



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Electrònica Ind. Pla 2002

Títol: Integració de la posició GPS per fer el control del moviment d'un robot

Document: 1.Memòria

Alumne: Eloi Cortada Vallicrosa

Director/Tutor: Santi Esteva

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: ESA

Convocatòria (mes/any): setembre/2012

Índex

1. Introducció	4
1.1. Antecedents	4
1.2. Objecte.....	4
1.3. Especificacions i Abast	5
2. El GPS	7
2.1. El sistema GPS	7
2.2. Arquitectura del sistema GPS.....	8
2.2.1. Segment espacial.....	8
2.2.2. Segment de control	9
2.2.3. Segment d'usuari	9
2.3. Principi de funcionament del sistema GPS.....	9
2.3.1. Característiques dels senyals GPS	10
2.3.2. Estructura del missatge de navegació	12
2.4. Sistemes de mesura de distàncies	13
2.5. Mètodes de posicionament GPS	14
2.5.1. Mètodes de posicionant absolut.....	14
2.5.2. Mètodes de funcionament diferencial.....	15
2.6. Fonts d'error del sistema GPS.....	16
2.6.1. Errors GPS de magnitud UERE	16
2.6.2. Errors GPS de magnitud DOP	17
2.7. Altres sistemes de posicionament global per satèl·lit	18
2.7.1. El Sistema GLONASS.....	18
2.7.2. El projecte GALILEO	19
2.7.3. El sistema BEIDOU	21
2.7.4. Altres sistemes complementaris.....	22
3. Necessitat aplicació GPS per el robot.....	23
3.1. Robots Autònoms d'exploració exteriors	23

3.2. Projecte San Bernardo.....	24
3.2.1. Robots del projecte Sant Bernardo	24
3.2.2. Hardware dels robots	26
3.2.3. Control de trajectòries	27
3.3. Implementació d'un sistema GPS	29
4. Estudi dels receptors GPS	32
4.1. Tipus principals de receptors GPS	32
4.1.1. Mòduls GPS convencionals	32
4.1.2. Mòduls GPS avançats	32
4.1.3. Mòduls receptors amb mesura de fase sobre L1	33
4.1.4. Mòduls receptors de doble freqüència	33
4.2. Receptors GPS convencionals del mercat	34
4.2.1. Característiques dels GPS convencionals	34
4.3. Estudi dels mòduls GPS del mercat	36
5. Mesurador GPS	38
5.1. El Hardware	38
5.1.1. El mòdul GPS	39
5.1.2. El microprocessador.....	40
5.1.3. La pantalla LCD.....	42
5.1.4. Els Polsadors	44
5.1.5. La bateria	46
5.2. El Software.....	48
5.2.1. Protocol MNEA.....	48
5.2.2. Obtenció de la distància.	50
5.2.3. El programa	54
5.2.4. Prova de funcionament del equip de mesura	58
6. Proves i resultats amb el mesurador GPS	61
6.1. Precisió en els quatre eixos	61
6.2. Precisió segons el medi.	65

6.3. Errors de repetibilitat	67
6.4. Errors tipus de dia	67
6.5. Errors segons el nombre de satèl·lits connectats	68
6.6. Assaig de processat.....	70
6.7. Precisió d'alçades	70
6.8. Resultats dels anàlisis	71
7. Futur mòdul GPS	73
7.1. Mòdul de posicionament global per satèl·lit	73
8. Resum del pressupost.....	75
9. Conclusions	76
10. Relació de documents	77
11. Bibliografia	78
12. Glossari	80
A. Programa	82
B. Mesures receptor i anàlisis	93

1. Introducció

1.1. Antecedents

Des de fa anys científics fan servir robots controlats a distància per accedir a llocs inaccessibles o molt perillosos per l'ésser humà per fer investigacions o altres tasques importants.

Hi ha moltes maneres de controlar robots a distància des dels sistemes radiocontrol, bluetooth , wifi, fins i tot sistemes via satèl·lit.

Però hi ha un tipus de robot que no necessita ser controlat, aquest són els robots autònoms els quals realitzen la seva funció sense el control humà.

Hi ha molts robots autònoms entre ells els d'exploració, aquets el que fan es anar d'un punt a un altre seguint diferents trajectòries, buscant alguna cosa o examinant el terreny. Per saber la posició en la que estan el que es fa és controlar l'angle girat per les rodes, però aquest sistema té un defecte i és que no té en compte el lliscament, els errors de comptat de les voltes de les rodes i aquest errors es van acumulant fins a estar molt lluny de la posició real. Llavors s'ha de buscar un sistema per a corregir l'error en la posició.

Per corregir aquets errors hi ha sistemes com el de col·locar sensors, d'acceleració, làsers, i altres però el més efectiu és connectar un sistema GPS ja que d'aquesta manera no hi ha acumulació d'error i es pot obtenir la posició amb pocs centímetres d'error.

1.2. Objecte

L'objecte d'aquest projecte és fer la anàlisi de les precisions i diferents característiques d'un sistema de posicionament global per poder saber si es pot instal·lar en un robot del projecte Sant Bernardo per a corregir errors en el posicionament d'aquest.

S'han de analitzar les diferents precisions que te el GPS. Precisions en les 4 direccions cardinal, en diferents situacions, en cel obert, en sotabosc, entre edificis i al interior d'aquests també s'ha de fer un anàlisi de la precisió en l'alçada. A més es mirarà si al precisió canvia depenent del estat meteorològic.

S'analitzarà la repetibilitat del GPS mirant si es té la mateixa precisió a diferents hores del dia, es mirarà com afecta el nombre de satèl·lits que està connectat el GPS a la precisió obtinguda i s'estudiarà si la capacitat de processat és prou alta per a poder controlar la posició a la velocitat màxima de 30 km/h en la que es pot moure el robot autònom.

L'anàlisi es realitzarà amb un sistema GPS de baix cost ja que els altres són molt costosos i depenent dels resultats s'haurà d'adquirir un mòdul amb prestacions més bones per a poder dur a terme la correcció de la posició amb garanties.

1.3. Especificacions i Abast

En aquest projecte es farà un estudi dels diferents sistemes de posicionament global actuals i els que es troben en fase de desenvolupament. Es mirarà de forma més profunda el sistema GPS ja que és el pioner i el que actualment hi ha més dispositius, un altre sistema bastant utilitzat és el sistema GLONASS, creat pels russes, a més a més hi ha 2 sistemes que es troben en fase de desenvolupament, el BEIDOU que és el sistema Xines el qual opera només a Xina i voltants, però es preveu que en un temps sigui un sistema global. Finalment hi ha el sistema europeu GALILEO que també es troba en fase de desenvolupament i es preveu que en pocs anys comenci a estar operatiu.

Es farà una descripció dels robots per veure la seva configuració i funcionament, poder veure les característiques que hauria de tenir el GPS i com s'hauria de connectar.

D'entre tots els receptors de posicionament Global s'ha fet una classificació i un estudi del tipus de receptor el qual es pot analitzar per a fer l'anàlisi de les precisions.

Un cop elegit el mòdul GPS es dissenyarà un sistema per prendre mesures entre 2 punts mitjançant un microprocessador, en aquest cas serà una placa Arduino i una pantalla LCD per poder veure els resultats i tres pulsadors per agafar els punts de les posicions que es volen mesurar i seleccionar el que es mostra per pantalla.

Després d'elegir el mòdul el que es farà serà un anàlisi de les precisions, repetibilitat i velocitat de processat, agafant diferents mesures en les diferents direccions cardinals i agafant 4 distàncies fent una trajectòria tancada i veient els errors que hi ha en els diferents medis, moment del dia i tipus de dia.

Agafades les dades es farà un estudi d'aquestes mirant els errors en els diferents casos i així poder veure si aquest mòdul GPS serveix per a poder corregir la posició del robot i poder saber si un GPS diferencial amb més precisió podria millorar molt els resultats d'aquest mòdul més senzill.

2. El GPS

2.1. El sistema GPS

El GPS és un sistema basat en l'emissió de senyals des d'una constel·lació de 24 satèl·lits. Està plenament operatiu des del 1995 i va ser dissenyat i promogut pel departament de defensa dels Estats Units amb finalitats militars. Actualment l'ús del GPS no té límit d'usuaris i permet calcular de forma continua els paràmetres PVT que són posició 3D, velocitat i temps.

Del sistema GPS destaquen dos característiques molt importants, una és un sistema global que pot funcionar en qualsevol part del món ja que sempre hi ha un mínim de 4 satèl·lits disponibles allà on es vagi i la segona és la rapidesa del càlcul dels paràmetres PVT, la qual cosa permet que el sistema s'apliqui en vehicles de diferents velocitats, tals com vaixell, avions o automòbils.

La idea bàsica de funcionament consisteix en calcular la distància que hi ha entre la posició on es troba el receptor i quatre satèl·lits que donen informació sobre la ubicació i l'hora que tenen. La distància es calcula mesurant el temps de viatge del senyal del satèl·lit fins al receptor GPS.

Les senyals GPS poden ser utilitzades per ús civil o bé per ús militar. Les d'ús civil o estàndards SPS no són tant precises com les senyals d'ús militar o de precisió PPS, i es transmeten a diferent freqüència. Tot i que la senyal estàndard té menor qualitat, les aplicacions civils van proliferant a un ritme exponencial gràcies en gran part a les tècniques diferencials DGPS.

La utilització d'aquestes tècniques és necessària per obtenir resultats òptims ja que la precisió dels GPS comercials és molt baixa. En molts casos aquesta exactitud arriba com a màxim fins als 10m, factor que limita l'accés a altres aplicacions.

Amb el servei SPS s'obtenen precisions de 15m en el pla horitzontal, 20m en el vertical i una resolució temporal de 340ns. En canvi el sistema PPS ofereix una precisió de 10m en el pla horitzontal, i 13,8m en el vertical i informació temporal amb errors de 100ns.

Aquests valors nominals de precisió poden variar segons la resolució del receptor i sobretot si el govern americà activa l'Anti-Spoofing. En un principi el servei estàndard SPS amb el AS activat té una precisió de 100m en el pla horitzontal i 156m en el vertical. Sense el AS activat, la precisió dels dos serveis és semblant però el *PPS* té més resolució temporal.

2.2. Arquitectura del sistema GPS

El sistema GPS consta de tres segments, els dos primers de responsabilitat militar. El primer és el segment espacial que està format pel grup de satèl·lits. El segon és el segment de control que s'encarrega de seguir, predir les òrbites, verificar els senyals i calcular les correccions dels rellotges des de les diferents bases que es troben a la terra. L'últim segment és el d'usuari format pels equips de navegació, vigilància, temporització, etc.

2.2.1. Segment espacial

El segment espacial està format per una constel·lació de 24 satèl·lits amb òrbites quasi circulars, de 26.600 Km de radi, 6 plans orbitals amb 4 satèl·lits per pla, una inclinació respecte l'equador de 55° , separació en longitud de 60° , un període orbital de 1/2 dia (11h 58 min), vida aproximada de 7,5 anys, emissió de 700 W de potència i un guany de 15 dB.

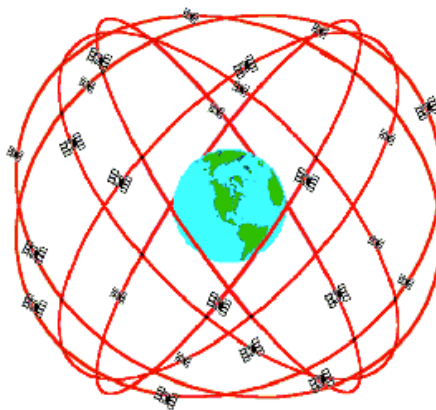


Figura 1. Plans orbitals

El meridià de Greenwich és el punt de referència de la longitud i l'equador és la referència de la latitud.

2.2.2. Segment de control

Les forces aèries nord-americanes són responsables del segment de control des de cinc estacions terrestres que es situen arreu del món a prop de l'equador i tenen la funció de planificar el sistema i llençar nous satèl·lits, efectuar tasques de manteniment, mesurar les posicions dels satèl·lits i predir les seves òrbites, mesurar i ajustar els rellotges atòmics, analitzar les senyals emeses i transmetre les dades i les correccions als satèl·lits.

Les estacions terrestres tenen dos rellotges atòmics de cesi referents al sistema de temps del GPS. Contínuament calculen les posicions i l'hora de tots els satèl·lits que tinguin a la vista. Aquests càlculs s'efectuen amb una precisió extrema, tenint en compte l'estat de l'atmosfera i la seva influència en la refracció dels senyals.

Les dades d'aquestes estacions són transmeses a l'estació principal de control que està situada a Colorado (Estats Units). La sincronització del temps dels satèl·lits és una de les missions més importants del segment de control. Per això, l'estació principal de control està sincronitzada amb l'hora de l'observatori naval dels Estats Units, situat a Washington D.C. Un cop fet els càlculs, s'envien les dades al corresponent satèl·lit, les quals formen una part essencial del missatge de navegació. Les dades s'envien als satèl·lits cada 30 dies.

2.2.3. Segment d'usuari

Està format per tots els equips receptors GPS. Aquests aparells converteixen les senyals rebudes des dels satèl·lits en les variables de Posició, Velocitat i Temps. Però per calcular-ho es necessiten com a mínim 4 satèl·lits, que establiran les coordenades de les dimensions X,Y,Z així com també definiran el temps. Amb els receptors descrits podem navegar tant en dues dimensions, si ja tenim l'altura, com en tres i amb els equips diferencials es poden obtenir posicionaments de precisió.

2.3. Principi de funcionament del sistema GPS

El sistema GPS té per objectiu calcular la posició d'un punt qualsevol en un espai de coordenades (x,y,z) , partint del càlcul de les distàncies del punt a un mínim de quatre satèl·lits amb posició coneguda. La distància entre el receptor i un satèl·lit es mesura

multiplicant el temps de viatge de la senyal emesa des del satèl·lit per la velocitat de propagació.

Per mesurar el temps que tarda la senyal de radio és necessari que els rellotges del satèl·lits i el dels receptors estiguin sincronitzats ja que han de generar simultàniament el mateix codi. Ara bé, mentre els rellotges dels satèl·lits són molt precisos, els rellotges dels receptors són oscil·ladors de quars de baix cost i per tant més imprecisos. Les distàncies amb errors deguts al sincronisme es denominen pseudodistàncies.

La desviació en els rellotges dels receptors afegeixen una incògnita més que fa necessari un mínim de quatre satèl·lits, en comptes de tres, per estimar correctament la posició (x,y,z) i la desviació del rellotge b .

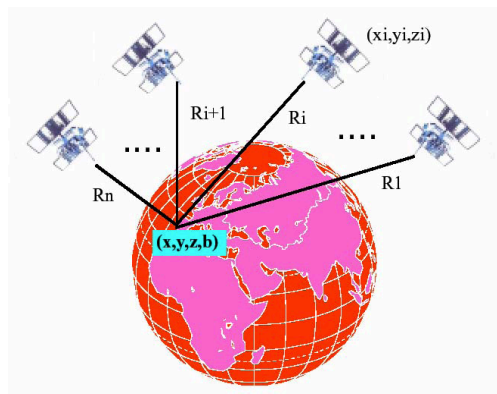


Figura 2. Posició (x,y,z,b)

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - b \quad (\text{Eq.1})$$

On R_i són les pseudodistàncies, x_i, y_i i z_i és la posició coneguda dels satèl·lits, b és la desviació del rellotge i x, y i z és la posició que es vol trobar.

2.3.1. Característiques dels senyals GPS

En el sistema GPS s'assigna a tots els satèl·lits un codi diferent per diferenciar-los a tots i tenir la certesa de que el senyal que s'està rebent és d'un determinat satèl·lit i no d'un altre, aquest codi s'anomena codi pseudo-aleatori (PRN – PseudoRandom Number) i té dues característiques importants: baixa correlació i es repeteix periòdicament.

El codi pseudo-aleatori creat pels satèl·lits es compon de tres tipus de cadenes, el primer tipus és el codi C/A (Coarse / Acquisition) que es transmet mitjançant una freqüència de 1.023 MHz i el període és d'un milisegon. El segon és el codi P (Precision Code), amb una freqüència de 10,23 Mhz i un període de 267 dies, encara que només s'utilitzen 7 dies ja que es reajusta cada setmana assignant seqüències setmanals diferents a cada satèl·lit, aquest codi és únic a cada un dels satèl·lits GPS. La última cadena està formada pel codi Y, que s'envia xifrat en lloc del codi P quan està activat el AS (Anti-Spoofing), el qual és un error que pot afegir el departament de defensa dels Estats Units per evitar atemptats.

El codi format pels satèl·lits es transmet mitjançant dues senyals portadores, l'ona portadora L1 de freqüència 1575.42 MHz i longitud d'ona de 19,05cm que transmet el codi C/A i P. La segona portadora és la L2 amb freqüència de 1227.60 MHz i longitud d'ona de 24,5cm que transmet informació militar modulada en codi P. Les senyals L1 i L2 modulen i transporten informació que es pot classificar en 3 nivells:

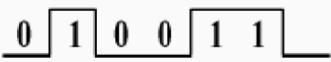


NIVELL	TIPUS DE SENYAL	APLICACIÓ
Dades de navegació	Seqüència de bits 	<ul style="list-style-type: none"> - Posició dels satèl·lits - Hora GPS - Estat funcional
Seqüències PRN	Seqüència de bits 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesura de distància al satèl·lit - Accés xifrat a les dades de navegació
Onda portadora	Microones 	<ul style="list-style-type: none"> - Modulació de les seqüències binàries - Mesura de distància

Figura 3. Composició de L1 i L2

El satèl·lit a més a més transmet una senyal de 50 Hz en les dues ones portadores L1 i L2, que inclou les efemèrides i les correccions per desviació dels seus rellotges. Totes aquestes dades componen el missatge de navegació.

2.3.2. Estructura del missatge de navegació

Cada satèl·lit transmet les dades requerides per porta a terme el procés de posicionament a través del missatge de navegació. Aquest missatge consisteix en un conjunt de 25 trames de 1500 bits cadascuna, formades a la vegada per un conjunt de cinc subtrames de 300 bits cada una. Cada trama es transmet en 30 segons per lo qual la velocitat de transmissió és de 50 baus i el temps de transmissió d'un missatge de navegació (25 trames) és de 12,5 minuts. Els satèl·lits emmagatzemen les dades de navegació dels últims 60 dies.

L'estructura de les dades és la següent:

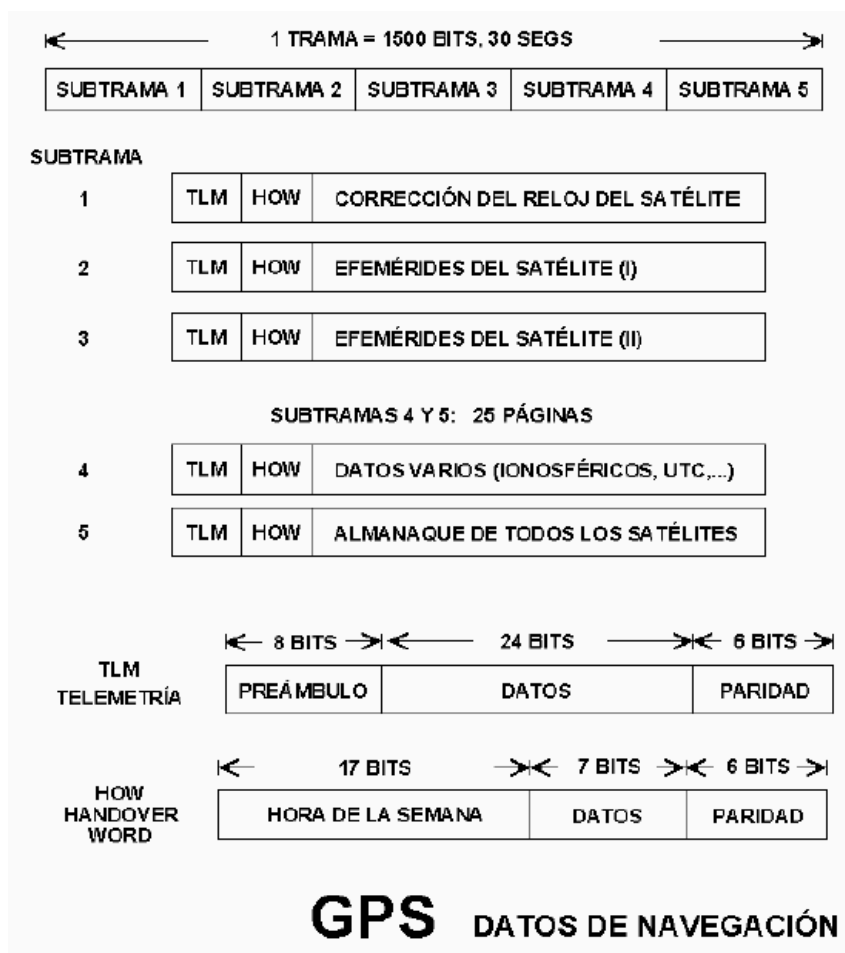


Figura 4. Estructura missatge navegació

La subtrama 1 Conté informació per calcular el rellotge, la precisió esperada i avaluar l'estat operatiu del satèl·lit.

Parámetro	Nº de Bits	Factor de escala	Descripción
Nº de semana	10	1	Medida desde 5-6 ENE 1980 (medianoche)
Precisión del SAT	4		Indicador de la precisión que puede obtenerse del satélite.
Estado funcional	6		
T_{GD}	8	2^{-31}	Factor de corrección por retardo de grupo
IODC	10		Número de expedición de los parámetros.
t_{oc}	16	2^{-4}	Factor de corrección temporal
a_{f2}	8	2^{-55}	Factor de corrección temporal
a_{f1}	16	2^{-43}	Factor de corrección temporal
a_{f0}	22	2^{-31}	Factor de corrección temporal

Figura 5. Subtrama 1

Les subtrames 2 i 3 contenen dades que descriuen l'òrbita de cada satèl·lit amb les quals es calcular la seva posició. Les subtrames 4 i 5 contenen dades del sistema que canvien de contingut en cada cicle, són com una finestra a través de la qual es pot conèixer diverses dades com ara: el almanac dels satèl·lits el qual és una versió reduïda en bits, de menor precisió, dels paràmetres per el càlcul del rellotge i la posició de tots els satèl·lits, la verificació funcional dels satèl·lits, les dades de la ionosfera per la correcció de la velocitat de propagació o el comptador de l'hora universal UTC.

De manera adicional cada trama conte dos capçaleres que són la Telemetry World (TLM) i la Handover World (HOW) de 30 bits cadascuna generades per cada satèl·lit. La primera conté dades de telemetria i la segona informació sobre la entrega de codis C/A i P(Y). A més contenen bits de paritat per detectar possibles errors en la recepció del missatge o generats pel propi satèl·lit.

2.4. Sistemes de mesura de distancies

La mesura de distàncies als 4 satèl·lits es poden realitzar de tres formes diferents. La primera forma es mitjançant l'efecte Doppler, es basa en la mesura del desplaçament o correlació Doppler i consisteix en la variació aparent en el valor de la freqüència en funció de la velocitat d'aproximació o d'allunyament de la font emissora.

El segon mètode és el de les pseudodistàncies és exclusiu de la tècnica GPS i es tracta d'una multilateralització tridimensional que situa l'estació en l'intersecció d'unes esferes amb el centre en el satèl·lit i radi de la distància corresponent. Aquest sistema s'utilitza en navegació i permet el posicionament continuat en temps real. La pseudodistància és el resultat de multiplicar la velocitat de la llum per el desplaçament temporal necessari per alinear una replica del codi GPS generat en el propi receptor, amb la senyal procedent del satèl·lit GPS.

L'última forma consisteix en la mesura per diferència de fases i és la que permet màxima precisió. Per això es fa servir una freqüència de referència obtinguda del oscil·lador que controla el receptor, i es compara amb la portadora que s'ha aconseguit després de la correlació. La base del mètode és controlar en fase una emissió radioelèctrica feta des del satèl·lit amb freqüència coneguda i des d'una posició coneguda.

2.5. Mètodes de posicionament GPS

De posicionaments n'hi ha de dos tipus, absolut i diferencial. Cada un pot ser estàtic o cinemàtic, és a dir el receptor està estacionari o en moviment. Per tant hi ha 4 possibles mètodes segons el tipus de posicionament.

2.5.1. Mètodes de posicionant absolut

Aquests mètodes l'utilitzen els receptors de navegació més senzills, en el qual l'usuari no té que fer pràcticament res ja que el navegador s'encarrega de sintonitzar la senyal de cada satèl·lit, ajustar el rellotge, computar les distàncies i calcula la posició. Amb aquest mètode es calcula la posició del punt utilitzant les mesures de pseudodistància tant pel codi C/A com pel codi P.

En funció del tipus de receptor que es disposi, aquest mètode té una precisió entre 7 i 25 m depenent de la geometria de la constel·lació i de la qualitat en què arribi la senyal.

Tant si ens movem com si estem estàtics el navegador actua de la mateixa manera amb la mateixa precisió. Per tant el mètode és el mateix en ambdós casos.

2.5.2. Mètodes de funcionament diferencial

En les mètodes de funcionament diferencial hi ha involucrats dos o més instruments GPS, a la finalitat d'eliminar els errors propis del sistema, calculant els increments de coordenades des de l'equip de referència a l'equip mòbil. La posició tant es pot calcular a partir dels codis C/A i P com per les mesures de fases (L1 i/o L2).

En el mètode diferencial estàtic els dos instruments GPS són estacionaris i el que es fa és determinar vectors o línies-base entre 2 punts en els quals es deixen receptors estacionaris. La precisió depèn del tipus de mesura de distància realitzada, en pseudodistància CA o per mesura de fase. Utilitzant el primer tipus de mesura es poden aconseguir precisions inferiors als 5m i en mesures de fase la precisió va de 1ppm fins 0.1ppm.

El cinemàtic un dels aparells GPS és estacionari i l'altre mòbil. Els dos receptors estan realitzant observacions al mateix temps i als mateixos satèl·lits. Les precisions que s'obtenen d'aquest mètode varien segons el tipus de receptor i la mesura de distància, des de l'ordre de pocs metres a centímetres.

En general aquestes tècniques es basen en la idea que els errors sistemàtics en la mesura de distàncies als satèl·lits tenen una gran correlació espacial, això vol dir que dos receptors en dues posicions properes entre si, els quals calculen la posició a partir dels mateixos satèl·lits, obtindran mesures afectades per els mateixos errors sistemàtics. Els errors que afecten el satèl·lit i en el viatge de la senyal es poden eliminar utilitzant tècniques diferencials, en canvi els errors que es produeixen en el receptor són errors aleatoris que són més difícils de corregir.

Amb aquestes tècniques s'obtenen correccions sobre la posició, i aquestes correccions poden fer-se de dues formes amb el mode post processat que els resultats són emmagatzemats per els receptors i posteriorment es corregeixen en un ordinador central i en temps real que les correccions són enviades en tot moment als receptors, que les apliquen en totes les seves mesures.

Les aplicacions DGPS en temps real exigeixen disposar d'algun medi per transmetre les correccions als receptors, normalment aquest mitjà és la radio.

2.6. Fonts d'error del sistema GPS

Hi ha moltes causes d'errors algunes de les quals poden ser modelades o corregides. De fet en el missatge de navegació se subministren múltiples paràmetres amb aquest objectiu. Altres, no obstant, no és possible modelar-les pel qual es fa necessari utilitzar altres tècniques per millorar les prestacions del GPS.

Els errors del sistema GPS es poden classificar en 2 tipus error UERE i DOP. L'error UERE és la suma de tots els errors del sistema mesurats en distància i l'error DOP és l'error que causa el fet de tenir els satèl·lits distribuïts geomètricament de maneres diferents. L'error final serà el producte entre l'error UERE i l'error DOP.

2.6.1. Errors GPS de magnitud UERE

UERE és l'error equivalent en distància al usuari i es defineix com el vector sobre la línia vista entre el satèl·lit i el usuari resultat de projectar sobre ella tots els errors del sistema. Aquets errors que afecten a les observacions GPS es divideixen en errors en els satèl·lits, errors en el receptor i errors degut a la propagació del senyal GPS.

Dels errors en els satèl·lits un és degut a la desviació del rellotge del satèl·lit respecte el rellotge del sistema, el segment de control manté sincronitzats els rellotges dels satèl·lits dins d'un marge, teòricament les desviacions podrien arribar a 1ms, encara que habitualment són de l'ordre de 3ms. Els satèl·lits envien els paràmetres de correcció, que el receptor aplicarà mitjançant una fórmula. El segon error es degut a la posició calculada del satèl·lit ja que els satèl·lits es desvien de les seves òrbites calculades per diferents raons com la variació del camp gravitatori, la variació en la pressió de la radiació solar o degut a la fricció del satèl·lit amb les molècules lliures.

Existeixen tres fonts d'error diferents en els receptors, el primer és el soroll en els receptors, fonamentalment de tipus tèrmic, el seu error de distància equivalent UERE es troba al voltant d'1m. La segona es causada per la resolució de les seqüències PRN, amb les tècniques més modernes d'alineament s'aconsegueixen errors de 3m per seqüències C/A, i 20cm per seqüències P(Y). la última font d'error es per culpa de les múltiples reflexions cap al receptor. Aquest efecte és molt difícil de detectar, depèn de la posició del receptor, de la seva visibilitat, i del seu entorn pròxim.

La primera causa d'error degut a la propagació del senyal GPS es causada per el retard en la propagació del senyal en la Troposfera (1m). La troposfera és la capa atmosfèrica més propera a la superfície terrestre, l'altura d'aquesta varia segons l'estació de l'any i la posició geogràfica que pot anar dels 9 km als pols fins als 15 km a l'equador. En aquesta capa hi succeeixen els fenòmens meteorològics que afecten a la senyal GPS. L'altre es pels efectes ionosfèrics (10m). La ionosfera se situa entre els 50 i 500 km. L'efecte varia entre el dia i la nit i es caracteritza per tenir un significat nombre de electrons circulant lliurement que afecten substancialment a les ones electromagnètiques.

Existeix un altre tipus d'error causat pel departament de defensa del govern Americà, aquest error es l'anomenat SA. La disponibilitat selectiva ha estat la major font d'error per els usuaris del servei de posicionament estàndard GPS. Actualment el govern americà manté la disponibilitat selectiva desactivada des de l'1 de maig del 2001.

Els errors que afecten al satèl·lit o a la propagació de la senyal s'anomenen errors sistemàtics els quals estan tots modelats i es poden eliminar casi totalment fent càlculs i utilitzant tècniques diferencials. En canvi els errors que afecten al receptor s'anomenen errors aleatoris perquè no estan subjectes al sistema sinó que operen puntualment en cada cas. Els errors causats pel SA es poden eliminar utilitzant tècniques DGPS.

2.6.2. Errors GPS de magnitud DOP

Els errors DOP depenen de la posició dels satèl·lits en el moment del càlcul de la posició. No és el mateix que els 4 satèl·lits estiguin molt separats on s'obté millor precisió, que els satèl·lits estiguin més pròxims que s'obté pitjor precisió.

