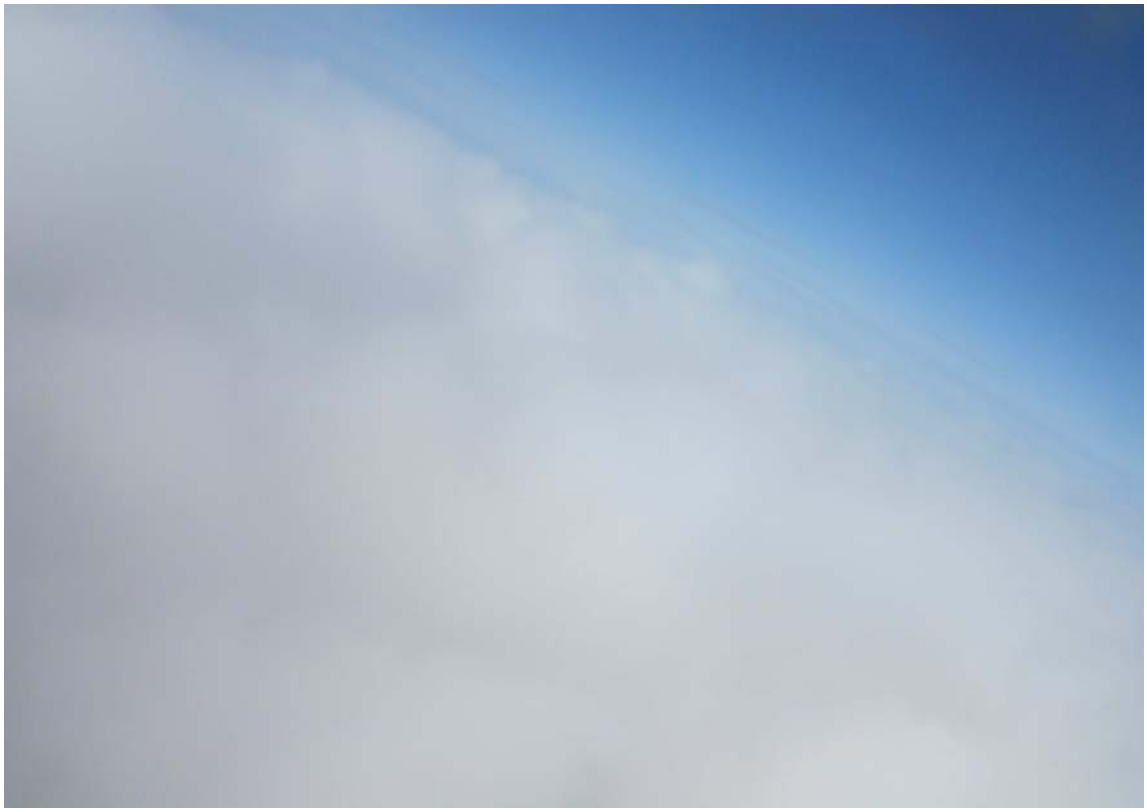
DISSENY, CONSTRUCCIÓ I LLANÇAMENT D'UN GLOBUS SONDA METEOROLÒGIC.

Ramón García.

Tutor: Josep Rubió.

2n de Batxillerat A.

16 de gener de 2014.



“La humanitat no romandrà per sempre a la Terra, sinó que tot perseguint la llum i l'espai, emergirà, primer tímidament, dels límits de l'atmosfera; i avançarà després fins que hagi conquerit la totalitat de l'espai solar.”

-Konstantín Tsiolkovsky (1857-1935), físic rus, pare de la cosmonàutica.

Agraïments

Als meus pares, per les seves aportacions econòmiques. Sense ells aquest treball no hauria estat possible.

Al meu avi, per la seva ajuda en el camp de l'electrònica i en la soldadura.

A l'Aitor Conde, pel seu desinteressat assessorament tècnic, i en general, al *Projecte Daedalus,* per cedir la seva ràdio balisa Android per a la missió.

A en Fernando Ortuño, pel seu desinteressat assessorament sobre la tramitació de permisos de vol i els mapes aeronàutics amb les aerovies espanyoles.

A l'Eric Guillén, per creure des del primer moment en el Projecte i accedir a treballar la part científica del mateix.

A tots els que han aportat el seu granet de sorra per a fer d'aquest projecte una realitat: en especial al nostre tutor del treball, en Josep Rubió, i també a tots els familiars que han format part de l'equip de llançament en algun dels dos intents realitzats.

Índex

INTRODUCCIÓ....7
Introducció....7
Tria del tema....7
Objectius....8
Mètode de treball....8
Parts del treball....9
ESTRUCTURA....11
Introducció....11
Elements....13
Càpsula....13
Sistema d'ancoratge....13
Paracaigudes....14
Globus....15
Bombona d'heli....16
ELECTRÒNICA....17
El paradigma dels sistemes....17
El Sistema de Recollida de Dades (SRD)....17
Sensors escollits....17
Criteris generals d'elecció....21
Termòmetres (sensors de temperatura)....21
Sensor exterior....21
Sensor interior....22
Baròmetre (sensor de pressió atmosfèrica)....23
Higròmetre (sensor d'humitat relativa)....24
Acceleròmetre (sensor d'acceleració)....26
Connexions de l'SRD....26
El Sistema de Telemetria en Viu (STV)....29

Receptor GPS.....30
Emissor de ràdio.....31
Dispositius Xbee.....31
Sistema APRS.....31
Emissor en la banda dels 70 cm.....32
Connexions de l'STV.....34
Estació terrena.....36
El sistema SDR.....36
El receptor SDR.....36
L'antena receptora.....37
Ràdio balises Android.....38
Càmeres.....39
El Sistema d'Ajuda a la Recuperació (SAR).....42
PROGRAMACIÓ.....43
Introducció.....43
Sistema de Recollida de Dades (SRD).....45
Sistema de Telemetria en Viu (STV).....52
Ràdio balisa.....60
Càmeres.....70
Càmera de fotos.....70
Càmera de vídeos.....73
Sistema d'Ajuda a la Recuperació (SAR).....76
CRÒNICA DEL LLANÇAMENT.....78
Introducció.....78
Els preparatius.....78
Treball in situ.....79
Llançament i recuperació.....80
ANÀLISI DE DADES.....85
Introducció.....85

Sistema de Recollida de Dades.....85
Sistema de Telemetria en Viu.....86
Càmeres.....87
Ràdio balises Android.....87
CONCLUSIONS.....93
BIBLIOGRAFIA.....96

INTRODUCCIÓ

Introducció

Aquest treball de recerca va néixer, amb el nom de Projecte Nephos, el setembre de 2013. L'objectiu del Projecte era fer la recerca i desenvolupar la tecnologia necessària per a llançar un globus sonda meteorològic, prendre dades científiques, fotografies i vídeos del vol; i recuperar tota aquesta informació un cop la sonda hagués aterrat.

El Projecte Nephos (*nephos* prové de *νέφος*, núvol en grec) va néixer com un simple projecte entre tres companys d'estudis, fruit de la passió compartida envers la ciència i la tecnologia, i després d'haver estat llançant durant els darrers anys coets d'aigua, treballant al principi de manera exclusiva la part mecànica i posteriorment també la part electrònica dels mateixos. Era qüestió de temps, i un pas natural, intentar arribar «més lluny», marcant-se un repte tecnològic molt més gran, i aquest pas va arribar en forma d'aquest projecte.

L'abril de 2014, estant encara en fase de disseny, el Projecte es va convertir en el meu treball de recerca i el de l'Eric Guillén, adquirint el compromís mutu de treballar per a l'èxit del mateix, sabent d'entrada que el temps era limitat i les possibilitats de cometre errors en un treball tan ampli grans.

Mentre que l'Eric Guillén es va encarregar de la part científica del mateix, realitzant la recerca científica necessària per a dur a terme el Projecte amb garanties, jo em vaig encarregar de la part tècnica, estant al càrrec del disseny i el desenvolupament de l'estructura del globus sonda i de l'electrònica i de la programació dels seus sistemes.

Tria del tema

Un dels meus camps d'interès, ja des de ja fa força anys, és l'exploració espacial. Els darrers anys he estat també treballant en força projectes de programació i d'electrònica programable.

Quan vaig haver d'escollir el tema del meu treball de recerca vaig decidir que seria una molt bona idea aprofitar el treball que ja s'estava fent amb el Projecte Nephos, ja que concordava molt bé amb les meves motivacions personals.

A més a més, aquest és un projecte multidisciplinari, que permet treballar branques molt diverses del coneixement (en ell hi intervé la física -sobretot meteorologia-, la mecànica, l'electrònica, la programació i les telecomunicacions).

Quan se'm va presentar l'oportunitat de fer el treball al voltant d'aquest projecte, fent una immersió rigorosa en tots aquests camps, em va semblar que ja no calia cercar més, i que aquesta era l'opció que havia de triar.

Objectius

Abans de posar-se a treballar es va decidir estructurar el Projecte al voltant d'uns objectius breus, clars i realistes, per tal de tenir en tot moment ben clar què fer, entorn a què encaminar tots els esforços i accions. Els objectius triats van ser els següents:

- Dissenyar, construir, llançar fins a una altura aproximada de 30 km i recuperar un globus sonda meteorològic amb els seus sistemes electrònics.
- Prendre fotografies i vídeos del vol de qualitat i recuperar-los.
- Enregistrar dades ambientals, a través de sensors, que ajudin a caracteritzar el vol i l'ambient per on aquest transcorre, i recuperar-les per a una posterior anàlisi.

Mètode de treball

El mètode de treball seguit a nivell tècnic s'ha adaptat al voltant dels objectius generals mencionats anteriorment. Una vegada es van tenir les primeres dades científiques sobre la troposfera i estratosfera, i coneguts els reptes als quals l'estructura i l'electrònica s'haurien d'enfrontar, es va realitzar una ***divisió en***

sistemes de la sonda, basant-se en els objectius que hauria de tenir cada sistema (relacionats amb els objectius generals anteriors).

Una vegada realitzada la divisió en sistemes va començar una ***recerca per a definir els sistemes***, trobant la CPU o unitat central de processament adequada (en cas que fos necessària) per a cadascun d'ells i els elements que haurien d'incorporar cadascun d'ells (en cas que fossin necessaris), com per exemple sensors, emissors o receptors.

Un cop els sistemes es van anar definint, es van anar realitzant les ***compres*** dels seus diferents components, i una vegada completada la fase electrònica d'***integració dels elements*** de cada sistema, es va passar a una ***fase de programació,*** en la qual es va desenvolupar la lògica funcional de cada sistema segons els seus objectius, i a partir d'aquesta lògica, el codi final dels sistemes.

Una vegada programats i llestos els sistemes es va passar a la fase d'***integracions a la càpsula i preparació de l'estructura*** de la mateixa***.*** L'última fase va ser la de ***preparació del llançament, llançament i recuperació*** de la sonda.

Parts del treball

A grans trets, es pot dividir el treball que s'ha realitzat des d'un punt de vista tècnic al voltant de cinc parts ben diferenciades: l'estructura de la sonda, l'electrònica dels sistemes, la programació dels sistemes, el llançament del globus sonda i l'anàlisi de dades posterior al vol.

Així, s'ha decidit estructurar aquesta memòria en els següents capítols:

- **Estructura:** en aquest capítol s'explicaran quins són els objectius que va tenir l'estructura del globus sonda meteorològic, perquè, i quins van ser els elements que, tenint en compte aquests objectius, la van constituir.
- **Electrònica:** en aquest apartat es descriuen un per un tots els sistemes electrònics interns de la sonda: els seus objectius i, en relació a aquests,

els elements que els componen.

- **Programació:** en aquest apartat s'analitza la lògica funcional de cada un dels sistemes electrònics, comentant-la a través de diagrames de flux i, directament, del codi final.
- **Crònica del llançament:** en aquest apartat es descriu quins són els passos que es van seguir abans, en el moment i després del llançament per tal que tot sortís com estava previst i la recuperació de la sonda fos un èxit.
- **Anàlisi de dades:** en aquest apartat es fa una breu anàlisi de les dades considerades rellevants a nivell tècnic per tal d'avaluar el grau d'acompliment dels objectius amb l'estructura, l'electrònica i la programació realitzades.

ESTRUCTURA

Introducció

L'estructura del globus sonda és una part essencial d'una missió de sondeig atmosfèric. És el suport de tots els sistemes electrònics, els quals ha de protegir de les inconveniències de l'exterior. En general, l'estructura d'un globus sonda ha de ser capaç de garantir:

- **Protecció tèrmica:** en una missió de sondeig atmosfèric es poden arribar a registrar temperatures molt baixes, sobretot durant la part final de la troposfera (que trobem al voltant dels 15 km d'altura, i on s'arriba a temperatures de -50 ºC/-60 ºC). L'electrònica és sensible a les temperatures baixes i molts aparells electrònics deixen de funcionar a partir dels -40 ºC. És per tant essencial, perquè cap sistema electrònic falli, que la càpsula estigui ben aïllada tèrmicament de l'exterior, mantenint a l'interior temperatures per sobre dels 0 ºC. La càpsula ha d'estar recoberta d'un material aïllant tèrmic, com per exemple la manta tèrmica.
- **Descens suau:** és molt important que la càpsula, a la part final del vol, aterri suaument, amb una velocitat d'entre 5 i 7 m/s. Un aterratge brusc pot provocar, a part de desperfectes a la mateixa càpsula, riscs a persones o danys a edificis i instal·lacions (mai no es pot saber exactament on caurà la càpsula). El paracaigudes s'ha d'encarregar de frenar la càpsula i fer que descendeixi a una velocitat acceptable.
- **Protecció contra cops:** el paracaigudes pot fallar o no funcionar a la perfecció, i si això succeeix, el descens de la càpsula serà massa ràpid. Aquesta ha d'estar preparada per a aquesta situació, i per tant ha d'estar feta d'un material que esmorteeixi els cops forts, com per exemple el porexpan, evitant la trencadissa dels aparells electrònics interns.

- **Estabilitat:** per a obtenir imatges i vídeos de qualitat, és necessari que la càpsula sigui més o menys estable, és a dir, que no es mogui massa d'una direcció a una altra durant el vol. El sistema d'ancoratge de l'estructura s'ha d'encarregar de proporcionar estabilitat a la càpsula, impedint els moviments bruscos de la mateixa deguts a corrents inesperades de vent.

Elements

A continuació es fa una descripció, de baix a dalt, dels elements que formen l'estructura d'un globus sonda. S'inclou també, per conveniència, la bombona d'heli al final de l'apartat. Tot i no ser en sí un element de l'estructura, és inseparable del globus i convé mencionar-la, per tant, després d'aquest.

Càpsula

La càpsula que es va utilitzar per a la missió va ser un recipient de porexpan de forma rectangular de dimensions 31x23,5x9 cm (31 cm de llargada i 23,5 cm d'amplada i 9 cm d'alçada). Es tracta d'una càpsula de mida mitjana de les que s'utilitzen a les peixateries i va ser cedida al Projecte per un establiment *Condis*.

