul de l'angle
    }
    line = br1.readLine();
}
}

} catch (IOException ioex) {
// Ací capturem qualsevol excepció IOException que es llance
(incluides les seues
// subclasses)
ioex.printStackTrace();
}
}
}
```

Extracte del fitxer d'eixida que proporciona el programa PFG.jar. A la primera columna es troba la latitud, a la segona columna la longitud i a la tercera columna el rumb.

```
38.8411483333 -0.5185433333 177.9545915111
38.8411483333 -0.5185433333 177.9545915111
38.8411491667 -0.5185433333 177.9174347203
38.8411491667 -0.5185433333 177.9174347203
38.8411491667 -0.5185433333 177.9174347203
38.8411491667 -0.5185433333 177.9174347203
```

## SISTEMA PROPOSAT

---

### 5.4.3 Scripts per a automatitzar l'arrencada dels programes a l'inici

Finalment el que queda és automatitzar l'execució dels programes creats cada vegada que s'inici el sistema. Per a tal es creen dos Scripts a la carpeta */etc/init.d* amb les rutes als programes que volem executar. Aquesta carpeta conté els arxius que s'executaran a l'inici. Els scripts s'anomenen *JavaAutoGNSS* per a l'execució automàtica del codi Java i *BashAutoGNSS* per al codi escrit en Bash. Una vegada estan els scripts escrits amb el codi corresponent s'ha de configurar cada arxiu amb permisos d'administrador amb el comando *sudo chmod 755 /etc/init.d/\*AutoGNSS*, aquesta i després s'activarà l'arranc automàtic amb el comando *sudo update-rc.d \*AutoGNSS defaults*. L'asterisc es substituirà per Java o per Bash.

Els codis són els següents:

Script execució automàtica del codi Java:

```
#!/bin/bash
# /etc/init.d/JavaAutoGNSS

### BEGIN INIT INFO
# Provides:          JavaAutoGNSS
# Required-Start:    $all
# Required-Stop:     $syslog
# Default-Start:     2 3 4 5
# Default-Stop:      0 1 6
# Short-Description: Automatitzar procés GNSS
# Description:       Projecte Final de Grau Josep Pont
### END INIT INFO

sleep 5;

java -jar /home/pi/PFG/PFG.jar

exit
```

Script execució automàtica del codi Bash:

```
#!/bin/bash
# /etc/init.d/BashAutoGNSS

### BEGIN INIT INFO
# Provides:          BashAutoGNSS
# Required-Start:    $all
# Required-Stop:     $syslog
# Default-Start:     2 3 4 5
# Default-Stop:      0 1 6
# Short-Description: Automatitzar procés GNSS
# Description:       Projecte Final de Grau Josep Pont
### END INIT INFO

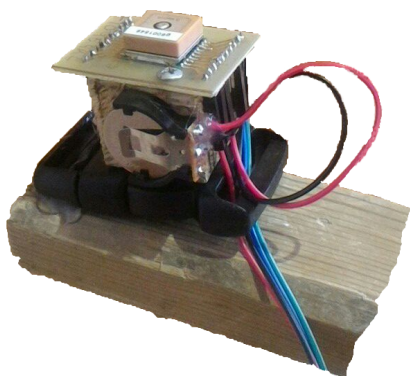
sleep 1;