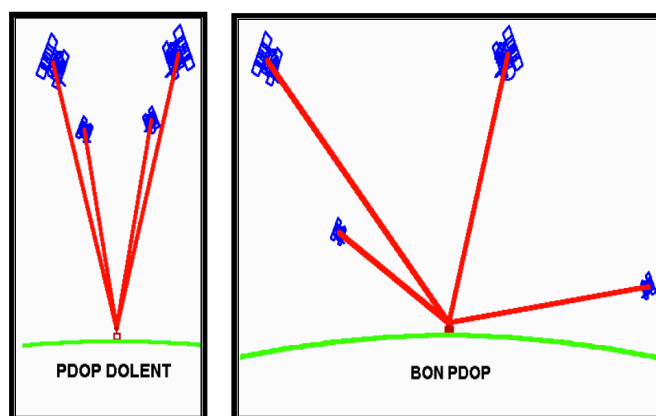


Figura 6. Error PDOP

Aquest error es pot dividir en GDOP (Geomètric DOP) que és un error a conseqüència de la posició geomètrica dels satèl·lits i la desincronització dels rellotges, en PDOP (Posició DOP) conseqüència de que es crea incertesa en la posició degut únicament a la geometria dels satèl·lits, en HDOP (Horitzontal DOP) que és un error a causa de l'incertesa en la posició horitzontal que es dona a l'usuari, en VDOP (Vertical DOP) és l'error causat per la incertesa en la posició vertical de l'usuari i en TDOP (Temps DOP) que es crea un error degut només a l'estat del rellotge.

Els valors de VDOP solen ser majors que els valors d'HDOP. Això s'explica per la senzilla raó que mentre que per HDOP ens arriben senyals de totes direccions en VDOP només ens arriben senyals en una direcció, des de dalt.

El PDOP pot prendre diferents valors, entre 1 i 3 quan hi ha molt bona configuració geomètrica, entre 3 i 6 quan la configuració és acceptable segons la precisió que es vulgui i a partir de 6 la mesura no és gaire fiable.

Un cop tenim el valor de l'error UERE i els valors de l'error DOP es pot fer el càlcul de l'error total en metres.

2.7. Altres sistemes de posicionament global per satèl·lit

2.7.1. El Sistema GLONASS

El Sistema GLONAS (GLobal Orbiting NAVigation Satellite System) és el sistema de posicionament global per satèl·lit rus, els satèl·lits es van començar a llençar a l'espai al 1982 i es troba plenament operatiu des de 1996. Aquest sistema està dissenyat per l'ús militar i té dos modes de funcionament, un d'estàndard i l'altre de precisió. Al servei estàndard hi té accés qualsevol civil, en canvi el servei de precisió és d'accés restringit, només els militars i alguns civils amb autorització poden accedir-hi.

L'any 2007 Rússia va eliminar totes les restriccions de precisió en l'ús de GLONAS, permetent un ús comercial il·limitat. Fins llavors les restriccions de precisió per usos civils eren d'uns 30 metres. La senyal s'emet per la línia de freqüència L1 de la mateixa manera que en el sistema GPS.

Característicament el sistema està segmentat en tres: segment espacial, segment de control i segment d'usuari.

El sector espacial en un principi partia d'una constel·lació de 24 satèl·lits que permetia una cobertura de com a mínim 4 satèl·lits en qualsevol punt del món. La situació econòmica Russa dels anys 90 va fer que a l'any 2002 només hi hagessin 11 satèl·lits totalment operatius, a partir d'aquí es va anar restaurant i millorant el sistema. Fins a l'actualitat que hi ha un total de 31 satèl·lits en òrbita.

Els satèl·lits estan ubicats en tres plans orbitals amb vuit satèl·lits cada un, una òrbita inclinada de 64,8 graus, un radi de 25.510km i a una altitud de 19.100km. Tarda aproximadament un període de 11 hores i 15 minuts.

El segment d'usuari consta senzillament d'una antena i un receptor. També hi ha receptors que combinen les dades rebudes en els sistemes GLONASS i GPS a la vegada.

En aquest sistema es poden obtenir precisions d'entre 57 i 70 metres en posició horitzontal i 70 metres en posició vertical.

2.7.2. El projecte GALILEO

GALILEO és un sistema de posicionament per satèl·lit desenvolupat per la Unió Europea i creat per a satisfer bàsicament les necessitats d'ús civil. Aquest sistema encara es troba en fase de desenvolupament des de l'any 1999, el 21 d'octubre de 2011 es van llençar els 2 primers satèl·lits del programa i es preveu que al 2014 estigui en funcionament. La component principal del sistema és una constel·lació de satèl·lits amb una cobertura global dirigida per la Unió Europea i per l'Agència Espacial Europea. Està previst que aquest sistema doni l'ubicació en temps real amb una precisió de metres.

Aquest sistema també es pot separar com els anteriors en segment espacial i en el segment de control i segment d'usuari.

El sistema espacial de GALILEO estarà format per una constel·lació mundial de 30 satèl·lits. Els satèl·lits estaran distribuïts en 3 plans orbitals amb 10 satèl·lits cada un i una altitud de 23.616 km. Cada un tardarà 14 hores en completar una òrbita terrestre. A cada pla hi haurà

un satèl·lit de reserva actiu capaç de substituir qualsevol satèl·lit que falli en aquest pla. Els satèl·lits estaran en orbites lleugerament més inclinades cap als pols, d'aquesta manera les dades seran més exactes en regions més properes als pols on els satèl·lits GPS perden precisió.

Aquest sistema tindrà una important reducció de pèrdues de senyal comparades amb els altres sistema ja que disposarà se senyals complementaries en diferents bandes de freqüència. Utilitzarà 10 freqüències, 4 freqüències en el rang de 1164-1215 Mhz (E5A E5B), 3 en el rang de 1260-1300 MHz (E6) i 3 freqüències en el rang de 1559-1591MHz (L1).

El segment d'usuari estarà format per tots els equips i antenes. Els equips podran ser compatibles amb els sistemes GPS i GLONASS i podran rebre posicions dels tres sistemes a la vegada. El sistema està concebut per a diferents tipus d'usuaris per això el sistema oferirà 5 tipus de servies diferents, el servei obert, el servei per aplicacions crítiques, el comercial, el públic regulat i el de recerca i salvament.

El Servei obert estarà destinat a aplicacions per el públic en general, oferirà senyals per proporcionar informació precisa de temps i posicionament gratuïtament. Tindrà una precisió superior a la del GPS amb un marge de error de pocs metres. Les freqüències seran E5A E5B i L1.

El Servei per aplicacions crítiques s'utilitzarà en la majoria d'aplicacions de transport on la vida humana es podria posar en perill. Aquest servei proporcionarà la mateixa precisió que el sistema obert, l'única diferència serà l'integritat de cobertura del sistema per aplicacions on la seguretat es crítica, com navegació aèria i aplicacions ferroviàries. Les seves prestacions s'obtinran mitjançant receptors certificats de doble freqüència. Les freqüències seran E5A E5B i L1.

El Servei comercial estarà orientat a aplicacions de mercat les quals requereixen un nivell de prestacions superior al servei obert a canvi d'un cànon de pagament. Aquest servei agregarà dues senyals a les senyals d'accés obert les quals estaran protegides mitjançant un xifrat comercial. La freqüència serà la E6.

El Servei públic regulat serà un servei d'accés controlat per a aplicacions governamentals com la policia. Institucions civils controlaran l'accés a aquest servei xifrat, per ingressar a aquest servei s'hauran de complir unes polítiques de seguretat aplicables a tot Europa. El

servei públic de seguretat serà un servei independent, de tal manera que els altres serveis podran estar sense operar que aquest continuarà funcionant perfectament. Una característica d'aquest servei serà la robustesa així estarà protegit contra interferències intencionades o modificacions del senyal.

El Servei de recerca i salvament (SAR) aportarà noves millores al sistema de recerca i salvament existent amb una recepció casi en temps real dels missatges de socors transmès des de qualsevol punt de la terra (El temps actual és casi una hora), una localització precisa de les alertes de pocs metres (L'actual és d'uns 5km) utilitzant la detecció per múltiples satèl·lits per evitar el bloqueig en condicions de poca visibilitat dels satèl·lits i una major disponibilitat del segment espacial, s'afegiran els 30 satèl·lits orbitals del sistema GALILEO als quatre satèl·lits d'òrbita terrestre baixa i els tres geostacionaris del sistema actual.

2.7.3. El sistema BEIDOU

El sistema de posicionament per satèl·lit BEIDOU és un projecte de CHINA. La primera part del projecte ja està plenament operativa.

Pel que fa el sistema espacial utilitza satèl·lits en òrbita estacionaria, a diferència dels altres sistemes descrits anteriorment que utilitzen satèl·lits d'òrbites baixes. Això implica que no es necessitin una gran constel·lació de satèl·lits, però limita la seva cobertura sobre la terra a la part visible pels satèl·lits. En aquest cas, la primera part del projecte només té cobertura sobre Xina utilitzant dos satèl·lits i una estació terrestre.

La segona part del projecte s'anomenarà BEIDOU-2, serà un sistema de posicionament global semblant al GPS, es preveu que estigui plenament operatiu l'any 2020 amb 30 satèl·lits d'òrbites baixes.

El sistema oferirà dos tipus de serveis, l'obert que donarà una posició amb un d'error de 10 metres de distància, 0,2m per segon de velocitat i 5us de temps. El segon servei serà autoritzat només per determinats clients amb mes precisió i majors mesures de seguretat.

2.7.4. Altres sistemes complementaris

En determinades ocasions es necessari que els receptor tinguin molt bona precisió, com per exemple el posicionament durant l'aterratge d'avions, a l'hora de definir terrenys i moltes altres aplicacions. L'error actual es d'uns 10 a 15 metres i per això estan en funcionament des de fa uns anys uns altres tres sistemes de posicionament que permeten fer correccions en temps real i milloren substancialment la precisió, aquests sistemes són el WAAS a Estats Units el EGNOS a Europa i el MSAS a Japó.

En aquestes regions s'han inclòs estacions de referència terrestre repartides en llocs estratègics que capten les senyals dels satèl·lits. Com que són estacions fixes, poden conèixer en tot moment la magnitud de l'error que s'està cometent tant en el desplaçament vertical com horitzontal. Els errors captats per les múltiples estacions de referència es computen conjuntament per crear un "mapa" corrector. Es fan mapes globals de correcció que s'estenen per tot Estats Units, Europa i Japó, aquesta informació s'envia a un satèl·lit independent de la constel·lació GPS o GLONASS i aquest envia les correccions. Aquests tipus de satèl·lits són geostacionaris, no canvien la seva posició relativa en l'espai com passa amb tots els altres del sistema GPS o GLONASS.

L'existència de tots aquests sistemes complementaris significa que la precisió que s'obté dels receptors GPS o GLONASS actuals no és suficient per a moltes aplicacions.

3. Necessitat aplicació GPS per el robot

Actualment els robots són molt utilitzats per a realitzar feines més exactes i de forma més barata que les persones, també són utilitzats en treballs massa bruts, perillosos o feixucs pels humans. És molt comú utilitzar-ne en plantes de muntatge, embalatge, en transport, exploracions en la terra i en el espai, cirurgia, armament, investigació en laboratoris i en la producció en massa de bens industrials o de consum i altres aplicacions que inclouen la neteja de residus tòxics, mineria, recerca i rescat de persones i localització de mines terrestres.

Aquest projecte es centrarà en els robots autònom d'exploració en exteriors per a portar a terme feines de rescat, concretament en el Robot anomenat Big Bot creat per el projecte San Bernardo a la universitat de Girona en el laboratori ARLAB.

3.1. Robots Autònoms d'exploració exteriors

Els robots autònoms són robots que poden realitzar els treballs desitjats en ambients no estructurats i sense guia humana continua. Un robot completament autònom té la capacitat per obtenir informació sobre el medi ambient, treballar un llarg període de temps sense intervenció humana, moure la totalitat o part de si mateix pel seu entorn operatiu sense ajuda humana i evitar les situacions que són perjudicials per a les persones, propietats o per els robots mateixos, si això es part de la especificació del seu disseny. A més pot aprendre o guanyar noves capacitats com la modificació de les estratègies per porta a terme la seva feina o les adaptacions a entorns canviants.

L'autonomia a l'aire lliure és més difícil pels vehicles terrestres degut a les 3 dimensions del terreny, les grans disparitats en la densitat de la superfície, les exigències del temps i la inestabilitat del medi on es troba. Els vehicles terrestres es mouen mitjançant algun enginy rodant, tant poden ser rodes com cadenes tipus eruga o altres artificis que permetin el desplaçament per terra i poder passar pels diferents medis en els que es trobin sense que sigui un obstacle.

En definitiva un robot autònom terrestre d'exploració en exteriors haurà de ser capaç de moure's per molts medis diferents evitant obstacles amb una finalitat de realitzar una recerca concreta sense el control continu de cap persona.

3.2. Projecte San Bernardo

El projecte San Bernardo és un projecte desenvolupat a la universitat de Girona al laboratori ARLAB. L'objectiu del projecte és portar a terme la investigació en arquitectures de control i interacció per a dur a terme funcions cooperació entre robots amb la finalitat de localitzar i ajudar a les persones perdudes en situacions de emergència.

En la primera etapa aquest robots seran utilitzats per a localitzar els supervivents i transmetre la seva ubicació als serveis de rescat a més a més de prestar-los ajuda a través de dispositius inalàmbrics, per a comunicar-se amb els equips de rescat, i portant aigua potable i medicaments.

Es proposa la investigació de la consciència dels robots sobre les seves capacitats per portar a terme les feines que els hi són encomanades amb la finalitat de assegurar un bon rendiment i les funcionalitats de cooperació en un equip heterogeni de robots i es complementa amb la feina de recerca i ajut de supervivents per a persones en situacions de emergències en inundacions. Les situacions d'emergència requereixen la implementació i la coordinació d'un gran número de recursos en un període molt curt de temps entre persones, materials i els robots.

3.2.1. Robots del projecte Sant Bernardo

La heterogeneïtat en el equip de robots beneficia a l'execució de les feines comuns del sistema. L'equip del projecte està dividit en els SmallBot, els BigBot i els AquaBot, tots aquests robots són no holonòmics, es a dir, no poden realitzar girs de 360 graus amb una sola maniobra, ja que disposen 4 rodes propulsores i només dues són les que s'encarreguen de la direcció. Cada tipus de robot té característiques diferents que es tracten de complimentar entre ells.

L'SmallBot és el robot més petit del equip, és adequat per moure's o entrar on els altres robots no poden, a més a més és el robot més ràpid lo que pot trobar més ràpidament la víctima, es pot moure fins a 30km/h, el desavantatge de l'SmallBot es que li és difícil de passar per terrenys complicats. Disposa de una càmera IP que pot ser controlada des de la estació de control i un sensor de rang làser amb un camp de visió de 4 metres.



Figura 7. SmallBot

El BigBot és el robot més gran i robust de la flota, es capaç de travessar grans obstacles i moure's fàcilment per terrenys irregulars gracies a una conjunció de sistema de suspensió i xassís els quals fan que el robot sigui capaç de aixecar una roda. Aquest robot disposa d'un termòmetre làser i una unitat de mesura inercial per controlar la orientació i el tipus de terreny.



Figura 8. BigBot

L'AcuaBot és un robot dissenyat per moure's en zones inaccessibles, en ruïnes, zones on hi ha elements tòxics o inundades on els robots anteriors no hi poden arribar. Aquest robot està equipat amb uns elements estancs per als components principals així com els motors per a moure's lliurement a través de les àrees inundades. L'AcuaBot només disposa d'una càmera que pot veure a través d'una cúpula transparent.

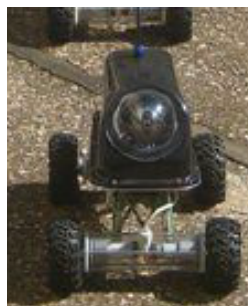


Figura 9. AcuaBot

Els robots es comuniquen entre si per compartir informació sobre el medi on es troben a través d'una xarxa Wifi creada pels mateixos robots, cada un és un node formant una xarxa inalàmbrica de malla. Cada robot és capaç de moure's de forma independent en qualsevol direcció, per tant s'aniran canviant els enllaços amb freqüència per tal de mantenir la connexió entre tots els robots.

3.2.2. Hardware dels robots

Els tres tipus de robots tenen un hardware basic idèntic, la única cosa que canvia es el número i els tipus de sensors de que disposa cadascun.

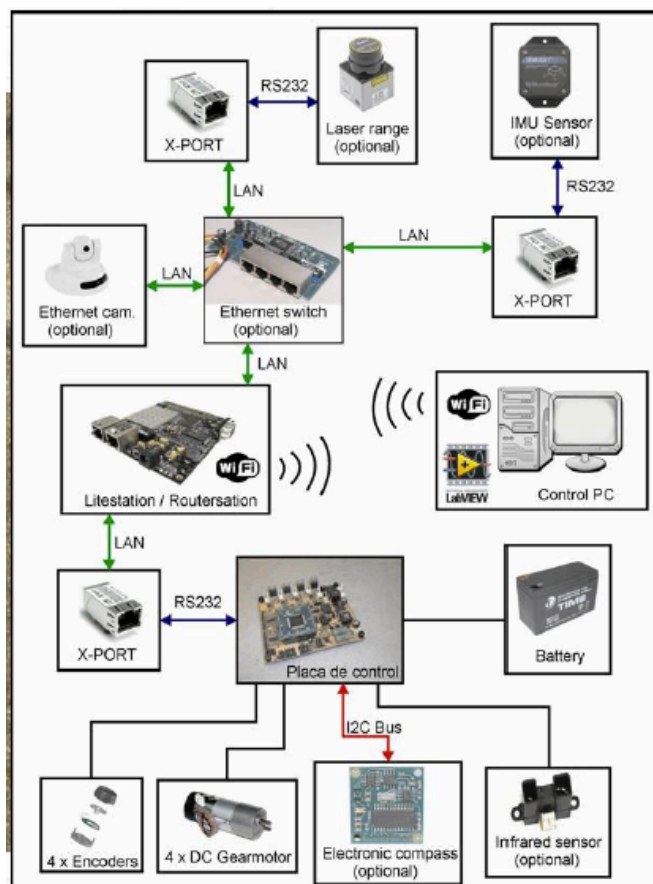


Figura 10. Hardware dels robots

En l'anterior figura es pot veure la configuració del hardware dels robots, l'estructura bàsica que tenen tots els robots consisteix en la placa de control, un Pic33FJ256MC710 el qual és un microprocessador molt potent per a poder controlar els elements i fer les tasques programades. Els altres elements bàsics són quatre moto-reductors amb un encoder cada un, així el microprocessador

llegeix les dades provinents dels encoders i actua sobre els motors. Tots els robots disposen d'una bateria per alimentar tots els components i un Router wifi connectat al microprocessador a través d'un port R232 el qual s'encarrega de empaquetar informació provinent dels diferents sensors i enviar-la a través de connexió Wifi.

El BigBot és el robot que integra més sensors, disposa d'un connector amb diferents ports Ethernet on es connecten diferents sensors i aquest envia les dades al Router connectat al microprocessador. Disposa d'un sensor làser per a poder detectar obstacles, un IMU (per calcular inèrcies i acceleracions) i una càmera connectats als ports Ethernet a més a més disposa d'una brúixola digital i sensor infraroig connectats directament al PIC.

3.2.3. Control de trajectòries

El control basic de posició del els robots d'aquest projecte es porta a terme mitjançant un controlador tipus PID, utilitzant l'odometria com a mètode per saber la posició en la que es troba el robot, aquest mètode utilitza les dades de rotació dels encoders situats en les rodes per estimar canvis en la posició del robot al llarg del temps.

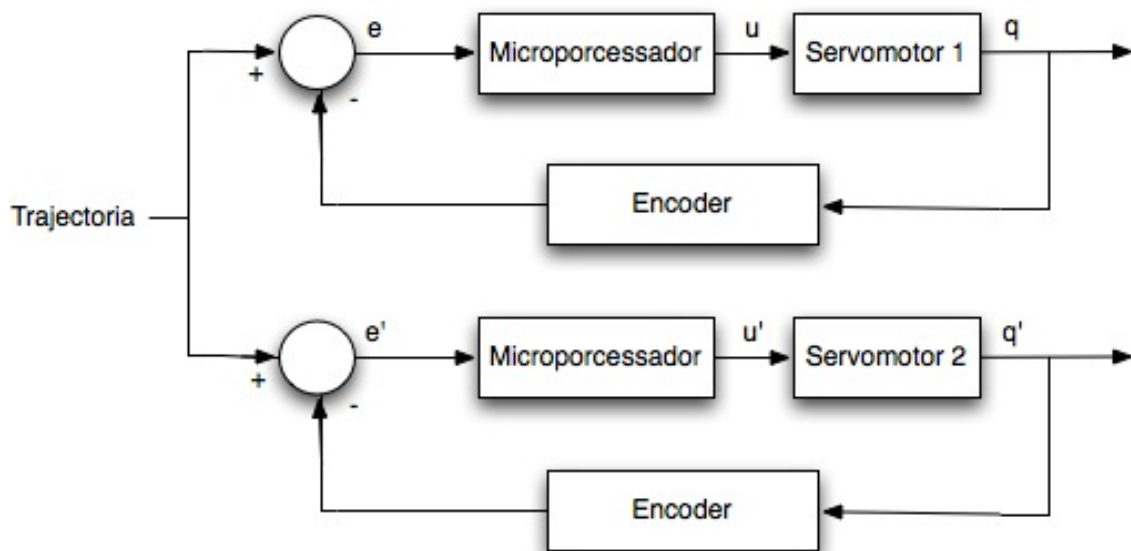


Figura 11. Control PID trajectòria

El funcionament del control PID de la trajectòria és molt simple, consisteix en indicar la trajectòria que es vol llavors el microprocessador actua sobre els servomotors en funció de la posició estimada per la odometria mitjançant les dades provinents del encoder per seguir la trajectòria indicada.

L'odometria consisteix en estimar la posició relativa a la posició inicial, és fàcil d'implementar i permet taxes de mostreig molt altes. Aquesta tècnica es basa en equacions simples que es poden implementar fàcilment i que utilitzen les dades dels encoders situats a les rodes del robot. L'idea fonamental consisteix en la integració de la informació de manera progressiva al llarg del temps, però això provoca una acumulació d'errors. L'acumulació d'errors d'orientació provoquen grans errors en l'estimació de la posició els quals van augmentant proporcionalment amb la distància recorreguda pel robot. L'odometria també es basa en la suposició que les revolucions de les rodes poden ser traduïdes en un desplaçament lineal relatiu al terra, però això no es del tot cert ja que una roda pot patinar i l'altre no i llavors l'encoder registrarà revolucions de la roda que no corresponen a un desplaçament lineal.

Dels errors que provoquen que aquest mètode no sigui exacte cal destacar la diferència de diàmetre i mala alineació de les rodes, les dades del encoder no són precises el desplaçament a causa de terres desnivellats o per objectes en el terra i el lliscament de les rodes.

Utilitzant les següent fórmules d'orientació i posició en els eixos x i y i sàpiguen la distància recorreguda per cada roda utilitzant els encoders es pot saber la posició del robot.

$$x_k = x_{k-1} + \Delta x_k \quad (\text{Eq.2})$$

$$y_k = y_{k-1} + \Delta y_k \quad (\text{Eq.3})$$

$$\theta_k = \theta_{k-1} + \Delta \theta_k \quad (\text{Eq.4})$$

Aquestes equacions són certes si es manté una freqüència de mostreig constant i es podrà estimar la posició i orientació del robot. Els robots d'aquest projecte tenen una freqüència de mostreig de 5Hz.

Hi ha robots amb més sensors que tenen un sistema complex i utilitzen sensors com el d'acceleració i la brúixola digital per tal de minimitzar aquets errors, però tot i així hi ha una acumulació d'errors. Llavors s'haurà de buscar un mètode per evitar que succeeixi això i corregir els errors.

3.3. Implementació d'un sistema GPS

Saber la posició del robot és fonamental, però a l'hora de recorre grans distàncies l'error de posició del robot es va acumulant fins a tenir un error de centenars de metres o fins i tot kilòmetres. Per solucionar aquest problema s'ha decidit implementar al robot un sistema de posicionament global GPS que es complementi amb el mètode actual i així anar corregint els errors de posició.

El GPS ha de tenir bona precisió per a que el robot no es desviï de la seva trajectòria corregint els errors de lliscament, suficient velocitat de processar per a mantenir trajectòries de fins a 30km/h, una bona cobertura en zones de sotabosc, canto edificis i altres situacions, bona repetibilitat, mateixa precisió a qualsevol hora del dia i qualsevol punt del mon, integrable al microprocessador que disposen els robot i ha de ser petit per a que es pugui instal·lar al robot sense problemes.

3.3.1. Hardware amb la implementació del sistema de posicionament global

Existeixen dos posicions on integrar el GPS, una és col·locar-lo a la capa de control superior, es a dir amb els altres sensors connectats al connector Ethernet. L'inconvenient de d'aquesta posició es que tarden a arribar les dades al microcontrolador ja que primer les dades han de passar pel Router que el que fa és empaquetar totes les dades que arriben a ell primer i després enviar-les però això és un procés molt lent, per tant es descarta aquesta opció ja que es interessant poder tenir una freqüència de mostreig de correcció de la posició lo més alta possible.

La segona opció es connectar-lo directament al microprocessador, que és una connexió molt més ràpida i s'integra el GPS en el sistema basic de control complementant les dades del encoders i corregint la posició del robot.

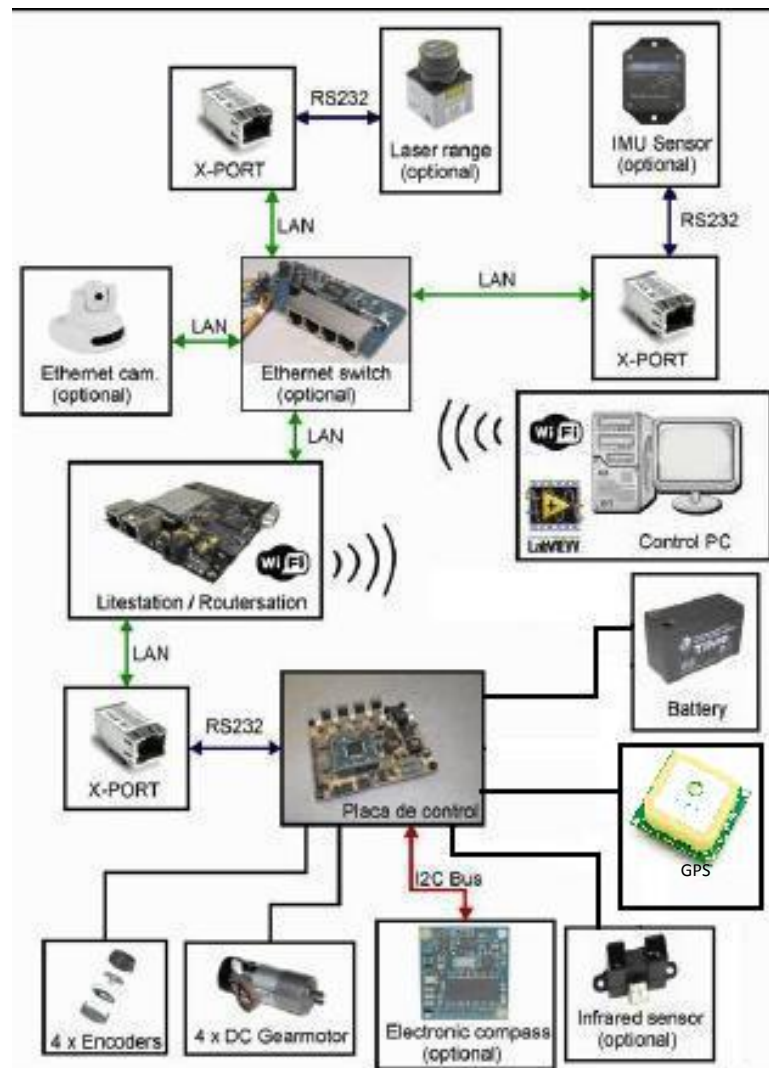


Figura 12. Hardware dels robots amb GPS

El sistema de control de la posició continuarà sent un PID casi idèntic al original però disposarà del sistema de posicionament per a dur a terme les correccions de posició amb una freqüència més baixa que el sistema odomètric així es corregirà la trajectòria donada per aquest.

El sistema de control de la trajectòria PID amb el sistema de posicionament global serà el següent:

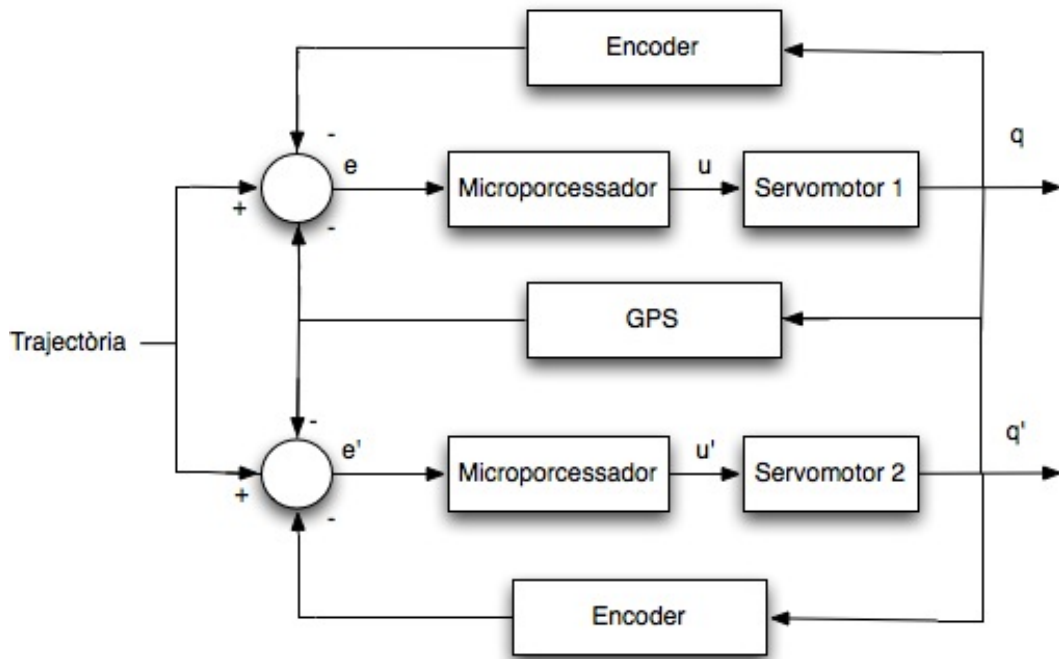


Figura 13. Control trajectòria PID amb GPS

Al integrar el sistema de posicionament el que s'aconseguirà és poder rectificar la trajectòria marcada pel sistema odomètric corregeix l'acumulació d'errors d'aquet provocada pels diferents factors esmentats anteriorment, el que s'ha de fer és trobar un mòdul adequat per dur a terme aquesta funció i que tingui les característiques adequades.