La càpsula va ser recoberta, tant a l'exterior com a l'interior, amb dues capes de manta tèrmica, un aïllant tèrmic molt fi que normalment s'utilitza al camp de la medicina per a cobrir els accidentats o morts mantenint la seva temperatura corporal.

La manta tèrmica és conductora i per tant crea una gàbia de Faraday als llocs que envolta. Això implica que no es poden rebre ni emetre dades per ràdio, car la gàbia de Faraday protegeix contra les radiacions electromagnètiques. Tenint en compte això, la tapa de la càpsula no es va recobrir de manta tèrmica, ja que allà s'enganxarien elements receptors. Totes les antenes, d'emissió o recepció, es van col·locar a l'exterior de la càpsula.

Així, a la càpsula se li van haver de fer una sèrie de forats, però no només perquè sortissin les antenes, sinó també per a fer sortir els objectius de les càmeres i per a fer sortir els sensors exteriors.

Sistema d'ancoratge

El sistema d'ancoratge de l'estructura s'encarregava d'unir la càpsula amb el paracaigudes i havia de ser capaç de proporcionar una certa estabilitat al sistema per a poder prendre imatges i enregistrar vídeos d'una certa qualitat.

Per al sistema d'ancoratge es van fer vuit forats a la tapa de la càpsula, dos a cadascun dels quatre vèrtexs del rectangle que forma. Cada dos forats es va fer passar una brida, que posteriorment es va tancar. Els forats es van tapar amb escuma de poliuretà i a cadascuna de les brides s'hi va agafar una corda de niló. Per tant, de la tapa de la càpsula sortien quatre cordes de niló (una des de cada vèrtex de la mateixa), que acabaven convergint en un mosquetó, al que s'agafava el paracaigudes.

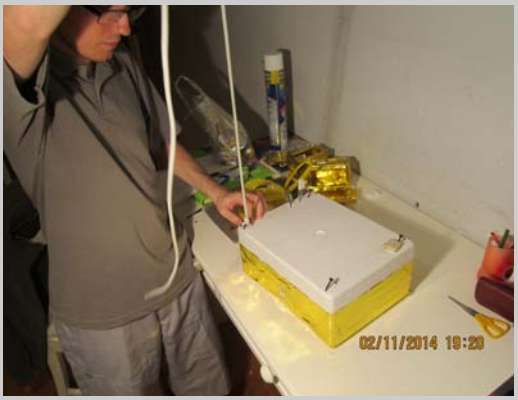


Figura 1: Treballant el sistema d'ancoratge a la càpsula.



Figura 2: Treballant el sistema d'ancoratge a la càpsula (II).

Paracaigudes

El paracaigudes es va configurar com a un element més de l'estructura, situat entre el sistema d'ancoratge i el globus. L'obertura del paracaigudes havia de ser per tant mecànica: una vegada explota el globus de làtex en el punt cúspide de la missió, la càpsula comença a caure. Durant els primers segons fa una caiguda lliure on el paracaigudes no es desplega, perquè no hi ha una atmosfera prou densa per oferir-li una resistència. El paracaigudes es desplega tot sol, per tant, un cop la càpsula ha arribat a una altura on hi ha una atmosfera prou densa.

Coneixent la importància d'un descens suau, i per tant la importància d'utilitzar un bon paracaigudes, es va cercar un que oferís una velocitat de descens de 5 a 7 m/s tenint en compte la massa que s'estimava que tingués la càpsula (aproximadament, 1,2 kg). Aquest paracaigudes es va trobar a *Spherachutes*,

una botiga d'Internet especialitzada en la venda de paracaigudes per a coets, globus i altres aparells voladors no tripulats.

Característica	Dades
Fabricant	Spherachutes
Model	36 in. Spherachute
Velocitat de descens	4,6 a 6,1 m/s
Càrrega de descens	860 a 1540 g
Massa	51 g
Preu aproximat	30 $

Taula 1: Característiques del paracaigudes.



Figura 3: El paracaigudes, entre el globus i el sistema d'ancoratge, instants abans del llançament.

Globus

Sabent que els globus de làtex són força cars, l'elecció del globus de la missió es va fer sobretot tenint en compte el seu preu. En trobar un globus militar dels EUA fabricat l'any 1982, adient a la missió, en perfectes condicions, i a un preu força interessant, es va decidir no fer gaire més cerca.

Característica	Dades
Fabricant	Kaysam Industries
Model	ML-541A/AM
Tipus	Militar
Any de fabricació	1982
Material	Làtex
Massa	2200 g
Preu aproximat	80 $

Taula 2: Característiques del globus de làtex utilitzat a la missió.



Figura 4: Preparant el globus per a penjar-hi l'estructura després de ser inflat.

Bombona d'heli

L'heli és un gas noble de densitat menor a l'aire, qualitat que li confereix una tendència a elevar-se a l'atmosfera terrestre, i que per tant el fa un gas adequat per al llançament de globus. L'ús de l'heli s'ha estès enfront de l'ús de l'hidrogen. Tot i que aquest últim gas és encara menys dens i proporciona un millor rendiment per a aquest tipus d'activitats, no és innocu com l'heli i pot arribar a ser molt perillós en ser inflamable.

Pel Projecte es va aconseguir una bombona d'heli de 9,1 m^3 a través de la distribuïdora *Publi-Zeppelines*. Un metre cúbic d'heli estabilitza un kg de massa, i per tant, amb una bombona d'aquelles característiques es poden elevar, aproximadament, uns 9 kg de massa.

Característica	**Dades**
Fabricant (heli)	Air Liquide
Distribució (bombona)	Publi-Zeppelines
Model (bombona)	Ballonal B-50
Volum	9,1 m^3
Preu aproximat	170 € (+0,6 € de taxa d'arrendament per dia)

Taula 3: Característiques de la bombona d'heli utilitzada per a la missió.



Figura 5: La bombona, amb la càpsula i altres eines, al lloc del llançament.

ELECTRÒNICA

El paradigma dels sistemes

L'electrònica de la missió s'ha estructurat al voltant dels anomenats sistemes. Un sistema s'entén com un aparell electrònic amb una tasca ben delimitada, independent a escala jeràrquic (no dóna ni rep ordres de cap altre sistema) i en l'àmbit energètic (no comparteix la font d'alimentació amb cap altre sistema).

Treballar amb aquest paradigma permet focalitzar molt més el treball quant a electrònica i programació, reduint els objectius a aparells concrets, definits i tangibles. Treballar d'aquesta manera permet també aïllar més fàcilment els errors que apareguin.

El Sistema de Recollida de Dades (SRD)

En una missió de sondeig atmosfèric, l'objectiu principal ha de ser obtenir dades que permetin caracteritzar l'ambient per on transcorre el vol, que comprèn, en el cas d'aquest treball, la troposfera i l'estratosfera.

La troposfera i l'estratosfera són dues capes de l'atmosfera diferents, i per tant tenen característiques diferents que convé tenir en compte. Era necessari, per tant, fer un petit estudi científic de la troposfera i de l'estratosfera que subratllés les característiques més importants, per tal de decidir què mesuraríem i quins sensors utilitzaríem per fer-ho.

Sensors escollits

A partir de l'estudi de les característiques de la troposfera i de l'estratosfera, es va acordar utilitzar els següents sensors:

- **Termòmetre** o sensor de temperatura: la temperatura és un factor important tant a la troposfera com en l'estratosfera. A la troposfera, la

temperatura decreix de manera constant amb l'altura, i en arribar a l'estratosfera, torna a créixer fins a situar-se al voltant dels 0 ºC gràcies a la capa d'ozó. Podem mesurar si en efecte decreix de manera constant? Podem arribar a determinar on es troba la tropopausa (pas de la troposfera a l'estratosfera) a partir de les dades de temperatura?

La temperatura també és molt important per a l'electrònica, que a temperatures extremadament baixes (al voltant dels -40 ºC) deixa de funcionar correctament. Per tant, és essencial tenir un sensor de temperatura intern, a part de l'extern, que permeti valorar si l'aïllament tèrmic de la càpsula ha funcionat o no durant el vol.

- **Baròmetre** o sensor de pressió atmosfèrica: la pressió atmosfèrica decreix de manera exponencial a mesura que l'altura creix. Podem trobar la funció exponencial que relaciona l'altura amb la pressió atmosfèrica a partir de les nostres dades?

- **Higròmetre** o sensor d'humitat relativa: la humitat relativa mesura el percentatge de partícules que està «emmagatzemant» l'aire, essent un 100% el màxim de partícules d'aigua que l'aire pot emmagatzemar a una determinada temperatura. En els núvols, la humitat relativa és d'un 100%. Serem capaços de detectar com es dispara la humitat relativa en passar pels núvols? Hi ha capes de l'atmosfera més humides que d'altres?

- **Acceleròmetre** o sensor d'acceleració: l'acceleració de la gravetat de la Terra decreix de manera molt lenta a mesura l'altura augmenta. Som capaços de detectar com decreix a partir de les dades d'acceleració, o la diferència és massa petita per a ser detectada?

- **Sensor de gas ozó:** a l'estratosfera ens trobem amb la capa d'ozó.

Aquest gas absorbeix la radiació ultraviolada del Sol, que és perjudicial per la salut dels éssers humans. Durant força anys va estar en perill de destrucció degut a l'emissió de gasos clorofluorocarburs (o CFC), i ha estat constantment monitorada aquestes últimes dècades. Podem mesurar la quantitat d'ozó a l'estratosfera i comparar aquesta dada amb les dades científiques preses en estudis acadèmics?

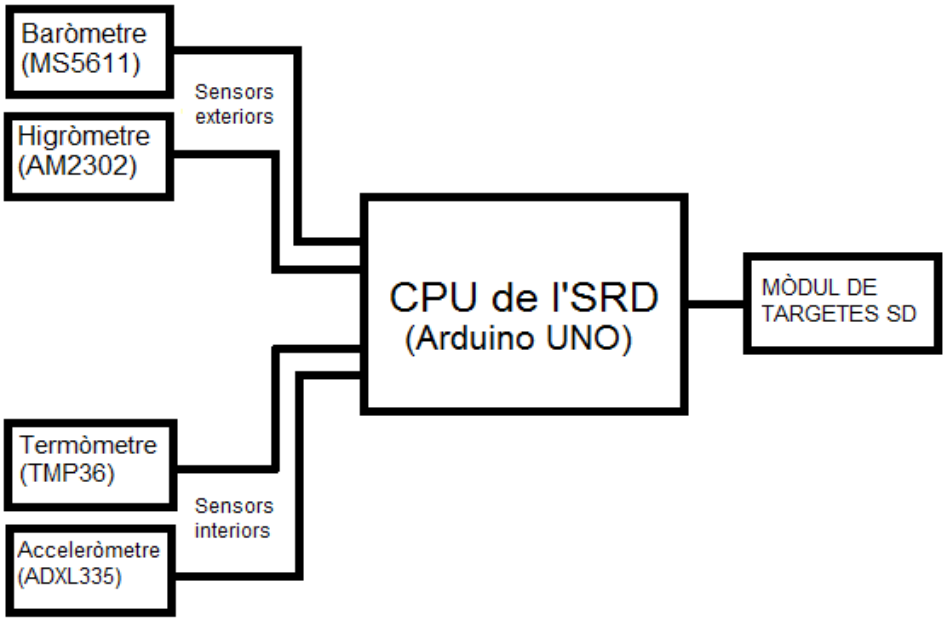


Figura 6: Diagrama de blocs del Sistema de Recollida de Dades.

A la part superior d'aquesta pàgina es presenta el Sistema de Recollida de Dades amb un diagrama de blocs on es pot veure la configuració final que va tenir el sistema, amb els sensors que van formar part del mateix finalment.

Entre altres coses es pot veure com finalment el sensor d'ozó va ser descartat. Això es deu a què no es va trobar cap que complís els requisits d'elecció generals, que se citen a continuació.

També es pot veure com finalment no hi va haver cap sensor de temperatura

exterior. Més endavant s'explica quina va ser la causa d'això i perquè no va ser un problema a nivell de recull de dades.

Criteris generals d'elecció

A l'hora d'escollir els sensors que volarien a la missió calia establir una sèrie de criteris generals d'elecció aplicables a tots els tipus de sensors. Aquests van ser els següents:

- **Compatibilitat:** els sensors havien de ser compatibles amb la unitat de processament central escollida per al SRD, en aquest cas la placa Arduino UNO.
- **Preu:** calia trobar sensors que tinguessin un preu moderat, que no sobrepassés els 10$ per sensor, ja que el pressupost total del projecte era ajustat.
- **Tipus:** un sensor pot ser de tipus analògic o digital. En un sensor analògic es llegeix el valor del voltatge provinent del sensor i es converteix obtenint el valor que es vol mesurar. En un sensor digital, aquest procés és més complex i cal comunicar-se amb el sensor a través d'un protocol específic, per tant, quan fos possible, calia evitar els sensors digitals.
- **Precisió:** era necessari trobar sensors precisos, que donessin mesures amb marges d'errors petits, per tal de poder usar-les en una anàlisi científica.

Termòmetres (sensors de temperatura)

Sensor exterior

Sabent que les temperatures exteriors podien arribar a ser extremadament baixes, es va decidir utilitzar un sensor de temperatura que pogués mesurar per sota dels -40 ºC que la majoria de sensors tenen com a límit.

Així, es va decidir utilitzar un sensor de temperatura analògic LM35AH, capaç de mesurar temperatures de fins a -55 ºC amb un marge d'error molt petit (de +/- 0.2 ºC), i per un preu força acceptable (al voltant dels 10$).

Característica	Dades
Fabricant	Texas Instruments
Model	LM35AH
Tipus	Analògic
Alimentació	4 a 30 V (CC)
Rang de mesures	-55 a +150 ºC
Precisió típica	+/- 0,2 ºC
Preu aproximat	10 $

Taula 4: Característiques del sensor exterior de temperatura de l'SRD (projectat).



Figura 7: Un sensor LM35AH, projectat com a termòmetre exterior de l'SRD.

Desafortunadament, el sensor es va cremar durant les proves, i degut al llarg temps que calia esperar per a rebre'n un altre, es va decidir prescindir d'ell. Això no va suposar un problema massa important per a la missió a nivell d'obtenció de dades, ja que es podien utilitzar com a sensors de temperatura exteriors el baròmetre i l'higròmetre, que inclouen els dos termòmetres interiors. Es bescanviava qualitat en les mesures, que es perdia, per temps, que no es perdia en no demanar un nou sensor LM35AH.

Sensor interior

Les temperatures interiors havien de ser força més acceptables que les exteriors gràcies a l'aïllament tèrmic de la càpsula. Així, es va decidir utilitzar un sensor de temperatura més modest, un sensor analògic TMP36, capaç de mesurar fins a -40 ºC amb un marge d'error moderat (de +/- 2 ºC).