/usr/local/bin/GPSADQ

exit
```

## 5.5 Muntatge del prototip

Per al muntatge del prototip s'ha emprat una barra de dos metres de llarg al qual se li han adherit unes sivelles femella de plàstic separades a diferent distància per a poder acoblar els receptors, els quals tenen adherits sivelles mascle. D'aquesta forma és més senzill a l'hora de canviar la distància entre els receptors quan es vol provar el funcionament a diferents distàncies.



*Il·lustració 26: Receptor acoblat a la barra.*



*Il·lustració 27: Primer prototip.*

S'han fet proves amb els receptors a dos metres, a un metre, a 80 centímetres, a 70 centímetres i a 50 centímetres. Els resultats han sigut satisfactoris per a distàncies majors a 70 centímetres pel que la distància mínima amb un funcionament optim ha sigut de 80 centímetres. Les proves de camp han consistit en acoblar la barra amb els receptors acoblats a diferents distàncies a la baca del cotxe. La Raspberry Pi i un monitor, per verificar el funcionament, es van instal·lar a l'interior del cotxe alimentats per un convertidor 12V a 230V 50Hz.



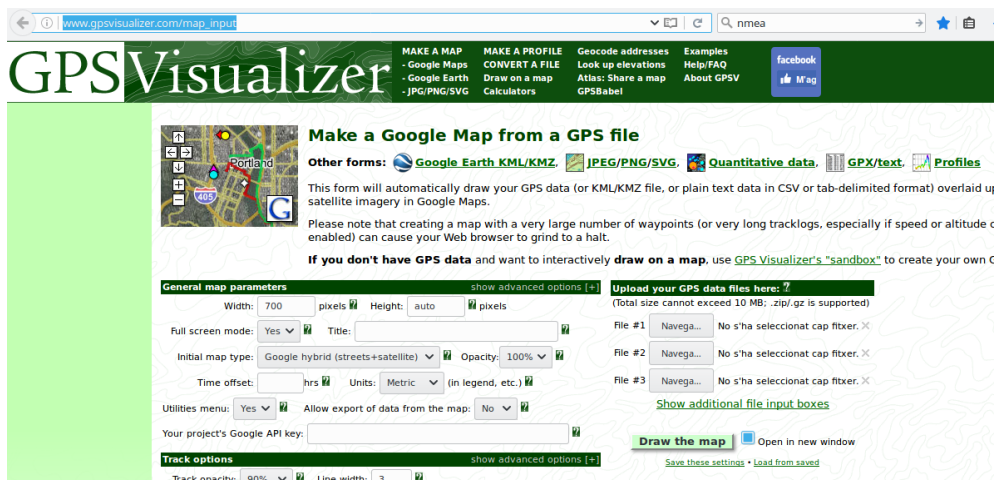
*Il·lustració 28: Raspberry Pi i monitor instal·lats a l'interior del cotxe.*

A continuació es presenta una comparació de resultats obtinguts a les proves de camp amb distàncies de 70 centímetres i 80 centímetres.

## SISTEMA PROPOSAT

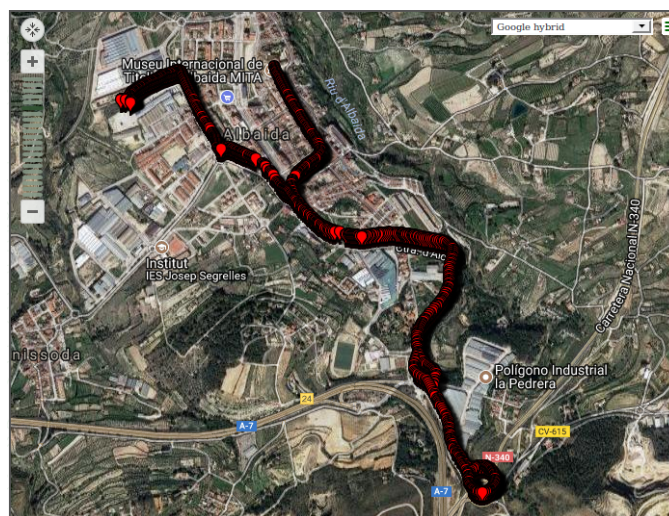
S'ha fet sempre el mateix recorregut entre les poblacions d'Albaida i Atzeneta d'Albaida. La millor localització per comprovar el funcionament són les rodones. Les rodones, al ser circulars es pot veure amb més facilitat si el compàs està proporcionant mesures vàlides perquè es pot relacionar més fàcilment amb la forma circular d'una brúixola. El millor per comprovar el bon funcionament és utilitzar una eina en línia que traça el recorregut a partir d'un arxiu CSV el qual tinga almenys la informació de latitud, i longitud. En aquest cas s'ha afegit la etiqueta del rumb calculat a cadascun dels punts aprofitant l'eixida que proporciona el codi Java. Així es disposa dels punts on el compàs ha llegit la posició i el rumb que es tenia en eixe punt.

L'eina que s'ha emprat per a aquestes proves és la que trobem al web <http://www.gpsvisualizer.com/map>. Una vegada al web cal fixar-se en la part dreta, on es troba l'opció d'apujar fitxers que continguen coordenades.



Il·lustració 29: Eina en línia per a traçats a mapes. Font: [www.gpsvisualizer.com/map\\_input](http://www.gpsvisualizer.com/map_input)

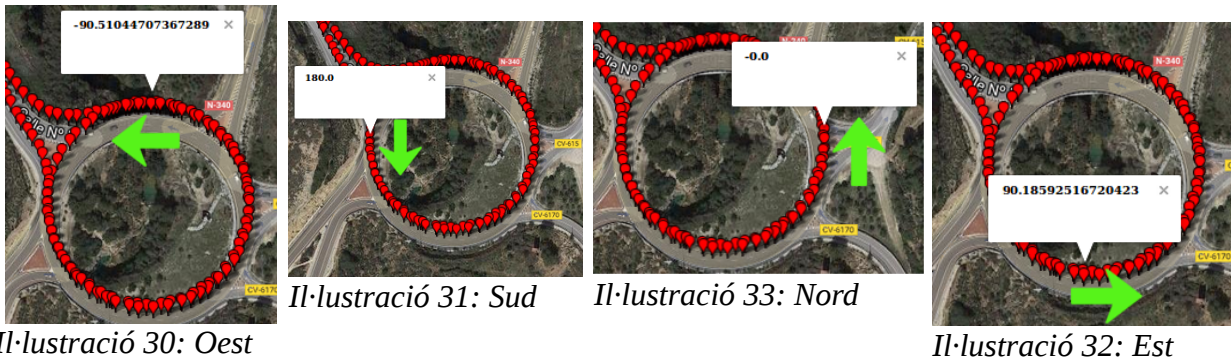
Es poden modificar opcions sobre el color i la forma dels punts que marquen les coordenades. Una vegada amb el fitxer apunt i les opcions que es desitgen es polsa sobre el boto *Draw the map*. S'obrirà una nova finestra on es dibuixaran tots els punts pels quals ha passat el compàs.



A l'extrem inferior dret es troba una rodona per la qual s'ha circulat. Eixe és el punt d'interès per comprovar el funcionament.