4. Estudi dels receptors GPS

Com s'ha vist anteriorment hi ha diferents tipus de sistemes de posicionament global per satèl·lit. S'ha decidit utilitzar el sistema GPS ja que a part de ser un dels dos sistemes completament operatius és el més utilitzat i comú i existeix un ventall molt ample de tipus de receptors.

4.1. Tipus principals de receptors GPS

Caracteritzar tots els tipus de GPS comercials és molt complicat donat el dinamisme del mercat i l'amplia oferta de productes. Classificar els equips GPS es pot dur a terme segons diferents criteris, en funció de l'arquitectura (receptors seqüencials, continus o múltiples), en funció del mètode de funcionament (correlació del codi o anàlisi de la fase portadora) o en funció de la aplicació a la qual es destini. Aquest últim criteri serà el que es farà servir per fer la classificació, ja que s'analitzarà els GPS que siguin útils per porta a terme aquest projecte.

4.1.1. Mòduls GPS convencionals

Els mòduls GPS convencionals són els més extensos gràcies al seu cost i als seus múltiples usos. Consisteixen en receptors capaços de llegir el codi C/A, als quals poden tenir fins i tot capacitat de llegir senyals diferencials via radio o a través de software. Permeten conèixer les coordenades en diferents formats i conversions de baixa precisió a Datums locals des de WGS84.

Els preus d'aquests mòduls poden anar des de 40 a 300 euros aproximadament, les seves precisions poden anar d'uns 25 a 3 metres en planimetria i uns 13 metres en altimetria, depenen de la visibilitat dels satèl·lits, la geometria, el tipus de receptor etc.

4.1.2. Mòduls GPS avançats

Aquests receptors a més d'analitzar el codi C/A disposen de lectura (amb certa limitació) de la fase portadora L1. Molts d'aquests mòduls permeten l'ús de metodologies diferencials, en molts casos sota la forma de subscripció a serveis via satèl·lit com "Omnistar" o "LandStar". Amb aquest mètode s'aconsegueixen precisions en temps real d'1m aproximadament.

El servei diferencial de pagament té l'enorme avantatge de que es disposa d'una correcció instantània sense necessitat de cap estació de referència, i per casi qualsevol punt del planeta en temps real.

Aquest tipus de GPS te un cost al voltant d 'uns 4500 €. La subscripció a serveis per satèl·lit te un preu d'uns 1400€ anuals per una precisió aproximada d'un metre, també es pot contractar per un període de temps o fins i tot dies concrets, aquets receptors són d'una mida bastant gran.

4.1.3. Mòduls receptors amb mesura de fase sobre L1

Són receptors que treballen amb la ona portadora L1, acumulant informació i amb un post processat pot obtenir precisions relatives centimètriques en les millors condicions per distancies fins a 25km i precisions per sota el metre en distancies d'uns 50 km.

Aquest tipus de receptors es solen utilitzar amb mètodes relatius estàtics amb ús d'estacions de referencia complementaries. La majoria son compatibles amb sistemes DGPS via satèl·lit.

El preu d'aquests mòduls esta al voltant d'uns 10000€

4.1.4. Mòduls receptors de doble freqüència

Aquest receptors de doble freqüència treballen amb les portadores L1 i amb la L2, permet disminuir els errors derivats de la propagació desigual de la senyal a través de les diferents capes atmosfèriques i resoldre un gran numero d'ambigüitats.

Amb aquest tipus d'equips es poden arribar a precisions per sota del centímetre amb post processat de distancies fins a 10 km de , i fins a 1 metre per distancies fins a 500km.

A mes de les tècniques de pos processat, els receptors de doble freqüència també s'utilitzen amb correccions en temps real. Per aquest últim lo més normal es utilitzar-los junt a l'algoritme RTK, que permet precisions centimètriques en temps real en combinació amb estacions de referencia.

Alguns d'aquests receptors són compatibles amb sistemes DGPS via satèl·lit, els serveis de correcció d'última generació via satèl·lit junt amb els lectors de doble freqüència permeten arribar a precisions decamètriques en temps real.

El preu d'un receptor de doble freqüència d'última generació ronda els 30000€.

4.2. Receptors GPS convencionals del mercat

El GPS que s'analitzarà en el projecte és del tipus convencional ja que és fàcil d'utilitzar, petit, es pot adaptar a diferents llocs, capaç de llegir el codi C/A, són assequible i amb una precisió en principi suficient per a la correcció de trajectòries. Els altres tipus de GPS són massa cars, però tenen molt més bona precisió.

4.2.1. Característiques dels GPS convencionals

Hi ha moltes característiques importants que s'han d'analitzar per a poder elegir el mòdul GPS adequat, hi ha característiques generals, diferents precisions, temps d'adquisició de dades, característiques físiques, dinàmiques, energètiques i les característiques de comunicació.

Les característiques generals dels mòduls convencionals que s'han de tenir en compte són el Chipset, que és el xip encarregat de rebre les dades procedents dels satèl·lits i processar-les, les freqüències que pot llegir i el codi que es capaç d'interpretar, normalment llegeixen la freqüència L1 i interpreten el codi C/A, la sensibilitat, que és el nivell mínim del senyal que es capaç de detectar el GPS amb la qualitat desitjada, el tipus de Datum que incorpora el GPS per defecte, normalment és el WGS84 i la capacitat del GPS de funcionar amb mode DGPS, la majoria d'aquests receptors poden funcionar com a DGPS via software utilitzant un ordinador o un altre dispositiu connectat a internet.

Les diferents precisions són unes altres característiques que s'han de tenir en compte, una molt important és la precisió en el pla horitzontal i la precisió en el pla vertical, aquesta última és més baixa que la primera, la precisió en la velocitat, els dispositius ens donen informació sobre la velocitat en la que es mou el GPS, aquesta característica és important per a aplicacions mòbils, la última precisió que s'ha de tenir en compte és en l'hora ja que les dades que don el receptor sempre tenen un desfasament respecte la que envia el satèl·lit.

Aquests tipus de mòduls tenen diferents temps d'adquisició de dades. La freqüència d'actualització, que indica el temps amb el que el GPS actualitza les dades que rep dels satèl·lits, el temps d'inicialització (Start Time) que és el temps que necessita el GPS per a connectar-se als satèl·lits necessaris per calcular la posició. Hi ha tres temps d'inicialització diferents, l'encès en fred (Cold start) que és el temps d'inicialització que necessita el GPS quan porta molta estona parat, l'encès en repòs (Warm start), que és el temps que necessita quan porta una estona inactiu, és més ràpid que el Cold Start ja que el GPS disposa d'una petita bateria la qual fa que el GPS guardi les dades de la última connexió i tingui una referència dels últims satèl·lits dels que ha estat rebent dades, aquesta informació que ajuda al mòdul a tornar-se a connectar ràpidament es diu almanaque i l'encès en calent (Hot Start) que és el temps que necessita el receptor per tornar a connectar-se amb els satèl·lits quan fa pocs instants que s'ha apagat.

Les característiques dinàmiques són l'altitud màxima que el receptor pot treballar, la velocitat màxima que el receptor rep les dades correctament i l'acceleració màxima en la que el receptor GPS pot treballar.

Hi ha característiques energètiques que s'han de tenir en compte com la tensió d'alimentació amb el qual el receptor GPS funciona correctament i la potència que consumeix.

Pel que fa a es característiques per a establir la comunicació amb el mòdul s'han de tenir en compte les tensions de comunicació, que són els nivells de tensions dels diferents ports de comunicació del receptor, la velocitat de comunicació, que és la velocitat en la que es comunica el receptor GPS, per tant es configuraran els elements que llegeixin el senyal de sortida del receptor amb aquesta velocitat i el protocol del missatge de sortida que en la majoria dels receptor es tracta del sistema MNEA que es transmet amb format ASCII a una velocitat per defecte de 4800 bauds.

També s'han de mirar les característiques físiques com les mides i el pes ja que són molt importants per saber on es pot integrar el mòdul GPS, aquets receptors convencionals acostumen a ser petits d'uns 3 cm de costat i solen pesar uns 20 grams. L'antena del receptor també molt important ja que està optimitzada per la recepció del senal GPS i alguns mòduls tenen l'antena incorporada, altres tenen un connector per antena externa. A més una part fonamental és la bateria per emmagatzemar la ultima informació rebuda del GPS quan la unitat es apagada, normalment es tracta d'una pila.

4.3. Estudi dels mòduls GPS del mercat

Hi ha moltes marques i models de GPS convencionals en el mercat, s'ha agafat informació de diferents mòduls convencionals i s'han analitzat les característiques més importants de cada un d'ells per poder elegir el que millor s'adapta per poder-lo integrar als robots del projecte Sant Bernardo. A la següent taula es pot veure una mostra d'aquests GPS, tots els GPS tenen el protocol MNEA, capten la freqüència L1 i llegeixen el codi CA, són petits, amb bona precisió i de preu assequible.

Marca GPS	Model	CHIPSET	CANALS	VELOCITAT TRANSMISSIÓ DADES	SENSIBILITAT
ADH TECHNOLOGY	GP-2106	SIRF STAR IV	48	4800 bauds	-163dBm
ADH TECHNOLOGY	D2523T	UBX-G5010	50	4800 bauds	-160dBm
G.TOP	PA6B-DIP	MEDIATEK MT3329	66	4800 bauds	-165dBm
LICOSYS	LS20031	MEDIATEK MT3329	66	57600 bauds	-165dBm
LICOSYS	MT3329	MEDIATEK MT3329	66	38400 bauds	-165dBm
LICOSYS	LS20126	SIRF III	20	4800 bauds	-130 dBm
S.P.K. ELECTRONICS	GS407	UBX-G5010	50	9600 bauds	-160dBm
SAN JOSE	FV-M8	MTK	32	Ajustabe de 4800 a 115200 bauds, 38400 per defecte	-158dBm
SAN JOSE	FV-M11	MTK	32	Ajustabe de 4800 a 115200 bauds, 38400 per defecte	-158 dBm
SKYTRAQ	VENUS638FLPx	VENUS638FLPx	20	Ajustabe de 4800 a 115200 bauds, 4800 per defecte	-165dBm
TRIMBLE	COPERNICUS II	COPERNICUS II	12	4800 bauds	-160dBm
TRIMBLE	LASSEN IQ	LASSEN IQ	12	Ajustable de 2400 a 19200 bauds, 4800 per defecte	-160dBm
U-BLOX	FSA03	UBX-G6010	50	4800 bauds	-160dBm
USGlobalSat	EM-406A	SIRF III	20	4800 bauds	-159dBm
USGLOBALSAT	EM-408	SIRF III	20	Ajustable de 4800 a 57600 bauds, 4800 per defecte	-159dBm
USGLOBALSAT	ET-312	SIRF Star III	20	4800 bauds	-159 dBm
USGLOBALSAT	EM-410	SIRF III	20	Ajustabe de 4800 a 57600 bauds, 4800 per defecte	-159dBm
USGLOBALSAT	EM-411	SIRF III	20	Ajustabe de 4800 a 57600 bauds, 4800 per defecte	-159dBm
Marca GPS	PRECISIÓ	Dimensions	MODE DGPS	Freqüencies	PREU(€)
ADH TECHNOLOGY	2,5m	30x30mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	49,95
ADH TECHNOLOGY	2,5m	23,4x20,9x7,6mm.	NO	L1 i codi C/A del sistema GPS i L1 del sistema GALILEO	79,95
G.TOP	3m	19x19x2,54mm	SI	L1 i codi C/A del sistem GPS	38,9
LICOSYS	2,5m	26x26x6mm	SI	L1 i codi C/A del sistem GPS	59,95
LICOSYS	3m amb DGPS 2,5m	10x10x1,3mm	SI	L1 i codi C/A del sistem GPS	78
LICOSYS	5m	35x36mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	59,95
S.P.K. ELECTRONICS	2,5m	29,4x12,4x10,60mm	NO	L1 i codi C/A del sistema GPS i L1 del sistema GALILEO	89,95
SAN JOSE	3.3m amb DGPS 2.6m	30x30x8,6mm	SI	L1 i codi C/A del sistem GPS	99,95
SAN JOSE	3.3m	21x6x6,26mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	68
SKYTRAQ	2,5m	29,9x25x8mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	39,95
TRIMBLE	5m	47,1x22,9mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	44,95
TRIMBLE	5m	30x30mm	SI	L1 i codi C/A del sistem GPS	Retirat
U-BLOX	5m	27,9x20x2,9mm	NO	L1 i codi C/A del sistema GPS i L1 del sistema GALILEO	59
USGlobalSat	10m amb WAAS 5m	35,5x37x8,6mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	48,9
USGLOBALSAT	10m amb WAAS 5m	13,2x50,8x14,8mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	64,95
USGLOBALSAT	10m amb WAAS 5m	25x25x7,5mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	34
USGLOBALSAT	10m amb WAAS 5m	30x30mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	52
USGLOBALSAT	10 metres	29,30x16,40x7,1mm	NO	L1 i codi C/A del sistem GPS	79

Taula 1. Característiques GPS comercial

Després d'analitzar els mòduls GPS s'ha decidit elegir el mòdul GPS LICOSYS LS20031 ja que és un mòdul petit que es pot instal·lar fàcilment al robot, disposa de 66 canals i una sensibilitat de -165dbm, els quals són uns dels valors més alts de tots els que s'ha analitzat, una precisió de 2,5 metres en pla horitzontal, una de les millors precisions, es pot aplicar mode DGPS mitjançant connexió Software i no és excessivament car, a més a més a les

especificacions tècniques diu que es un receptor especialment indicat per a zones urbanes amb molts edificis i ambients amb molta vegetació gracies a la seva antena intel·ligent, que es torba integrada. Altes característiques d'aquest mòdul es descriuen a continuació.

Té una Freqüència d'actualització regulable de 1Hz (defecte) fins a 10 Hz, el temps d'encès en calen és de 2 segons i en fred de 35 segons, la altitud màxima és de 18000 metres i té una velocitat màxima de 515m/s

Les característiques de precisió poden variar segons diferents factors, el tipus de medi on es torba el GPS, la posició, el temps, el número de satèl·lits en els que esta connectat, dades les quals no proporciona el datasheet del mòdul. A més a més es necessita saber si te bona repetibilitat, bona velocitat de processat, per tant per saber si les característiques d'aquest mòdul són suficients s'ha d'analitzar i comprovar si disposa de les característiques necessàries. El que es farà serà crear un element electrònic amb el GPS que ens indiqui les distancies recorregudes i així obtenir dades de les precisions exactes i característiques necessàries.

5. Mesurador GPS

Es crearà un aparell amb el qual es puguin mesurar distàncies per poder trobar els diferents errors de precisió que té el mòdul GPS.

El que es vol torbar és l'error en els diferents eixos, errors de repetició, errors diferent tipus de dia, errors del temps de processat, diferència de precisió segons el nombre de satèl·lits en el que està connectat el receptor i errors en diferents medis per així saber si el GPS que es vol integrar en el robot té les característiques de precisió necessàries en les diferents circumstàncies que es torbarà el robot saber si es pot integrar al robot i aquest podria funcionar correctament sense grans desviacions de la trajectòria.

Per poder saber les precisions el que es farà serà crear un aparell mòbil amb el mòdul GPS, que disposi d'una pantalla LCD que indiqui la distància recorreguda entre dos punts, aquesta distància l'indicarà en els eixos Nord, per tant si al distància indicada en aquest eix és negativa voldrà dir que la direcció és Sud, Est, per tant si es negativa voldrà dir que la direcció és Oest i altura, a més a més l'aparell indicarà el nombre de satèl·lits als que el GPS es troba connectat en aquell moment.

Aquestes especificacions són les necessàries per a poder saber les característiques desitjades, per crear aquest dispositiu mòbil es farà en dos parts, primer es crearà la part de Hardware on s'elegiran els components, es dissenyarà i crearà el circuit imprès i es col·locaran elements necessaris. Un cop feta aquesta part es dissenyarà la el Software per a que el mediador mòbil que s'ha dissenyat faci les funcions descrites correctament.

5.1. El Hardware

El Hardware del dispositiu estarà format per 5 elements diferents, el més important és el mòdul GPS que s'ha elegit anteriorment, a partir d'aquest dispositiu s'han d'elegir els altres components. Un altre component molt important és el microprocessador que s'utilitzarà amb el GPS, aquest ha de ser capaç de llegir les dades que envia el receptor i poder-les tractar amb suficient velocitat. Per veure les distàncies recorregudes es necessari que el dispositiu disposi d'una pantalla LCD que es pugui connectar amb el microprocessador, a més a més són necessaris una sèrie de polsadors per a poder indicar al aparell els punts de la distància

que es vol mesurar i per indicar que es mostri per pantalla la distància recorreguda. Finalment és necessari una bateria per alimentar tots els elements del dispositiu.

5.1.1. El mòdul GPS

El mòdul GPS que s'ha elegit anteriorment és el mòdul LS20031 de la marca LYCOSYS.

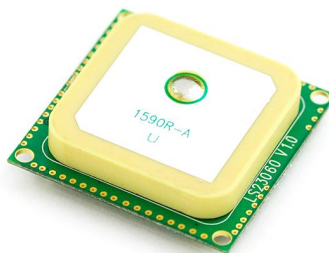


Figura 14. Mòdul GPS

Aquest receptor disposa de cinc pins, tres d'alimentació i dos de comunicació.

Pin	Nom	Tipus	Descripció
1	VCC	P	Entrada Alimentació
2	RX	I	Entrada dades (Nivell TTL)
3	TX	O	Sortida dades (Nivell TTL)
4	GND	P	Terra
5	GND	P	Terra

Taula 2. Pins Mòdul GPS

Aquest mòdul es pot alimentar amb una tensió d'entrada d'entre 3 i 4,2V però la tensió recomanada pel fabricant és de 3,3V.

Pel que fa els pins de comunicació sèrie RX i TX tenen uns nivells TTL, el pin d'entrada Rx llegeix un nivell de tensions en estat alt entre 2 i 3,6V i en estat baix entre -0,3 i 0,8V. El pin de sortida TX emet senyals en estat alt de 2,4V com a mínim i en estat baix de 0,4V com a màxim. A més a més la velocitat de transmissió de dades per defecte és de 57600 bauds.

Aquestes característiques del receptor GPS són necessàries per a poder elegir el microcontrolador apropiat, connectar-lo correctament i processar les dades provinents del mòdul GPS.

5.1.2. El microprocessador.

Per a dur a terme el mesurador és necessari un microprocessador que disposi d'entrades sèrie RX i TX amb els valors TTL del GPS, ha de poder mantenir una velocitat de comunicació sèrie de 57600 bauds i tenir les suficients entrades i sortides per a connectar la pantalla LCD i els polsadors.

Al ser una aplicació senzilla no és necessari que sigui un microprocessador molt ràpid, i a més per facilitar disposarà d'un codi de programació senzill amb codi C o semblant.

S'ha decidit utilitzar l'Arduino Duemilanove, que és una placa amb un microprocessador Atmel amb uns ports de sortida i entrades. Aquesta placa elegida utilitza el microprocessador ATMEGA 168 per la seva senzillesa i baix cost. A més a més el software d'aquesta placa implementa un llenguatge de programació Processing/Writing basat en el C i un Bootloader ja implementat en el processador.

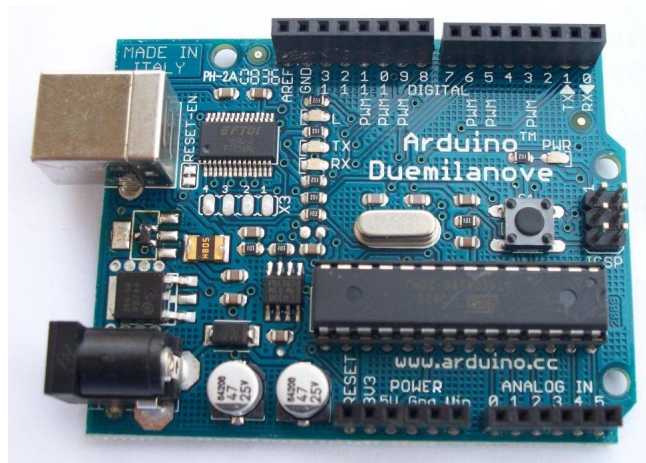


Figura 15. Arduino

A la següent taula hi ha les característiques del microprocessador que integra el mòdul Arduino i el nombre de pins que té, aquest són suficients per a connectar tots els elements que es necessiten.

	Atmega168
Tensió operativa	5 V
Tensió d'entrada recomenada	7-12 V
Tensions d'entrada límit	6-20 V
Pins d'entrada i sortida digitals	14 (6 proporcionan PWM i 2 connexió sèrie)
Pins d'entrada analògics	6
Intensitat	40 mA
Memòria Flash	16KB (2KB reservados para el bootloader)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Freqüència	16 MHz

Taula 3. Característiques Atmel 168

L'Arduino es pot alimentar utilitzant connexió USB o bé amb una font d'alimentació externa, l'origen de l'alimentació es selecciona automàticament. La font d'alimentació externa pot ser un transformador o una bateria connectat a la placa a través d'un connector mascle o a través del pin Vin.

La placa Arduino consta dels següents pins d'alimentació:

PINS Alimentació	Descripció
Vin	Entrada de voltatge a la placa quan s'utilitza la font externa d'alimentació.
5v	Font de voltatge estabilitzada de 5v.
3v3	Font de voltatge de 3,3V, la intensitat màxima suportada és de 50mA.
GND	Pins de massa, hi ha tres pins d'aquest tipus en la placa.

Taula 4. Pins alimentació Arduino

L'Arduino disposa de 14 Pins digitals que es poden utilitzar tan com entrada com per sortida alguns d'aquets tenen funcions específiques. Els pins per establir la comunicació sèrie són el PIN 0 Rx per rebre les dades i el 1 Tx per transmetre les dades a través del port serie TTL. Els Pins per dur a terme les interrupcions externes són el 2 i el 3, els 3,5,6,9,10, proporcionen una sortida PWM de 8 bits de resolució i en el Pin 13, hi ha un LED integrat connectat al pin digital 13, quan el pin esta en estat alt el LED s'encén. A més disposa de 6 entrades analògiques amb una resolució de 10 bits cada una, els Pins 4 i 5 poden funcionar amb el protocol de comunicació I2C.

La placa Arduino Duemilanuove disposa de dos Pins amb funcions concretes, el Pin AREF que s'utilitza per indicar el voltatge de referència per a les entrades analògiques i el Pin RESET que s'utilitza per reiniciar el microprocessador.

Un cop analitzada la placa Arduino es veu que té els pins necessaris per a connectar tots els elements i així poder crear el mediador GPS. No caldrà implementar una font d'alimentació ja que s'utilitzaran les que té disponible el mòdul Arduino el qual s'alimentarà mitjançant una bateria externa.

Es connectarà el Microprocessador amb el GPS utilitzant un dels pins GND de l'Arduino i connectant-lo a les dues masses del receptor, el pin de la font d'alimentació de 3v3 amb el pin Vcc del GPS i finalment el pin digital RX de l'Arduino es connectarà amb el Tx del GPS per a que el controlador llegeixi les dades del receptor a través del port sèrie i poder tractar-les. Pel que fa el pin Rx del receptor GPS es deixarà a l'aire ja que no es necessari enviar informació cap al GPS.

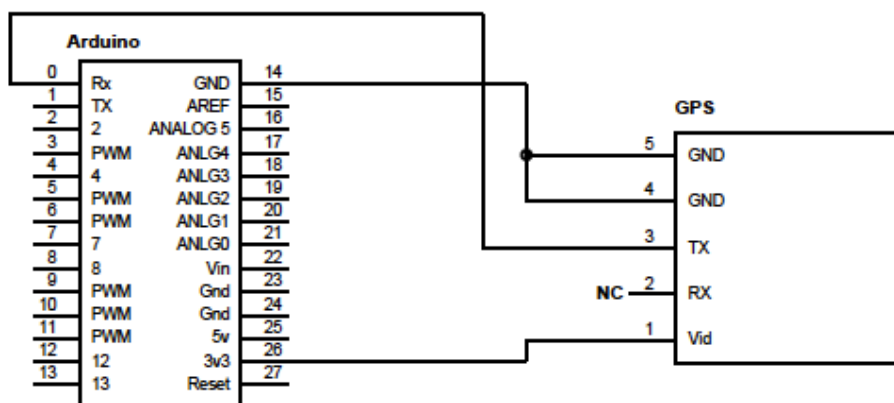


Figura 16. Connexió GPS

5.1.3. La pantalla LCD

La pantalla que es farà servir ha de ser una pantalla simple, petita de baix cost i que es pugui connectar sense problemes a l'Arduino. Mirant les diferents pantalles que es troben al marcat s'ha decidit agafar una pantalla LCD de dos línies de 16 caràcters així es podrà mostrar bastanta informació amb més de quatre decimals per tenir més precisió en els resultats, més a més aquest tipus de pantalla és molt assequible.

La pantalla que s'ha elegit és la LCD GDM1602k de 2 línies de 16 caràcters amb il·luminació blanca sobre negra.



Figura 17. Pantalla LCD

Disposa de 16 pins, es poden veure a la següent taula:

Pin No	Symbol	Descripció
1	Vss	Massa
2	VDD	Alimentació 5V+
3	V0	Ajustament del contrast
4	RS	H/L (Registre per seleccionar el senyal)
5	R/W	H/L (Llegir/Escriure senyal)
6	E	H/L (Habilitar senyal)
7	DB0	H/L (Transmissió de dades)
8	DB1	H/L (Transmissió de dades)
9	DB2	H/L (Transmissió de dades)
10	DB3	H/L (Transmissió de dades)
11	DB4	H/L (Transmissió de dades)
12	DB5	H/L (Transmissió de dades)
13	DB6	H/L (Transmissió de dades)
14	DB7	H/L (Transmissió de dades)
15	A	Alimentació LED 5V+
16	K	Massa LED

Taula 5. Pins de la pantalla LCD

El sistema de l'Arduino disposa d'una llibreria per connectar la pantalla LCD, s'han seguit les connexions del tutorial de la llibreria per connectar la pantalla utilitzant només 4 bits així s'utilitzen menys pins de l'Arduino. Es fan servir els pins del DB0 fins el DB4 per transmetre dades els altres 4 pins de transmissió de dades quedaran sense connectar, la resta de pins s'hauran de connectar.

L'esquema que s'ha seguit per fer la connexió és el següent:

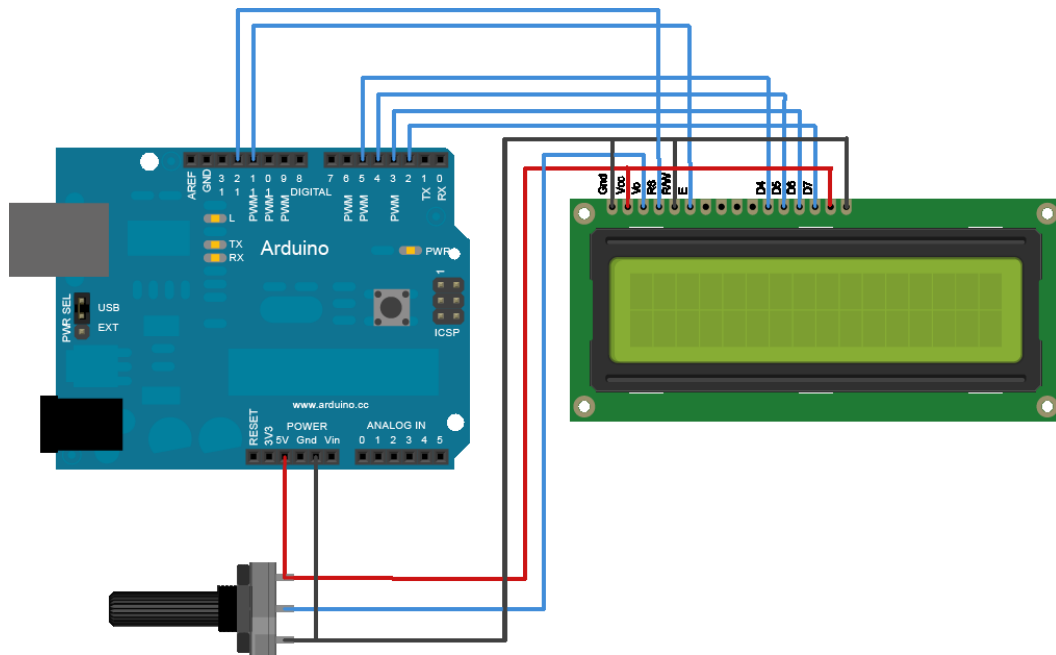


Figura 18. Connexió Pantalla LCD

Es connecta el pin d'alimentació a 5V, el pin de massa Gnd i el R/W es connecten al terra, el R/W està a terra indicant valor 0 per tant la pantalla està en mode lectura per a llegir les dades provinents de l'Arduino. El pin V0 es connecta a un potenciòmetre de 1 k Ω així es pot regular el contrast. Els pins RS i E de la pantalla es connecten al 12 i 11 de l'Arduino ja que el programa de la llibreria té l'estat d'aquets 2 pins programat per a que la pantalla funcioni correctament. Pel que fa els pins de transmissió de dades DB4 al DB7 estan connectats del pins 5 al 2 corresponentment però on s'aviaran les dades a la pantalla. La connexió de la il·luminació LED es realitza connectant el pin A al pin de la font de alimentació de 5V de l'Arduino i el pin K a un pin de massa.

5.1.4. Els Polsadors

Per poder marcar els 2 punts entre els quals el dispositiu ha de mesurar, es connectaran 2 polsadors per indicar cada punt i un tercer polsador per mostrar per la pantalla la distància recorreguda en els diferents eixos.



Figura 19. Polsador

S'han elegit 3 polsadors de mides petites i molt econòmics els quals els connectarem de la següent forma:

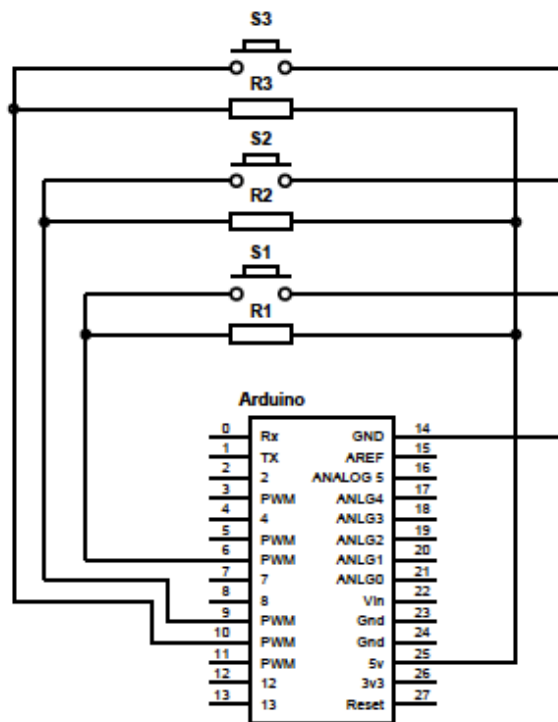


Figura 20. Connexió polsadors

Es connectarà un extrem dels polsadors als pins 6, 9,10 corresponentment i l'altre a massa, a la vegada es connectarà una resistència d'1kΩ als mateixos pins i l'altre extrem de la resistència a la font de tensió de 5V. Així quan polsem un polsador al pin de l'Arduino arribem 0V i quan es torba en repòs 5V.