Característica	Dades
Fabricant	Analog Devices
Model	TMP36
Tipus	Analògic
Alimentació	2,7 a 5,5 V (CC)
Rang de mesures	-55 a +125 ºC
Precisió típica	+/- 2 ºC
Preu aproximat	10 $

Taula 5: Característiques del sensor interior de temperatura de l'SRD.

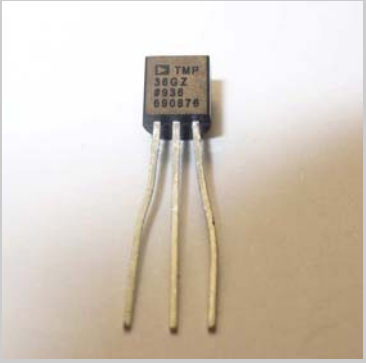


Figura 8: Un sensor TMP36, utilitzat com a termòmetre interior a l'SRD.

Baròmetre (sensor de pressió atmosfèrica)

No va ser fàcil trobar un baròmetre que s'ajustés a les exigències del Projecte. Primerament es va considerar utilitzar un sensor BMP085 del que ja es disposava, però ben aviat es va veure que no era adequat perquè mesurava només fins a 300.000 Pa, que equivalen a una altura de 9000 m. Calia trobar-ne un que pogués mesurar pressions atmosfèriques molt més baixes, que es podrien arribar a registrar si la sonda arribava al voltant dels 30.000 metres d'altura.

Finalment es va decidir utilitzar un sensor de pressió atmosfèrica digital MS5611, capaç de mesurar pressions atmosfèriques tan baixes com 1000 Pa. Com s'ha comentat anteriorment, el sensor MS5611 també incorpora un sensor de temperatura.

Característica	Dades
Fabricant	Measurement Specialities
Model	MS5611
Tipus	Digital
Protocol de comunicació	SPI
Alimentació	4 a 30 V (CC)
Preu aproximat	10 $
Baròmetre	
Rang de mesures	1000 a 120.000 Pa
Precisió típica	+/- 1,5 Pa
Termòmetre	
Rang de mesures	-40 a +85 ºC
Precisió típica	+/- 0,8 ºC

Taula 6: Característiques del baròmetre i termòmetre exterior del l'SRD.



Figura 9: Un sensor MS5611, utilizat com a baròmetre a l'SRD.

Higròmetre (sensor d'humitat relativa)

Escollir l'higròmetre de la missió no va ser gaire complicat. Es va escollir el sensor d'humitat relativa digital AM2302 (una variant del sensor DHT22), principalment per la seva facilitat d'ús (tot i ser digital té una llibreria de codi pròpia que fa la comunicació amb el mateix molt senzilla) i pel seu baix cost.

L'únic desavantatge que té aquest sensor és la seva baixa taxa de refresc de dades, de 0,5 Hz, que impedeix obtenir dues lectures d'humitat relativa i de temperatura en un lapse de temps menor a 2 segons entre una i altra. Com s'ha comentat anteriorment, el sensor AM2302 també incorpora un sensor de temperatura.

Característica	Dades
Fabricant	Aosong Electronics
Model	AM2302 (DHT22)
Tipus	Digital
Protocol de comunicació	1-Wire
Taxa de refresc	0,5 Hz
Alimentació	3,3 a 5,5 V (CC)
Preu aproximat	4 $
Higròmetre	
Rang de mesures	0 a 100% RH[1]
Precisió típica	+/- 2 RH[1]
Termòmetre	
Rang de mesures	-40 a +80 ºC
Precisió típica	+/- 0,5 ºC

Taula 7: Característiques de l'higròmetre i termòmetre exterior de l'SRD.

[1] Unitat fictícia utilitzada que mesura la humitat relativa, que és en realitat un percentatge.



Figura 10: Un sensor AM2302, utilizat com a higròmetre a l'SRD.

Acceleròmetre (sensor d'acceleració)

L'acceleròmetre escollit per a la missió va ser un sensor d'acceleració analògic ADXL335, principalment per la seva facilitat d'ús en ser analògic i pel fet que ja es disposava del mateix prèviament i per tant no era necessari comprar-lo.

Característica	Dades
Fabricant	Analog Devices
Model	ADXL335
Tipus	Analògic
Alimentació	1,8 a 3,6 V (CC)
Rang de mesures	-3,6 a +3,6 G[1]
Tº de funcionament	-40 a +85 ºC
Preu aproximat	10 $

Taula 8: Característiques de l'acceleròmetre de l'SRD.

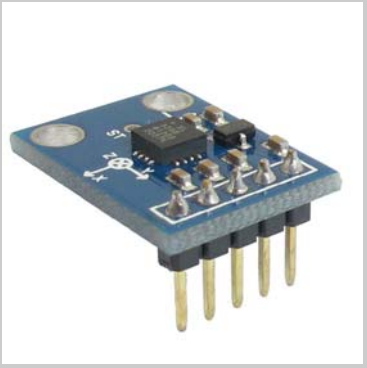


Figura 11: Un sensor ADXL335, utilitzat com a acceleròmetre a l'SRD.

[1] 1 G equival a ~9,81 m/s^2.

Connexions de l'SRD

A les següents pàgines es mostra una taula amb les connexions dels sensors i del mòdul de targetes SD de l'SRD a la CPU del mateix, un l'Arduino UNO. També es mostra un dels primers prototips de l'SRD amb tots els sensors i el mòdul de targetes SD connectats.

Termòmetre interior (TMP36)	**Arduino UNO (CPU)**
Vin	3.3V
Vout	A0
Gnd	GND
Acceleròmetre (ADXL335)	
VCC	3.3V
X_OUT	A1
Y_OUT	A2
Z_OUT	A3
GND	GND
Higròmetre (AM2302)	
VCC	3.3V
DATA	D4
GND	GND
GND	- (opcionalment es pot connectar a GND)
Baròmetre (MS5611)	
VCC	3.3V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA
Mòdul de targetes SD	
G	GND
DO/MISO	D12
CLK	D13
DI/MOSI	D11
CS	D10
+	5V

Taula 9: Taula de connexions del Sistema de Recollida de Dades.

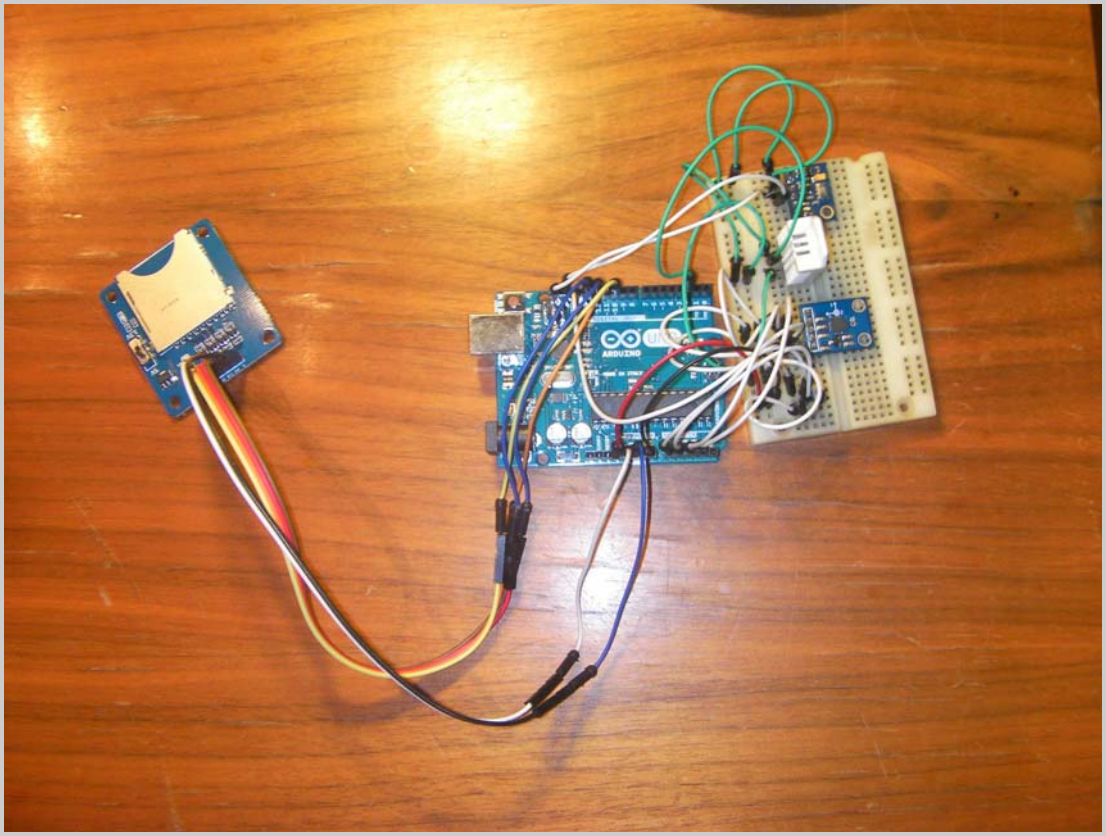


Figura 12: Primer prototip funcional del Sistema de Recollida de Dades.

El Sistema de Telemetria en Viu (STV)

El Sistema de Telemetria en Viu fa possible quelcom essencial per a garantir l'èxit de la missió: la recuperació de la sonda una vegada aterrada. Aquest sistema s'encarrega de transmetre, en directe, la posició del globus sonda (en coordenades GPS) a terra per tal de poder perseguir-lo durant el vol i recuperar-lo una vegada acabat.

A continuació es mostra el diagrama de blocs de l'STV per aclarir els elements que el componen, que es descriuran tot seguit:

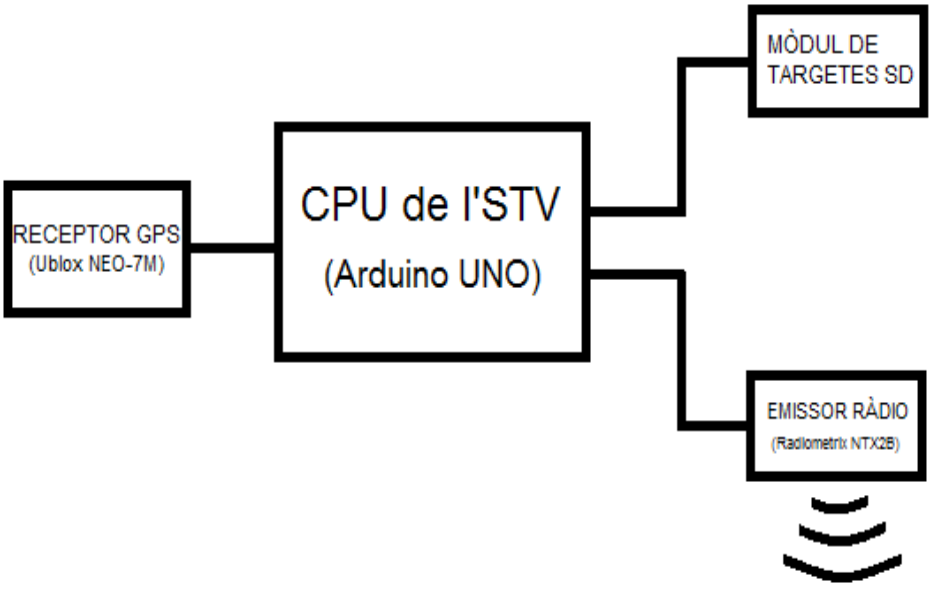


Figura 13: Diagrama de blocs del Sistema de Telemetria en Viu.

Receptor GPS

La majoria de receptors GPS destinats a l'ús civil estan programats internament per tal de deixar de funcionar quan se sobrepassen els 18.000 metres d'altura o se superen els 515 m/s de velocitat. Aquestes limitacions s'establiren durant la Guerra Freda per tal d'evitar que la tecnologia americana GPS pogués ésser utilitzada per al llançament de míssils balístics internacionals.

Sabent que la nostra missió hauria de sobrepassar aquests 18.000 metres, arribant a uns 30.000, calia trobar un receptor GPS que no tingués aquesta limitació o que permetés deshabilitar-la. Finalment es va decidir utilitzar un receptor GPS amb un xip Ublox NEO-7M, d'una banda perquè el seu preu era força baix (al voltant dels 20 $) però fonamentalment perquè podia posar-se en *flight mode* (mode de vol) eliminant les restriccions d'altura i velocitat.

Característica	**Dades**
Fabricant	Ublox
Model	NEO-7M
Alimentació	1,65-3,6 V (CC)
Protocol/format dades	NMEA
Taxa de refresc	0,25-10 Hz
Time-To-First-Fix[1]	30 s
Preu aproximat	20 $

Taula 10: Característiques del receptor GPS de l'STV.



Figura 14: El receptor GPS utilitzat per a la missió, un Ublox NEO-7M.

[1] Temps que tarda el receptor GPS en aconseguir dades de posició després de ser encès.

Aquest receptor GPS, com la majoria de receptors de l'estil, utilitza el format NMEA per a transmetre les dades de posició GPS. Per a comunicar-se amb el mòdul GPS també és necessari utilitzar NMEA. En definitiva, es pot definir NMEA com una mena de protocol de comunicació entre dispositius GPS. Tot i

això, és interessant saber que NMEA va néixer, i encara és utilitzat, com a un protocol de comunicació entre aparells electrònics de la Marina de l'Exèrcit dels EUA. De fet, NMEA són les sigles de *National Marine Electronics Association,* Associació Nacional d'Electrònica de la Marina, en anglès.

Emissor de ràdio

Trobar un emissor de ràdio adient a la missió va ser una tasca complicada. Calia trobar un emissor que tingués la potència necessària per a ser rebut (en línia recta i sense obstacles) a distàncies de 30 km i superiors, que fos compatible amb Arduino (la unitat de processament central escollida), i que, evidentment, fos assequible a nivell monetari.

Dispositius *Xbee*

Primerament es va optar per utilitzar una parella de dispositius Xbee-PRO 868, un d'ells emetent des de la càpsula i un altre rebent la informació de la càpsula des de terra, ja que són uns dispositius emissors de ràdio molt fàcils d'utilitzar amb un Arduino i molt efectius. Es van descartar, però, pel seu elevat preu (entre 100 i 200 € una parella emissor-receptor).

Sistema APRS

La següent opció que es va considerar va ser la utilització d'un emissor compatible amb APRS (*Automatic Packet Reporting System*). APRS és un sistema que comprèn una xarxa d'estacions de radioafeccionats que escolten i repeteixen automàticament els paquets de telemetria (que normalment indiquen la posició d'un objecte) que s'emeten, propagant-se aquests per tot arreu. Les dades de posició que s'estan transmetent en aquests moments i propagant-se a través de la xarxa APRS són disponibles públicament, posicionades a un mapa, al lloc web http://aprs.fi.