## SISTEMA PROPOSAT

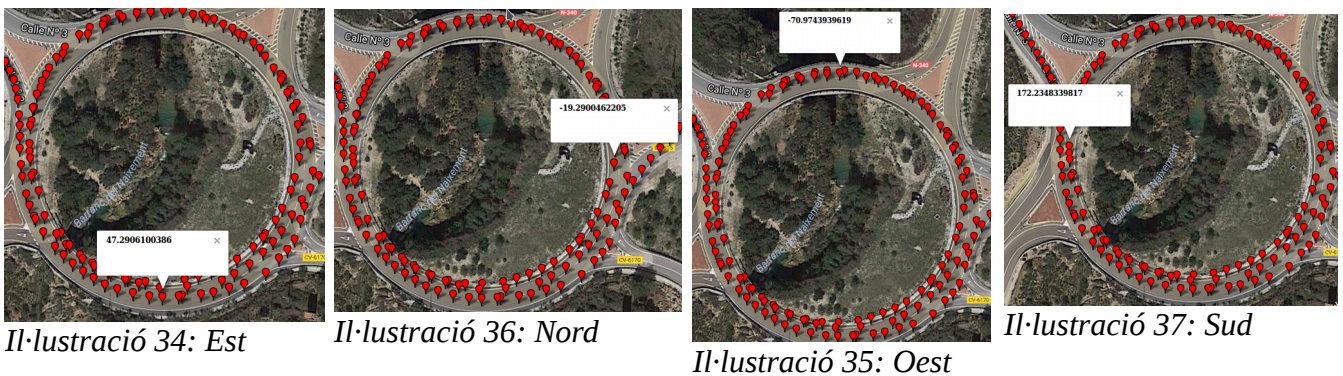
Ditànica: 80 centímetres.



El sentit de gir a les rodones és antihorari. Amb la fletxa verda es recalca el rumb que es porta en cada punt de la rodona i els graus obtinguts pel compàs.

- A la il·lustració 30 la direcció que duu el vehicle és cap a l'oest. Amb aquest rumb el compàs hauria de marcar  $-90^\circ$  i marca  $-90,51044^\circ$ .
- A la Il·lustració 31 la direcció que duu el vehicle és cap al sud. Amb aquest rumb el compàs hauria de marcar  $180^\circ$  i això és el que marca.
- A la Il·lustració 32 la direcció que duu el vehicle és cap al nord. Amb aquest rumb el compàs hauria de marcar  $0^\circ$  i això és el que marca.
- Finalment, a la il·lustració 33 la direcció que duu el vehicle és cap a l'oest. Amb aquest rumb el compàs hauria de marcar  $90^\circ$  i marca  $90,18592^\circ$ .

Distànica: 70 centímetres.



Finalment, restant 10 centímetres la distància entre les antenes i deixant-les a 70 centímetres, es pot observar que les mesures del rumb donades pel compàs ja deixen de ser exactes. Es pot comprovar comparant-les amb les dades de la mostra anterior en les que han sigut pràcticament perfectes.

---

## 5.6 Prototip final:



*Il·lustració 38: Prototip Final*

# CAPÍTOL 6 CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR

## 6.1 Compliment de l'objectiu.

Amb aquest projecte s'ha aconseguit crear un compàs satel·litari el qual proporciona una precisió en el posicionament per baix dels dos metres i un grau de precisió i exactitud més que acceptable en el rumb. En concret s'ha obtingut una precisió en el rumb de més de deu decimals i una exactitud al voltant d'un grau. En realitat no és necessària tanta precisió en la majoria de situacions. En general, els compassos satel·litaris donen una precisió d'un sol decimal que és més que acceptable per a la majoria de situacions donades en la navegació marítima, sobretot la recreativa. Per altra banda a l'hora de realitzar maniobres evasives, d'atrancament al port, pas per canals o maniobres complexes per al desplegament de xarxes de pesca, podria necessitar-se una precisió més alta i en aquest aspecte es juga amb avantatge. Quant a la freqüència amb la que proporciona les dades s'ha establert a 5 Hz que és la màxima amb la que pot funcionar el sistema d'augmentació SBAS. Tot plegat és una fita aconseguir aquest nivell de precisió, exactitud i freqüència amb un preu que no supera els 150€, també per baix del 10% del preu més baix dels compassos comparats a l'apartat 3.4.

## 6.2 Problemes i solucions

El principal problema que s'ha presentat ha sigut l'adquisició de dades dels receptors des del programa escrit en Java. Existeixen diversos connectors que permeten la comunicació pel port serie des de Java però complicaven en excés el codi a elaborar i s'ha optat pel codi escrit en Bash que simplifica la tasca. El punt a favor d'aquest mètode és que es té un registre dels missatges GGA de l'estàndard NMEA que poden ser utilitzats per una altra aplicació.