5.1.5. La bateria

Per alimentar la placa Arduino es farà a través del connector d'alimentació d'aquesta placa, el fabricant indica que s'ha d'alimentar mitjançant una bateria d'entre 7 i 12 Volts. S'ha decidit utilitzar un porta-piles amb 6 piles de 1,5V, llavors s'alimentarà amb una tensió de 9V. Per endollar el porta-piles a l'Arduino és necessari un connector mascle de 2,1 mm amb centre positiu.

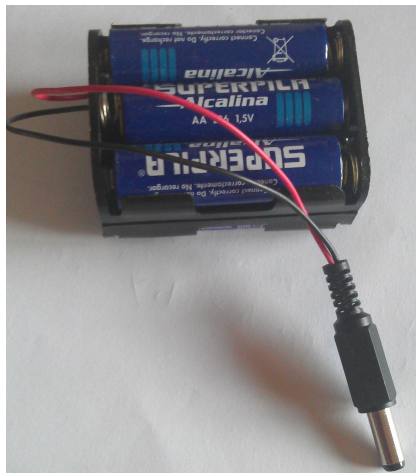


Figura 21. Bateria

5.1.5. El Circuit imprès

Un cop ja determinats tots els elements i les connexions el que s'ha fet es dissenyar el circuit i fer una placa de PCV amb aquest circuit imprès.

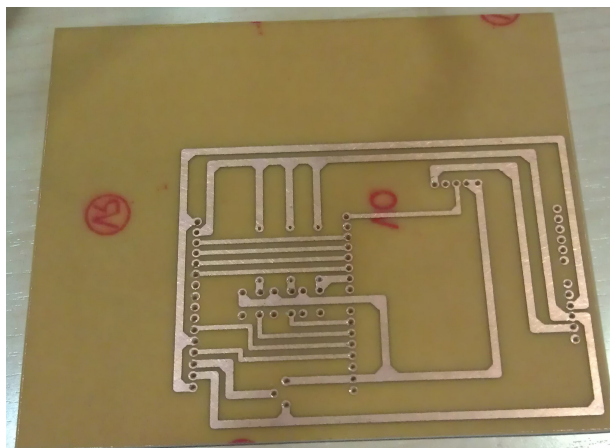


Figura 22. Circuit PCV

Ja creat el circuit PCV el següent pas és soldar els components. En els pins de la pantalla LCD, l'Arduino i el mòdul GPS s'han soldat uns sòcols per a poder connectar-los i desconnectar-los quan sigui necessari sense haver de soldar-los directament a la placa.

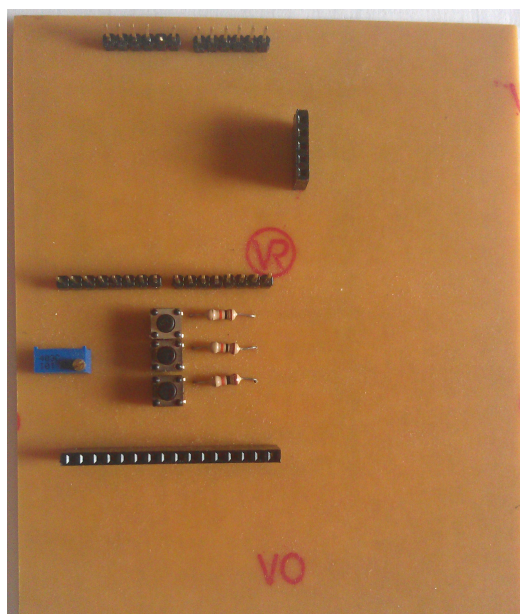


Figura 23. PCV amb components soldats

Finalment s'han col·locat tots els elements i el mesurador queda totalment muntat, per completar-ho del tot queda la part de programació.

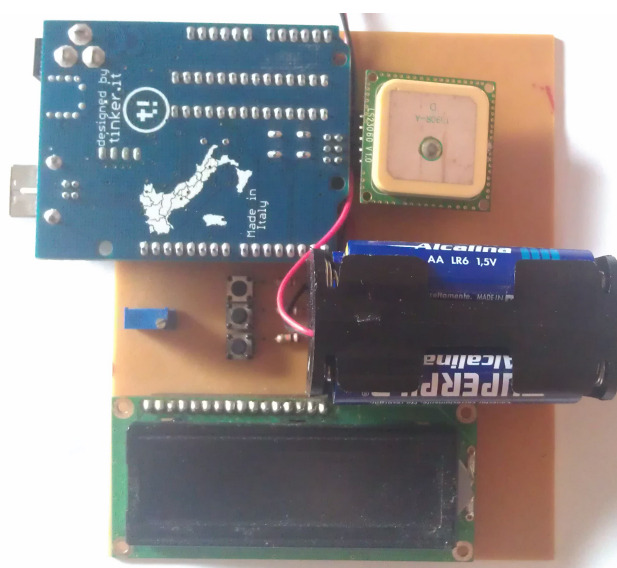


Figura 24. Mesurador muntat

5.2. El Software

L'aparell ha de mesurar la distància entre 2 punts, però aquesta ha d'estar indicada en les direccions dels eixos cardinals i la altura, així es pot saber quina precisió té en les diferents direccions, la precisió total, precisió en l'altura, la repetibilitat, a més també indicarà el nombre de satèl·lits en els que està connectat en cada moment que es pren la mesura dada que s'utilitzarà per analitzar les precisions i característiques.

Per realitzar el programa que es necessita primer s'ha de saber la informació que envia el GPS pel port serie a l'Arduino. El mòdul receptor envia la informació de posició i altres dades seguint el protocol NMEA.

5.2.1. Protocol NMEA

NMEA és un protocol que es va crear per la navegació marítima connectant els diferents aparells electrònics entre sí, actualment també s'utilitzen per la navegació terrestre. L'estàndard NMEA utilitza l'ASCII per transmetre una sèrie de sentències que contenen diferent informació, cada sentència es totalment autònoma i independent de les altres. Hi ha frases estàndard per cada categoria de dispositius, totes les frases estàndards tenen un prefixe, pels receptors GPS el prefix és GP. Cada oració comença amb un \$ y acaba amb un retorn de carro, pot haver-hi més de 80 caràcters de text visible. Les dades que estan en aquestes oracions úniques estan separades entre comes i al final d'aquestes dades hi ha una suma de comprovació final per determinar si s'han enviat tots els elements correctament.

La velocitat de transmissió de dades estàndard es de 4800 baus, però en alguns dispositius varia, com el mòdul receptor que s'ha elegit que la velocitat de transmissió de és 57600 baus.

Hi ha moltes oracions diferents utilitzades per diferents tipus de d'elements electrònics, però el mòdul GPS que s'ha elegit disposa de les següents sentències NMEA de sortida:

Sentència	Descripció
GGA	És la sentència que indica la posició global.
GLL	Aquesta sentència don informació sobre la posició Geogràfica.
GSA	Aquesta sentència porta la informació de l'error DOP i els satèl·lit actius.
GSV	Aquesta sentència porta la informació dels satèl·lits visibles.
RMC	Aporta la informació mínima específica de les dades del sistema de navegació.
VTG	Aporta informació sobre la direcció i la velocitat.

Taula 6. Sentències NMEA

La sentència que es necessita de les que utilitza el mòdul receptor és la GAA ja que aporta les dades necessàries de posició, altura i número de satèl·lits connectats, analitzant aquesta es suficient ja no es tindrà que tractar cap altre sentència. Les dades específiques que aporta la sentència GAA són les següents:

Nom	Exemple	Unitats	Descripció
Missatge ID	\$GPGGA		Encapçalament de la sentència GGA
Hora UTC	5.374.000		hhmmss.sss
Latitud	25.036.319		ddmm.mmmm
N/S Indicador	N		N= Nort o S = Sut
Longitud	12136,0099		dddmm.mmmm
E/W Indicador	E		E= Est o W= Oest
Indicador de Posició fixada	1		
Satèl·lits utilitzats	8		
HDOP	1.1		
MSL Altitud	63.8	metres	
Unitats	M	metres	
Separació del geoide	15.2	metres	
Unitats	M	metres	
Age of Diff. Corr.		segons	Nula cuan mode DGPS està desconectat
Diff. Ref. Station ID	0		
Chechsum	*64		
<CR> <LF>			Final de la sentència

Taula 7. Informació sentència GAA

El missatge d'exemple complet seria el següent:

```
$GPGGA,053740.000,2503.6319,N,12136.0099,E,1,08,1.1,63.8,M,15.2,M,,0000*64
```

Les dades que s'obtidran de cada punt són la longitud, la latitud, l'altura sobre el nivell del mar i la separació del geoide a partir d'aquestes quatre dades es vol obtenir la distancia en les direccions cardinals i la altura entre els punts.

5.2.2. Obtenció de la distància.

La latitud i longitud procedents de la sentència GAA són coordenades geogràfiques que indiquen un punt sobre la superfície terrestre. El primer pas és convertir aquestes dades al sistema de coordenades ECEF, és un sistema de coordenades Cartesià centrat a la terra y rota fixa a la seva superfície.

El sistema ECEF és un sistema de coordenades cartesianes X, Y, Z, habitualment expressada en metres, l'eix Z positiu és paral·lel al eix de rotació de la terra i travessa la latitud Nord 90°, l'eix X positiu es troba sobre el pla equatorial, travessa la longitud 0° i es orthogonal al eix Z, l'eix Y es troba sobre el pla equatorial, travessa la longitud Est 90° i és orthogonal als altres 2 eixos.

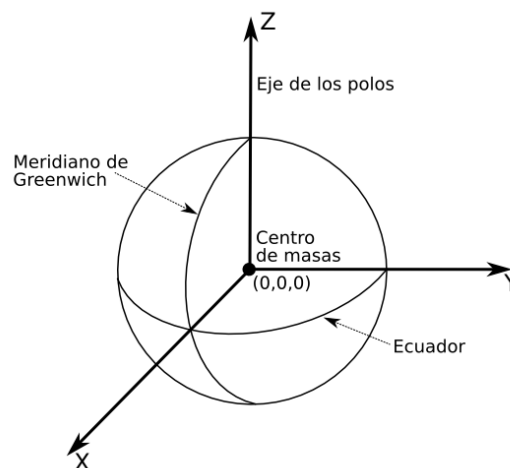


Figura 25. Sistema ECEF

Les formules estipulades per convertir les coordenades geogràfiques al sistema ECEF són les següents:

$$X=(N+h)\times\cos\phi\times\cos\lambda \quad (\text{Eq.6})$$

$$Y=(N+h)\times\cos\phi\times\sin\lambda \quad (\text{Eq.7})$$

$$N=\frac{a^2}{\sqrt{a^2\times\cos^2\phi+b^2\times\sin^2\phi}} \quad (\text{Eq.8})$$

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2} N + h \right) \sin \phi \quad (\text{Eq.9})$$

On X, Z, Y són les coordenades cartesianes del punt, ϕ, λ són respectivament la latitud i la longitud del punt, h és l'altitud el·lipsoïdal, N és el radi de curvatura en la vertical principal de la posició o el factor d'aixafament de l'el·lipsoide associat al Datum i a i b són el semieix major i semi eix menor respectivament de l'el·lipsoide associada al Datum.

L'el·lipsoide és l'utilitzat pel Datum establert pel mòdul GPS. El Datum és el conjunt de paràmetres que especifiquen la superfície de referència o el sistema de coordenades utilitzat per el càlcul de coordenades de punts de la terra. Es a dir el conjunt de paràmetres que estableixen l'origen teòric per les coordenades terrestres latitud i longitud.

El GPS que analitzem utilitza el Datum WGS84 és el sistema geodèsic mundial de 1984. La el·lipsoide geodèsica de referència associada a aquest Datum es la WGS84 i té les següents característiques:

Paràmetre	WGS84
Semi eix major (a)	6378137m
Semieix menor (b)	6356752,31424m
Factor d'axatament	1/298,257223563
Velocitat angular (w)	7292115 x 10 ⁻¹¹ rad/seg
Constant Graviatcional	3986005 x 10 ⁸ m ³ /seg ²

Taula 8. Característiques el·lipsoide WGS84

L' altitud el·lipsoïdal és la altura de l'esferoide fins al nivell del mar o del geoides més la altura des de el nivell del mar fins al punt sobre la superfície terrestre. Aquestes dues altures ens les proporciona la sentència GGA del GPS, l'altura des de l'esferoide al nivell del mar és la separació del geoides i l'altura des de el nivell del mar fins el punt és MSL altitud.

$$h = H + N \quad (\text{Eq.10})$$

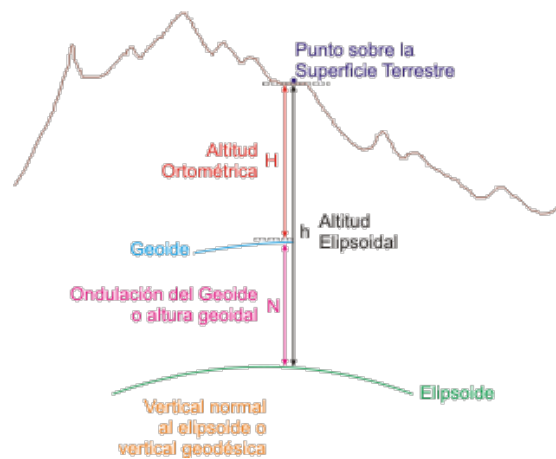


Figura 26. Altitud el·lipsoïdal

Un cop ja es tenen les coordenades en el sistema ECEF referenciats amb els eixos X,Y,Z, el que es vol aconseguir és fer una rotació dels eixos de referència i que aquest estiguin orientats cap al Nord, Est i cap avall. El nou sistema s'anomena Nord Est Down (NED).

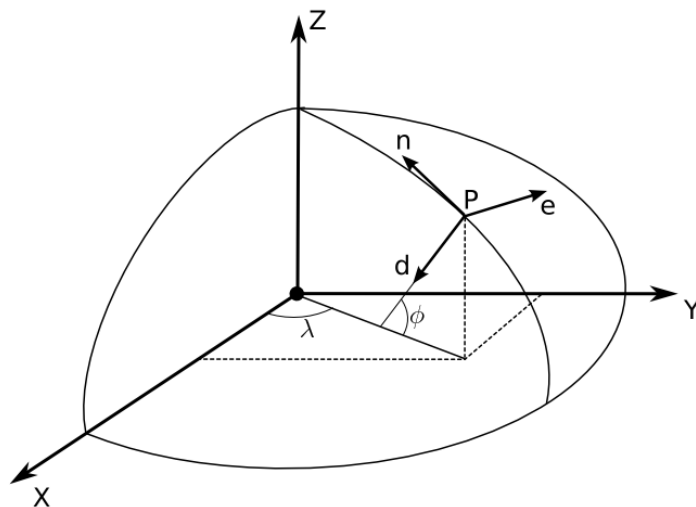


Figura 27. Sistema ECEF a NED

L'objectiu es obtenir la distància entre dos punts amb el sistema NED, el primer pas serà aconseguir el vector de distància entre els dos punts que es vol mesurar amb el sistema ECEF, això s'aconsegueix restant el punt final (P_s) menys el punt inicial (P_o).

$$P = P_s - P_o \quad (\text{Eq.10})$$

Per fer la conversió d'un sistema a l'altre és necessari determina les matrius de rotació que s'han de aplicar per aconseguir que els eixos de ECEF i NED coincideixin tant en sentit com en direcció, es buscarà que el eix X coincideixi amb el N, el Y amb el E, y el Z amb el D.

Amb la primera matriu de rotació busquem la coincidència entre el eix Y amb el E, es farà amb una rotació envoltant del eix Z (R3) amb angle θ .

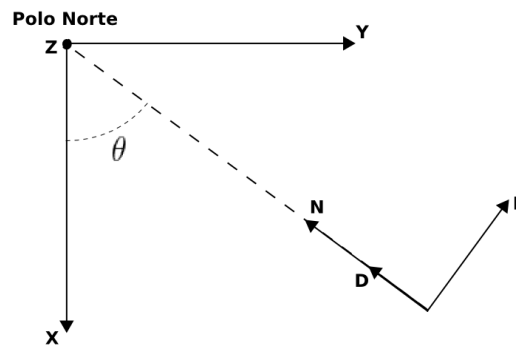


Figura 28. Primera rotació

Matriu rotació R3 és la següent:

$$R_3 = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{Eq.12})$$

Un cop coincideixen els eixos Y i E, per a que coincideixin els eixos X amb el N, i el Z amb el D és necessària una rotació R2 al voltant del eix Y. S'ha de rotar un angle de $90+\beta$ en sentit antihorari, com l'angle de rotació es contrari del indicat pel eix Y, llavors l'angle serà de $-90-\beta$.

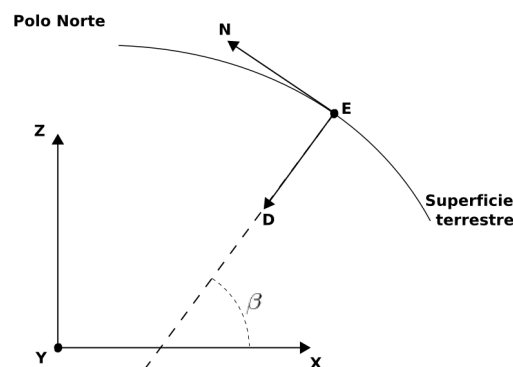


Figura 29. Segona rotació

La matriu de rotació R2 és:

$$R_2(-90-\beta) = \begin{pmatrix} \cos(-90-\beta) & 0 & -\sin(-90-\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(-90-\beta) & 0 & \cos(-90-\beta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\beta & 0 & \cos\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos\beta & 0 & -\sin\beta \end{pmatrix} \quad (\text{Eq.13})$$

Un cop alineats els tres eixos el que queda fer és multiplicar aquestes dues matrius pel vector distància calculat anteriorment en sistema ECEF. L'equació final per obtenir la distància en el sistema NED és la següent:

$$\vec{P}[\text{NED}] = R_2(-90-\beta)R_3(\theta)\vec{P}[\text{ECEF}] \quad (\text{Eq.13})$$

5.2.3. El programa

El diagrama principal del programa és el següent:

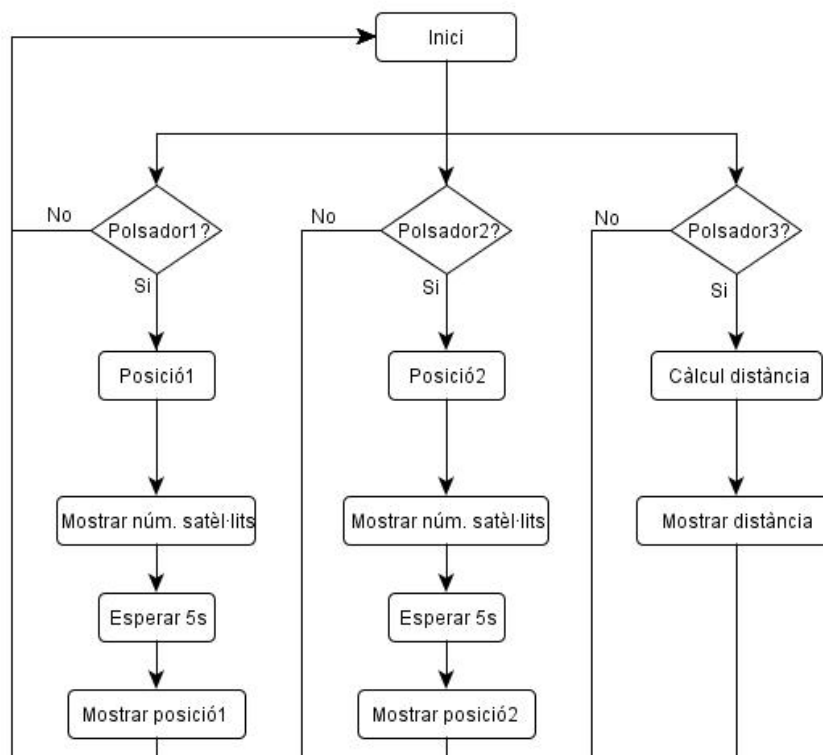


Figura 30. Programa principal

El que fa el programa és que quan es prem un pulsador s'executen una sèrie d'operacions. Al prémer el primer pulsador es troba i guarda en una variable la longitud, latitud i les altures de la posició on es troba en aquell moment el receptor GPS i el nombre de satèl·lits en els que es troba connectat, llavors mostra per la pantalla LCD el nombre de satèl·lit i al cap de 5 segons la longitud i la latitud. El segon botó fa la mateixa funció que el primer però per una segona posició que la guarda les dades en diferents variables.

Si es prem el tercer botó el que es fa és calcular la distància entre els 2 punts utilitzant el mètode explicat anteriorment, un cop calculat es mostra per pantalla el resultat del eix Nord i Est durant 5 segons i es substitueix el resultat del eix Est per l'altura.

Per saber si s'ha premut algun dels pulsadors el que es fa és llegir l'estat dels pins d'entrada quan deixa de llegir l'estat alt (5V) d'algun d'ells i es troba en estat baix (0V) vol dir que s'ha premut aquell pulsador, es fa la funció programada i trona a l'estat inicial llegint els pulsadors.

Per obtenir les dades quan es premem un dels dos primers pulsadors el que es fa primer és establir la connexió per rebre les dades provinents del mòdul GPS, un cop es comprova que es reben les dades es distingeix la sentència GPGGA de totes les altres i es guarda en una cadena de caràcters. Per establir la connexió sèrie la plataforma Arduino disposa d'una comanda per establir-la, aquesta es dura a terme a 56700 bauds.

Com es veu en el diagrama següent, un cop realitzada la comunicació sèrie es mira byte per byte la informació que arriba del port, si els 6 primers bytes de la frase que està arribant en aquell moment coincideixen amb l'encapçalat \$GPGGA es va llegint la frase sencera i es guarden tots els bytes de la frase en una cadena de caràcters. Si algun dels 6 primers bytes no coincideix, llavors es torna a començar fins que coincideix l'encapçalament. Un cop es té la seqüència de caràcters guardada el únic que queda fer es agafar la informació que es necessita inclosa en aquesta frase.

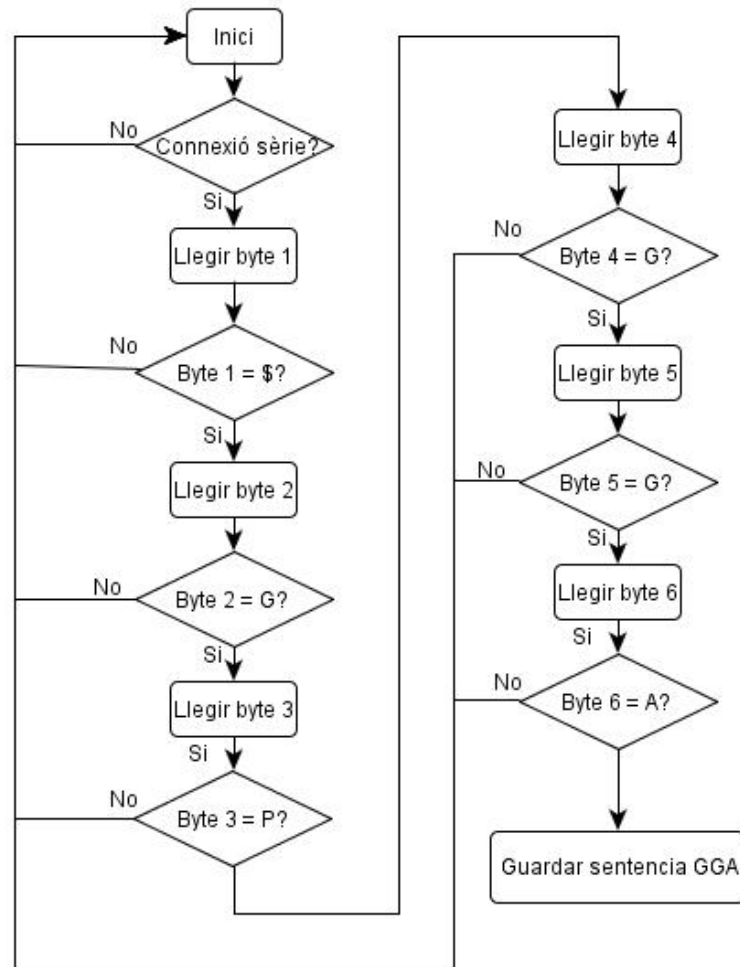


Figura 31. Lectura sentencia GGA

Els bytes de la sentencia GGA per obtenir la longitud són els següents:

Bytes que componen la sentencia GGA	Dades que formen
12,13	Graus
14,15	Part entera dels minuts
17,18,19,20,21	Part decimal dels minuts

Taula 9. Bytes longitud

Els bytes de la frase GGA per obtenir la latitud són els següents:

Bytes que componen la sentencia GGA	Dades que formen
25,26	Graus
27,28	Part entera dels minuts
30,31,32,33,34	Part decimal dels minuts

Taula 10. Bytes latitud

Els bytes de la frase GGA per a obtenir la altura geodèsica són els següents:

Bytes que componen la sentència GGA	Dades que formen
46,47	metres
49	centimetres

Taula 11. Bytes altura geodèsica

Els bytes per a obtenir la altura sobre el nivell del mar són els següents:

Bytes que componen la sentència GGA	Dades que formen
53,54	metres
56	centimetres

Taula 12. Bytes altura sobre el nivell del mar

El byte per obtenir el numero de satèl·lits són el següents:

Bytes que componen la sentència GGA	Dades que formen
39	Número de satèl·lits

Taula 13. Byte número de satèl·lits

Tots aquest bytes estan en ASCII, llavors el primer pas es transformar-los a decimal restant 48.

Per finalitzar el que es fa es ajuntar tots es números formant un nombre únic ja que cada byte es un nombre separat, això es fa multiplicant per múltiples de deu o dividint depenent de la posició que ocupi en el número complert, llavors es sumen tots obtenint així el nombre sencer. Un cop ja obtinguts la longitud i la latitud en graus i minuts es transformen els minuts a graus i es suma a les dades de graus que ja es tenien. Totes aquestes dades obtingudes de la sentència GGA es guarden en variables diferents per utilitzar les quan es prem el tercer polsador.

Per finalitzar es carrega el programa a l'Arduino amb el software i es comprova el seu funcionament.

5.2.4. Prova de funcionament del equip de mesura

Un cop fet el hardware, muntats els components, creat i carregat el programa es passa a fer una prova per comprovar el seu correcte funcionament. Primer esperem que es connecti als satèl·lits, un cop realitzada la connexió al cap d'una estona comença a fer pampallugues el LED indicador del mòdul GPS.

Premem el primer boto i es mostra el nombre de satèl·lits.

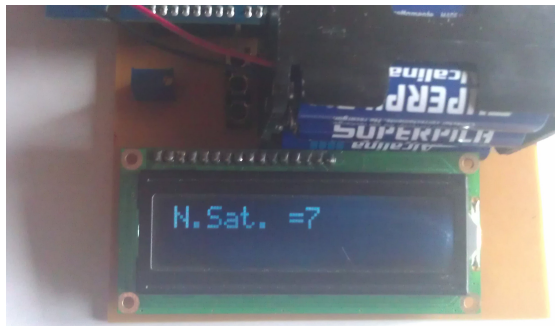


Figura 32. Mesurador missatge número de satèl·lits 1

Esperem uns segons i es mostra la longitud i la latitud.

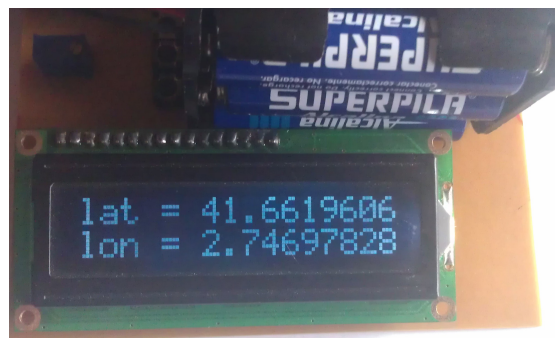


Figura 33. Mesurador missatge longitud i latitud 1

Ens movem i premem el boto 2 llavors mostra el nombre de satèl·lits.

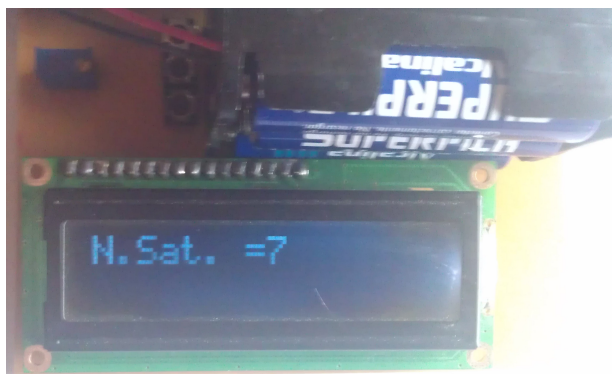


Figura 34. Mesurador missatge número de satèl·lits 2

Esperem uns segons i es mostra la longitud i la latitud.