L'avantatge d'utilitzar APRS per a fer el seguiment d'un objecte és que per a conèixer la seva posició no és necessari cap receptor de ràdio, ja que la posició es propaga per tota la xarxa APRS i està disponible a la pàgina anteriorment

mencionada, necessitant-se tan sols, per tant, una connexió a Internet per a fer el seguiment, evitant costoses estacions terrenes de ràdio.

Malgrat tot, es va haver de descartar el sistema APRS per la dificultat en trobar un emissor APRS compatible amb Arduino.

Emissor en la banda dels 70 cm

Finalment es va decidir utilitzar un emissor en la banda de 70 cm (que comprèn les freqüències de 430 a 440 MHz), disponible per a l'ús de radioafeccionats. La primera opció que es va considerar va ser, pel seu baix cost, un emissor del tipus CC1101. Finalment, però, es va decidir utilitzar un emissor de tipus NTX2B-FA (variant de l'emissor NTX2B), car era molt més fàcil d'utilitzar amb un Arduino en estar molt més documentat.

A l'hora d'escollir l'emissor de ràdio també es va tenir molt en compte la regulació de l'espectre radioelèctric espanyol. No es disposava d'una llicència de radioafeccionat i no hi havia temps per preparar els exàmens, presentar-se als mateixos i obtenir-ne una. Per tant, es va escollir un emissor de ràdio que gràcies a la seva baixa potència d'emissió (10 mW) és legal i està exempt de llicència a la Unió Europea.

Característica	Dades
Fabricant	Radiometrix
Model	NTX2B-FA (NTX2B)
Funcions	Emissor i receptor[1]
Alimentació	2,9 a 15 V (CC)
Freq. d'emissió	434,650 MHz
Potència d'emissió	10 mW
Preu aproximat	£ 20

Taula 11: Característiques de l'emissor de ràdio de l'STV.



Figura 15: L'emissor de ràdio utilitzat per a la missió, un Radiometrix NTX2B.

[1] Només es va utilitzar com a emissor, mai com a receptor.

En escollir aquest emissor de ràdio es va haver de dissenyar una estació

terrena de recepció (que no s'hauria d'haver necessitat en el cas d'haver escollit, per exemple, el sistema APRS), capaç de rebre el senyal des del globus sonda en una freqüència determinada (434 MHz) tenint en compte la baixa potència de l'emissor i les llargues distàncies que hi podia arribar a haver entre la sonda i l'estació terrena.

Connexions de l'STV

A continuació es mostra la taula de connexions de l'STV, i a la pàgina següent, una de les primeres proves de transmissió de dades realitzades amb l'emissor de ràdio de l'STV.

Receptor GPS (Ublox NEO-7M)	**Arduino UNO (CPU)**
GND	GND
RX	TX
TX	RX
VCC	3.3V
Mòdul de targetes SD	
CS	D4
SCK/CLK	D13
MISO/DO	D12
MOSI/DI	D11
VCC	3.3V
GND	GND
Emissor de ràdio (Radiometrix NTX2B)	
Vcc	5V
EN (pin 4)	5V
TXD (pin 7)	D10
GND	GND

Taula 12: Taula de connexions del Sistema de Telemetria en Viu.

Com es pot comprovar, entre l'entrada de dades del mòdul GPS (RX) i la sortida de dades de la CPU (TX) es van connectar tres díodes en sèrie. Això es deu a què la sortida de l'Arduino funciona a 5 V, mentre que el mòdul GPS no accepta més de 3,6 V. Cal que hi hagi, per tant, una caiguda de tensió constant d'aproximadament 1,4 V entre la sortida de l'Arduino i l'entrada del GPS. Tenint en compte que els díodes tenen una caiguda de tensió de 0,6 a 0,7 V, amb tres díodes en sèrie la tensió de la sortida de l'Arduino es reduïa entre 1,8 i 2,1 V.



Figura 16: Primeres proves de transmissió de telemetria per ràdio.

Estació terrena

Per a l'estació terrena calia trobar un equip que fos adient, com ja s'ha comentat abans, per a rebre els senyals de la sonda malgrat la distància i la poca potència d'emissió. Però a més a més s'havia d'ajustar al pressupost, una tasca força complicada. Finalment es va decidir prescindir dels equips de radioafeccionat habituals, que són grans, pesats i molt cars, i utilitzar, tot i la seva menor qualitat, uns sistemes de recepció de ràdio que s'han fet força populars últimament: els sistemes SDR (*Software Defined Radio)*.

El sistema SDR

La ràdio definida per software (més coneguda pel seu nom en anglès, SDR), és un sistema de recepció de ràdio on els elements que normalment formarien part del *hardware* d'un receptor de ràdio, com poden ser els filtres, amplificadors, moduladors, desmoduladors, etc. s'implementen a través de *software* en un ordinador.

Aquest sistema permet reduir molt la depesa a l'hora de comprar un receptor, ja que permet explotar al màxim la capacitat de receptors molt limitats. Per exemple, amb aquest sistema es poden rebre i descodificar senyals de posició (o de qualsevol altre tipus) a través de ràdio amb receptors USB destinats a la recepció de ràdio i TV per ordinador, sense anar més lluny.

El receptor SDR

El receptor SDR escollit va ser un receptor destinat a escoltar ràdio i veure TV a través de l'ordinador. El secret d'aquest receptor s'amaga darrere del xip desmodulador que té: un RTL2832U, compatible amb SDR.

Característica	Dades
Fabricant	Ezcap
Model	EzTV645
Desmodulador	RTL2832U
Sintonitzador	FC0013
Rang de freqüències	
Potència d'emissió	10 mW
Preu aproximat	20 $



Figura 17: El receptor de ràdio utilitzat per a la missió, un Ezcap EzTV645.

Taula 13: Característiques del receptor de ràdio SDR de l'estació terrena.

L'antena receptora

L'antena que ve per defecte amb el receptor de ràdio és normalment de baixa qualitat i no serveix per rebre res més enllà de les freqüències de ràdio i televisió, per a les quals està principalment dissenyada.Per tant, calia cercar una antena que fos compatible amb el receptor i que fos útil per a rebre senyals de la freqüència de 434 MHz. Com que la potència de l'emissor seria molt baixa (10 mW), es va haver de cercar una antena amb un guany prou important. Així, es va decidir utilitzar una antena de tipus *Yagi* (o *Yagi-Uda*) de 13 dBi de guany, que en principi seria suficient per a la recepció dels senyals de la sonda.

Característica	Dades
Fabricant	Diamond Antenna
Model	A430S10
Freq. de recepció	430 a 440 MHz
Guany	13 dBi
Preu aproximat	50 €

Taula 14: Característiques de l'antena de recepció.

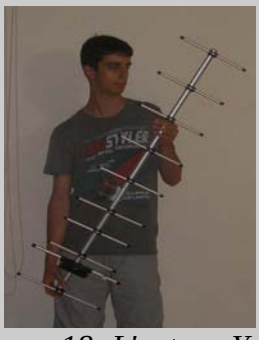


Figura 18: L'antena Yagi utilitzada per a la missió, després de ser muntada.

En ser la sortida de l'antena de tipus UHF femella i l'entrada del receptor SDR

de tipus PAL/TV femella, es va haver de cercar un convertidor UHF-PAL. Malauradament, la sortida UHF és molt poc comuna i per tant hi ha pocs convertidors UHF. Finalment, la solució que es va trobar va ser utilitzar un convertidor UHF femella-BNC mascle- BNC mascle-PAL femella.



Figura 19: Vista de l'antena, amb els convertidors enmig, connectada al receptor SDR.

Ràdio balises Android

Una ràdio balisa d'emergència és un aparell emissor de ràdio utilitzat sovint en l'aviació i la nàutica per tal de facilitar la localització d'una aeronau o d'una embarcació quan es troba en situació de risc.

En el cas d'aquesta missió, el sistema encarregat d'emetre de manera contínua la posició del globus sonda és el Sistema de Telemetria en Viu o STV, ja descrit anteriorment. Malgrat tot, per a garantir la correcta recuperació de la sonda un cop aterrada, i per tant, per a garantir l'èxit de la missió, cal tenir un sistema redundant o d'emergència preparat.

Així, es va decidir programar una aplicació per a telèfons mòbils intel·ligents amb sistema operatiu Android que enviés automàticament la posició del globus sonda (en coordenades GPS), a través de missatges SMS, a un tercer mòbil situat a terra. La cobertura de la xarxa mòbil o GSM (*Global System for Mobile Communications*) arriba fins a uns 2.000-3.000 metres d'altura. Així, aquest sistema seria capaç d'enviar la posició de manera contínua durant els primers

minuts del vol i durant els últims minuts del vol abans d'aterrar.

Es va decidir utilitzar com a ràdio balises dos telèfons mòbils dels quals ja es disposava: un *Samsung Galaxy Ace S5830* i un *Samsung Galaxy Mini 2 GT-S6500*. En cedir el *Proyecto Daedalus* (un projecte dedicat al llançament regular de globus sonda) la seva ràdio balisa per a l'ús del nostre Projecte, es va decidir que el *Samsung Galaxy Ace S5830* utilitzés la ràdio balisa del *Proyecto Daedalus* i el *Samsung Galaxy Mini 2 GT-S6500* la ràdio balisa pròpia, per garantir que en cas d'un error de programació en la ràdio balisa pròpia hi hagués com a mínim un sistema redundant de posicionament funcionant.



Figura 21: Un Samsung Galaxy Ace S5830 com l'utilitzat per a la missió.



Figura 20: Un Samsung Galaxy Mini 2 com l'utilitzat per a la missió.

Càmeres

Un dels objectius principals de la missió era obtenir fotografies i vídeos del vol de qualitat. Per a això calia que la sonda estigués equipada amb càmeres. Es va decidir utilitzar dues càmeres, una que miraria cap a sota (eix Z de la càpsula), enregistrant vídeos de manera contínua, i una altra que miraria cap endavant (eix X), prenent fotos de manera contínua.

Primerament es va considerar utilitzar càmeres *GoPro*, càmeres utilitzades normalment per esportistes, en ser càmeres de molt alta qualitat, molt petites, lleugeres i resistents. Malgrat tot, van ser descartades degut al seu alt preu.

Finalment es va decidir utilitzar càmeres Canon. Les càmeres Canon permeten modificar el seu *firmware* (una espècie de sistema operatiu intern). Modificant el *firmware* de fàbrica pel *firmware* CHDK (*Canon Hack Development Kit*), dissenyat per una comunitat de programadors informàtics, es poden executar *scripts* o petits programes que controlin la càmera.

CHDK està dissenyat per a substituir temporalment el *firmware* de la càmera, sense sobreescriure'l permanentment. Cada vegada que la càmera s'apaga CHDK es desinstal·la i cal tornar-lo a instal·lar manualment en encendre-la de nou.

Com a càmera de fotos per a la missió es va escollir una *Canon Powershot A1200* i com a càmera de vídeos una *Canon Powershot A2200*, de major qualitat. Les dues càmeres es van obtenir de segona mà a través de particulars.



Figura 22: Vista frontal de la càmera de vídeos (esquerra) i de la de fotos (dreta).

Característica	Dades
Fabricant	Canon
Model	Powershot A1200
Tipus	Càmera compacta
Objectiu	28 mm
Resolució fotografies	12,1 MP
Resolució vídeos	720p (HD)
Zoom òptic	4x
Alimentació	Dues piles AA (3 V)
Preu aproximat	40 € (segona mà)

Taula 15: Característiques de la càmera de fotos (Canon PowerShot A1200).

Característica	Dades
Fabricant	Canon
Model	Powershot A2200
Tipus	Càmera compacta
Objectiu	28 mm
Resolució fotografies	14,1 MP
Resolució vídeos	720p (HD)
Zoom òptic	4x
Alimentació	Una bateria de liti
Preu aproximat	40 € (segona mà)

Taula 16: Característiques de la càmera de vídeos (Canon PowerShot A2200).

El Sistema d'Ajuda a la Recuperació (SAR)

Durant el descens, la càpsula pot quedar atrapada a un arbre o amagada entre la malesa. Per a garantir la ràpida recuperació de la sonda es va dissenyar un sistema d'avís sonor-lumínic, amb un brunzidor i un LED, que permetés trobar-la més fàcilment.

El brunzidor permetria escoltar-la a una distància força important del lloc d'aterratge, mentre que el LED permetria trobar-la més fàcilment en cas que hi hagués condicions de visibilitat adverses o es fes fosc.

Essent aquest un sistema tan simple, i que hauria de trobar-se a l'exterior de la càpsula, es va decidir utilitzar, en comptes d'un Arduino, un petit microcontrolador programable Attiny85V-10PU.

Característica	**Dades**
Fabricant	Atmel Corporation
Model	Attiny85V-10PU
Tipus	Microcontrolador programable
Alimentació	1,8 a 5,5 V
Memòria FLASH programable	8 KB
Nombre de pins	8
Preu aproximat	5 €

Taula 17: Característiques del xip usat com a CPU al SAR.

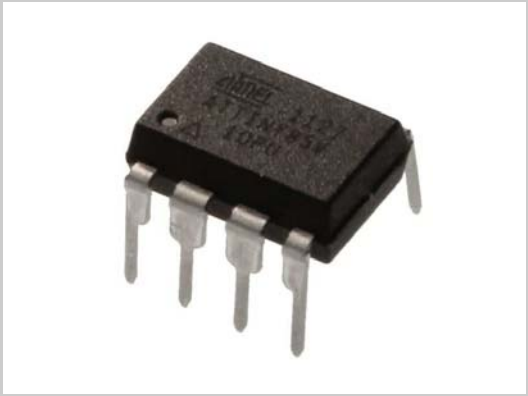


Figura 23: Un microcontrolador Attiny85V-10PU, CPU del SAR.

PROGRAMACIÓ

Introducció

A l'apartat anterior s'ha fet una descripció detallada dels diferents elements que conformen cadascun dels sistemes electrònics de la missió. En aquest apartat s'explicarà el funcionament de cada sistema electrònic, analitzant primerament la seva lògica amb un diagrama de flux comentat i observant a continuació el seu codi.

Abans de començar a explicar el funcionament de cadascun dels sistemes electrònics, convé comentar en quin llenguatge ha estat programats cadascun d'ells, de manera que hom pugui cercar documentació bàsica de cadascun d'aquests llenguatges per a poder entendre a la perfecció el codi de cada sistema.

El Sistema de Recollida de Dades (SRD) i el Sistema de Telemetria en Viu (STV), que utilitzen ambdós un Arduino UNO com a unitat de processament central han estat programats en el llenguatge propi que utilitza la plataforma Arduino, derivat del llenguatge de programació *Processing*. El Sistema d'Ajuda a la Recuperació (SAR), en contenir un microcontrolador que ha de ser prèviament programat i en haver estat programat amb una placa Arduino, també està programat en el codi de la plataforma Arduino. La ràdio balisa ha estat programada amb Java en l'entorn integrat de desenvolupament Eclipse. Les dues càmeres Canon (la de fotos i la de vídeos) han estat programades amb un llenguatge propi de CHDK basat en el llenguatge de programació BASIC.