Un altre problema que s'ha presentat ha sigut escollir el punt de posicionament entre els que donen els dos receptors. Al final s'ha optat per calcular un punt intermedi entre els dos receptors.

## 6.3 Conclusions sobre el projecte

Aquest projecte m'ha servit per a complementar els coneixements en les telecomunicacions. La meua especialitat ha sigut imatge i so però amb aquest projecte he après el funcionament de les comunicacions amb els satèl·lits. D'això he conegut les orbites a les quals orbiten tant els satèl·lits GNSS i realment m'ha despertat la curiositat i l'interès en les comunicacions espacials. A més he après alguna cosa més que les simples nocions bàsiques sobre navegació per instruments, navegació marítima i de rebot algunes nocions bàsiques sobre navegació aèria. Junt als coneixements sobre navegació també he pogut conèixer tota la instrumentació que hi ha al darrere i que manté en marxa tot el procés de posicionament, navegació i navegació autònoma (autopilot).

Per altra banda m'he posat en contacte amb el sistema Raspberry Pi el qual és un sistema polivalent per a projectes tant personals com semiprofessionals. He conegut infinitat de projectes



## CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR

---

interessants i curiosos que es poden realitzar amb ell i segurament continue investigant les possibilitats d'aquesta xicoteta màquina.

Finalment i el més important, aquest projecte ha fet que despertara en mi l'habilitat i l'interès per a la recerca, per a trobar noves i millors formes de solucionar un problema i d'on poder buscar eixes solucions.

### 6.4 Treball futur

Encara que s'ha pogut complir amb l'objectiu, es podrien millorar alguns aspectes. Quant al posicionament, existeix un algorisme anomenat RegTrack, elaborat per l'Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University, Nashville, TN, EUA, amb el qual aconseguixen una precisió submètrica amb una xarxa de receptors de baix cost. En principi es va intentar implementar el codi escrit per ells i li he d'agraïr l'ajuda a Jordi Bataller Mascarell, professor de Programació I i II al Campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València, però la complexitat a l'hora de fer-ho funcionar en una Raspberry Pi va fer tirar enrere aquesta idea. A més, amb aquest sistema és necessari l'ús de receptors del fabricant U-Blox els quals suporten l'opció de enviar missatges en format RAW. Aquests missatges contenen informació de la freqüència portadora i amb aquesta informació i mitjançant un canvi en el plantejament bàsic del problema que presenta el pla de coordenades amb el que es treballa en la trilateració han sigut capaços d'aconseguir aquesta precisió.

Altrament també pot resultar convenient complementar el sistema que s'ha elaborat amb una unitat de mesurament inercial que done més informació sobre els angles de navegació com ara el capcineig, el guaixament i la guinyada, molt interessant per a continuar navegant si en algun moment puntual es perd la connexió amb els satèl·lits. També podria utilitzar-se per saber quina és la declinació magnètica en cas de ser d'interès.