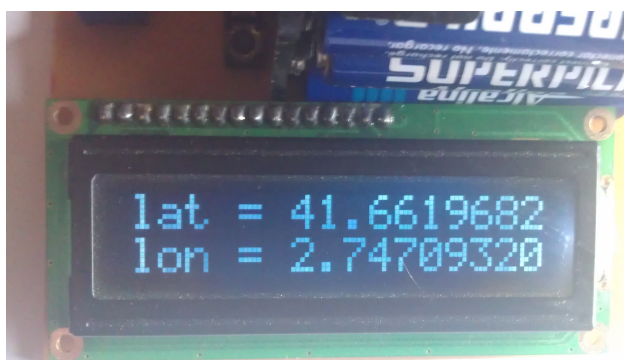


Figura 35. mesurador missatge longitud i latitud 2

Premem el pulsador 3 i es mostra la distància en el eix Nord i la distància en el eix Est

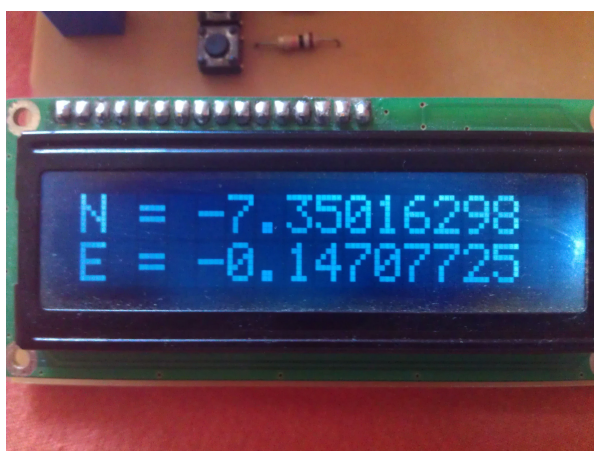


Figura 36. Missatge mesurador distància Nord i Est

Esperem uns segons i es segueix mostrant la distància en l'eix Nord i apareix l'altura

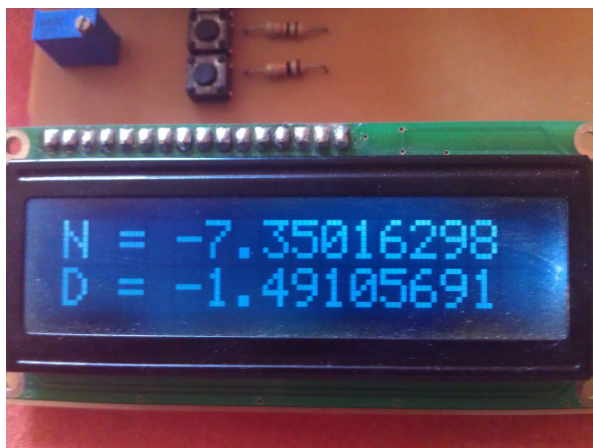


Figura 37. Missatge mesurador distància Nord i altura

Veient els resultats el mesurador funciona correctament, ara el que es farà serà fer l'estudi de les precisions utilitzant diferents mètodes.

6. Proves i resultats amb el mesurador GPS

Les proves que es realitzaran han de indicar la precisió del GPS en els 4 eixos cardinals, la precisió segons el tipus de dia, la precisió en diferents medis com a cel obert, sota bosc i entre edificis, la repetibilitat, la diferència d'error segons el nombre de satèl·lits en els que esta connectat, el processat a diferents velocitats per a veure si el sistema té la suficient capacitat de computació i la precisió en l'alçada. Amb totes aquestes proves es podrà veure si aquest mòdul es capaç de corregir adequadament la posició al robot.

6.1. Precisió en els quatre eixos

Per dur a terme aquestes proves el que s'ha fet es marcar en un terreny diferents distàncies en les diferents direccions dels eixos. S'han marcat 1, 2.5, 5,10, 25 i 50 metres en cada direcció i s'han pres diferents mesures amb l'aparell. A continuació hi ha les taules d'una petita mostra de les dades obtingudes i una gràfica on es mostren els resultats.

	1m Nord	1m Sud	1m Est	1m Oest
Hora	17:18	17:21	17:22	17:24
Distància Nord	0,98947849	-2,4751816	-0,0448037	-0,30559868
Distància Est	0,27478618	-0,5401061	1,40463376	-0,85113821
Altura	1,11206316	0,2269101	-0,0503543	-0,34345889
Número de satèl·lits	8 9	9	9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol

Taula 14. Mostra mesures distància 1m

	2.5m Nord	2.5m Sud	2.5m Est	2.5m Oest
Hora	17:40	17:44	17:46	17:49
Distància Nord	2,58667445	-2,5782118	0,63881754	-0,28990716
Distància Est	-0,3974253	0,1321056	2,11530852	-2,62198305
Altura	-1,6059721	1,6154809	-0,342243	0,426361135
Número de satèl·lits	8 9 8	8 9	8 9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol

Taula 15. Mostra mesures distància 2.5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:40	16:42	16:44	16:46
Distància Nord	5,04442834	-7,0594697	1,65316867	-0,52880167
Distància Est	0,6889265	-1,3862096	4,16818809	-5,56446456
Altura	-1,8524879	0,3399928	-0,3985782	0,157870936
Número de satèl·lits	8	9	8	8 9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol

Taula 16. Mostra mesures distància 5m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	16:59	17:01	17:03	17:05
Distància Nord	11,6522236	-8,9224548	-1,0844888	-1,16310679
Distància Est	1,96699314	-0,2552548	10,286149	-10,3786821
Altura	-0,443532	1,2549424	-0,2855259	1,701533221
Número de satèl·lits	9	9 8	9	9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol

Taula 17. Mostra mesures distància 10m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	16:27	16:30	16:32	08:09
Distància Nord	24,5134239	-28,303593	-4,5702848	-8,15818977
Distància Est	5,00139999	-3,4847238	31,4899807	-26,7705269
Altura	-4,0413017	1,2860269	5,39409161	3,618234639
Número de satèl·lits	9	8 9	7 8	8 7
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol

Taula 18. Mostra mesures distància 25 m

	50m Nord	50m Sud	50m Est	50m Oest
Hora	16:47	16:50	16:53	16:56
Distància Nord	51,7795781	-52,956352	-8,2509155	5,27761745
Distància Est	8,43818855	-9,4331656	50,2408142	-49,421917
Altura	-5,7410698	2,1622925	-3,2556353	5,17927266
Número de satèl·lits	8	9	9 8	8 9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol

Taula 19. Mostra mesures distància 50 m

Un cop s'han obtingut les dades suficients s'han analitzat i calculant la distància total fent la suma vectorial de les dues distàncies i la altura i finalment s'han calculat els errors relatius i errors absoluts en les diferents direccions. A més a més s'han representat totes les mesures de cada direcció per poder analitzar millor les dades obtingudes.

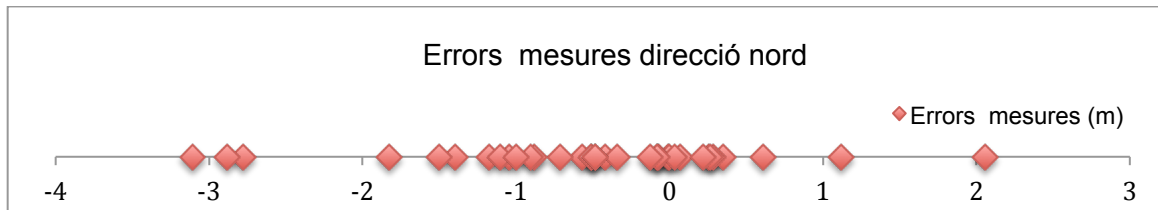


Figura 38. Errors direcció nord

	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m	Mitjana error Nord
Error Absolut	0,64591401	0,40352546	0,85833637	0,56965509	0,75876569	2,01246912	0,874777623
Mitjana d'error relatiu	64,59%	16,14%	17,17%	5,70%	3,04%	4,02%	18,44%

Taula 20. Errors direcció Nord

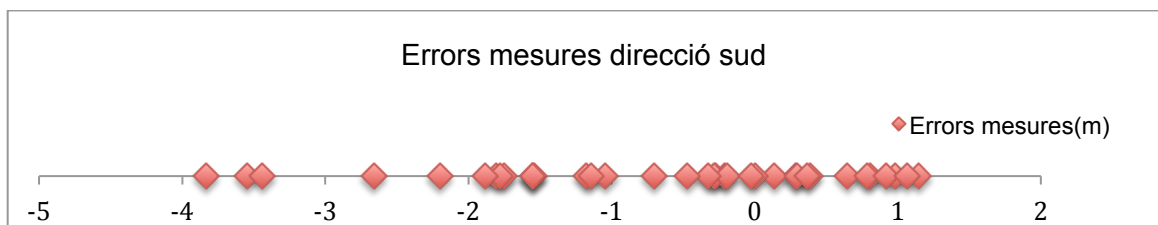


Figura 39. Errors direcció sud

	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m	Mitjana error Sud
Error Absolut	0,73252086	0,76510129	1,53999253	0,82535758	1,65125786	1,22496714	1,123199543
Mitjana d'error relatiu	73,25%	30,60%	30,80%	8,25%	6,61%	2,45%	25,33%

Taula 21. Errors direcció Sud

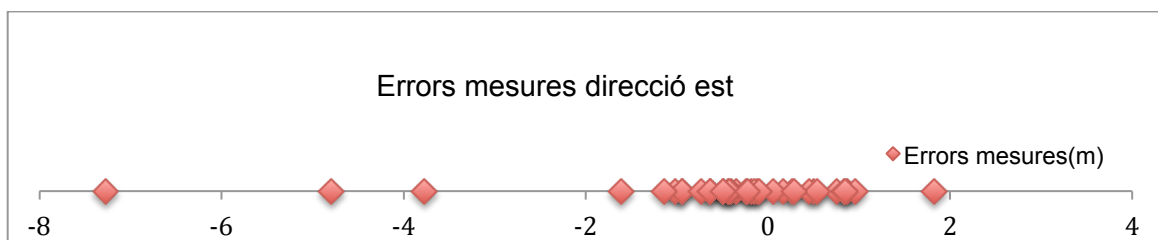


Figura 40. Errors direcció est

	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m	Mitjana error Est
Error Absolut	0,5152518	0,49258883	0,4281918	0,85488541	1,8209249	0,98024045	0,848680533
Mitjana d'error relatiu	51,53%	19,70%	8,56%	8,55%	7,28%	1,96%	16,26%

Taula 22. Errors direcció Est

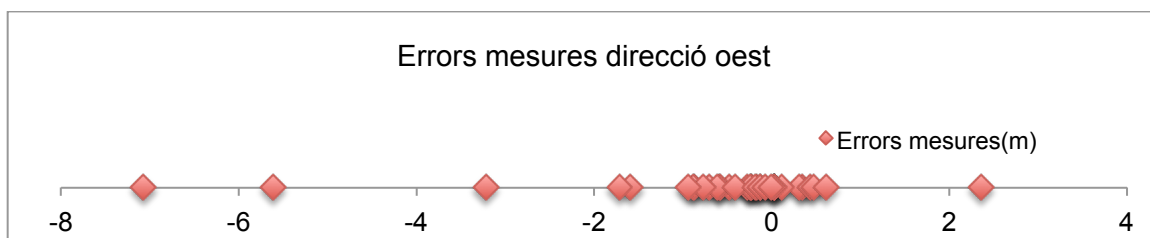


Figura 41. Errors direcció oest

	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m	Mitjana error Oest
Error Absolut	0,53463904	0,44299373	0,37516078	0,30467369	1,30684318	3,39907765	1,060564677
Mitjana d'error relatiu	53,46%	17,72%	7,50%	3,05%	5,23%	6,80%	15,63%

Taula 23. Errors direcció Oest

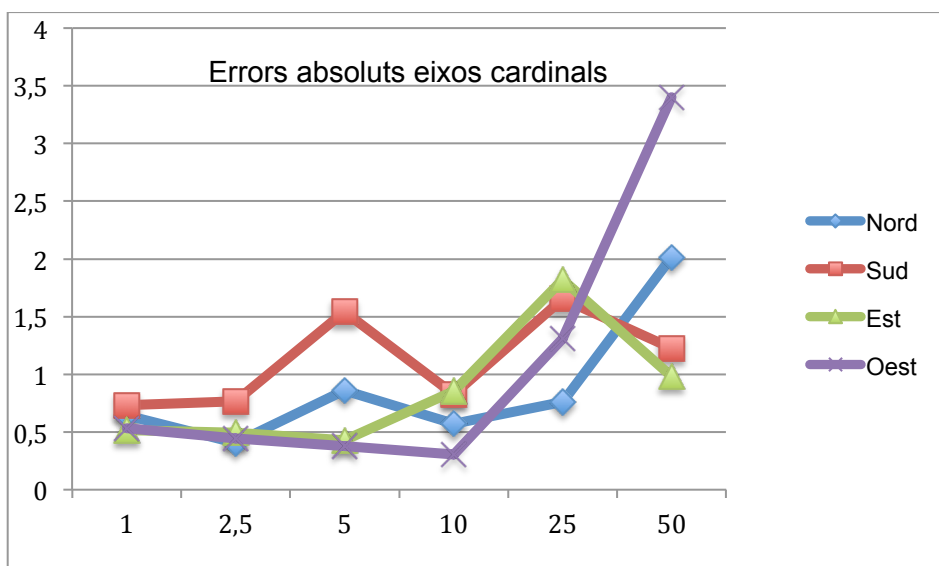


Figura 42. Errors direccions cardinals

Observant els resultats es veu que en direcció est el mòdul GPS té més bona precisió, amb un error absolut de mitjana de 0,849 m, en direcció nord hi ha una precisió de 0,875m, en direcció oest un error de 1,06 m i la direcció sud es la que té menys precisió, aquesta és de 1,123 m. No hi ha gaire diferencia entre els 4 eixos, menys de 40 centímetres. A mesura que es van prenent distancies més llargues l'error relatiu es va fent mes petit, això indica que com més llargues les distancies que s'agafen l'error relatiu serà mes petit.

Mirant les gràfiques es veu que el 65% dels resultats d'errors són negatius, això vol dir que el GPS indica la majoria de distancies més llargues del que realment són.

A l'hora de agafar les mesures s'ha vist que un 31% dels resultats s'obtenen valors totalment erronis, per tant es veu que aquest mòdul GPS és poc fiable.

6.2. Precisió segons el medi.

Per veure la diferencia de precisions que hi ha en els diferents medis el que s'ha fet és agafar 4 punts formant un quadrat i acabat en el punt inicial, així es sumen les distàncies recorregudes i es pot veure les diferencia de precisions que hi ha en els diferents medis i si en aquets medis hi haurà problemes molt grans de precisió. S'han pres mesures a cel obert, a sota-bosc, al canto de edifici i al interior de edificis. També S'han agafat quadrats de diferents mides, de menys de 5 metres, de menys de 10 metres, de menys de 20 metres i de mes de 20 metres. Així es tenen diferent varietat de mesures i es poden obtenir millor la diferencia de errors en els diferents medis. A continuació hi ha taules on es mostren exemples de les dades obtingudes en els diferents medis i a diferents distàncies.

	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	16:46	16:48	16:51	16:53	
Distància Nord	1,54345045	-2,00357151	-1,48894882	0,9091109	-1,03995898
Distància Est	-1,54509725	-3,61469221	1,11534953	1,67217016	-2,37226977
Altura	-1,27407109	0,004761641	0,58314013	1,76830673	1,082137411
Número de satèl·lits	9 8	9	9	9 8	
Típus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert

Taula 24. Mostra mesures cel obert de menys de cinc metres

	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura < 10m	Calcul distancia total
Hora	11:32	11:35	11:37	11:38	
Distància Nord	2,25705909	3,92446689	-5,01818513	3,80611753	4,96945838
Distància Est	-4,32923507	-1,94478397	3,60066199	0,54243378	-2,13092327
Altura	0,280072807	1,606860167	-1,12663531	1,26880228	2,029099944
Número de satèl·lits	9	9	9	9	
Típus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	

Taula 25. Mostra mesures sota bosc de menys de deu metres

	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:33	16:35	16:37	16:38	
Distància Nord	-22,2488288	-3,20721244	10,88775444	10,53274536	-4,03554144
Distància Est	1,94044666	-24,43448638	-2,6037085	21,11633491	-3,98141331
Altura	-2,43948936	2,412927624	3,21036243	-10,72789001	-7,544089316
Número de satèl·lits	8	8	8	8	7
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	

Taula 26. Mostra mesures canto edificis de menys de vint metres

	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	16:36	16:38	16:40	16:42	
Distància Nord	-12,9884605	-38,3982391	20,01018905	27,06191062	-4,31459993
Distància Est	-27,78215408	9,58858108	32,91291046	-14,86165646	-0,142319
Altura	1,950464721	2,72780036	-3,83708953	0,327347755	1,168523305
Número de satèl·lits	8	7	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	

Taula 27. Mostra mesures cel obert de més de vint metres

Un cop s'han agafat suficients mostres s'analitzen els resultats mirant les diferències de precisió dels dos eixos el eix Nord/Sud i el Est/Oest.

En l'interior dels edificis no es poden agafar mostres ja que el mòdul GPS es queda sense cobertura, per tant la posició del robot no podrà ser corregida en el interior dels edificis.

Els resultats del altres medis han sigut els següents:

	Calculs Mitjanes errors absoluts			
	Distàncies<5	Distàncies<10	Distàncies< 20	Distàncies >20
Nord/Sud Cel obert	2,473499289	2,690406566	3,150148988	3,84157367
Est/Oest Cel obert	1,907966033	1,477694533	2,772375518	3,523154665
Nord/Sud Sota bosc		3,018376189	3,149198308	
Est/Oest Sota bosc		1,523238354	1,727662516	
Nord/Sud Canto edificis		4,400563046	4,52673072	
Est/Oest Costat edificis		3,038798	2,945123097	

Taula 28. Errors diferents medis

Les mesures de més de 20 metres en sota bosc i costat d'edificis eren molt complexes d'agafar ja que no hi havia molt d'espai, per tant es va decidir centrar les mesures en les de menys de deu metres i les de menys de vint i fer els càlculs a partir d'elles.

Mirant els resultats obtinguts en les distàncies de menys de 10 metres i menys de 20 metres es veu que tan en cel obert com en sota bosc els resultats obtinguts són molt semblants, però en el costat d'edificis l'error ja és una mica més gran a causa de que l'edifici no permet la bona recepció dels GPS, els resultats i valors exactes es poden veure a la taula 28.

6.3. Errors de repetibilitat

Per veure si el GPS té errors de repetibilitat el que s'ha fet es agafar les mesures anteriors en cel obert de diferents hores del matí i de la tarda i mirar si hi ha diferència en els resultats així se sap si la precisió del GPS varia segons la hora del dia.

	Mitjanes errors absoluts				Mitjana Total Error absolut
	Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20	
Eix Nord/Sud Matí	2,194848018	0,85675967	3,245533792	3,374789028	2,417982627
Eix Nord/Sud Tarda	0,957358477	2,059995693	3,054764185	4,308358313	2,595119167
Eix Est/Oest Matí	1,53466171	0,518649798	2,393948114	1,839379443	1,571659766
Eix Est/Oest Trada	2,281270357	0,595988097	1,758138433	2,642377332	1,819443555

Taula 29. Errors repetibilitat

Com es pot observar a la taula dels errors anterior en els dos eixos tan al matí com a la tarda tenen errors pràcticament iguals, per tant el GPS no té error per repetibilitat, es a dir cometrà els mateixos errors tan el matí com a la tarda.

6.4. Errors tipus de dia

Per saber si afecta el tipus de dia als resultats del GPS el que s'ha fet es agafar les dades obtingudes amb el mètode dels 4 punts i classificar-les segons el tipus de dia que feia quan es van prendre les mesures. Un cop classificades s'han analitzat i els resultats dels errors han sigut els següents:

	Mitjanes errors absoluts		Mitjana total Errors absoluts
	Distancies<10	Distancies< 20	
Eix Nord/Sud Sol	1,078062418	3,054764185	2,066413302
Eix Nord/Sud Nuvol	2,108356835	3,245533792	2,676945313
Eix Est/Oest Sol	0,502441632	3,150802923	1,826622277
Eix Est/Oest Nuvol	0,67517766	2,393948114	1,534562887

Taula 30. Errors tipus de dia

Veient els resultats es pot dir que el tipus de dia no afecta a la precisió ja que tan si fa núvol com sol les precisions són molt semblants. Les petites diferències que hi ha no són significatives ja que hi ha més precisió en l'eix Nord/Sud quan fa sol i en l'eix Est/Oest hi ha més bona precisió quan fa núvol, per tant no es pot considerar que varia la precisió amb el tipus de dia.

6.5. Errors segons el nombre de satèl·lits connectats

El que es vol mirar és si el nombre de satèl·lit en els que està connectat el sistema GPS afecta a la mesura. Per realitzar aquest estudi el que s'ha fet és mirar el nombre de satèl·lits amb els que s'ha agafat cada mesura en les 4 direccions cardinals del apartat 6.1. i mirar l'error que es comet amb el nombre de satèl·lits. A més a més s'ha analitzat si afecta que en el primer punt hi el GPS estigui connectat a més o menys satèl·lits que en el segon.

Amb la següent taula es pot veure que tan amb 8 i 9 satèl·lits connectats el mòdul GPS té la mateixa precisió, per tant el nombre de satèl·lits en els que està connectat no afecta a la precisió això és degut a que per calcular la posició es necessita un mínim de 4 satèl·lits. També es pot veure que quan hi ha un increment de satèl·lits, es a dir, quan al primer punt el GPS està connectat a menys satèl·lits que el segon la precisió continua siguen la mateixa que amb 8 i 9 satèl·lits ja que es fan servir els mateixos satèl·lits per calcular la posició, però quan hi ha un decrement de satèl·lits l'error en la mesura és més gran a causa de que no hi ha els mateixos satèl·lits connectats i en algunes mesures no es fan servir els mateixos satèl·lits per calcular la distància i això és la causa de que hi hagi aquest error.

	Errors 8 satèl·lits	Errors 9 Satèl·lits	Errors amb increment de satèl·lits	Errors amb decrement de satèl·lits
	1m	1m	1m	1m
	0,118033975	1,543565716	0,513690721	1,175917851
	0,546874989	0,124999914	0,879421946	
		0,406249952	0,031249945	
		0,032637186		
		0,365501841		
		0,630100107		
		0,772180872		
Mitjana Errors Absoluts	0,332454482	0,553605084	0,474787538	1,175917851
Mitjana Errors Relatius	33,25%	55,36%	47,48%	117,59%
	2,5m	2,5m	2,5m	2,5m
	0,570501228	0,172194808	0,263988315	0,54539101
	0,782031565	0,288132297	0,080775045	0,278967001
	0,187545346	0,430343688	0,253257728	0,865902978
		1,10540153		0,41815456
		1,06649681		
		0,632646578		
Mitjana Errors Absoluts	0,513359379	0,615869285	0,199340363	0,527103887
Mitjana Errors Relatius	20,53%	24,63%	7,97%	21,08%
	5m	5m	5m	5m
	1,80540618	1,883233594	1,395884977	0,344477286
	2,880098181	0,497586243	0,450763096	
	2,659007462	0,611515973	0,032896642	
			0,384273302	
			0,153976589	
			0,108102217	
			0,281212498	
			0,028892293	
			0,997425341	
Mitjana Errors Absoluts	2,448170608	0,99744527	0,425936328	0,344477286
Mitjana Errors Relatius	48,96%	19,95%	8,52%	6,89%
	10m	10m	10m	10m
	0,096518455	0,071666266		0,220911316
	0,137338525	0,193836882		
	0,215893279	3,772201772		
	0,471360836	0,312486726		
	0,077833636	1,776741024		
		0,731132915		
		0,610713986		
		0,180835129		
		0,483292645		
		0,32698913		
Mitjana Errors Absoluts	0,199788946	0,845989648		0,220911316
Mitjana Errors Relatius	2,00%	8,46%		2,21%
	25m	25m	25m	25m
	0,486594302	0,342732158	3,546287311	3,218943844
	0,849184729	1,175068009	7,273868867	2,055599927
		0,357264146	1,709536151	1,613301177
		0,269402023	2,359076221	0,958185859
		1,553013674	0,430141199	
		0,902691523		
		0,024980995		
		0,42736667		
		0,941154682		
		0,483142805		
		1,145045291		
		0,295162579		
Mitjana Errors Absoluts	0,667889515	0,659751446	3,06378195	1,961507702
Mitjana Errors Relatius	2,67%	2,64%	12,26%	7,85%
	50m	50m	50m	50m
	2,775824197	3,833403751	0,02796795	1,017802573
	0,006286288	1,118326391	7,073875299	
		0,137025931	1,047311653	
		0,237090368	1,825812175	
		3,108414227	5,608860727	
		0,923152607	0,88560661	
		0,840256695		
Mitjana Errors Absoluts	1,391055242	1,456809996	2,744905736	1,017802573
Mitjana Errors Relatius	2,78%	2,91%	5,49%	2,04%
Mitjana Errors relatius total	18,37%	18,99%	16,34%	26,28%

Taula 31. Errors nombre de satèl·lits connectats

6.6. Assaig de processat

El robot es mou com a màxim a 30 km/h per poder saber com afecta la velocitat a les dades obtingudes pel GPS el que s'ha fet és calcular la precisió a 25 metres en diferents velocitats 0km/h 10km/h 20 km/h i 30km/h.

Els resultats han sigut els següents:

Càlcul mitjana errors relatius i absoluts				
	0km/h	10km/h	20km/h	30km/h
Mitjana errors absoluts	1,6545236	2,43707902	3,23734888	2,92118727
Mitjana errors relatius	6,618%	9,748%	12,949%	11,685%

Taula 32. Errors de processat

Mirant els resultats obtinguts amb velocitat la precisió és pitjor que en parat, a 10km/h la precisió ha empitjorat 80 centímetres, a 20km/h i 30km/h la precisió és més dolenta, 1,5 metres més que en parat. Aquest mòdul tindrà un error de precisió bastant gran en velocitat, el doble que sense velocitat.

6.7. Precisió d'alçades

Ens els anteriors apartats s'ha vist la precisió del mòdul GPS en els diferents eixos N/S i E/O en aquest apartat es veurà la precisió en l'altura. Per fer-ho s'han agafat els resultats obtinguts en els diferents medis i s'ha fet un estudi de l'alçada i de com varia en aquests llocs.

Mitjana Errors Absoluts Cel obert		
Distancies<10	Distancies< 20	Mitjana total
2,627577253	1,29586561	1,961721431

Taula 33. Errors alçada cel obert

Eix Est/Oest Sota Bosc		
Distancies<10	Distancies< 20	Mitjana Total
2,708695035	2,392953542	2,550824288

Taula 34. Errors alçada sota bosc

Eix Est/Oest Costat Edificis		
Distancies<10	Distancies< 20	Mitjana total
2,241905399	1,611895543	1,926900471

Taula 35. Errors alçada canto edificis

En les tres taules anteriors es veu que la precisió en l'altura es casi la mateixa, varia mig metre en el sota bosc de la del costat dels edificis i al cel obert, això és degut a que en el sota bosc hi ha molt més desnivell que en el canto d'edificis i en cel obert que és casi pla. La mitjana d'error en l'altura total és de 2,15 metres, és una precisió baixa, més que en les 4 direccions dels eixos estudiades al apartat 6.1.

6.8. Resultats dels anàlisis

Un cop fet tots els anàlisis s'ha vist que el mòdul GPS elegit té una precisió mitjana d'1m, una precisió millor de la esperada ja que en el datasheet indica que ofereix una precisió al voltant de 2.5m. La precisió en les 4 direccions és semblant, les mesures en direcció est són les més precises i la direcció sud és la que s'obté menys precisió. Tal com indica el datasheet del mòdul la precisió en vertical és més baixa que l'horitzontal, comet un error mig de 2,15 metres d'altura. A més a més s'ha vist que el receptor GPS és poc fiable.

Aquest mòdul GPS té precisions semblants tan en cel obert com en sota bosc, en canvi al canto d'edificis la precisió disminueix, comet un error més gran a causa de que els edificis dificulten la recepció dels satèl·lits, en l'interior de edificis no és possible la connexió per tant el robot no es podrà moure per l'interior d'aquets. A l'analitzar aquest mòdul s'ha vist que aquest no té problemes de repetibilitat ni el tipus de dia que fa afecta als resultats, a més a més el nombre de satèl·lits ens els que està connectat no afecta al resultat excepte que hi hagi un decrement de nombre de satèl·lits que llavors disminueix la precisió. Fent l'anàlisi del processat es veu que el mòdul a mesura que augmenta la velocitat en el que es mou els resultats són pitjors, a una velocitat de 30 km/h, que és la velocitat màxima que es pot moure el robot, l'error de precisió és 2,92m que es casi el doble que en parat, això indica que el mòdul no té una velocitat de processat gaire alta i pot influir en la correcció de la posició.

Veient tots els problemes i precisions després de fer l'estudi es creu que no seria gaire adequat instal·lar aquest mòdul al robot ja que no té molta precisió, al voltant dels edificis la precisió disminueix, en el interior dels edificis no hi ha cobertura, a causa d'això no es pot garantir el correcte funcionament i a més a més s'hauria de tenir una freqüència de processat molt baixa a causa de tots els errors de precisió del mòdul i a part que és poc fiable. A causa de tot això s'ha decidit elegir un mòdul més car a partir dels resultats obtinguts amb aquest mòdul i així poder corregir amb garanties la posició.

7. Futur mòdul GPS

Al veure que el mòdul GPS no es adequat s'ha decidit adquirir un mòdul de posicionament per satèl·lit de doble freqüència amb el que es preveu que obtenir molts millors resultats que el mòdul analitzat anteriorment.

7.1. Mòdul de posicionament global per satèl·lit.

S'ha decidit comprar un receptor Trimble AgGPS 162 reciber, es un GPS diferencial avançat el qual té una gran precisió gràcies a correccions via satèl·lit mitjançant la subscripció OmniStar i característiques molt millors que el mòdul analitzat anteriorment.



Figura 43. Receptor DGPS

Receptor	AgGPS 162 RECEIVER
Tipus de senyal	L1, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)
Número màxim de satèl·lits	12 + 3 SBAS
Precisió DGPS	20.32–30,48cm
Freqüència d'actualització de dades	1 Hz, 5 Hz
Cold start	< 2.5 min
Warm start	<30s
Hot start	<5s
Misatges MNEA	ALM, GGA, GLL, GSA, GSV, PTNLID, RMC, VTG, ZDA, GRS, GST, GGK, PTNLMS
Tipus d'antena	L1 GPS
Velocitat de transmissió de dades	4,800–115,200 bauds
Tamany	18,288x8.89x19.05 cm
Pes	1.5 lb
Consum	<4Watts(10to16VDC)
Temperatura de funcionament	-22 °F to +149 °F (-30 °C to +65 °C)
Temperatura d'emagatzematge	-40°Fto+185°F(-40°Cto+85°C)
Coberta	Waterproof, shock-resistant, and dustproof
Connector	Un Deutsch de 12 pins
Número de ports	Tres
Tipus de ports	Dos RS-232, un ISO, 11783/J1939

Taula 36. Característiques Receptor AgGPS 162

Comparant aquestes característiques amb el mòdul estudiat es veu que té una precisió molt millor, el GPS convencional disposa una precisió d'uns 2,5 metres, aquest té una precisió entre 20 i 30 cm, així es podran tenir freqüències de correcció de posició més altres, es podran fer trajectòries més precises i anar d'un punt a un altre de forma més ràpida.

Aquest receptor funcionaria més be que el anterior als diferents medis ja que l'antena és més potent i amb el sistema de correcció que disposa té més cobertura i podria arribar a llocs on el anterior no pot, a més a més disposaria de més cobertura al interior de edificis.

L'inconvenient d'aquest GPS és que és molt car, s'ha de pagar la subscripció a OmniStar i té un consum més alt que el mòdul convencional, tot i això si es vol disposar d'una bona precisió es necessari fer aquesta inversió.