Els codis estan comentats, i cada llenguatge de programació utilitza maneres diferents de comentar el codi. En el cas del llenguatge d'Arduino (amb el qual estan programats l'SRD, l'STV i el SAR), els comentaris comencen amb // i acaben al final de línia. És també el cas dels comentaris en Java (llenguatge amb el qual està programada la ràdio balisa). En el cas del llenguatge de

CHDK, proper a BASIC (amb el qual s'han programat les dues càmeres), els comentaris comencen amb rem i duren fins al final de línia.

Finalment, val la pena comentar que els programes a Arduino estan estructurats en dues parts, el setup o part inicial on es configura el programa i el loop, una part del programa que es repeteix de manera contínua i que és on el programa realitza les seves accions.

També és interessant comentar que tots els programes es van dissenyar per a desar les seves dades a les targetes SD en format XML.

Sistema de Recollida de Dades (SRD)

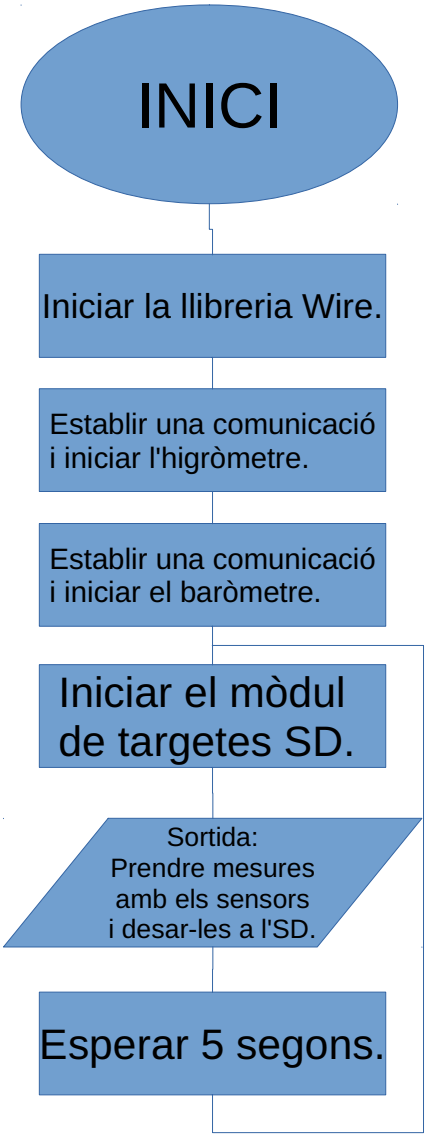


Figura 24: Diagrama de flux del Sistema de Recollida de Dades.

Ja s'ha descrit anteriorment l'objectiu principal del SRD i els elements (sensors) que el conformen. A continuació es comentarà la lògica del seu funcionament i el seu codi.

El funcionament del Sistema de Recollida de Dades, com es pot veure en aquest diagrama de flux, no és gens complicat.

A la primera part del programa, el *setup*, s'inicia la llibreria Wire (necessària per a la comunicació amb el baròmetre), s'inicien les comunicacions amb els sensors digitals i amb el mòdul de targetes SD, i com és evident, es fan tot una sèrie d'accions menors per a poder començar a fer funcionar el programa que no es mostren al diagrama però que es poden veure en el codi més endavant. A la segona part del programa, el *loop*, la feina és encara més simple. Només cal desar a la targeta SD les dades que es van prenent dels sensors, dades que es prenen cada 5 segons.

A continuació es mostra el codi del sistema, comentat, on es poden veure aquests detalls i conèixer amb molta més profunditat el funcionament del sistema.

```
#include <Wire.h> //Llibreria necessària pel baròmetre MS5611
#include "DHT.h" //Llibreria pròpia del sensor d'humitat DHT22
#include <SD.h> //Llibreria per a escriure dades en una targeta SD.
DHT dht(4, DHT22); //Pin digital del sensor DHT22.
byte MSADDR = 0x77; //Adressa del sensor MS5611.
unsigned int C[8]; //Vector per als valors de calibració del sensor MS5611.
unsigned long D1,D2; //Variables D1 i D2 per als càlculs de pressió i temperatura del sensor MS5611.
//File sdfile; //Creem una variable del tipus "File" per al fitxer de la targeta SD.
unsigned int iteration = 0; //Variable per a emmagatzemar el nombre d'iteracions del bucle principal.
byte debug = 0; //Variable que controla l'enviament de dades útils per al debug del programa.

void setup(){
 Serial.begin(9600);
 if(debug) Serial.println("Inicialitzant programa.");
 analogReference(INTERNAL); //Referència de la caiguda de tensió (màxima precissió per al sensor TMP36).
 Wire.begin(); //Iniciem la llibreria Wire.
 dht.begin(); //Iniciem el baròmetre DHT22.
 ms5611_init(MSADDR); //Iniciem el sensor de pressió atm. MS5611.
 pinMode(10, OUTPUT); //Establim el pin 10 (connectat al pin CS del mòdul SD) com a sortida.
 if(!SD.begin(10)){ //Iniciem la comunicació SPI amb el mòdul SD (pin CS).
  if(debug) Serial.println("No ha estat possible comunicar-se amb el modul SD.");
 }
 if(debug) Serial.println("Programa inicialitzat.");
}

void loop(){
 while(true) //BUCLE PRINCIPAL DEL PROGRAMA
 {
 if(debug) Serial.print("Iteracio "); Serial.print(iteration); Serial.print(": ");
 //Prenem dades i les emmagatzemem dins una targeta SD
 File sdfile = SD.open("srddata.xml", FILE_WRITE);
```

Codi 1: Codi del Sistema de Recollida de Dades (part I).

```
 //Prenem dades i les emmagatzemem dins una targeta SD
 File sdfile = SD.open("srddata.xml", FILE_WRITE);
 if(sdfile){
 sdfile.print("<measure num=\""); sdfile.print(iteration); sdfile.println("\">");
 sdfile.print("<internal_temp>"); sdfile.print(tmp36(0)); sdfile.println("</internal_temp>");
 sdfile.print("<external_temp1>"); sdfile.print(dht22(1)); sdfile.println("</external_temp1>");
 sdfile.print("<external_temp2>"); sdfile.print(ms5611_data(MSADDR,1)); sdfile.println("</external_temp2>");
 sdfile.print("<xaxis_accel>"); sdfile.print(adxl335(1)); sdfile.println("</xaxis_accel>");
 sdfile.print("<yaxis_accel>"); sdfile.print(adxl335(2)); sdfile.println("</yaxis_accel>");
 sdfile.print("<zaxis_accel>"); sdfile.print(adxl335(3)); sdfile.println("</zaxis_accel>");
 sdfile.print("<rel_humidity>"); sdfile.print(dht22(0)); sdfile.println("</rel_humidity>");
 sdfile.print("<atmos_pressure>"); sdfile.print(ms5611_data(MSADDR,0)); sdfile.println("</atmos_pressure>");
 sdfile.print("<since_start>"); sdfile.print(millis()); sdfile.println("</since_start>");
 sdfile.println("</measure>");
 sdfile.close();
 } else {
 if(debug) Serial.print("Error en intentar obrir el fitxer. ");
 }

 if(debug) Serial.println("Fi de la iteracio.");
 iteration++; //Anem augmentant el valor de la variable segons iterem.
 delay(4982); //Esperem cinc segons (eliminant retard de 18 milisegons en presa de mesures)
 }
}

double tmp36(int pin){
 double voltatge = ((analogRead(pin)/1024.00)*3.30)*1000.00; //Obtenim la caiguda de tensió al sensor en mV.
 return (voltatge-500.00)/10.00; //Retornem el valor de la conversió d'aquest voltatge a ºC.
}

double adxl335(int pin){
 return analogRead(pin); //Es retornen les dades sense calibrar (exemple de calibració a sota)
 //if(pin==1) return map(analogRead(pin),265,404,-1000,1000)/1000.00;
 //else if(pin==2) return map(analogRead(pin),266,406,-1000,1000)/1000.00;
 //else if(pin==3) return map(analogRead(pin),281,415,-1000,1000)/1000.00;
}
```

Codi 2: Codi del Sistema de Recollida de Dades (part II).

```
double dht22(boolean mode){
 if(mode==0) return dht.readHumidity(); //Llegim l'humitat que mesura el sensor DHT22 amb la funció readHumidity.
 else if(mode==1) return dht.readTemperature(); //Llegim la temperatura que mesura el sensor amb readTemperature.
}

void ms5611_init(byte address){ //Inicia l'MS5611 i demana els valors de calibratge C1 a C7.

 Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
 Wire.write(0x1E); //Comanda de reinici.
 Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.
 delay(3); //Esperem a que el sensor es reinicii (aproximadament 2'8ms).

 for(int i=1; i<8; i++){ //Llegim els valors de calibratge C1-C7.
  Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
  Wire.write(0xA0+(i*2)); //Comanda de lectura del valor
  Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.

  Wire.requestFrom(address, (byte) 2); //Demanem 16 bits de lectura (2 bytes).
  if(!Wire.available()){
  C[i] = 0; //Si no podem llegir els bits, Cx = 0.
  } else {
  C[i] = Wire.read(); //Llegim el primer byte (primers 8 bits).
  C[i] = (C[i] * (uint16_t)256) + Wire.read(); //Fem un espai de 8 bits i afegim els 8 bits finals del valor Cx.
  }
 }
}
```

Codi 3: Codi del Sistema de Recollida de Dades (part III).

```
void ms5611_predata(byte address){ //Llegeix els valors descompensats D1 i D2.
 /* VALOR D1 */
 Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
 Wire.write(0x48); //Comanda per a la conversió del valor D1.
 Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.
 delay(9); //Donem temps per a realitzar la conversió (aproximadament 8'22ms).

 Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
 Wire.write(0x00); //Comanda de lectura ADC del valor D1.
 Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.

 Wire.requestFrom(address, (byte) 3); //Demanem 24 bits de lectura (3 bytes).
 if(!Wire.available()){
 D1 = 0; //Si no podem llegir els bits, D1 = 0;
 } else {
 D1 = Wire.read(); //Llegim el primer byte.
 D1 = (D1 * (uint32_t)256) + Wire.read(); //Fem espai pel segon byte i l'afegim.
 D1 = (D1 * (uint32_t)256) + Wire.read(); //Fem espai pel tercer byte i l'afegim.
 }

 /* VALOR D1 */
 Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
 Wire.write(0x58); //Comanda per a la conversió del valor D2.
 Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.
 delay(9); //Donem temps per a realitzar la conversió (aproximadament 8'22ms).

 Wire.beginTransmission(address); //Iniciem la comunicació amb el sensor.
 Wire.write(0x00); //Comanda de lectura ADC del valor D2.
 Wire.endTransmission(); //Finalitzem la comunicació.

 Wire.requestFrom(address, (byte) 3); //Demanem 24 bits de lectura (3 bytes).
 if(!Wire.available()){
 D2 = 0; //Si no podem llegir els bits, D2 = 0;
 } else {
 D2 = Wire.read(); //Llegim el primer byte.
 D2 = (D2 * (uint32_t)256) + Wire.read(); //Fem espai pel segon byte i l'afegim.
 D2 = (D2 * (uint32_t)256) + Wire.read(); //Fem espai pel tercer byte i l'afegim.
 }
}
```

Codi 4: Codi del Sistema de Recollida de Dades (part IV).

```
double ms5611_data(byte address, boolean mode){
  ms5611_predata(address); //Obtenim els valors D1 i D2.
 //Realitzem els semi càlculs de temperatura i pressió atmosfèrica.
 signed long long dT = D2 - C[5] * 256LL;
 signed long TEMP = 2000L + dT * (C[6] / 8388608L;
 signed long long OFF = C[2] * 65536LL + (C[4] * dT) / 128LL;
 signed long long SENS = C[1] * 32768LL + (C[3] * dT) / 256LL;
 unsigned long P = (D1 * SENS / 2097152UL - OFF) / 32768UL;

 double temperature = TEMP/100.; //Temperatura final en ºC.
 double pressure = P/100.; //Pressió atmosfèrica final en milibars.

 //Càlculs per obtenir una precissió superior.
 unsigned long long T2 = 0;
 unsigned long long OFF2 = 0;
 unsigned long long SENS2 = 0;

 if(temperature>=20){
 //Si la temperatura és major o igual a 20ºC, no fem res
 } else if(temperature<20){ //Si la temperatura és menor a 20ºC, recalculem les variables T2, OFF2 i SENS2.
 unsigned long long T2 = (dT*dT)/2147483648LL;
 unsigned long long OFF2 = 5 * ((TEMP-2000)*(TEMP-2000)) / 2;
 unsigned long long SENS2 = 5 * ((TEMP-2000)*(TEMP-2000)) / 4;
 }

 if(temperature<=15){ //Si la temperatura és més petita o igual a 15ºC, recalculem OFF2 i SENS2.
 unsigned long long OFF2 = OFF2 + 7 * ((TEMP+1500)*(TEMP+1500));
 unsigned long long SENS2 = SENS2 + 11 * ((TEMP+1500)*(TEMP+1500))/ 2;
 }

 TEMP = TEMP - T2; //Recalculem la T' per a obtenir una màxima precissió.
 OFF = OFF - OFF2; //Recalculem OFF per a obtenir una màxima precissió.
 SENS = SENS - SENS2; //Recalculem SENS per a obtenir una màxima precissió.
 P = (D1 * SENS / 2097152UL - OFF) / 32768UL; //Recalculem la pressió per a obtenir una màxima precissió.

 temperature = TEMP/100.; //Tempentura final en ºC.
 pressure = P/100.; //Pressió atmosfèrica final en milibars.
 if(mode==0) return pressure; //Mode0: retornem la dada de pressió en mbars.
 if(mode==1) return temperature; //Mode 1: retornem la dada de temperatura.
}
```

Codi 5: Codi del Sistema de Recollida de Dades (part V).

Com es pot veure en el codi, que és força feixuc i llarg, per a l'higròmetre AM2302 es va fer ús d'una llibreria disponible a Internet, mentre que per al baròmetre MS5611 es va desenvolupar tot codi de comunicació amb el sensor des de zero, treballant amb el protocol de comunicació SPI.

Es pot veure que per al baròmetre hi ha tres funcions: ms5611_init, ms5611_predata i ms5611_data. La primera de les tres es crida al setup del programa i s'encarrega d'enviar una comanda de reinici al sensor i de demanar-li set valors de calibratge que més endavant s'utilitzaran per a calcular pressió i temperatura. ms5611_predata demana al sensor els valors descompensats D1 i D2, que juntament amb els valors de calibratge són essencials a l'hora d'obtenir les dades anteriorment mencionades. L'última funció de les tres, ms5611_data, s'encarrega d'obtenir les dades de pressió atmosfèrica i temperatura del sensor i de retornar-les, utilitzant els valors de calibratge i els valors descompensats.