## Bibliografia

- [1]: Declinació magnètica, , [https://ca.wikipedia.org/wiki/Declinaci%C3%B3\\_magn%C3%A8tica](https://ca.wikipedia.org/wiki/Declinaci%C3%B3_magn%C3%A8tica)
- [2]: University of Princeton, GPS, 2007, <https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>
- [3]: Requisitos operacionismes para navegacion instrumental, , [www.seguridadaerea.gob.es/media/Migracion/.../2216.doc](http://www.seguridadaerea.gob.es/media/Migracion/.../2216.doc)
- [4]: Precisió i exactitud, Font:[https://es.wikipedia.org/wiki/Precisión\\_y\\_exactitud](https://es.wikipedia.org/wiki/Precisión_y_exactitud)
- [5]: ABAS, [https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS\\_augmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS_augmentation)
- [6]: GBAS, [https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS\\_augmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS_augmentation)
- [7]: SBAS, [https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS\\_augmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/GNSS_augmentation)
- [8]: WAAS, [https://en.wikipedia.org/wiki/Wide\\_Area\\_Augmentation\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Wide_Area_Augmentation_System)
- [9]: EGNOS, [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Geostationary\\_Navigation\\_Overlay\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Geostationary_Navigation_Overlay_Service)
- [10]: EGNOS, <https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>
- [11]: Viquipèdia, IMU, [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjrgpbF35XWAhXBWxoKHWHOc9cQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FInertial\\_measurement\\_unit&usq=AFQjCNEYsdwnDGEhsSxRqb4qJF3D9ICOZA](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjrgpbF35XWAhXBWxoKHWHOc9cQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FInertial_measurement_unit&usq=AFQjCNEYsdwnDGEhsSxRqb4qJF3D9ICOZA)
- [12]: 2017, [https://es.wikipedia.org/wiki/ángulos\\_de\\_navegación](https://es.wikipedia.org/wiki/ángulos_de_navegación)
- [13]: Doppler Shift, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1786>
- [14]: Pseudodistància, 2017, [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)
- [15]: Desplaçament de fase, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11417/fichero/Cap%C3%ADtulos+%252F2-+Sistema+de+Navegacion+con+ayuda+de+sat%C3%A9lites.pdf>
- [16]: Will Hedgecock, RegTrack, 2014, <http://www.isis.vanderbilt.edu/sites/default/files/u83/High-Accuracy%20Differential%20Tracking%20of%20Low-Cost%20GPS%20Receivers.pdf>
- [17]: Will Hedgecock, RegTrack, , <http://www.isis.vanderbilt.edu/sites/default/files/u83/High-Accuracy%20Differential%20Tracking%20of%20Low-Cost%20GPS%20Receivers.pdf>
- [18]: NMEA, <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>