S'hauria de fer un altre estudi més profund amb aquest altre GPS i llavors es podria col·locar aquest en el robot i poder corregir adequadament la trajectòria sense desviacions.

8. Resum del pressupost

L'import de la base imposable del pressupost suma un total de sis-cents quaranta-nou coma seixanta-tres cèntims sense IVA.

9. Conclusions

En aquest projecte s'ha fet un estudi d'un mòdul de posicionament global i saber si és eficaç per a dur a terme les correccions de trajectòries d'un robot d'exploració autònom. S'ha vist que hi ha diferents tipus de sistemes de posicionament global, el més utilitzat és el GPS amb una gran varietat de receptors. En pocs anys estarà en ple funcionament el sistema GALIEO el qual es preveu que s'imposi als sistemes actuals ja que disposarà de una precisió molt millor i amb mes tipus de serveis per a diferents aplicacions.

Hi ha molts tipus de receptors, de molts preus, precisions i característiques diferents, s'ha estudiat un mòdul del tipus convencional, aquests tipus de mòdul són molt senzills i econòmics, són útils per a moltes aplicacions, però per aplicacions que necessiten precisió són bastant justos ja que les precisions van dels 25 als 3 metres.

Fent l'estudi del mòdul receptor GPS s'ha vist que la precisió varia segons la direcció, cap al Nord és la que té mes bona precisió i direcció Sud té pitjor precisió. Alhora de fer l'estudi de l'altura s'ha comprovat que es té una precisió més dolenta que en les 4 direccions cardinal. La precisió del aparell empitjora al canto dels edificis, i en l'interior dels edificis el mòdul no rep senyal. L'error de precisió augmenta més amb la velocitat, això indica que te una velocitat de processat baixa, encara que te bona repetibilitat i el tipus de dia no afecta en la precisió, a més a més el 31% dels resultats són erronis, això indica que és un mòdul poc fiable. Aquest tipus de receptor provocaria bastants errors a la hora de corregir la trajectòria i si es vol obtenir molt bons resultats el que caldrà serà buscar un receptor amb millor precisió i millors prestacions.

El nou mòdul DGPS que s'adquiriria per corregir la trajectòria serà un mòdul avançat amb millors característiques, precisió i més estable que el que s'ha analitzat. L'inconvenient és que és un receptor car, i té un consum d'energia elevat a mes a mes és mes gran i pesat que el convencional. S'haurà de fer l'estudi per saber exactament les precisions i si millorarà molt respecte del mòdul convencional i així poder implementar-lo al robot autònom d'exploració.

Eloi Cortada Vallicrosa

Enginyer tècnic industrial especialitat en Electrònica Industrial

Girona, 19 de juliol del 2012

10. Relació de documents

Els documents del projecte són: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

11. Bibliografia

ARDUINO. Llibreria Líquid Crystal (<http://arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>, 8 de gener de 2012)

ARDUINO. Placa Arduino (<http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardDuemilanove>, 7 de gener de 2012)

ARLAB. El projecte San Bernardo (http://arlab.udg.edu/wiki/index.php/San_Bernardo, 9 de octubre de 2011)

BLOGELECTRONICA. El sistema GPS (<http://www.blogelectronica.com/el-gps-sistema-de-posicionamiento-global/>, 10 de setembre de 2010)

CLUBDELAMAR. El sistema GPS (<http://www.clubdelamar.org/sistemagps.htm>, 10 de setembre de 2011)

ESA. El projecte GALILEO (<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>, 11 de setembre de 2011)

GD. Pantalla LCD GDM1602K Datasheet (<http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM1602K.pdf>, 8 de gener de 2012)

GPSINFORMATION. Protocol NMEA (<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>, 16 de gener de 2012)

LOCOSYS. Mòdul GPS LS20031 (http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/LS20030%7E3_datasheet_v1.2.pdf, 20 de setembre de 2011)

NACC. Sistemes de coordenades terrestres (<http://nacc.upc.es/tierra/node11.html>, 20 de febrer de 2012)

PATINC. AgDGPS 162 Datasheet (<http://www.patinc.info/product%20pdfs/162%20and%20262.pdf>, 9 de abril de 2012)

PROGRAMATIUM. Tutorial de llenguatge c (<http://www.programatium.com/c.htm>, 25 de novembre de 2011)

RS. Components electrònics (<http://es.rs-online.com>, 8 de gener de 2012)

SPARKFUN. Mòduls GPS (<http://www.sparkfun.com/categories/4>, 20 de setembre de 2011)

TODOELECTRONICA. Mòduls GPS (http://todoelectronica.com/modulos-gps-c-602_261_1037.html, 9 de octubre de 2011)

WIKIBOOKS. Anàlisi espacial (http://es.wikibooks.org/wiki/Manual_del_estudiante_de_Ingenier%C3%ADa_en_Sistemas_de_UTN/Sistemas_de_Informaci3n_Geogr%C3%A1ficos/Unidad_2,_An%C3%A1lisis_espacial, 22 de febrer de 2012)

WIKIPEDIA. El sistema BEIDOU (http://en.wikipedia.org/wiki/Beidou_navigation_system, 11 de setembre de 2011)

WIKIPEDIA. El sistema GLONASS (<http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>, 9 de setembre de 2011)

WIKIPEDIA. El sistema GPS (http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System, 9 de setembre de 2011)

WIKIPEDIA. Sistema geodèsic (http://en.wikipedia.org/wiki/Geodetic_system, 20 de febrer de 2012)

12. Glossari

AS: Anti-Spoofing (És un sistema que inclou un error al senyal GPS per evitar atemptats)

DGPS: Differential Global Positioning System (Sistema diferencial de posicionament global)

DOP: Dilution of Position (Dissolució de la posició)

EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service (Servei Europeu geostacionari de navegació per superposició)

GDOP: Geometric Dilution of Position (Dissolució de la posició geomètrica)

GLONASS: GLobal Orbiting NAVigation Satellite System (Sistema de navegació per satèl·lit orbital)

GPS: Global Positioning System (Sistema de posicionament global)

HDOP: Horizontal dilution of Position (Dissolució de la posició horitzontal)

LCD: Liquid Cristal Display (Pantalla de cristall líquid)

MNEA: National Marine Electronic Association (Associació marina nacional electrònica)

MSAS: Multi-functional Satellite Augmentation System (Sistema multi-funcional d'augment per satèl·lit)

PDOP: Dilution of Position (Dissolució de la posició a causa de la posició dels satèl·lits)

PPS: Precise Positioning Service (Servei de posicionament de precisió)

RTK: Real Time Kinematic (Algoritme de correcció de la posició en temps real)

SPS: Standart Positioning Service (Servei de posicionament estàndard)

TDOP: Time Dilution of Position (Dissolució de la posició a causa de l'error de rellotge)

URE: User Equivalenty Range Error (Error equivalent en distància al usuari)

VDOP: Vertical Dilution of Position (Dissolució de la posició vertical)

WAAS: Wide Area Augmentation System (Sistema d'augment de l' àrea)

WGS84: World Geodesic System (Sistema geodesic mundial 84)

A. Programa

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Configuració pantalla LCD

int rxPin = 0; // PIN RX

int txPin = 1; // PIN TX

int i;

int a = 0;

int byteGPS;

int estat = 0;

int PinPolsador1 = 6; // PIN Polsador 1

int PinPolsador2 = 9; // PIN Polsador 2

int PinPolsador3 = 10; // PIN Polsador 3

int estatPolsador1 = 1; // Variable estat Polsador 1

int estatPolsador2 = 1; // Variable estat Polsador 2

int estatPolsador3 = 1; // Variable estat Polsador 3

int satelits = 0;

char GPGGA [80] = " "; /*Cadena de caràcters on es guarda la
sentencia GGA*/

float latGraus = 0.00; // Variable per guardar Latitud en Graus

float lonGraus = 0.00; // Variable per guardar Longitud en Graus

float latRad = 0.00; /*Variable per guardar la latitud en radiants
de la posició 1*/

float lonRad = 0.00; /*Variable per guardar la longitud en radiants
de la posició 1*/

float latRad1 = 0.00; /*Variable per guardar la latitud en radiants
de la posició 2*/

float lonRad1 = 0.00; /*Variable per guardar la longitud en radiants
de la posició 2*/

float H = 0.00; /*Variable per guardar l'altura sobre el nivell del
mar*/
```

```
float n = 0.00; // Variable per guardar l'altura geoidal
float N=0.00;// Variable per guardar l'altura total
float X=0.00;// Variable per guardar eix X del sistema ECEF
float Y=0.00;// Variable per guardar eix Y del sistema ECEF
float Z=0.00;// Variable per guardar eix Z del sistema ECEF
float X1=0.00;/*Variable per guardar eix X del sistema ECEF de la
posició 1*/
float Y1=0.00;/*Variable per guardar eix Y del sistema ECEF de la
posició 1*/
float Z1=0.00;/*Variable per guardar eix Z del sistema ECEF de la
posició 1*/
float X2=0.00;/*Variable per guardar eix X del sistema ECEF de la
posició 2*/
float Y2=0.00;/*Variable per guardar eix Y del sistema ECEF de la
posició 2*/
float Z2=0.00;/*Variable per guardar eix Z del sistema ECEF de la
posició 2*/
float N1=0.00;//Variable per guardar eix Nord del sistema NED
float E = 0.00;//Variable per guardar eix Est del sistema NED
float D = 0.00;//Variable per guardar eix Oest del sistema NED
void ajuntar() { /*Aquesta subrutina el que fa es agafar els
diferents bytes de la sentència GGA, guardada en la cadena de
caràcters i els ajunta per obtenir la latitud, longitud, el numero
de satèl·lits i l'altura geodidal i l'altura sobre el nivell del mar
i transforma les dades de ASCII a decimal*/
    latGraus = 0; // Posem la variable de la latitud a 0
    lonGraus = 0; // Posem la variable de la longitud a 0
    float latMin = 0; /*Variable per guardar els minuts de la
latitud*/
    float lonMin = 0; /*Variable per guardar els minuts de la
longitud*/
```

```
float latMinDec = 0; /*Variable per guardar els decimals dels
minuts de la latitud*/
float lonMinDec = 0; /*Variable per guardar els decimals dels
minuts de la longitud*/
H = 0; //Posem la altura sobre el nivell del mar a 0
float decH = 0; /*Variable per guardar els decimals de la
altura sobre el nivell del mar*/
n = 0; //Altura geoidal a 0
float decn = 0 ; /*Variable per guardar els decimals de la
altura geoidal*/
float zeros = 1000; /*Constant per ajuntar els bytes de la
sentencia GGA*/
int e = 0;
latGraus=((GPGGA[12]-48)*10)+(GPGGA[13]-48)); /*S'ajunten els
bytes per formar els graus de la latitud*/
latMin=((GPGGA[14]-48)*10)+(GPGGA[15]-48)); /*S'ajunten els
bytes per formar els minuts de la latitud*/
for(e=17;e<21;e++){
    latMinDec=(latMinDec)+((GPGGA[e]-48)*zeros); /*S'ajunten
els bytes per formar els decimals dels minuts de la
latitud*/
    zeros=zeros/10;
}
zeros=1000;
lonGraus=((GPGGA[25]-48)*10)+(GPGGA[26]-48)); /*S'ajunten
els bytes per formar els graus de la longitud*/
lonMin=((GPGGA[27]-48)*10)+(GPGGA[28]-48)); /*S'ajunten
els bytes per formar els minuts de la longitud*/
for(e=30;e<34;e++){
    lonMinDec=(lonMinDec)+((GPGGA[e]-48)*zeros); /*S'ajunten
els bytes per formar els decimals dels minuts de la
```

```

        latitud*/
        zeros=zeros/10;
    }
    H = (((GPGGA[46]-48)*10)+(GPGGA[47]-48)); /*S'ajunten els
bytes per forma l'altura sobre el nivell del mar*/
    decH= (GPGGA[49]-48)/10.0; /*S'ajunten els bytes per formar els
decimals de l'altura sobre el nivell del mar*/
    H = (H + decH); //S'ajunta la part entera amb la decimal
    n = (((GPGGA[53]-48)*10)+(GPGGA[54]-48)); /*S'ajunten
els bytes per formar l'altura geoidal*/
    decn= (GPGGA[56]-48)/10.0; /*S'ajunten els bytes per
formar els decimals de l'altura geoidal*/
    n = (n + decn); //S'ajunten la part entera amb la decimal
    satelids = GPGGA[39]-48; /*Es transforma el byte que
indica el nombre de satèl·lits de ASCII a decimal*/
    latMinDec=latMinDec/10000.00; /*es divideix el nombre
decimal per a poder-lo sumar després als minuts enters de la
latitud*/
    latMin=latMin+latMinDec; /*es sumen els minuts decimals als
minuts enters de la latitud*/
    latMin=latMin/60.00; /*es transformen els minuts totals a graus
de la latitud*/
    latGraus=latGraus+latMin; /*sumem els graus obtinguts dels
minuts als graus enters de la latitud*/
    lonMinDec=lonMinDec/10000.00; //En els següents passos es fa el
mateix que els anteriors
    lonMin=lonMin+lonMinDec;
    lonMin=lonMin/60.00;
    lonGraus=lonGraus+lonMin;
}
void GrausRad(){ /*Subrutina on es transformen la longitud i la

```

```

latitud de graus a radiants*/
    const float pi = 3.141592654;
    latRad = ((pi*latGraus)/180.00);
    lonRad = ((pi*lonGraus)/180.00);
}
void CalculCoordenades(){/*Subrutina que partir de la longitud,
latitud i les altures es troba la X, Y, Z del sistema ECEF*/
    float a2 = sq(6378137.00);/*Constant eix major de l'esferoide
de referencia utilitzat
    float b2 = sq(6356752.31424);/*Constant eix menor de
l'esferoide de referencia utilitzat*/
    float h=H+n; // Càlcul de l'altura total
    GrausRad(); // cridem la subrutina
    N = a2/(sqrt((a2*sq(cos(latRad)))+(b2*sq(sin(latRad)))));
    //Càlcul factor aixafament
    X = (N+h)*cos(latRad)*cos(lonRad); // Càlcul X sistema ECEF
    Y = (N+h)*cos(latRad)*sin(lonRad);// Càlcul Y sistema ECEF
    Z = ((b2/a2)*N)+h)*sin(latRad); // Càlcul Z sistema ECEF
}
void setup() { // inicialització del programa
    pinMode(PinPolsador1, INPUT); //PIN del polsador 1 com entrada
    pinMode(PinPolsador2, INPUT); //PIN del polsador 2 com entrada
    pinMode(PinPolsador3, INPUT); //PIN del polsador 3 com entrada
    pinMode(rxPin, INPUT); // PIN RX Arduino entrada
    pinMode(txPin, OUTPUT); // PIN TX Arduino sortida
    Serial.begin(57600); /*Configurem la connexió serie a 57600
Bauts*/
    lcd.begin(16, 2); /*Configurem els pins 16 i 2 per a la
pantalla LCD*/
}
void loop(){ // Inici programa principal

```

```
estatPulsador1 = digitalRead(PinPulsador1);/*Es llegeix estat
del polsador 1*/
estatPulsador2 = digitalRead(PinPulsador2);/*Es llegeix estat
del polsador 2*/
estatPulsador3 = digitalRead(PinPulsador3);/*es llegeix estat
del polsador 3*/
if(estatPulsador1 == 0){/*Si el polsador 1 està premut es
llegeix les dades provinents del mòdul receptor i s'obtenen les
dades de longitud, latitud i altura i s'obté la posició en el
sistema ECFE*/
    if (Serial.available()){/*Si la connexió serie es troba
disponible es llegeix el primer bite provinent del port
serie*/
        byteGPS=Serial.read();
        switch (estat) {
            case 0 : if (byteGPS == '$') estat = 1 ; else
estat=0;
            /*Si el primer byte es $ llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
sinó es torna al estat 0*/
                break;
            case 1 : if (byteGPS == 'G') estat = 2 ; else
estat=0;
            /*Si el segon byte es G llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
sinó es torna al estat 0*/
                break;
            case 2 : if (byteGPS == 'P') estat = 3 ; else
estat=0;
            /*Si el tercer byte es P llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
```



```
sinó es torna al estat 0*/
        break;
case 3 : if (byteGPS == 'G') estat = 4 ; else
estat=0;
/*Si el quart byte es G llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
sinó es torna al estat 0*/
        break;
case 4 : if (byteGPS == 'G') estat = 5 ; else
estat=0;
/*Si el quart byte es G llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
sinó es torna al estat 0*/
        break;
case 5 : if (byteGPS == 'A') estat = 6 ; else
estat=0;
/*Si el sisè byte es A llavors passem al
següent estat i es llegeix el següent byte,
sinó es torna al estat 0*/
        break;
case 6 : if (byteGPS != '*'){if (byteGPS ==
'$') estat = 0 ; estat = 6;
GPGGA[a] = byteGPS;a=a+1;}
/*Si el setè byte es * es guarden els bytes
següents de la sentència a la cadena de
caràcters GPGGA i es passa al següent estat*/
else estat = 7;
        break;
case 7 : {
        a = 0 ;
        estat= 0;
```

```
ajuntar();  
/*es crida la subrutina d'ajuntar per  
tenir la longitud, latitud les altures i  
el nombre de satèl·lits en el punt on  
s'ha polsat el polsador 1*/  
  
CalculCoordenades();  
/*es crida la subrutina per calcular les  
coordenades em el sistema ECEF*/  
X1 = X; /*es guarda la X del sistema  
ECEF en una variable*/  
Y1 = Y; /*es guarda la Y del sistema  
ECEF en una variable  
Z1 = Z; /*es guardar la Z del sistema  
ECEF en una variable*/  
latRad1 = latRad;  
/*es guarda la latitud en radiants en una  
variable per poder-la utilitzar-la al  
prémer el tercer boto*/  
lonRad1 = lonRad;  
/*es guarda la longitud en radiants en  
una variable per poder utilitzar-la al  
prémer el tercer botó*/  
lcd.clear(); /*s'esborra el que hi ha a  
la pantalla LCD*/  
lcd.print("N.Sat.="); lcd.print(satelids);  
/*s'escriuen el numero de satèl·lits a  
la pantalla*/  
delay(3000); //espera 3 segons  
  
lcd.clear(); /*es neteja el que hi ha a la  
pantalla*/
```

```
        lcd.print("lat=");lcd.print(latGraus,8);
        /*s'escriuen per pantalla la latitud i la
        longitud a la primera fila de caràcters*/
        lcd.setCursor(0, 1);
        /*instrucció per escriure a la segona
        fila de caràcters*/
        lcd.print("lon =");lcd.print(lonGraus,8);
        //s'escriu la longitud a la pantalla LCD
    }
    break;
}
}
}
}
if(estatPolsador2 == 0) {
    /*si el polsador 2 es troba polsat es fan les mateixes
    instruccions que el polsador però guardant els resultats en
    diferents variables*/
    if (Serial.available()){
        byteGPS=Serial.read();
        switch (estat){
            case 0 : if (byteGPS == '$') estat = 1 ; else
            estat=0;
                    break;
            case 1 : if (byteGPS == 'G') estat = 2 ; else
            estat=0;
                    break;
            case 2 : if (byteGPS == 'P') estat = 3 ; else
            estat=0;
                    break;
            case 3 : if (byteGPS == 'G') estat = 4 ; else
            estat=0;
```

```
        break;
    case 4 : if (byteGPS == 'G') estat = 5 ; else
estat=0;
        break;
    case 5 : if (byteGPS == 'A') estat = 6 ; else
estat=0;
        break;
    case 6 : if (byteGPS != '*'){if (byteGPS ==
'$') estat = 0 ; estat = 6;
GPGGA[a] = byteGPS;a=a+1;} else estat = 7;
        break;
    case 7:{
        a = 0;
        estat=0;
        ajuntar();
        CalculCoordenades();
        X2 = X;
        Y2 = Y;
        Z2 = Z;
        lcd.clear();
        lcd.print("N.Sat.=");lcd.print(satelids);
        delay(3000);
        lcd.clear();
        lcd.print("lat=");lcd.print(latGraus,8);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("lon =");lcd.print(lonGraus,8);
    }
        break;
}
}
}
```

```
if(estatPulsador3 == 0){/*Si el tercer pulsador esta premut es
calcula la distancia entre els 2 punts i es mostra per
pantalla*/

    float PX = X2 - X1;/*Es calcula la distancia entre les X
inicial i final*/
    float PY = Y2 - Y1;// Es calcula la distancia entre les I
inicial i final
    float PZ = Z2 - Z1;/*Es calcula la distancia entre la Z
inicial i la final*/
    N1 = -sin(latRad1)*cos(lonRad1)*PX - sin(latRad1)*
sin(lonRad1)*PY + cos(latRad1)*PZ;/*es calcula la
distancia Nord del sistema NED*/
    E = -sin(lonRad1)*PX + cos(lonRad1)*PY;/*Es calcula
la distancia Est del sistema NED*/
    D = -cos(latRad1)*cos(lonRad1)*PX-cos(latRad1)*sin
(lonRad1)*PY - sin(latRad1)*PZ;/*Es calcula l'alçada en
el sistema NED*/