En incorporar l'higròmetre i el baròmetre un sensor de temperatura interior, les funcions d'aquests sensors es van haver d'adaptar per a ser capaces de retornar dues dades diferents. Així, aquestes funcions contenen un paràmetre anomenat mode. Depenent del mode que arriba a la funció (pot ser el 0 o l'1), aquesta retorna el valor mesurat pel sensor (humitat relativa o pressió atmosfèrica) o la temperatura.

Sistema de Telemetria en Viu (STV)

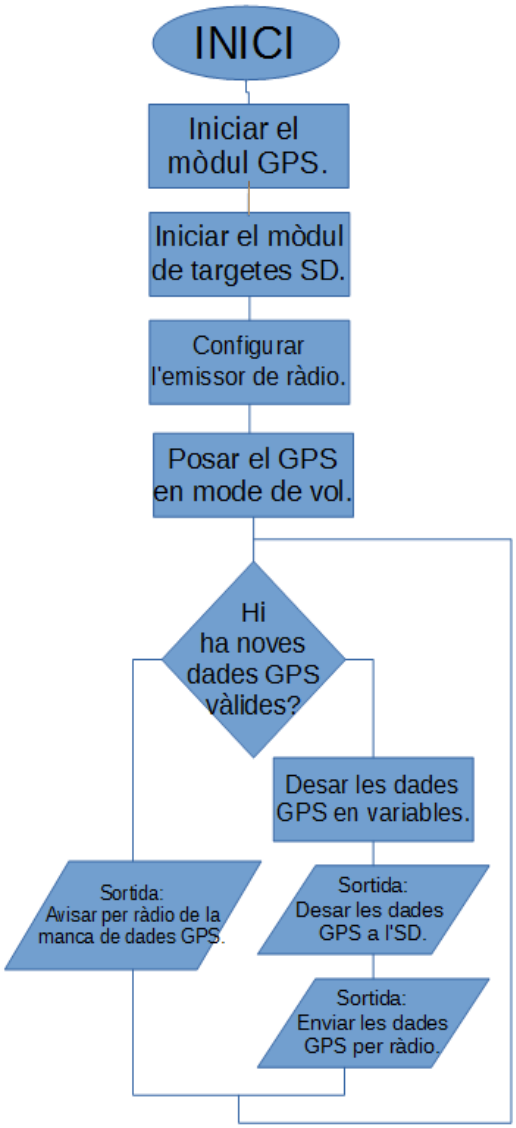


Figura 25: Diagrama de flux del Sistema de Telemetria en Viu.

El funcionament del Sistema de Telemetria en Viu no és molt complex.

Al *setup del programa* s'inicia una comunicació de tipus serial (a 9600 bauds) amb el dispositiu GPS; s'inicia el mòdul SD; es configura l'emissor de ràdio ajustant la freqüència d'emissió i per últim es posa el dispositiu GPS en mode de vol enviant-li una comanda,

Al *loop, es* comprova de manera constant si hi ha noves dades de posició GPS. Si es dóna el cas que no n'hi ha, s'envia un missatge per ràdio que ho fa notar. Si hi ha noves dades GPS, aquestes es desen en les seves respectives variables, seguidament es desen a la targeta SD del sistema, i finalment s'envien per ràdio.

A continuació es mostra el codi del sistema comentat, on es veu amb detall el funcionament del mateix.

```
#define RADIOPIN 10
#define SDCSPIN 4
#include <string.h>
#include <util/crc16.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <SD.h>
TinyGPS gps;
char datastring[80]; //Variable que conté el missatge a enviar per ràdio.
unsigned int iteration = 0; //Variable per a emmagatzemar el nombre d'iteracions del bucle principal.
unsigned int sdsuccess = 0; //Variable que s'alterna entre 0 i 1 i indica si el mòdul GPS està funcionant.

void setup() {
 Serial.begin(9600); //Iniciem una comunicació Serial amb el dispositiu GPS.
 pinMode(SDCSPIN, OUTPUT); //Establim el pin CS del mòdul SD com a sortida.
 SD.begin(SDCSPIN); //Iniciem el mòdul SD.
 pinMode(RADIOPIN,OUTPUT); //Establim el pin del mòdul de ràdio com a una sortida.
 setPwmFrequency(RADIOPIN, 1); //Configurem el mòdul de ràdio a la freqüència per defecte.

 byte setNav[] = {
   0xB5, 0x62, 0x06, 0x24, 0x24, 0x00, 0xFF, 0xFF, 0x06, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x10, 0x27, 0x00, 0x00,
   0x05, 0x00, 0xFA, 0x00, 0xFA, 0x00, 0x64, 0x00, 0x2C, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
   0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x16, 0xDC }; //Comanda perquè el GPS entri en mode de vol.
 enviarUBX(setNav,sizeof(setNav)/sizeof(byte));
}

void loop() {
 bool newData = false; //Hi ha noves dades del dispositiu GPS? De moment no.

 //Codi que comprova que hi hagi noves dades GPS:
 for(unsigned long start = millis(); millis() - start < 1000;)
 {
   while(Serial.available()) //Mentre hi hagi una entrada de dades.
   {
     char c = Serial.read();
     if(gps.encode(c)) //Es tracta de dades GPS vàlides?
       newData = true; //Sí. Han arribat noves dades GPS.
   }
 }
```

Codi 6: Codi del Sistema de Telemetria en Viu (part I).

```
if(newData==true){ //Hi ha noves dades GPS.
  float flat, flon; //Variables per la latitud i la longitud, decimals.
  unsigned long age;
  gps.f_get_position(&flat, &flon, &age); //Obtenim les coord.. GPS i les desem a les corresponents variables.
  char latitud[10];
  char longitud[9];
  dtostrf(flat,9,6,latitud); //al format text.
  dtostrf(flon,8,6,longitud); //al format text.
  int altitud = gps.f_altitude(); //Agafem el valor enter de l'altura en m.
  float velocidad = gps.f_speed_kmph(); //Agafem el valor decimal de la velocitat en km/h.
  double direccion = gps.f_course(); //Agafem el valor en graus la direcció del globus.
  int satelites = gps.satellites(); //Agafem el número de satèl·lits disponibles.
  int prec = gps.hdop(); //Agafem el valor enter de la precisió (HDOP, dil·lució horitzontal).

  File sdfile = SD.open("stvdata.xml", FILE_WRITE);
  if(sdfile){
   sdsuccess=1;
   sdfile.print("<measure num=\""); sdfile.print(iteration); sdfile.println("\">");
   sdfile.print("<coord_lat>"); sdfile.print(latitud); sdfile.println("</coord_lat>");
   sdfile.print("<coord_lon>"); sdfile.print(longitud); sdfile.println("</coord_lon>");
   sdfile.print("<altitude>"); sdfile.print(altitud); sdfile.println("</altitude>");
   sdfile.print("<velocity>"); sdfile.print(velocidad); sdfile.println("</velocity>");
   sdfile.print("<course>"); sdfile.print(direccion); sdfile.println("</course>");
   sdfile.print("<satellites>"); sdfile.print(satelites); sdfile.println("</satellites>");
   sdfile.print("<prec_hdop>"); sdfile.print(prec); sdfile.println("</prec_hdop>");
   sdfile.print("<gps_age>"); sdfile.print(age); sdfile.println("</gps_age>");
   sdfile.print("<since_start>"); sdfile.print(millis()); sdfile.println("</since_start>");
   sdfile.println("</measure>");
   sdfile.close();
   }else{
    sdsuccess=0;
   }
  snprintf(datastring,80,"$$NEPHOS,%d,%s,%s,%s,%d,%d,%d,%d,%d,
%d",iteration,"00:00:00",latitud,longitud,altitud,0,0,0,prec,sdsuccess); //Generem la trama de telemetria a retransmetre.
 } else { //No hi ha noves dades GPS.
  snprintf(datastring,80,"$$NEPHOS,NODATA"); //Generem la trama de telemetria a retransmetre.
 }
```

Codi 7: Codi del Sistema de Telemetria en Viu (part II).

```
 unsigned int CHECKSUM = gps_CRC16_checksum(datastring); //Calculem la checksum de la trama de telemetria a enviar.
 char checksum_str[6];
 sprintf( checksum_str, "*%04X\n", CHECKSUM);
 strcat(datastring,checksum_str); //Afegim la checksum a la trama de telemetria.
 rtty_txstring(datastring); //Enviem la trama.
 iteration++;
}

//FUNCIÓ DEL MÒDUL GPS
//Envia una comanda (array de bytes) al mòdul GPS Ublox-NEO7M.
void enviarUBX(byte * CMD, byte len){
 for(int i=0; i<len; i++){
   Serial.write(CMD[i]);
 }
}

//FUNCIONS DE L'EMISSOR DE RÀDIO
//Rep un string i passa cada char de l'string, un a un, a la funció rtty_txbyte.
void rtty_txstring(char * string){
char c;
c = *string++;
  while(c != '\0') {
  rtty_txbyte(c);
  c = *string++;
  }
}

//Rep un char (byte) i passa cada bit del char, un a un, a la funció rtty_txbit.
void rtty_txbyte(char c){
rtty_txbit(0);
for(int i=0;i<7;i++){
 if(c & 1) rtty_txbit(1);
 else rtty_txbit(0);
 c = c >> 1;
}
rtty_txbit(1);
rtty_txbit(1);
}
```

Codi 8: Codi del Sistema de Telemetria en Viu (part III).

```
//Emet bit a bit a través de l'emissor, a una velocitat de transmissió de 45 bauds, és a dir, 1 bit/22222
//microsegons.
void rtty_txbit(int bit){
 if(bit){
 analogWrite(RADIOPIN,110);
 } else {
 analogWrite(RADIOPIN,100);
 }
 delayMicroseconds(10000); //45 bauds.
 delayMicroseconds(12222);
}

//Genera la checksum CRC d'una trama de telemetria.
uint16_t gps_CRC16_checksum(char *string){
 size_t i;
 uint16_t crc;
 uint8_t c;
 crc = 0xFFFF;

 for(i = 2; i < strlen(string); i++){
 c = string[i];
 crc = _crc_xmodem_update (crc, c);
 }

 return crc;
}

//Configura la freqüència de l'emissor
void setPwmFrequency(int pin, int divisor) {
byte mode;
 if(pin == 5 || pin == 6 || pin == 9 || pin == 10) {
 switch(divisor) {
 case 1:
 mode = 0x01;
 break;
 case 8:
 mode = 0x02;
 break;
```

Codi 9: Codi del Sistema de Telemetria en Viu (part IV).

```
case 64:
mode = 0x03;
break;
case 256:
mode = 0x04;
break;
case 1024:
mode = 0x05;
break;
default:
return;
}
if(pin == 5 || pin == 6) {
TCCR0B = TCCR0B & 0b11111000 | mode;
}
else {
TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | mode;
}
}
else if(pin == 3 || pin == 11) {
switch(divisor) {
case 1:
mode = 0x01;
break;
case 8:
mode = 0x02;
break;
case 32:
mode = 0x03;
break;
case 64:
mode = 0x04;
break;
case 128:
mode = 0x05;
break;
case 256:
mode = 0x06;
break;
case 1024:
mode = 0x7;
break;
default:
return;
}
TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | mode;
}
}
```

Codi 10: Codi del Sistema de Telemetria en Viu (part V).

Amb aquest codi, també feixuc i llarg com el de l'SRD, es pot veure molt millor el funcionament del sistema, ja introduït anteriorment amb el diagrama de flux. Convé comentar ara, ja que no s'ha fet abans, que l'STV utilitza el sistema RRTY o radioteletip per a transmetre la telemetria, i ho fa, com està comentat al codi, a una velocitat d'emissió de 45 bauds. Aquesta és una velocitat molt petita. Per fer-se una idea, equival a transmetre un caràcter cada 0,16 segons. Aquesta velocitat reduïda no representa un gran problema quan la quantitat de caràcters a transmetre és baixa, i és útil, per a comunicacions a molt llarga distància.

Com es pot veure també al codi, el programa envia amb tota la seva telemetria amb una checksum o una suma de verificació final. Les sumes de verificació són molt utilitzades en les telecomunicacions, ja que prenen un valor únic per a una certa cadena de telemetria enviada, i a partir d'aquestes es pot, per tant, comprovar la integritat de la trama de telemetria, sabent si conté alguna incoherència.

El fet que s'utilitzi el format

$$NEPHOS,latitud,longitud,altura,0,0,0,precisió,sdsuccess

a les trames de telemetria és degut al fet que el software de descodificació utilitzat per al sistema de recepció (anomenat dl-fldigi) utilitza aquest format per mostrar les dades a la pantalla de l'ordinador organitzades d'una manera molt més còmoda. Aquest programa també utilitza la suma de verificació per comprovar si la trama de telemetria té algun error o és íntegra.

L'única funció del GPS, la funció enviarUBX(), s'encarrega d'enviar una comanda, expressada en una matriu de bytes, al mòdul GPS. Les següents funcions són totes del mòdul de ràdio. rtty_txstring() s'encarrega de rebre cadenes de caràcters (strings) de telemetria, fragmentar-les en caràcters (1 caràcter equival a un byte) i enviar cada caràcter, un per un, a la funció rtty_txbyte(). Aquesta funció rep un caràcter (byte) i el fragmenta en bits, que envia un per un a la funció rtty_txbit(). Aquesta última funció és clau en

l'emissió. Per cada bit que rep fa variar lleugerament el voltatge de l'emissor, que varia la seva emissió, transmetent dades, en el nostre cas, cadenes de telemetria.

Altres funcions de l'emissor de ràdio són uint16_t gps_CRC16_checksum(), que calcula la suma de verificació anteriorment comentada i setPwmFrequency(), que es crida al setup del programa i que configura el mòdul de ràdio ajustant la seva freqüència d'emissió.

Ràdio balisa

De la ràdio balisa no es presenta cap diagrama de flux perquè en estar programada per Android, un entorn on els programes no s'executen de manera lineal, de dalt a baix. Contràriament, Android treballa amb esdeveniments i *event listeners.* En registrar un *event listener,* quan es produeixi un cert esdeveniment es cridarà automàticament un mètode que hom pot preparar perquè llegeixi les característiques de l'esdeveniment i faci quelcom específic.

Així, a la ràdio balisa es van registrar dos *event listeners*: un per a registrar canvis en la posició i un altre per a registrar canvis en els sensors d'acceleració i de temperatura del mòbil. Cada vegada que la posició de l'objecte canviava o hi havia alguna mena de canvi a nivell sensorial al mòbil, es disparaven aquests *listeners* i cridava al mètode encarregat d'actuar.