    lcd.clear();//S'esborra el que hi ha per la pantalla
    lcd.print("N1 = ");
    lcd.print(N1,8);/*S'escriu a la pantalla LCD la distancia
Nord*/
    lcd.setCursor(0, 1);/*Instrucció per escriure a la segona
fila de la pantalla*/
    lcd.print("E=");lcd.print(E, 8);/*Escriu distancia Est*/
    delay(8000);/*S'espera 8 segons
    lcd.setCursor(0, 1);/*Escriure a la segona fila
    lcd.print ("D = ");
    lcd.print(D,8);/*S'escriu l'altura a la pantalla LCD
}
}
```

B. Mesures receptor i anàlisis

	1m Nord	1m Sud	1m Est	1m Oest
Hora	17:18	17:21	17:22	17:24
Distància Nord	0,98947849	-2,47518157	-0,04480367	-0,30559868
Distància Est	0,27478618	-0,54010605	1,40463376	-0,85113821
Altura	1,11206316	0,226910115	-0,05035434	-0,34345889
Distància Plana	1,513690721	2,543565716	1,406249952	0,967362814
Error Absolut Nord	0,01052151			
Error Absolut Sud		-1,47518157	-0,04480367	-0,30559868
Error Absolut Est	0,27478618		-0,40463376	
Error Absolut Oest		-0,54010605		0,14886179
Error Absolut Total	-0,513690721	-1,543565716	-0,406249952	0,032637186
Número de satèl·lits	8 9	9	9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 37. Dades 1 mesurador 1m

	1m Nord	1m Sud	1m Est	1m Oest
Hora	17:27	17:29	17:31	17:33
Distància Nord	1,76766562	-0,01019603	-0,40540194	0,03086487
Distància Est	0,57856936	-0,95927877	0,99885072	-0,96763667
Altura	-0,26989369	0,740725567	0,29655771	0,034688718
Distància Plana	1,879421946	1,212020661	1,118033975	0,968750055
Error Absolut Nord	-0,76766562			
Error Absolut Sud		0,98980397	-0,40540194	0,03086487
Error Absolut Est	0,57856936		0,00114928	
Error Absolut Oest		-0,95927877		0,032363332
Error Absolut Total	-0,879421946	-0,212020661	-0,118033975	0,031249945
Número de satèl·lits	7 8	7	8	7 8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 38.. Dades 2 mesurador 1m

	1m Nord	1m Sud	1m Est	1m Oest
Hora	18:17	18:19	18:14	18:11
Distància Nord	2,45154476	-2,10114192	-0,01443671	0,40988273
Distància Est	0,00221702	-0,55571408	0,45260424	-1,13931405
Altura	0,4987112	-0,10489512	-0,01622526	-0,29152181
Distància Plana	2,50175728	2,175917851	0,453125011	1,245401671
Error Absolut Nord	-1,45154476			0,40988273
Error Absolut Sud		-1,10114192	-0,01443671	
Error Absolut Est	0,00221702		0,54739576	
Error Absolut Oest		-0,55571408		-0,13931405
Error Absolut Total	-1,50175728	-1,175917851	0,546874989	-0,24540167
Número de satèl·lits	7	9 8	8	7
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert

Taula 39. Dades 3 mesurador 1m

	1m Nord	1m Sud	1m Est	1m Oest
Hora	18:21	18:24	18:30	18:27
Distància Nord	1,07508397	-0,31953778	0,65872955	-0,37129135
Distància Est	0,14882124	-0,41414108	1,49102697	-1,3494544
Altura	-0,29609374	-0,35912489	-0,01184541	1,08707893
Distancia Plana	1,124999914	0,634498159	1,630100107	1,772180872
Error Absolut Nord	-0,07508397		0,65872955	
Error Absolut Sud		0,68046222		-0,37129135
Error Absolut Est	0,14882124		-0,49102697	
Error Absolut Oest		-0,41414108		-0,3494544
Error Absolut Total	-0,124999914	0,365501841	-0,630100107	-0,77218087
Número de satèl·lits	9	9	9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert

Taula 40. Dades 4 mesurador 1m

	2.5m Nord	2.5m Sud	2.5m Est	2.5m Oest
Hora	17:40	17:44	17:46	17:49
Distància Nord	2,58667445	-2,57821178	0,63881754	-0,28990716
Distància Est	-0,39742528	0,13210557	2,11530852	-2,62198305
Altura	-1,60597205	1,6154809	-0,342243	0,426361135
Distancia Plana	3,070501228	3,04539101	2,236011685	2,672194808
Error Absolut Nord	-0,08667445		0,63881754	
Error Absolut Sud		-0,07821178		-0,28990716
Error Absolut Est		0,13210557	0,38469148	
Error Absolut Oest	-0,39742528			-0,12198305
Error Absolut Total	-0,570501228	-0,54539101	0,263988315	-0,17219481
Número de satèl·lits	8	9 8	8 9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 41. Dades 1 mesurador 2,5m

	2.5m Nord	2.5m Sud	2.5m Est	2.5m Oest
Hora	17:54	18:02	18:04	18:06
Distància Nord	2,46970558	-1,47401428	-0,45767188	0,04406559
Distància Est	0,71178379	0,64713807	2,63759016	-2,66044688
Altura	-0,23306226	0,5999248	0,23781208	0,801709558
Distancia Plana	2,580775045	1,717968435	2,687545346	2,778967001
Error Absolut Nord	0,03029442			0,04406559
Error Absolut Sud		1,02598572	-0,45767188	
Error Absolut Est	0,71178379	0,64713807	-0,13759016	
Error Absolut Oest				-0,16044688
Error Absolut Total	-0,080775045	0,782031565	-0,187545346	-0,278967
Número de satèl·lits	7 8	8	8	8 7
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 42. Dades 2 mesurador 2,5m

	2.5m Nord	2.5m Sud	2.5m Est	2.5m Oest
Hora	18:32	18:38	18:39	16:07
Distància Nord	2,15116357	-2,48788595	-0,7961277	1,0920292
Distància Est	0,26642842	1,13709533	2,81651687	-2,94026355
Altura	-0,59106855	-0,53955483	-0,14257466	1,221321145
Distància Plana	2,246742272	2,788132297	2,930343688	3,365902978
Error Absolut Nord	0,34883643			1,0920292
Error Absolut Sud		0,01211405	-0,7961277	
Error Absolut Est	0,26642842	1,13709533	-0,31651687	
Error Absolut Oest				-0,44026355
Error Absolut Total	0,253257728	-0,288132297	-0,430343688	-0,86590298
Número de satèl·lits	8 9	9	9	8 7
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert

Taula 43. Dades 3 mesurador 2,5m

	2.5m Nord	2.5m Sud	2.5m Est	2.5m Oest
Hora	16:02	16:04	16:05	16:06
Distància Nord	3,57216978	-1,40358219	-0,75855274	0,42358436
Distància Est	0,00216964	-0,28203635	2,91740703	-2,84773015
Altura	-0,48838361	-0,07310218	-0,85253067	0,476062305
Distància Plana	3,60540153	1,43350319	3,132646578	2,91815456
Error Absolut Nord	-1,07216978			0,42358436
Error Absolut Sud		1,09641781	-0,75855274	
Error Absolut Est	0,00216964		-0,41740703	
Error Absolut Oest		-0,28203635		-0,34773015
Error Absolut Total	-1,10540153	1,06649681	-0,632646578	-0,41815456
Número de satèl·lits	9	9	9	9 8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert

Taula 44. Dades 4 mesurador 2,5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:40	16:42	16:44	16:46
Distància Nord	5,04442834	-7,05946969	1,65316867	-0,52880167
Distància Est	0,68892650	-1,38620958	4,16818809	-5,56446456
Altura (Down)	-1,85248785	0,339992765	-0,39857821	0,157870936
Distància Plana	5,417802897	7,202311045	4,501735576	5,591763611
Error Absolut Nord	-0,04442834		1,65316867	
Error Absolut Sud		-2,05946969		-0,52880167
Error Absolut Est	0,6889265		0,83181191	
Error Absolut Oest		-1,38620958		-0,56446456
Error Absolut Total	-0,417802897	-2,202311045	0,498264424	-0,59176361
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 45. Dades 1 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:49	16:53	16:51	16:56
Distància Nord	4,64675426	-5,67878723	-1,26524543	-0,23687863
Distància Est	0,16664447	-0,38625251	5,81306982	-5,56335639
Altura (Down)	-0,79504632	0,339992765	0,08237618	1,238141299
Distancia Plana	4,717223143	5,702053182	5,949740546	5,704387757
Error Absolut Nord	0,35324574			
Error Absolut Sud		-0,67878723	-1,26524543	-0,23687863
Error Absolut Est	0,16664447		-0,81306982	
Error Absolut Oest		-0,38625251		-0,56335639
Error Absolut Total	0,282776857	-0,702053182	-0,949740546	-0,70438776
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 46. Dades 2 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	17:17	17:22	17:26	17:30
Distància Nord	4,97674655	-3,63015222	0,92928563	0,82775382
Distància Est	0,25839785	0,53678031	4,72168445	-5,08678627
Altura (Down)	-0,42417407	1,18541026	-0,46002354	0,930298237
Distancia Plana	5,001469715	3,856337087	4,834200811	5,236986324
Error Absolut Nord	0,02325345		0,92928563	0,82775382
Error Absolut Sud		1,36984778		
Error Absolut Est	0,25839785	0,53678031	0,27831555	
Error Absolut Oest				-0,08678627
Error Absolut Total	-0,001469715	1,143662913	0,165799189	-0,23698632
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 47. Dades 3 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	17:20	17:25	17:28	17:32
Distància Nord	6,02371406	-3,8912096	-0,21429803	-0,91478595
Distància Est	0,00443395	-0,43196516	5,43960809	-5,17428874
Altura (Down)	0,00030994	0,139827846	0,51133637	0,476252264
Distancia Plana	6,0237157	3,917608694	5,467789746	5,276069893
Error Absolut Nord	-1,02371406			
Error Absolut Sud	0,00443395	1,1087904	-0,21429803	-0,91478595
Error Absolut Est			-0,43960809	
Error Absolut Oest		-0,43196516		-0,17428874
Error Absolut Total	-1,0237157	1,082391306	-0,467789746	-0,27606989
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 48. Dades 4 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:14	16:16	16:18	16:20
Distància Nord	6,300816651	-6,64885787	-1,58851432	0,89185194
Distància Est	0,23965082	-1,26971137	4,23675727	-4,54164886
Altura (Down)	1,07220411	-0,70290493	0,47123932	-0,50191383
Distancia Plana	6,395884977	6,80540618	4,549236904	4,655522714
Error Absolut Nord	-1,300816651			0,89185194
Error Absolut Sud		-1,64885787	-1,58851432	
Error Absolut Est	0,23965082		0,76324273	
Error Absolut Oest		-1,26971137		0,45835114
Error Absolut Total	-1,395884977	-1,80540618	0,450763096	0,344477286
Número de satèl·lits	8 9	8	7 8	9 8
Tipus de dia	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 49. Dades 5 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:21	16:25	16:27	16:29
Distància Nord	4,11244583	-4,0183711	-1,23936855	-0,84759244
Distància Est	2,64926028	-0,28203535	5,00150156	-4,72279596
Altura (Down)	0,86100234	2,253460165	0,11145592	-0,95260133
Distancia Plana	4,967103358	4,615726698	5,153976589	4,891897783
Error Absolut Nord	0,88755417			
Error Absolut Sud		0,9816289	-1,23936855	-0,84759244
Error Absolut Est	2,64926028		-0,00150156	
Error Absolut Oest		-0,28203535		0,27720404
Error Absolut Total	0,032896642	0,384273302	-0,153976589	0,108102217
Número de satèl·lits	7 8	7 8	7 9	7 8
Tipus de dia	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol	Sol-Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 50. Dades 6 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:30	16:32	16:33	16:35
Distància Nord	7,76897907	-7,53231763	-0,15033853	-0,13610103
Distància Est	1,28531765	0,44816899	4,71336693	-4,88611268
Altura (Down)	-0,29473733	1,31290936	-0,168896404	-0,90514707
Distancia Plana	7,880098181	7,659007462	4,718787502	4,971107707
Error Absolut Nord	-2,76897907			
Error Absolut Sud		-2,53231763	-0,15033853	-0,13610103
Error Absolut Est	1,28531765	0,44816899	0,28663307	
Error Absolut Oest				0,11388732
Error Absolut Total	-2,880098181	-2,659007462	0,281212498	0,028892293
Número de satèl·lits	8	8	7 8	7 8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 51. Dades 7 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:30	16:32	16:33	16:35
Distància Nord	7,76897907	-7,53231763	-0,15033853	-0,13610103
Distància Est	1,28531765	0,44816899	4,71336693	-4,88611268
Altura (Down)	-0,29473733	1,31290936	-0,168896404	-0,90514707
Distancia Plana	7,880098181	7,659007462	4,718787502	4,971107707
Error Absolut Nord	-2,76897907			
Error Absolut Sud		-2,53231763	-0,15033853	-0,13610103
Error Absolut Est	1,28531765	0,44816899	0,28663307	
Error Absolut Oest				0,11388732
Error Absolut Total	-2,880098181	-2,659007462	0,281212498	0,028892293
Número de satèl·lits	8	8	7 8	7 8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 52. Dades 8 mesurador 5m

	5m Nord	5m Sud	5m Est	5m Oest
Hora	16:37	16:39	16:41	16:45
Distància Nord	5,68749284	-6,73097276	1,52877712	1,49991645
Distància Est	1,39235126	-1,25299668	5,12243318	-4,01715278
Altura (Down)	-1,297264	0,709161288	-1,28334459	0,933555698
Distancia Plana	5,997425341	6,883233594	5,497586243	4,388484027
Error Absolut Nord	-0,68749284		1,52877712	1,49991645
Error Absolut Sud		-1,73097276		
Error Absolut Est	1,39235126		-0,12243318	
Error Absolut Oest		-1,25299668		0,98284722
Error Absolut Total	-0,997425341	-1,883233594	-0,497586243	0,611515973
Número de satèl·lits	8 9	9	9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 53. Dades 9 mesurador 5m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	16:59	17:01	17:03	17:05
Distància Nord	11,65222358	-8,92245483	-1,08448875	-1,16310679
Distància Est	1,96699314	-0,25525479	10,28614902	-10,3786821
Altura (Down)	-0,44353199	1,254942419	-0,28552594	1,701533221
Distancia Plana	11,8254005	9,013891262	10,34710117	10,58135509
Error Absolut Nord	-1,65222358			
Error Absolut Sud		1,07754517	-1,08448875	-1,16310679
Error Absolut Est	1,96699314		-0,28614902	
Error Absolut Oest		-0,25525479		-0,37868213
Error Absolut Total	-1,825400501	0,986108738	-0,347101168	-0,58135509
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 54. Dades 1 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:07	17:10	17:11	17:13
Distància Nord	10,64906311	-11,6746234	1,16238403	-0,41054811
Distància Est	0,84218225	-1,26468229	9,12287044	-10,5503597
Altura (Down)	-0,81879138	0,418383594	-0,95016326	1,042956477
Distancia Plana	10,71364716	11,75037436	9,245577966	10,6097313
Error Absolut Nord	-0,64906311		1,16238403	
Error Absolut Sud		-1,6746234		-0,41054811
Error Absolut Est	0,84218225		0,87712956	
Error Absolut Oest		-1,26468229		-0,55035972
Error Absolut Total	-0,713647156	-1,750374362	0,754422034	-0,6097313
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 55. Dades 2 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:34	17:36	17:38	17:39
Distància Nord	9,90596389	-10,2257633	0,10048414	-0,09101201
Distància Est	0,71732425	0,15556058	9,83968734	-10,13622
Altura (Down)	-0,14958333	-0,96199893	-1,39143252	1,40207806
Distancia Plana	9,933028231	10,2720921	9,93808978	10,23313546
Error Absolut Nord	0,09403611		0,10048414	
Error Absolut Sud		-0,2257633		-0,09101201
Error Absolut Est	0,71732425	0,15556058	0,16031266	
Error Absolut Oest				-0,13621997
Error Absolut Total	0,066971769	-0,2720921	0,06191022	-0,23313546
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 56. Dades 3 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:42	17:44	17:45	17:46
Distància Nord	9,26887702	-9,21786117	0,79356503	-0,77562761
Distància Est	-0,17338564	-0,14711251	10,25382709	-10,8156805
Altura (Down)	-0,86559438	0,170762581	-1,36467289	1,384832145
Distancia Plana	9,310821522	9,220616384	10,37463482	10,93152793
Error Absolut Nord	0,73112298		0,79356503	
Error Absolut Sud		0,78213883		-0,77562761
Error Absolut Est			-0,25382709	
Error Absolut Oest	-0,17338564	-0,14711251		-0,8156805
Error Absolut Total	0,689178478	0,779383616	-0,374634815	-0,93152793
Número de satèl·lits				
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 57. Dades 4 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	16:50	16:48	16:54	16:56
Distància Nord	9,490345	-8,94358062	-0,16929697	0,09090662
Distància Est	-0,61666965	-3,42963027	10,42328548	-9,44448375
Altura (Down)	3,3153479	3,487737417	9	-2,15438532
Distancia Plana	10,07166627	10,19383688	13,77220177	9,687513274
Error Absolut Nord	0,509655			0,09090662
Error Absolut Sud		1,05641938	-0,16929697	
Error Absolut Est			-0,42328548	
Error Absolut Oest	-0,61666965	-3,42963027		0,55551625
Error Absolut Total	-0,071666266	-0,193836882	-3,772201772	0,312486726
Número de satèl·lits	9	9	9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 58. Dades 5 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:00	17:04	17:06	17:10
Distància Nord	9,2061577	-11,4023599	-2,03699064	1,02910673
Distància Est	1,79310073	-1,92631902	10,4232912	-10,1206121
Altura (Down)	-0,43605279	2,228702062	-1,53716731	0,404417081
Distancia Plana	9,389286014	11,77674102	10,73113292	10,18083513
Error Absolut Nord	0,7938423			1,02910673
Error Absolut Sud		-1,4023599	-2,03699064	
Error Absolut Est	1,79310073		-0,4232912	
Error Absolut Oest		-1,92631902		-0,12061214
Error Absolut Total	0,610713986	-1,776741024	-0,731132915	-0,18083513
Número de satèl·lits	9	9	9	9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 59. Dades 6 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:14	17:17	17:20	17:25
Distància Nord	10,14063262	-9,87832164	-0,9840579	0,65457954
Distància Est	2,51324391	-2,86274528	9,9873991	-10,0893974
Altura (Down)	0,86637163	0,932821278	-1,10597205	0,735674854
Distancia Plana	10,48329265	10,32698913	10,09651845	10,13733852
Error Absolut Nord	-0,14063262			0,65457954
Error Absolut Sud		0,12167836	-0,9840579	
Error Absolut Est	2,51324391		0,0126009	
Error Absolut Oest		-2,86274528		-0,08939743
Error Absolut Total	-0,483292645	-0,32698913	-0,096518455	-0,13733852
Número de satèl·lits	9	9	8	8
Tipus de dia	Sol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 60. Dades 7 mesurador 10m

	10m Nord	10m Sud	10m Est	10m Oest
Hora	17:26	17:28	17:30	17:32
Distància Nord	9,2808094	-10,2337036	-0,98803777	-0,09599066
Distància Est	2,0104947	-2,15317988	10,11225605	-9,98014736
Altura (Down)	-2,35652971	0,533408648	-1,11044454	1,396486756
Distancia Plana	9,784106721	10,47136084	10,22091132	10,07783364
Error Absolut Nord	0,7191906			
Error Absolut Sud		-0,2337036	-0,98803777	-0,09599066
Error Absolut Est	2,0104947		-0,11225605	
Error Absolut Oest		-2,15317988		0,01985264
Error Absolut Total	0,215893279	-0,471360836	-0,220911316	-0,07783364
Número de satèl·lits	8	8	8 7	8
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 61. Dades 8 mesurador 10m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	16:27	16:30	16:32	16,34
Distància Nord	24,51342391	-28,3035926	-4,57028484	-8,15818977
Distància Est	5,00139999	-3,4847238	31,48998069	-26,7705269
Altura	-4,04130172	1,2860269	5,394091609	3,618234639
Distancia Plana	25,34273216	28,54628731	32,27386887	28,21894384
Error Absolut Nord	0,48657609			
Error Absolut Sud		-3,3035926	-4,57028484	-8,15818977
Error Absolut Est	5,00139999		-6,48998069	
Error Absolut Oest		-3,4847238		-1,77052688
Error Absolut Total	-0,342732158	-3,546287311	-7,273868867	-3,21894384
Número de satèl·lits	9	8 9	7 8	8 7
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 62. Dades 9 mesurador 10m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	16:35	16:37	16:42	16:40
Distància Nord	22,08475685	-27,21147712	0,55912914	2,20331764
Distància Est	4,28128337	-7,60278558	25,48015975	-26,2699757
Altura	-4,5143795	3,262022978	-0,12378541	-4,29337764
Distancia Plana	22,94440007	28,44130147	25,4865943	26,70953615
Error Absolut Nord	2,91524315		0,55912914	2,20331764
Error Absolut Sud		-2,21147712		
Error Absolut Est	4,28128337		-0,48015975	
Error Absolut Oest		-7,60278558		-1,26997566
Error Absolut Total	2,055599927	-3,441301474	-0,486594302	-1,70953615
Número de satèl·lits	8 7	7	8	8 9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 63. Dades 1 mesurador 25m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	17:37	17:40	17:43	17:45
Distància Nord	25,20474624	-23,9046897	-3,70646047	2,544557879
Distància Est	6,94948196	-5,97962999	26,35082817	-22,4969882
Altura	1,24870967	0,272517739	-0,40472841	-0,14891243
Distància Plana	26,17506081	24,64273585	26,61330118	22,64092378
Error Absolut Nord	-0,20474624			2,544557879
Error Absolut Sud		1,0953103	-3,70646047	
Error Absolut Est	6,94948196		-1,35082817	
Error Absolut Oest		-5,97962999		2,50301176
Error Absolut Total	-1,175060809	0,357264146	-1,613301177	2,359076221
Número de satèl·lits	9	9	9 8	8 9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Sol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 64. Dades 2 mesurador 25m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	17:47	17:50	17:56	18:00
Distància Nord	24,04929161	-25,4491195	-2,29733795	3,30976581
Distància Est	5,28343629	-6,96176714	23,90274077	-24,3458769
Altura	-2,30637168	2,989757539	1,179003477	-0,04111231
Distància Plana	24,73059798	26,55301367	24,04181414	24,5698588
Error Absolut Nord	0,95070839			3,30976581
Error Absolut Sud		-0,4491195	-2,29733795	
Error Absolut Est	5,28343629		1,09725923	
Error Absolut Oest		-6,96176714		0,65412311
Error Absolut Total	0,269402023	-1,553013674	0,958185859	0,430141199
Número de satèl·lits	9	9	9 8	7 9
Tipus de dia	Nuvol	Nuol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 65. Dades 3 mesurador 25m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	16:45	16:48	16:57	17:04
Distància Nord	22,6297112	-24,0537605	-4,0629865	2,19112369
Distància Est	10,8178988	5,14298963	25,82020378	-24,4083061
Altura	0,11229811	2,301142211	0,0532378	0,958211321
Distància Plana	25,0827306	24,70483742	26,1379727	24,52518297
Error Absolut Nord	2,3702888			2,19112369
Error Absolut Sud		0,9462395	-4,0629865	
Error Absolut Est	10,8178988	5,14298963	-0,82020378	
Error Absolut Oest				0,59169388
Error Absolut Total	-0,082730599	0,295162579	-1,137972699	0,474817032
Número de satèl·lits	7	9	9	9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 66. Dades 4 mesurador 25m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	17:10	17:08	17:12	17:22
Distància Nord	25,00391769	-24,4417247	-4,41165161	1,48994112
Distància Est	6,65071868	-4,6903663	25,03984832	-25,8441391
Altura	-1,23347854	2,61767673	0,307086222	1,674531691
Distància Plana	25,90269152	25,024981	25,42736667	25,94115468
Error Absolut Nord	-0,00391769			1,48994112
Error Absolut Sud		0,5582753	-4,41165161	
Error Absolut Est	6,65071868		-0,03984832	
Error Absolut Oest		-4,6903663		-0,84413909
Error Absolut Total	-0,902691523	-0,024980995	-0,42736667	-0,94115468
Número de satèl·lits	9	9	9	9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 67. Dades 5 mesurador 25m

	25m Nord	25m Sud	25m Est	25m Oest
Hora	17:27	17:31	17:32	17:38
Distància Nord	24,68835449	-25,1975021	-4,28878879	3,57215612
Distància Est	6,11173258	-5,69649982	23,74334144	-24,6953526
Altura	-1,58822059	4,024819372	-1,05920076	1,758158446
Distància Plana	25,4831428	26,14504529	24,15081527	25,01423311
Error Absolut Nord	0,31164551			3,57215612
Error Absolut Sud		-0,1975021	-4,28878879	
Error Absolut Est	6,11173258		1,25665856	
Error Absolut Oest		-5,69649982		0,30464745
Error Absolut Total	-0,483142805	-1,145045291	0,849184729	-0,01423311
Número de satèl·lits	9	9	8	7
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 68. Dades 6 mesurador 25m

	50m Nord	50m Sud	50m Est	50m Oest
Hora	16:47	16:50	16:53	16:56
Distància Nord	51,77957813	-52,9563522	-8,25091552	5,27761745
Distància Est	8,43818855	-9,43316555	50,2408142	-49,421917
Altura	-5,74106979	2,162292485	-3,25563526	5,17927266
Distància Plana	52,7758242	53,83340375	51,01780257	49,97203205
Error Absolut Nord	-1,77957813			5,27761745
Error Absolut Sud		-2,9563522	-8,25091552	
Error Absolut Est	8,43818855		-0,2408142	
Error Absolut Oest		-9,43316555		0,57808304
Error Absolut Total	-2,775824197	-3,833403751	-1,017802573	0,02796795
Número de satèl·lits	8	9	9	8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 69. Dades 1 mesurador 50m

	50m Nord	50m Sud	50m Est	50m Oest
Hora	17:00	17:03	17:06	17:09
Distància Nord	46,32069396	-49,1365661	-11,2345371	0,88548854
Distància Est	14,14591503	-8,04081535	48,61326599	-56,6925558
Altura	-6,61093139	2,694316865	-5,85668802	-6,52665806
Distancia Plana	48,88167361	49,86297407	50,23709037	57,0738753
Error Absolut Nord	3,67930604			0,88548854
Error Absolut Sud		0,8634339	-11,2345371	
Error Absolut Est	14,14591503		1,38673401	
Error Absolut Oest		-8,04081535		-6,69255583
Error Absolut Total	1,118326391	0,137025931	-0,237090368	-7,0738753
Número de satèl·lits	9	9	9	8 9
Tipus de dia	Nuvol-Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 70. Dades 2 mesurador 50m

	50m Nord	50m Sud	50m Est	50m Oest
Hora	18:01	18:04	18:06	18:16
Distància Nord	49,59149169	-48,8324317	-6,13434982	8,4332056
Distància Est	12,08519363	-9,7030348	47,75424957	-54,8659821
Altura	-0,6782875	4,540500048	-1,62904047	-3,30914617
Distancia Plana	51,04731165	49,99371371	48,17418782	55,60886073
Error Absolut Nord	0,40850831			8,4332056
Error Absolut Sud		1,1675683	-6,13434982	
Error Absolut Est	12,08519363		2,24575043	
Error Absolut Oest		-9,7030348		-4,86598205
Error Absolut Total	-1,047311653	0,006286288	1,825812175	-5,60886073
Número de satèl·lits	8 9	8	8 9	8 9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 71. Dades 3 mesurador 50m

	50m Nord	50m Sud	50m Est	50m Oest
Hora	18:18	18:17	18:26	18:22
Distància Nord	52,55944442	-47,0888671	-7,11163234	6,4641757
Distància Est	7,60821866	-12,20345973	48,57637405	-50,4107361
Altura	-0,35138702	6,500085837	2,537899015	-2,51338029
Distancia Plana	53,10841423	49,07684739	49,1597433	50,88560661
Error Absolut Nord	-2,55944442			6,4641757
Error Absolut Sud		2,9111329	-7,11163234	
Error Absolut Est	7,60821866		1,42362595	
Error Absolut Oest		-12,20345973		-0,41073608
Error Absolut Total	-3,108414227	0,923152607	0,840256695	-0,88560661
Número de satèl·lits	9	9	9	8 9
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 72. Dades 4 mesurador 50m

Errors relatius i absoluts direcció Nord						
	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m
	0,345799365	0,00769175	0,4178029	1,8254005	0,34273216	2,7758242
	0,509814845	0,57050123	0,28277686	0,71364716	2,05559993	1,11832639
	0,513690721	0,08077504	0,00146972	0,06697177	1,17506081	1,04731165
	0,879421946	0,25325773	1,39588498	0,07166627	0,26940202	3,10841423
	1,50175728	1,10540153	0,03289664	0,61071399	0,0827306	
	0,124999914		2,88009818	0,48329265	0,90269152	
			0,99742534	0,21589328	0,4831428	
Error Absolut	0,645914012	0,40352546	0,85833637	0,56965509	0,75876569	2,01246912
Mitjana d'error relatiu	64,59%	16,14%	17,17%	5,70%	3,04%	4,02%
						Mitjana error Nord 0,874777623

Taula 73. Errors relatius i absoluts Nord

Errors relatius i absoluts direcció Sud						
	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m
	0,809583478	1,0417077	2,20231104	0,98610874	3,54628731	3,83340375
	0,288535636	0,64713807	0,70205318	1,75037436	3,44130147	0,13702593
	1,543565716	0,78203156	1,14366291	0,2720921	1,55301367	0,00628629
	0,212020661	0,2881323	1,80540618	0,19383688	1,55301367	0,92315261
	1,175917851	1,06649681	0,3842733	1,77674102	0,29516258	
	0,365501841		2,65900746	0,32698913	0,024981	
			1,88323359	0,47136084	1,14504529	
Error Absolut	0,732520864	0,76510129	1,53999253	0,82535758	1,65125786	1,22496714
Mitjana d'error relatiu	73,25%	30,60%	30,80%	8,25%	6,61%	2,45%
						Mitjana error Sud 1,123199543

Taula 74. Errors relatius i absoluts Sud

Errors relatius i absoluts direcció Est						
	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m
	4,78825519	0,94842022	0,49826442	0,34710117	7,27386887	1,01780257
	0,874999991	0,26398832	0,94974055	0,75442203	0,4865943	0,23709037
	0,406249952	0,18754535	0,16579919	0,06191022	1,61330118	1,82581218
	0,118033975	0,43034369	0,4507631	3,77220177	0,95818586	0,8402567
	0,546874989	0,63264658	0,15397659	0,73113292	1,1379727	
	0,630100107		0,2812125	0,09651845	0,42736667	
			0,49758624	0,22091132	0,84918473	
Error Absolut	0,515251803	0,49258883	0,4281918	0,85488541	1,8209249	0,98024045
Mitjana d'error relatiu	51,53%	19,70%	8,56%	8,55%	7,28%	1,96%
						Mitjana error Est 0,848680533

Taula 75. Errors relatius i absoluts Est

Errors relatius i absoluts direcció Oest						
	1m	2,5m	5m	10m	25m	50m
	0,123371219	0,47974928	0,59176361	0,58135509	3,21894384	0,02796795
	1,591725509	0,17219481	0,70438776	0,6097313	1,70953615	7,0738753
	0,032637186	0,278967	0,23698632	0,23313546	2,35907622	5,60886073
	0,031249945	0,86590298	0,34447729	0,31248673	0,4301412	0,88560661
	0,245401671	0,41815456	0,10810222	0,18083513	0,47481703	
	0,772180872		0,02889229	0,13733852	0,94115468	
			0,61151597	0,07783364	0,01423311	
Error Absolut	0,534639037	0,44299373	0,37516078	0,30467369	1,30684318	3,39907765
Mitjana d'error relatiu	53,46%	17,72%	7,50%	3,05%	5,23%	6,80%
						Mitjana error Oest 1,060564677

Taula 76. Errors relatius i absoluts Oest

	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	16:39	16:41	16:42	16:44	
Distància Nord	-3,88151168	2,55931377	-4,6619296	-2,1523993	-8,13652681
Distància Est	0,54292068	-2,09748339	-0,96985349	-1,50663394	-4,03105014
Altura	-0,60146498	-0,13235342	1,530170449	1,341864349	2,138216398
Distancia Plana	3,965180438	3,311652302	5,001562255	2,950147201	15,2285422
Número de satèl·lits	8 9	9 7	8	8 7	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	16:46	16:48	16:51	16:53	
Distància Nord	1,54345045	-2,00357151	-1,48894882	0,9091109	-1,03995898
Distància Est	-1,54509725	-3,61469221	1,11534953	1,67217016	-2,37226977
Altura	-1,27407109	0,004761641	0,58314013	1,76830673	1,082137411
Distancia Plana	2,528403043	4,132834529	1,949621905	2,597988523	11,208848
Número de satèl·lits	9 8	9	9	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	16:20	16:23	16:26	16:30	
Distància Nord	-2,59115529	-1,81322479	2,47518181	1,45063695	-0,47856132
Distància Est	0,53788871	2,12869834	0,54010646	-2,47205209	0,73464142
Altura	1,60093603	-0,5334964	-0,22690486	0,878170969	1,718705739
Distancia Plana	3,092960746	2,846710237	2,543565568	2,997761389	11,48099794
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	16:32	16:34	16:36	16:38	
Distància Nord	-5,74276733	4,138558032	3,07570433	-0,1179399	1,353555132
Distància Est	2,89847488	0,550683354	-1,25973176	-4,17654657	-1,987120096
Altura	-0,43675923	1,64257478	2,704508626	-1,63692092	2,273403256
Distancia Plana	6,447580311	4,486531695	4,2850027	4,487422553	
Número de satèl·lits	9	9	9	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	10:20	10:22	10:24	10:26	
Distància Nord	-1,01833236	1,12259936	1,77140865	-3,27202916	-1,39635351
Distància Est	-1,92802419	2,49601864	-0,81770648	-1,5378479	-1,78755993
Altura	0,359876609	-2,49924659	0,486498168	2,34007859	0,687206777
Distancia Plana	2,209929693	3,706288156	2,010774219	4,306636599	
Número de satèl·lits	7 8	9	9 8	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	10:30	10:03	10:37	10:39	
Distància Nord	-1,61236562	-3,59781505	2,73995971	0,0811497	-2,38907126
Distància Est	-2,88957	2,08077168	2,67102146	-2,7624464	-0,90022326
Altura	-1,05993498	-0,28262031	0,07067347	0,09903141	-1,17285041
Distancia Plana	3,474593478	4,165784219	3,827104596	2,765411833	14,23289413
Número de satèl·lits	9	9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	10:40	10:42	10:44	10:46	
Distància Nord	-1,23788595	-3,44299626	-3,26085448	4,15399408	-3,78774261
Distància Est	-1,28370428	-2,77302026	1,94866409	2,62531161	0,51725116
Altura	1,001996048	-0,10862268	0,09608388	0,15552306	1,144980308
Distancia Plana	2,045545009	4,422178592	3,799959972	4,916514547	15,18419812
Número de satèl·lits	8	8 9	8 9	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <5m	2a Mesura <5m	3a Mesura <5m	4a Mesura < 5m	Calcul distancia total
Hora	10:48	10:50	10:51	10:52	
Distància Nord	2,10261845	-3,88722658	-2,66829252	3,24667596	-1,20622469
Distància Est	3,06733798	-0,55682334	-2,35998821	2,78308606	2,93361249
Altura	-1,39781284	0,144301654	1,4944961	-0,64616714	-0,405182226
Distancia Plana	3,972838704	3,929555405	3,863010214	4,324812687	16,09021701
Número de satèl·lits	8	8 7	7 8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	

Taula 77. Dades sumatori de distàncies cel obert de menys de 5m

	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:54	17:00	17:04	17:06	
Distància Nord	-6,322124	3,36831903	6,15787029	-1,28360652	1,9204588
Distància Est	2,7557919	5,11407995	-2,92243432	-4,04333305	0,90410448
Altura	-2,59225821	0,02469563	-0,60107922	0,061738555	-3,106903245
Distancia Plana	7,367729874	6,123724087	6,842608062	4,242640628	24,57670265
Número de satèl·lits	9 8	9 8	8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	17:02	17:04	17:05	17:06	
Distància Nord	-4,704938888	-0,93320875	0,29512729	-6,57320642	-11,91622677
Distància Est	-8,77448368	-4,59682708	3,73733258	1,6749854	-7,95899278
Altura	0,72964748	0,455545718	-1,17267894	2,39084529	2,403359548
Distancia Plana	9,983005521	4,712665878	3,928095063	7,192270847	25,81603731
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	17:09	17:11	17:13	17:15	
Distància Nord	-5,62953948	-0,7828926	6,48138809	-2,03222942	-1,96327341
Distància Est	3,18554306	-3,99318428	-2,63315415	3,87840434	0,43760897
Altura	-2,56606078	3,633228068	-0,2374742	2,22410737	3,053800458
Distancia Plana	6,958740351	5,455161566	6,999877595	4,911072208	24,32485172
Número de satèl·lits	8	9	9	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	17:16	17:18	17:19	17:26	
Distància Nord	2,12277054	7,71052074	-3,88348388	-3,65355253	2,29625487
Distància Est	3,7144761	-3,47794219	-1,95309658	1,27031183	-0,44625084
Altura	-2,12734889	-2,61699652	0,900688938	1,15910434	-2,684552132
Distancia Plana	4,777980825	8,854201418	4,43928754	4,038026883	22,10949666
Número de satèl·lits	9 8	9 7	8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	09:18	09:20	09:23	09:25	
Distància Nord	-4,35630846	-8,21222972	2,63516044	8,77815818	-1,15521956
Distància Est	-5,43568468	3,4581182	7,23552703	-5,65255832	-0,39459777
Altura	-1,13507974	-0,95561103	-0,79929294	-1,41708779	-4,3070715
Distancia Plana	7,057796919	8,961723657	7,74182092	10,53639475	34,29773625
Número de satèl·lits	9	9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	09:28	09:30	09:31	09:33	
Distància Nord	-6,29476451	4,62605667	7,08643198	-6,95094394	-1,5332198
Distància Est	7,21437883	7,41053533	-9,89041805	-4,78855037	-0,05405426
Altura	0,44723176	1,43825507	-0,30966782	0,461949347	2,037768357
Distancia Plana	9,58495375	8,853531038	12,17102221	8,453356345	39,06286334
Número de satèl·lits	9	8	8 7	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	09:39	09:40	09:42	09:45	
Distància Nord	6,67495822	3,1494112	-7,58207702	-2,49761772	-0,25532532
Distància Est	4,28801393	-8,88654518	-0,54956855	5,27910906	0,13100926
Altura	-1,52430129	-0,22133755	2,761361835	0,08564651	1,101369505
Distancia Plana	8,078714324	9,430719297	8,087956275	5,840755265	31,43814516
Número de satèl·lits	7 8	8	8	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	09:46	09:48	09:50	09:52	
Distància Nord	-8,63830375	-4,13805007	7,7481179	4,54496192	-0,483274
Distància Est	-6,38387775	-5,6831789	8,49305725	2,0790615	-1,4949379
Altura	1,434468505	1,36676764	-0,31818985	-0,15725302	2,325793275
Distancia Plana	10,83659941	7,161706122	11,5007216	5,000390393	34,49941752
Número de satèl·lits	9	9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	

Taula 78. Dades sumatori de distàncies cel obert de menys de 10m

	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	11:32	11:35	11:37	11:38	
Distància Nord	2,25705909	3,92446689	-5,01818513	3,80611753	4,96945838
Distància Est	-4,32923507	-1,94478397	3,60066199	0,54243378	-2,13092327
Altura	0,280072807	1,606860167	-1,12663531	1,26880228	2,029099944
Distancia Plana	4,890299869	4,665364365	6,278236686	4,048533597	19,88243452
Número de satèl·lits	9	9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	11:39	11:41	11:43	11:44	
Distància Nord	-5,49692249	-1,19802951	10,22249412	-3,38413029	0,14341022
Distància Est	3,06392765	-7,99916744	1,22531974	4,53213024	0,82221019
Altura	1,34400343	0,910105134	0,20596456	0,70977646	3,169849584
Distancia Plana	6,435072239	8,139425397	10,29772868	5,700555749	30,57278206
Número de satèl·lits	9	9	8	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	11:45	11:47	11:50	11:52	
Distància Nord	-0,50933527	0,59552459	7,300097007	-3,69400093	3,692285397
Distància Est	5,53211784	-8,232131	-0,86601428	5,09284257	1,52681513
Altura	-0,57241115	0,66927423	2,939957618	-0,39063906	2,646181638
Distancia Plana	5,584926565	8,280734166	7,917370008	6,303593197	28,08662394
Número de satèl·lits	9	8	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	11:53	11:55	11:59	12:02	
Distància Nord	1,829636647	-4,32958173	-9,12447643	5,28281927	-6,341602243
Distància Est	-6,47348928	-2,0808706	7,35244464	1,08868038	-0,11323486
Altura	2,808379658	2,651427986	0,27588081	-0,08028269	5,655405764
Distancia Plana	7,289762	5,486836135	11,7213746	5,394427654	29,89240039
Número de satèl·lits	9	9	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	12:04	12:07	12:10	12:13	
Distància Nord	5,99834522	4,98783747	-2,99882233	-5,87664561	2,11071475
Distància Est	2,098773773	-5,67555321	8,77634435	-3,98898221	1,210582703
Altura	1,03329785	1,33424532	-0,00444233	-1,43533661	0,92776423
Distancia Plana	6,438377216	7,672720342	9,274544477	7,246180641	30,63182268
Número de satèl·lits	8	8	9	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	12:15	12:18	12:23	12:24	
Distància Nord	-3,98686731	6,33998745	2,552188977	-1,74845621	3,156852907
Distància Est	6,342239047	4,66654211	-7,778345122	-5,31943129	-2,088995255
Altura	3,333442199	-1,9995432	1,986392131	-0,56744395	2,75284718
Distancia Plana	8,199447785	8,122205928	8,423899044	5,628093905	30,37364666
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	12:32	12:36	12:38	12:44	
Distància Nord	7,578234686	-5,9985622	3,378839512	-7,67777218	-2,719260182
Distància Est	6,831176546	6,99211138	-8,93767723	-2,00324012	2,882370576
Altura	-2,84334511	0,33329351	1,664432319	2,223421992	1,377802711
Distancia Plana	10,59146946	9,218647112	9,698915695	8,240434575	37,74946684
Número de satèl·lits	9	9	9	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	12:49	12:53	12:55	12:57	
Distància Nord	1,334567821	-7,3322133	-0,98345672	7,99452763	1,013425431
Distància Est	5,440129987	3,09341234	-8,22304431	1,10027683	1,410774847
Altura	4,99345235	-0,0032313	-1,3328999	-0,54671192	3,11060923
Distancia Plana	7,504042372	7,958050152	8,388221921	8,088385194	31,93869964
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	

Taula 79. Dades sumatori de distàncies sota bosc de menys de 10m

	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	15:50	15:52	15:54	15:56	
Distància Nord	3,70583486	7,05774116	0,53703732	-7,34493944	3,9556739
Distància Est	-5,46750497	0,16159171	4,0277218	-1,68383846	-2,96202992
Altura	0,403995757	0,41021537	0,60356163	-0,72961592	0,688156837
Distancia Plana	6,617403961	7,07149905	4,107948225	7,570719036	25,36757027
Número de satèl·lits	8 7	7 8	7 6	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	15:58	16:00	16:02	16:04	
Distància Nord	8,30280303	1,07110011	-3,5905838	2,19870972	7,98202906
Distància Est	-3,74017095	0,27367486	0,57525243	-2,50327348	-5,39451714
Altura	-0,44701647	-0,30057697	0,47771286	0,21457198	-0,0553086
Distancia Plana	9,11730446	1,145643876	3,667617341	3,338673941	17,26923962
Número de satèl·lits	7	8	8 6	5 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:08	16:10	16:12	16:14	
Distància Nord	4,96605491	-0,71027612	-4,51538181	-2,85470104	-3,11430406
Distància Est	-0,69064373	-3,91343383	0,83000698	7,52259635	3,74852577
Altura	0,315965413	-3,8069725	-2,06600093	2,05692911	-3,500078907
Distancia Plana	5,023795803	5,505678534	5,034475575	8,304801698	23,86875161
Número de satèl·lits	7	7	7	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:15	16:17	16:19	16:21	
Distància Nord	-2,66702842	7,52860736	4,47629165	-4,07211875	5,26575184
Distància Est	-6,23667287	-4,16880893	9,54977512	1,40352892	0,54782224
Altura	0,763489967	0,939416693	2,77425074	2,19306325	6,67022065
Distancia Plana	6,825836653	8,656870127	10,90558843	4,833380904	31,22167611
Número de satèl·lits	8	7 9	8 9	9 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:25	16:27	16:30	16:31	
Distància Nord	-6,98635435	4,55002182	1,330987413	5,11399108	4,008645963
Distància Est	-3,98765312	-6,90216334	8,944123763	-2,00128734	-3,946980037
Altura	-1,34229134	0,983452113	-2,34985632	0,349955138	-2,358740409
Distancia Plana	8,155505536	8,325246867	9,342949326	5,502774244	31,32647597
Número de satèl·lits	6 7	7 8	8	7	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:35	16:38	16:40	16:43	
Distància Nord	4,337293764	7,567023331	-5,88213412	-1,443982121	4,578200854
Distància Est	7,543298476	-3,5090123	-8,54329987	7,391100763	2,882087069
Altura	0,985346721	-0,33083091	1,287632133	-0,56732121	1,374826734
Distancia Plana	8,756961645	8,347601961	10,45205583	7,552172417	35,10879185
Número de satèl·lits	7	7 9	7 8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	16:56	17:00	17:01	17:03	
Distància Nord	-6,00133123	-2,8877719	5,99287468	4,987215301	2,090986851
Distància Est	4,912945685	7,439001234	-8,99764321	-5,98345561	-2,629151901
Altura	1,812341755	-0,56712387	0,765342101	-0,57632944	1,434230546
Distancia Plana	7,964772092	7,999974712	10,83779861	7,81064742	34,61319284
Número de satèl·lits	8	8	6 7	7 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <10m	2a Mesura <10m	3a Mesura <10m	4a Mesura <10m	Calcul distancia total
Hora	17:08	17:10	17:12	17:17	
Distància Nord	7,073421981	3,98738297	-3,86443611	-2,987457001	4,20891184
Distància Est	-3,099873451	6,998353783	7,238263715	-8,937474122	2,199269925
Altura	2,118653097	-0,887354712	1,398763134	-0,776381013	1,853680506
Distancia Plana	8,008196106	8,103306548	8,323633003	9,455480447	33,8906161
Número de satèl·lits	8	8	7	7 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	

Taula 80. Dades sumatori de distàncies canto edificis de menys de 10m

	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	10:23	10:24	10:26	10:28	
Distància Nord	-6,46961832	-12,9451026	8,70093727	9,70118427	-1,01259938
Distància Est	-9,44669532	5,9915018	7,200385522	-4,53345533	-0,788263328
Altura	1,002894872	-0,25736856	-1,50385522	0,372491353	-0,385837555
Distància Plana	11,49355523	14,26674503	11,39357019	10,71466602	47,86853065
Número de satèl·lits	9	9	9	9 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	10:29	10:31	10:32	10:33	
Distància Nord	-15,2065334	4,846001783	11,31632041	-6,19830036	-5,242511567
Distància Est	7,90279245	10,94608879	-5,80749988	-15,39409732	-2,35271596
Altura	0,96196746	1,685484179	-2,32538223	-0,196543452	0,125525957
Distància Plana	17,16444488	12,0888978	12,93033507	16,59625828	58,77993603
Número de satèl·lits	8 9	8	8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	10:39	10:40	10:42	10:45	
Distància Nord	12,39251708	13,00085639	-10,6743497	-11,540287	3,17873677
Distància Est	13,89077758	-5,181001152	-13,03853988	7,51373762	3,184974168
Altura	-1,86805343	-1,18437099	2,294749739	-0,93503284	-1,692707521
Distància Plana	18,70876279	14,04520468	17,00620887	13,80249121	63,56266754
Número de satèl·lits	8	8	8	9 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	10:57	10:00	10:03	10:04	
Distància Nord	13,33132648	-14,181118	-14,9840536	19,38213257	3,54828745
Distància Est	-5,37031847	-11,25539112	16,67730331	3,19824528	3,249839
Altura	-0,2037948	0,610077381	-0,203057381	-0,02991181	0,17331339
Distància Plana	14,37379972	18,11519063	22,42087287	19,64425439	74,55411761
Número de satèl·lits	8	9	8 9	9	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:56	16:58	16:59	17:01	
Distància Nord	-8,84201145	-8,04578781	6,80333042	15,40794563	5,32347679
Distància Est	-11,93042945	15,26762008	10,6952629	-15,49502849	-1,46257496
Altura	0,593138695	1,487998488	-1,38000798	0,016630174	0,717759377
Distància Plana	14,86163271	17,32192437	12,75062255	21,85179565	66,78597528
Número de satèl·lits	9 8	9	9 8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:02	17:04	17:07	17:10	
Distància Nord	-16,1733703	12,90069961	18,60153579	-13,2677288	2,0611363
Distància Est	8,19716731	10,94830989	-7,46129798	-13,70964717	-2,02546795
Altura	-0,87683624	-2,8012619	1,344304198	4,645388222	2,31159428
Distància Plana	18,1532449	17,15052793	20,08719132	19,63585203	75,02681617
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:15	17:17	17:20	17:21	
Distància Nord	10,06867927	8,51141452	-10,8254451	-6,20595261	1,54869608
Distància Est	8,6061325	-10,2794876	-4,58101463	13,58316612	7,32879639
Altura	-1,47106456	-0,21252584	2,877114293	1,299256082	2,492779975
Distància Plana	13,32695951	13,34755445	12,10180744	14,99014063	53,76646202
Número de satèl·lits	8	8 9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:27	17:30	17:32	17:36	
Distància Nord	14,46442699	-12,7121162	-12,2184677	13,75190448	3,28574757
Distància Est	-8,05886268	-3,87104492	17,06525993	-3,34897994	1,78637239
Altura	-0,29164791	1,508882042	-0,94506502	2,195237716	2,467406828
Distància Plana	16,56049439	13,37384059	21,00969294	14,32304479	65,2670727
Número de satèl·lits	8 9	9	9	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	Cel Obert	

Taula 81. Dades sumatori de distàncies cel obert de menys de 20m

	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:02	12:04	12:06	12:08	
Distància Nord	5,51434278	-9,34855365	-10,0830507	13,83831214	-0,07894943
Distància Est	-12,75702476	-3,57742161	21,64506721	-7,8054037	-2,49478286
Altura	-2,076590536	4,532011981	-3,81007432	4,26958565	2,914932775
Distancia Plana	14,0521132	10,9878357	24,18043656	16,45152186	65,67190731
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:10	12:12	12:14	12:18	
Distància Nord	-1,2458477	-23,2547016	21,15820121	3,74623537	0,40388728
Distància Est	18,18103408	-6,76664543	-21,16993142	4,97368478	-4,78185799
Altura	-1,40013432	1,695582383	1,965705874	-0,30282545	1,958328487
Distancia Plana	18,27737708	24,27846034	29,99499082	6,234061516	78,78488976
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:18	12:20	12:24	12:25	
Distància Nord	-10,885354	-12,1985359	13,58569335	6,07148599	-3,42671056
Distància Est	-10,25113964	25,37172126	12,88379573	-26,37585449	1,62852286
Altura	4,314260956	-6,18756866	-3,53597688	-3,706945659	-9,116230243
Distancia Plana	15,56244336	28,82385338	19,05430106	27,3183105	90,75890829
Número de satèl·lits	8	8	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:26	12:29	12:31	12:34	
Distància Nord	15,49059295	-15,8978652	-2,9870572	8,56842708	5,17409763
Distància Est	-8,72281265	-5,55074546	10,38704109	-2,91166286	-6,79817988
Altura	6,878632545	2,441864016	-2,660355329	0,603554966	7,263696198
Distancia Plana	19,06204386	17,01515774	11,13061651	9,069729976	56,27754808
Número de satèl·lits	9	7	8	7	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:41	12:44	12:47	12:50	
Distància Nord	16,98352601	-9,76100992	-2,93346724	-8,84638124	-4,55733239
Distància Est	-6,34652781	-11,1973463	12,87453001	7,19847839	2,52913429
Altura	2,987610112	1,987353712	-1,35367423	-4,93784568	-1,316556086
Distancia Plana	18,37510232	14,98690941	13,27370283	12,42814838	59,06386294
Número de satèl·lits	9	9	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	12:54	12:56	12:58	13:01	
Distància Nord	-10,2329374	-12,5827936	16,83213738	11,87354782	5,8899542
Distància Est	-7,9367289	9,129464722	6,764321991	-11,4532134	-3,496155587
Altura	4,846382134	-1,98374683	0,76457323	-0,56375271	3,063455824
Distancia Plana	13,8272229	15,67191987	18,15658208	16,50681835	64,16254321
Número de satèl·lits	8	9	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	13:06	13:09	13:11	13:13	
Distància Nord	8,111248734	3,190277122	2,928747578	-9,81234926	4,417924174
Distància Est	13,91772901	-10,0521383	-12,6347312	5,501023782	-3,268116708
Altura	0,549811392	-3,00983784	1,121902342	-0,57339283	-1,911516936
Distancia Plana	16,11824523	10,96733679	13,01816653	11,26375781	51,36750636
Número de satèl·lits	8	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	13:14	13:19	13:21	13:23	
Distància Nord	9,346253721	-6,98656373	10,99276391	-12,1077231	1,244730803
Distància Est	11,88144372	13,88903837	-15,0187356	-7,33083678	3,42090971
Altura	4,892646782	-1,19002141	1,59273801	-2,10243224	3,192931142
Distancia Plana	15,88896334	15,59274224	18,67993822	14,30937972	64,47102351
Número de satèl·lits	8	8	9	9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	Sota bosc	

Taula 82. Dades sumatori de distàncies sota bosc de menys de 20m

	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:23	16:25	16:28	16:32	
Distància Nord	-7,75302314	2,01463174	6,99896192	8,36000728	9,6205778
Distància Est	0,97378196	-14,83787631	-6,07224321	17,89117813	-2,04515943
Altura	4,82579803	4,520743843	-7,17762899	-1,88708782	0,281825063
Distancia Plana	9,184004886	15,64156128	11,72074927	19,83797059	56,38428603
Número de satèl·lits	8	8 7	8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:33	16:35	16:37	16:38	
Distància Nord	-22,2488288	-3,20721244	10,88775444	10,53274536	-4,03554144
Distància Est	1,94044666	-24,43448638	-2,6037085	21,11633491	-3,98141331
Altura	-2,43948936	2,412927624	3,21036243	-10,72789001	-7,544089316
Distancia Plana	22,46612616	24,76191745	11,64598307	25,92153446	84,79556114
Número de satèl·lits	8	8	8	8 7	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:38	16:40	16:43	16:45	
Distància Nord	-2,87224559	-12,0621051	7,77092742	15,14956561	7,98614234
Distància Est	-19,18720245	-0,82763166	19,33208084	0,48037033	-0,20238294
Altura	5,798107145	0,735101226	-4,80567169	1,23041296	2,957949641
Distancia Plana	20,24886612	12,11279189	21,38249618	15,20703817	68,95119236
Número de satèl·lits	7	7	7 8	8 7	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	16:46	16:48	16:50	16:52	
Distància Nord	-3,50092792	-9,86015129	4,67585277	12,1228342	3,43760776
Distància Est	-20,54329299	3,16382479	21,4005661	-1,07639312	2,94470478
Altura	-0,925885209	3,20983076	-1,51453208	-0,66683816	0,102575311
Distancia Plana	20,86002509	10,84137373	21,95772383	12,1887819	65,84790455
Número de satèl·lits	8 7	8 7	8	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:00	17:04	17:06	17:10	
Distància Nord	1,527347837	-12,0621051	4,019280331	11,283741	4,768264068
Distància Est	-17,4877023	2,337364621	16,17328273	4,25256351	5,275508561
Altura	3,118746373	1,263537231	-2,10923812	-1,60919283	0,663852654
Distancia Plana	17,82916437	12,35128249	16,79817175	12,16538569	59,14400429
Número de satèl·lits	6	7	7	7	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:13	17:15	17:18	17:22	
Distància Nord	-4,93328173	-9,95037213	9,35109251	5,006728229	-0,525833121
Distància Est	-12,1928392	-13,90997717	17,09142323	13,39283394	4,381440801
Altura	2,93848939	-1,73746282	3,889129355	-2,37483292	2,715323005
Distancia Plana	13,47728891	17,1905831	19,86668081	14,49396978	65,0285226
Número de satèl·lits	7	7	8 7	7 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:23	17:25	17:27	17:30	
Distància Nord	-16,93773982	-9,998165102	13,07928378	10,99382112	-2,86280002
Distància Est	-4,50248938	-15,23100112	-0,12938312	18,18720245	-1,67567117
Altura	-0,909749032	5,00234832	-1,73409313	-3,798107145	-1,439600987
Distancia Plana	17,5495608	18,89365473	13,19437316	21,58851671	71,2261054
Número de satèl·lits	8	8	7	6 8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	
	1a Mesura <20m	2a Mesura <20m	3a Mesura <20m	4a Mesura <20m	Calcul distancia total
Hora	17:31	17:32	17:35	17:13	
Distància Nord	-13,1127377	-6,77092742	11,00384963	5,902736277	-2,977079213
Distància Est	-3,68193723	-16,5421937	9,09163226	14,18720245	3,05470378
Altura	-2,03173296	5,704199192	-1,99650123	-4,798107145	-3,122142143
Distancia Plana	13,77056609	18,76239641	14,41278949	16,09785206	63,04360406
Número de satèl·lits	7	7 6	6 7	8	
Tipus de dia	Nuvol	Nuvol	Nuvol	Nuvol	
Situació	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	Canto Edificis	

Taula 83. Dades sumatori de distàncies canto edificis de menys de 20m

	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	10:45	10:48	10:49	10:50	
Distància Nord	-23,0818519	-23,7808494	18,14643096	27,90711212	-0,80915822
Distància Est	-18,58569335	13,76051044	27,47111511	-20,49485178	2,15108042
Altura	5,650311474	4,864643094	-5,17961168	1,277239798	6,612582685
Distància Plana	30,16829303	27,90242228	33,32841879	34,64790322	126,0470378
Número de satèl·lits	9	9 8	9	8 9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	10:52	10:54	11:00	11:01	
Distància Nord	-30,3140201	10,21783828	35,19018554	-18,749656	-3,65565228
Distància Est	15,25822448	24,7917633	-3,97695522	-36,21169281	-0,13866025
Altura	0,530900958	-1,30338335	-0,436368942	-3,77221488	-4,981066214
Distància Plana	33,94164234	26,84649986	35,41688508	40,95199508	137,1570224
Número de satèl·lits	9	9 8	7	7 9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cabto edifici	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	11:03	11:08	11:10	11:14	
Distància Nord	19,21233367	27,51023101	-2,96291751	-48,7327346	-4,97308743
Distància Est	16,39566612	2,3779474	-30,81052017	9,31653213	-2,72037452
Altura	1,283543582	0,83093643	1,935307592	3,90055465	7,950342254
Distància Plana	25,28990148	27,62531266	31,01310124	49,76837871	133,6966941
Número de satèl·lits	9 8	9 8	8	8 9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	11:15	11:17	11:18	11:22	
Distància Nord	-13,9026317	-36,0682334	26,37702178	19,53258514	-4,06125818
Distància Est	-10,83290481	26,39113998	20,87714958	-34,08798217	2,34740258
Altura	1,675224078	1,585550308	-2,6988945	0,891372681	1,453252567
Distància Plana	17,70427549	44,72050648	33,74739522	39,29767113	135,4698483
Número de satèl·lits	8 9	9	8 6	6 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	16:11	16:15	16:18	16:20	
Distància Nord	-32,4429779	-4,2615714	46,1121788	-10,7627878	-1,3551583
Distància Est	5,14264631	41,19422531	-19,1624813	-40,07497787	-12,90058755
Altura	0,39474868	0,475739711	10,4551506	-7,460622789	3,865016202
Distància Plana	32,85041024	41,41680236	51,01807422	42,16043578	167,4457226
Número de satèl·lits	8	9 7	7 8	8 9	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	16:24	16:26	16:28	16:32	
Distància Nord	11,45617485	37,80182647	-2,55292916	-51,3751678	-4,67009564
Distància Est	30,25532531	-13,03018379	-37,06671124	14,02041334	-5,82115638
Altura	-1,41603565	-2,646081929	4,652614592	3,939519889	4,530016902
Distància Plana	32,38261584	40,07200424	37,44469725	53,39943514	163,2987525
Número de satèl·lits	9 7	7 8	8	9 8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	16:36	16:38	16:40	16:42	
Distància Nord	-12,9884605	-38,3982391	20,01018905	27,06191062	-4,31459993
Distància Est	-27,78215408	9,58858108	32,91291046	-14,86165646	-0,142319
Altura	1,950464721	2,72780036	-3,83708953	0,327347755	1,168523305
Distància Plana	30,73031897	39,67123073	38,70905058	30,87592907	139,9865294
Número de satèl·lits	8 7	8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	
	1a Mesura >20m	2a Mesura >20m	3a Mesura >20m	4a Mesura >20m	Calcul distancia total
Hora	16:45	16:48	16:50	16:55	
Distància Nord	-38,675373	26,32998847	30,54052925	-25,0887241	-6,89357938
Distància Est	27,22832107	15,45594406	-11,92540359	-32,72251816	-1,963656617
Altura	-2,84888076	1,009140966	-0,276272779	-0,366024017	-2,48203659
Distància Plana	47,38440742	30,54787824	32,78742906	41,23519425	151,954909
Número de satèl·lits	8 9	9 8	8	8	
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol	
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert	

Taula 84. Dades sumatori de distàncies sota bosc de més de 20m

Calculs errors absoluts eixos Nord/Sud en Cel Obert			
Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20
8,13652681	1,9204588	1,01259938	0,80915822
1,03995898	11,91622677	5,242511567	3,65565228
0,47856132	1,96327341	3,17873677	4,97308743
1,353555132	2,29625487	3,54828745	4,06125818
1,39635351	1,15521956	5,32347679	1,3551583
2,38907126	1,5332198	2,0611363	4,67009564
3,78774261	0,25532532	1,54869608	4,31459993
1,20622469	0,483274	3,28574757	6,89357938
Error absolut	2,473499289	2,690406566	3,150148988

Taula 85. Errors absoluts eix Nord/Sud en Cel obert

Calculs errors absoluts eixos Est/Oest en Cel Obert			
Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20
4,03105014	0,90410448	0,788263328	2,15108042
2,37226977	7,95899278	2,35271596	0,13866025
0,73464142	0,43760897	3,184974168	2,72037452
1,987120096	0,44625084	3,249839	2,34740258
1,78755993	0,39459777	1,46257496	12,90058755
0,90022326	0,05405426	2,02546795	5,82115638
0,51725116	0,13100926	7,32879639	0,142319
2,93361249	1,4949379	1,78637239	1,963656617
Error absolut	1,907966033	1,477694533	2,772375518

Taula 86. Errors absoluts eix Est Oest en Cel obert

Calculs error absolut Eix Nord/Sud Sota Bosc	
Distancies<10	Distancies< 20
4,96945838	0,07894943
0,14341022	0,40388728
3,692285397	3,42671056
6,341602243	5,17409763
2,11071475	4,55733239
3,156852907	5,8899542
2,719260182	4,417924174
1,013425431	1,244730803
Error absolut	3,018376189

Taula 87. Errors absoluts eix Est/Oest en sota bosc

Calculs error absolut Eix Est/Oest Sota Bosc	
Distancies<10	Distancies< 20
2,13092327	2,49478286
0,82221019	4,78185799
1,52681513	1,62852286
0,11323486	-6,79817988
1,210582703	2,52913429
2,088995255	3,496155587
2,882370576	1,268116708
1,410774847	4,42090971
Error absolut	1,523238354

Taula 88. Errors absoluts eix Est/Oest en sota bosc

Calculs error absolut Eix Nord/Sud Costat Edificis		
	Distancies<10	Distancies< 20
	3,9556739	9,6205778
	7,98202906	4,03554144
	3,11430406	7,98614234
	5,26575184	3,43760776
	4,008645963	4,768264068
	4,578200854	0,525833121
	2,090986851	2,86280002
	4,20891184	2,977079213
Error absolut	4,400563046	4,52673072

Taula 89. Errors absoluts eix Nord/Sud cantó edificis

Calculs error absolut Eix Est/Oest Costat Edificis		
	Distancies<10	Distancies< 20
	2,96202992	2,04515943
	5,39451714	3,98141331
	3,74852577	0,20238294
	0,54782224	2,94470478
	3,946980037	5,275508561
	2,882087069	4,381440801
	2,629151901	1,67567117
	2,199269925	3,05470378
Error absolut	3,038798	2,945123097

Taula 90. Errors absoluts eix Est/Oest cantó edificis

Errors absoluts Eix Nord/Sud Demati					
	Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20	
	1,39635351	1,15521956	1,01259938	0,80915822	
	2,38907126	1,5332198	5,242511567	3,65565228	
	3,78774261	0,25532532	3,17873677	4,97308743	
	1,20622469	0,483274	3,54828745	4,06125818	Mitjana error absolut total
	2,194848018	0,85675967	3,245533792	3,374789028	2,417982627

Taula 91. Errors absoluts eix Nord/Sud demati

Errors absoluts Eix Nord/Sud Tarda					
	Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20	
		1,9204588	5,32347679	1,3551583	
	1,03995898		2,0611363	4,67009564	
	0,47856132	1,96327341	1,54869608	4,31459993	
	1,353555132	2,29625487	3,28574757	6,89357938	Mitjana error absolut total
	0,957358477	2,059995693	3,054764185	4,308358313	2,595119167

Taula 92. Errors absoluts eix Nord/Sud tarda

Errors absoluts Eix Est/Oest Demati			
Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20
1,78755993	0,39459777	0,788263328	2,15108042
0,90022326	0,05405426	2,35271596	0,13866025
0,51725116	0,13100926	3,184974168	2,72037452
2,93361249	1,4949379	3,249839	2,34740258
1,53466171	0,518649798	2,393948114	1,839379443
Mitjana error absolut total			
			1,571659766

Taula 93. Errors absoluts eix Nord/Sud demati

Errors absoluts Eix Est/Oest Tarda			
Distancies<5	Distancies<10	Distancies< 20	Distancies >20
4,03105014	0,90410448	1,46257496	
2,37226977		2,02546795	5,82115638
0,73464142	0,43760897		0,142319
1,987120096	0,44625084	1,78637239	1,963656617
2,281270357	0,595988097	1,758138433	2,642377332
Mitjana error absolut total			
			1,819443555

Taula 94. Errors absoluts eix Est/Oest demati

Càlcul Mitjana Errors absoluts Eix Nord/Sud Sol	
Distancies<10	Distancies< 20
	5,32347679
1,96327341	2,0611363
1,15521956	1,54869608
1,5332198	3,28574757
0,25532532	
0,483274	
1,078062418	3,054764185
Mitjana total Errors absoluts	
2,066413302	

Taula 95. Errors absoluts eix Nord/Sud sol

Càlcul Mitjana Errors absoluts Eix Nord/Sud Nuvol	
Distancies<10	Distancies< 20
1,9204588	1,01259938
2,29625487	5,242511567
	3,17873677
	3,54828745
2,108356835	3,245533792
Mitjana total Errors absoluts	
2,676945313	

Taula 96. Errors absoluts eix Nord/Sud núvol

Càlcul Mitjana Errors absoluts Eix Est/Oest Sol		
Distàncies<10	Distàncies< 20	
	1,46257496	
0,43760897	2,02546795	
0,39459777	7,32879639	
0,05405426	1,78637239	
0,13100926		
1,4949379		
		Mitjana total Errors absoluts
0,502441632	3,150802923	1,826622277

Taula 97. Errors absoluts eix Est/Oest sol

Càlcul MitjanaErrors absoluts eic Est/Oest Nuvol		
Distàncies<10	Distàncies< 20	
0,90410448	0,788263328	
0,44625084	2,35271596	
	3,184974168	
	3,249839	
		Mitjana total Errors absoluts
0,67517766	2,393948114	1,534562887

Taula 98. Errors absoluts eix Est/Oest núvol

	20 km/h 25m	20 km/h 25m	20 km/h 25m	20 km/h 25m
Hora	12:50	12:52	12:54	12:55
Distància Nord	-19,7348365	-18,206613	-19,7114315	-18,3432235
Distància Est	9,13857936	11,91995048	8,60511684	15,11214723
Altura (Down)	-1,11860847	1,357881548	4,92517757	1,94479003
Distància Plana	21,77679245	21,80389458	22,06458569	23,84602798
Error Absolut Total	3,223207552	3,196105424	2,935414309	1,153972018
Número de satèl·lits	7	7	8 9	9
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert
	30 km/h 25m	30 km/h 25m	30 km/h 25m	30 km/h 25m
Hora	13:15	13:19	13:23	13:26
Distància Nord	-19,6253671	-17,2044241	-20,6324331	-16,8334183
Distància Est	7,002342334	12,77253672	7,37654739	8,832937209
Altura (Down)	1,459273131	0,67353728	-1,63820183	3,956352673
Distància Plana	20,88820983	21,43789998	21,97258411	19,41745292
Error Absolut Total	4,111790167	3,562100025	3,027415895	5,582547081
Número de satèl·lits	9	9	8	8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert
	30 km/h 25m	30 km/h 25m	30 km/h 25m	30 km/h 25m
Hora	13:06	13:09	13:10	13:12
Distància Nord	-21,3484701	-28,5940589	-18,3041512	-20,8295783
Distància Est	12,88427925	4,34277868	17,72468185	8,32700824
Altura (Down)	0,076612575	1,71176242	-0,26284885	-0,0924185
Distància Plana	24,93527014	28,9725743	25,48088278	22,43254198
Error Absolut Total	0,064729861	-3,9725743	-0,480882782	2,567458023
Número de satèl·lits	8	9	8	8
Tipus de dia	Sol	Sol	Sol	Sol
Situació	Cel obert	Cel obert	Cel obert	Cel obert

Taula 99. Dades receptor diferents velocitats

Càlcul mitjana errors relatius i absoluts				
	0km/h	10km/h	20km/h	30km/h
	1,677383842	3,406166473	3,223207552	0,064729861
	3,546287311	1,757705277	3,196105424	3,972574301
	3,441301474	1,08759657	2,935414309	0,480882782
	1,553013674	4,261856336	1,153972018	2,567458023
	1,553013674	3,97520086	4,103155925	4,111790167
	0,295162579	1,284803135	5,357890627	3,562100025
	0,024980995	3,04021953	1,623082075	3,027415895
	1,145045291	0,683083947	4,305963141	5,582547081
Mitjana errors absoluts	1,654523605	2,437079016	3,237348884	2,921187267
Mitjana errors relatius	0,066180944	0,097483161	0,129493955	0,116847491

Taula 100. Errors relatius i absoluts a diferents velocitats