Quan la posició del mòbil canvia es crida el mètode *onLocationListener*. Aquest mètode s'ha programat perquè quan sigui cridat es desin les dades GPS en variables, es desin les dades de la bateria del mòbil en variables, es comprovi si el mòbil ha d'estar o no en mode avió (si l'altura supera els 5000 metres i el mòbil no està en mode avió s'hi posa, i si l'altura és menor a 5000 metres i el mòbil està en mode avió aquest es treu), es comprovi si és necessari enviar un missatge SMS (si l'altura és major a 2500 m no és necessari) i si ho és que s'enviï, i finalment, es desin les dades de posició i bateria del mòbil a la memòria interna del mateix.

Quan hi ha una variació en les mesures d'acceleració i temperatura que pren el mòbil es crida el mètode *onSensorChanged*. Aquest mètode s'ha programat perquè desi les dades d'acceleració i temperatura cada cop que canvien a la memòria interna del mòbil.

A continuació es mostra el codi de la ràdio balisa, complet i comentat. Abans d'introduir-lo cal explicar que està dividit en dos arxius: *MainActivity.java* i *AppService.java*. *MainActivity.java* és l'arxiu principal de l'aplicació, que carrega quan aquesta s'obre, i que és on s'escriu el codi per a interactuar amb l'usuari.

En el cas de la ràdio balisa, com és una aplicació que no necessita una interfície gràfica però que necessita córrer en un segon pla ininterrompudament, *MainActivity.java* s'utilitza només per a crear un servei, el servei *AppService.java*, que és on realment trobem el codi de la ràdio balisa.

```
package com.example.radiobaliza;

import java.io.File;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.OutputStreamWriter;

import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.app.Activity;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.location.Location;
import android.location.LocationManager;
import android.location.LocationListener;
import android.os.Bundle;
import android.os.PowerManager;
import android.os.PowerManager.WakeLock;
import android.telephony.SmsManager;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;

public class MainActivity extends Activity {
	TextView estado;

	protected void onCreate(Bundle savedInstanceState){

		super.onCreate(savedInstanceState);
		setContentView(R.layout.activity_main);
		estado = (TextView) findViewById(R.id.estado);
		startService(new Intent(this, AppService.class));
		estado.setText("Aplicación iniciada.");

	}
}
```

Codi 11: Codi de la ràdio balisa Android - MainActivity.java.

```
package com.example.radiobaliza;

import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.FileReader;
import java.io.OutputStreamWriter;

import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.app.Service;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.content.IntentFilter;
import android.location.Location;
import android.location.LocationManager;
import android.location.LocationListener;
import android.os.BatteryManager;
import android.os.Bundle;
import android.os.IBinder;
import android.os.PowerManager;
import android.os.PowerManager.WakeLock;
import android.provider.Settings;
import android.telephony.SmsManager;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;

public class AppService extends Service implements LocationListener, SensorEventListener {
	TextView estado;
	PowerManager powerManager;
	WakeLock wakeLock;
	LocationManager locationManager;
	Location location;
	SensorManager sensorManager;
	Sensor acelerometro,termometro;

	int medida=0,medida2=0,medida3=0;
	boolean smsneeded=true;
```

Codi 12: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part I).

```
public int onStartCommand(Intent intent, int flags, int startId){
	//Activamos el WakeLock para que la aplicación no se pare cuando se apage la pantalla.
	powerManager = (PowerManager) getSystemService(POWER_SERVICE);
	wakeLock=powerManager.newWakeLock(PowerManager.PARTIAL_WAKE_LOCK,"RadiobalizaWLOCK");
	wakeLock.acquire();

	//Registramos el listener del GPS y obtenemos las últimas coordenadas guardadas (si las hay).
	locationManager = (LocationManager) getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE);
	location = locationManager.getLastKnownLocation(LocationManager.GPS_PROVIDER);
	locationManager.requestLocationUpdates(LocationManager.GPS_PROVIDER, 30000, 1, this);

	if(location!=null){
		smsneeded=false;
		onLocationChanged(location);
	}

	//Iniciamos el SensorManager.
	sensorManager = (SensorManager) getSystemService(Context.SENSOR_SERVICE);

	//Registramos el listener del acelerómetro.
	acelerometro = sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
	sensorManager.registerListener(this, acelerometro, SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);

	//Registramos el listener del termómetro.
	termometro = sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_TEMPERATURE);
	sensorManager.registerListener(this, termometro, SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);

return Service.START_NOT_STICKY;
}

@Override
public IBinder onBind(Intent intent) {
	// TODO Auto-generated method stub
	return null;
}
```

Codi 13: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part II).

```
////////////////////////////////////
/// INICIO METODOS CONTROL GPS ///
////////////////////////////////////

@Override
public void onLocationChanged(Location location) {
        // TODO Auto-generated method stub
        medida++;
        long unixsecs = System.currentTimeMillis() / 1000L;

        double latitud = location.getLatitude();
        double longitud = location.getLongitude();
        double altitud = location.getAltitude();
        double velocidad = location.getSpeed();
        double direccion = location.getBearing();
        double precision = location.getAccuracy();
        long gpsut = location.getTime() / 1000L;

        IntentFilter ifilter = new IntentFilter(Intent.ACTION_BATTERY_CHANGED);
        Intent batteryStatus = registerReceiver(null, ifilter);
        int nivel = batteryStatus.getIntExtra(BatteryManager.EXTRA_LEVEL, -1);
        int escala = batteryStatus.getIntExtra(BatteryManager.EXTRA_SCALE, -1);
        int voltaje = batteryStatus.getIntExtra(BatteryManager.EXTRA_VOLTAGE, -1);
        int tempera = batteryStatus.getIntExtra(BatteryManager.EXTRA_TEMPERATURE, -1);
        float porcentaje = nivel / (float) escala;

        int modoavion = Settings.System.getInt(getContentResolver(), Settings.System.AIRPLANE_MODE_ON, 0);

        if(altitud>=5000 && modoavion==0){
        Settings.System.putInt(getContentResolver(), Settings.System.AIRPLANE_MODE_ON, 1);
        Intent intent = new Intent(Intent.ACTION_AIRPLANE_MODE_CHANGED);
        intent.putExtra("state", true);
        sendBroadcast(intent);
        }

        if(altitud<5000 && modoavion==1){
        Settings.System.putInt(getContentResolver(), Settings.System.AIRPLANE_MODE_ON, 0);
        Intent intent = new Intent(Intent.ACTION_AIRPLANE_MODE_CHANGED);
        intent.putExtra("state", false);
        sendBroadcast(intent);
        }
```

Codi 14: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part III).

```
String numtelf;
try{
    File archivosms = new File("/mnt/sdcard/smsnum.txt");
    if(archivosms.exists()){
        FileReader filereader = new FileReader(archivosms);
      BufferedReader bufferedreader = new BufferedReader(filereader);
      numtelf = bufferedreader.readLine();
      bufferedreader.close();
      filereader.close();
    } else {
        numtelf = "652406448";
    }

  } catch(Exception e){
        Toast.makeText(getApplicationContext(), "¡Excepción!: "+e, Toast.LENGTH_LONG).show();
        numtelf = "652406448";
  }

if(altitud>=2500) smsneeded=false;
if(smsneeded){
        SmsManager smsManager = SmsManager.getDefault();
        smsManager.sendTextMessage(numtelf, null, "LA: "+latitud+"\nLO: "+longitud+"\nA: "+altitud+
        "\nV: "+velocidad+"\nD: "+direccion+"\nP: "+precision+"\nT:"+gpsut, null, null);
}
smsneeded=true;

try{
boolean filexists=true;
File archivo = new File("/mnt/sdcard/radiobal.xml");

if(!archivo.exists()){
        filexists=false;
        archivo.createNewFile();
}

FileOutputStream fileout = new FileOutputStream(archivo,true);
OutputStreamWriter writer = new OutputStreamWriter(fileout);

if(!filexists){
        writer.append("<?xml version=\"1.0\"?>");
        writer.append("<medidas>");
}
```

Codi 15: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part IV).

```
                    writer.append("<medida num=\""+medida+"\">");
                    writer.append("<latitud>"+latitud+"</latitud>");
                    writer.append("<longitud>"+longitud+"</longitud>");
                    writer.append("<altitud>"+altitud+"</altitud>");
                    writer.append("<velocidad>"+velocidad+"</velocidad>");
                    writer.append("<direccion>"+direccion+"</direccion>");
                    writer.append("<precision>"+precision+"</precision>");
                    writer.append("<gpsut>"+gpsut+"</gpsut>");
                    writer.append("<porbat>"+porcentaje+"</porbat>");
                    writer.append("<volbat>"+voltaje+"</volbat>");
                    writer.append("<tembat>"+tempera+"</tembat>");
                    writer.append("<unixt>"+unixsecs+"</unixt>");
                    writer.append("</medida>");
                    writer.close();
                    fileout.close();

            } catch(Exception e){
                    Toast.makeText(getApplicationContext(), "¡Excepción!: "+e, Toast.LENGTH_LONG).show();
            }
    }

    @Override
    public void onStatusChanged(String provider, int status, Bundle extras) {
            // TODO Auto-generated method stub
    }

    @Override
    public void onProviderEnabled(String provider) {
            // TODO Auto-generated method stub
    }

    @Override
    public void onProviderDisabled(String provider) {
            // TODO Auto-generated method stub
    }
```

Codi 16: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part V).

```
////////////////////////////////////
/// INICIO METODOS CONTROL SEN ///
////////////////////////////////////

@Override
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
        // TODO Auto-generated method stub
   Sensor elsensor = event.sensor;
   long unixsecs = System.currentTimeMillis() / 1000L;

   if (elsensor.getType() == Sensor.TYPE_ACCELEROMETER) {
      medida2++;
      float ejex = event.values[0];
      float ejey = event.values[1];
      float ejez = event.values[2];

                  try{
                        boolean file2exists=true;
                         File archivo2 = new File("/mnt/sdcard/nephos_acel.xml");

                          if(!archivo2.exists()){
                                file2exists=false;
                                archivo2.createNewFile();
                          }

                        FileOutputStream file2out = new FileOutputStream(archivo2,true);
                        OutputStreamWriter writer2 = new OutputStreamWriter(file2out);

                        if(!file2exists){
                                writer2.append("<?xml version=\"1.0\"?>");
                                writer2.append("<medidas>");
                        }

                        writer2.append("<medida num=\""+medida2+"\">");
                        writer2.append("<ejex>"+ejex+"</latitud>");
                         writer2.append("<ejey>"+ejey+"</longitud>");
                        writer2.append("<ejez>"+ejez+"</altitud>");
                         writer2.append("<unixt>"+unixsecs+"</unixt>");
                        writer2.append("</medida>");
                        writer2.close();
                         file2out.close();

                        } catch(Exception e){
                        Toast.makeText(getApplicationContext(), "¡Excepción!: "+e, Toast.LENGTH_LONG).show();
                        }
   }
```

Codi 17: Codi de la ràdio balisa Android - AppService.java (part VI).

Una de les coses interessants a comentar del codi és l'ús de *WakeLock*. Quan la pantalla d'un mòbil s'apaga, la majoria d'aplicacions s'aturen per tal de minimitzar el consum energètic del dispositiu. Utilitzant *WakeLock* s'evita que succeeixi això, ja que un cop s'apagui la pantalla de l'*smartphone*, l'aplicació continuarà funcionant. En el codi també es pot veure com per sobre dels 5000 metres l'aplicació posa el mòbil en mode avió. Això ho fa per tal d'estalviar energia al màxim i allargar la duració per tant de la bateria de mòbil.

Càmeres

Càmera de fotos

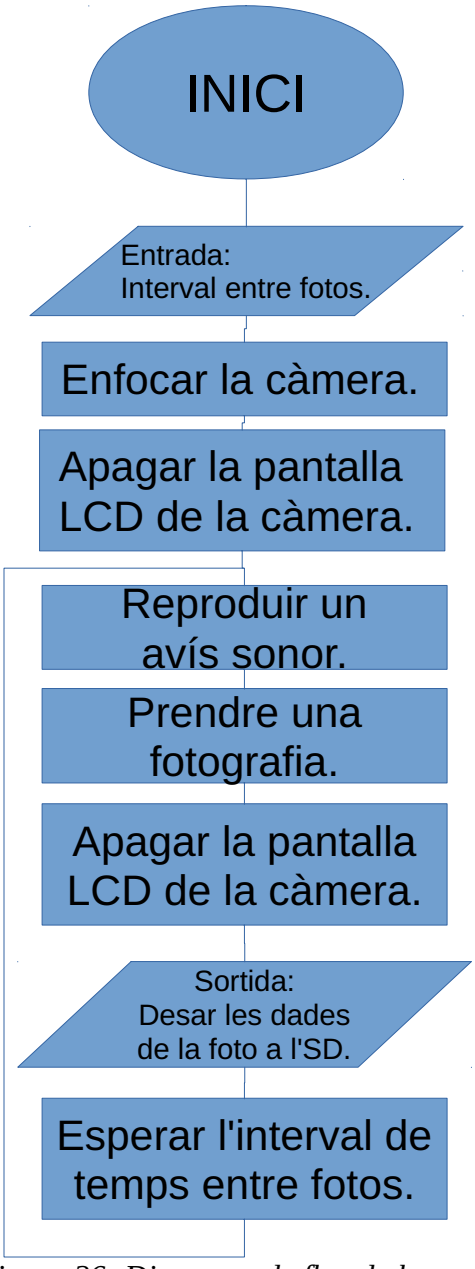


Figura 26: Diagrama de flux de la càmera de fotos.

Com es pot veure en el diagrama de flux, el funcionament del programa que controla la càmera de fotos és extremadament senzill. CHDK permet que l'usuari d'una càmera pugui establir el valor d'un paràmetre (o més) amb el(s) que un programa pot treballar abans d'executar-lo. En el cas de l'*script* que controla la càmera de fotos, el paràmetre que interessa rebre de l'usuari és l'interval en segons entre fotos.

La càmera només s'enfoca una vegada (en ser iniciat l'*script*). Seria convenient enfocar-la abans de cada fotografia, però força vegades és innecessari i sempre suposa una despesa molt gran d'energia.

És essencial que la càmera consumeixi el mínim perquè duri la màxima quantitat de temps. Per això s'apaga la pantalla LCD de la càmera només d'iniciar-se.

Una vegada fet això, la càmera entra en un bucle sense sortida en el qual reprodueix un avís sonor, pren una fotografia, torna a apagar la pantalla LCD de la càmera (les LCD de les Canon

s'encenen cada vegada que es pren una fotografia) i desa les dades de la fotografia a la targeta SD. Al final d'aquest bucle és quan pren sentit el paràmetre de l'usuari: l'interval a esperar entre una foto i una altra. Cal esperar aquest interval de temps abans de seguir amb el bucle.

Heus ací el codi de la càmera de fotos comentat:

```
rem Nephotos Timelapser v1.0
rem Copyright Proyeto Nephos - All rights reserved
rem Programado por Ramón García (rgalarcia)
rem Last modification: 30/08/2014

@title Nephotos Timelapser
@param i Intervalo (s)
@default i 60


rem Enfoquem la càmera i mantenim el focus.
press "shoot_half"
sleep 800
release "shoot_half"
set_aflock 1
set_raw 1


rem Establim el recompte de fotos a cero i creem un arxiu de dades XML.
f=0
print_screen 1234
print "<?xml version='1.0?>"
print "<data>"

rem Apagem la pantalla LCD de la càmera.
set_lcd_display(0)


rem Comença el bucle infinit.
while 1

        rem Fem un so, prenem una foto, augmentem el recompte i apagem l'LCD.
        playsound 4
        shoot
        f=f+1
        set_lcd_display(0)


        rem Desem les dades de la imatge a la targeta SD de la càmera.
        print "<photo num='";f;"'>"
        print "<time>";get_time 2;":";get_time 1;":"get_time 0;"</time>"
        print "<startsec>";get_tick_count/1000;"</startsec>"
        print "<opt_temp>";get_temperature 0;"</opt_temp>"
        print "<ccd_temp>";get_temperature 1;"</ccd_temp>"
        print "<bat_temp>";get_temperature 2;"</bat_temp>"
        print "<bat_mvolts>";get_vbatt;"</bat_mvolts>"
        print "<disk_fsp>";get_free_disk_space;"</disk_fsp>"
        print "<rawph_sp>";get_raw_count;"</rawph_sp>"
        print "</photo>"


        rem Aturem l'execució del bucle l'interval definit.
        sleep i*1000
wend
return
```

Codi 18: Codi de la càmera de fotos de la missió.

Càmera de vídeos

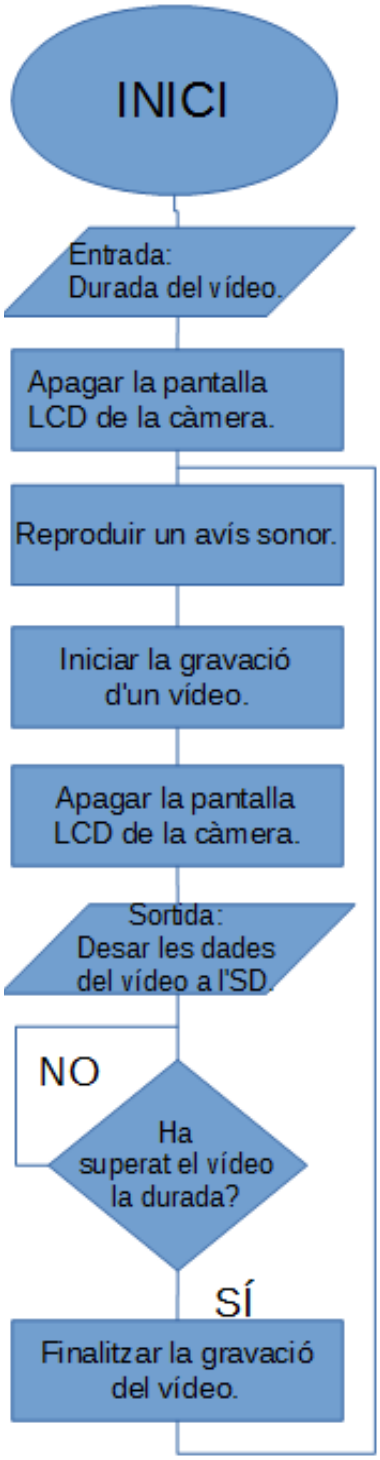


Figura 27: Diagrama de flux de la càmera de vídeos.

Tot i que ha estat modificat per a fer la seva lectura i comprensió més fàcil i la manca de petits detalls fan que no representi amb exactitud el codi de la càmera de vídeos, aquest diagrama de flux dóna una idea molt bona de com funciona la mateixa i és una molt bona manera d'aproximar-se al codi abans de llegir-lo directament.

A partir del diagrama de flux veiem com, de nou, es fa ús d'una característica de CHDK que permet a l'usuari definir un paràmetre que més endavant serà utilitzat pel programa durant la seva execució. En el nostre cas ens interessa definir com a paràmetre la duració del vídeo, ja que el programa ha d'enregistrar vídeos de manera continuada, i només ha d'assegurar-se d'enregistrar vídeos d'una mida determinada.

De nou, el programa es centra en estalviar energia i per tant intenta mantenir la pantalla LCD de la càmera apagada el màxim de temps possible. Abans de cada gravació es reprodueix un so d'avís i en el moment d'iniciar una gravació es desen dades clau de la càmera (espai disponible en memòria, temperatura interna, voltatge de les piles/bateria, etc...) a la targeta SD.

A les dues pàgines següents es pot trobar el codi de la càmera de vídeos (dividit en dues parts) comentat.

```
rem Nephos Video Recorder v1.0
rem Copyright Proyeto Nephos - All rights reserved
rem Programado por Ramón García (rgalarcia)
rem Last modification: 30/08/2014

@title Nephos Video Recorder
@param i Duracion (m)
@default i 15

rem Establim el recompte de vídeos a cero i creem un arxiu de dades XML.
v=0
print_screen 1234
print "<?xml version='1.0'?>"
print "<data>"
rem Apaguem la pantalla LCD de la càmera.
set_lcd_display(0)

rem Comença el bucle infinit.
while 1
        rem Fem un so, començem a enregistrar un vídeo, augmentem el recompte i apagem l'LCD.
        playsound 4
        click "shoot_full"
        s=get_tick_count
        v=v+1
        set_lcd_display(0)

        rem Desem les dades del vídeo a la SD de la càmera.
        print "<video num='";v;"'>"
        print "<time>";get_time 2;":";get_time 1;":"get_time 0;"</time>"
        print "<startsec>";get_tick_count/1000;"</startsec>"
        print "<opt_temp>";get_temperature 0;"</opt_temp>"
        print "<ccd_temp>";get_temperature 1;"</ccd_temp>"
        print "<bat_temp>";get_temperature 2;"</bat_temp>"
        print "<bat_mvolts>";get_vbatt;"</bat_mvolts>"
        print "<disk_fsp>";get_free_disk_space;"</disk_fsp>"
        print "</video>"
```

Codi 19: Codi de la càmera de vídeos (part I).

```
        rem Esperem fins que el vídeo no hagi superat el límit de temps
        do
        sleep 500
        until i<=((get_tick_count-s)/60000)

        rem El vídeo ha superat el límit de temps. Deixem d'enregistar-lo i esperem per poder utilitzar de nou la
càmera.
        click "shoot_full"
        do
        sleep 100
        until get_movie_status=1

wend
return
```

Codi 20: Codi de la càmera de vídeos (part II).

Sistema d'Ajuda a la Recuperació (SAR)

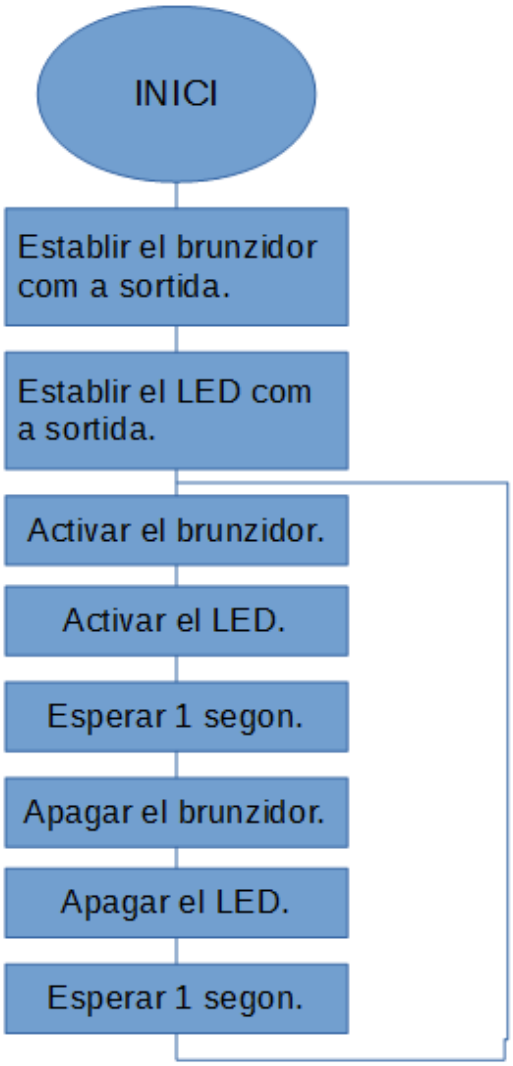


Figura 28: Diagrama de flux del Sistema d'Ajuda a la Recuperació.

El Sistema d'Ajuda a la Recuperació és un sistema molt simple que alterna cada segon l'estat d'un brunzidor i d'un LED, encenent-los i apagant-los de manera contínua, com es pot veure en el seu diagrama de flux.

A la pàgina següent s'adjunta el codi, comentat, de l'SAR. Com es pot veure és un codi molt senzill del qual hi ha poca cosa a comentar. És interessant veure que la funció *delay()*, que para l'execució del bucle principal *loop* durant n mil·lisegons està configurada per al rellotge intern del microcontrolador d'una placa Arduino, que és de 8 MHz. En estar treballant amb un microcontrolador diferent, amb un rellotge intern d'1 MHz, cal ajustar la diferència i per això es divideix el segon (1000 mil·lisegons) d'espera entre 8.

```
int zumbadores = 3; //Pin (sortida digital) del
//brunzidor.

int leds = 2; //Pin (sortida digital) del LED.


void setup() {

//Establim el brunzidor i el LED com a
sortida.

  pinMode(zumbadores, OUTPUT);

  pinMode(leds, OUTPUT);

}


void loop() {

//Activem el brunzidor i el LED.

  digitalWrite(zumbadores, HIGH);

  digitalWrite(leds, HIGH);

  delay(1000/8); //Esperem un segon.

//Apaguem el brunzidor i el LED.

  digitalWrite(zumbadores, LOW);

  digitalWrite(leds, LOW);

  delay(1000/8); //Esperem un segon.

}
```

Codi 21: Codi del Sistema d'Ajuda a la Recuperació.

CRÒNICA DEL LLANÇAMENT

Introducció

En total hi va haver dos intents seriosos de llançar el globus sonda.

El primer intent es va produir el 23 de novembre de 2014. L'equip de llançament va sortir des de Barcelona el dia 22 a la tarda, amb tot preparat, per fer nit a Lleida. El dia 23 al matí es va desplaçar des de Lleida fins a un terreny proper a Mequinenza (Zaragoza) tot esperant llançar el globus i iniciar les tasques de recuperació. Això, però, no va ser possible. Les condicions meteorològiques a Mequinenza eren molt desfavorables: les ratxes contínues de vent feien impossible inflar el globus amb seguretat. En ser ja massa tard per buscar un nou lloc des d'on llançar es va haver d'avortar l'intent de llançament per aquell cap de setmana. Malgrat ser un intent fallit, aquest va suposar una gran experiència perquè va ajudar a entendre la necessitat d'organitzar-se bé perquè tot sortís bé.

El segon intent es va produir el 6 de desembre de 2014. L'equip de llançament va sortir de Barcelona el dia 5 a la tarda, com estava previst, per fer nit a Lleida. El dia 6 al matí es va desplaçar des de Lleida fins a un terreny proper a Altorricón (Huesca). Les tasques de llançament van durar una mica més del previst però no hi va haver cap contratemps i el globus va començar a elevar-se, aproximadament, cap a tres quarts d'onze del dia 6 de desembre de 2014.

Els preparatius

Un llançament és una tasca que requereix una important preparació prèvia pel desplegament tècnic i humà que suposa. Cal assegurar-se que el dia del llançament la càpsula estigui llesta amb tots els sistemes preparats i integrats,

cal tenir totes les eines necessàries per a fer els treballs in situ d'acoblament dels elements i cal tenir molt ben organitzat l'equip humà per tal que tothom sàpiga en tot moment què ha de fer.

En el nostre cas, gràcies a haver fet un intent de llançament previ, tots els sistemes estaven llestos i integrats dins la càpsula, i per tant no es va haver de treballar gaire l'electrònica i la programació per al segon llançament, deixant de banda petits ajustos que es van fer els dies anteriors al mateix. Així, els dies previs es van centrar sobretot en preparar la llista d'elements a emportar-se, revisar el protocol per saber molt bé què fer en cada moment un cop arribats al lloc de llançament i seguir molt de prop la meteorologia fent previsions de vol constants per a saber quina trajectòria aproximada faria el vol i per on cauria la càpsula.

Treball in situ

La primera cosa que vam fer una vegada arribats al lloc previst per al llançament va reconèixer una mica el terreny i establir un punt des d'on es llançaria el globus. Vam escollir un lloc a una distància considerable de cases, cables elèctrics o de telèfon i arbres, per tal que el globus no es quedi atrapat durant els primers moments de l'ascens.

Seguidament es va estendre un plàstic de color blau que cobrís l'àrea on s'inflaria el globus, i allà s'hi va estendre el mateix juntament amb la bombona d'heli, la càpsula i les eines de treball. El primer que es va fer, amb l'ús guants de làtex per a evitar deixar greixos, va ser inflar el globus. Un cop es va haver inflat aquest i mesurat la força que exercia amb un dinamòmetre (per a calcular si el pes que pujava era l'adequat), es va passar a treballar amb la càpsula, posant en marxa tots els sistemes un per un i comprovant el seu correcte funcionament. Una vegada va estar tot encès i funcionant es va segellar la càpsula, i uns minuts després es va llançar el globus.



Figura 29: Vista del punt escollit per al llançament.



Figura 30: Vista del punt escollit per al llançament.

Llançament i recuperació

Una vegada llançat el globus és important reaccionar ràpidament. El primer que es va fer va ser córrer cap a portàtil, ja connectat al receptor de ràdio i aquest a l'antena Yagi, per tal de rebre les coordenades en directe de l'STV. Es van rebre cadenes de telemetria per ràdio fins als 6300 metres. En intentar tornar a recuperar el senyal de ràdio perduda, però, la bateria del portàtil es va esgotar i va caler marxar amb el cotxe del lloc de llançament cap a Lleida, on podríem carregar la bateria del portàtil i intentar tornar a rebre el senyal.



Figura 31: Intentant recuperar la senyal perduda de la sonda.

Quan estàvem arribant a Lleida amb el cotxe, però, tot va canviar. Es van rebre una sèrie d'SMS de la ràdio balisa Android del *Proyecto Daedalus* que indicaven que la càpsula estava tornant a descendir. La sorpresa va ser general: com podia ser que el vol hagués durat tan poc (aproximadament 40 minuts)?

En arribar a Lleida es va carregar el portàtil i es va intentar recuperar el senyal, però no va ser possible. Va caler, aleshores, combinar les dades rebudes per SMS, que eren incompletes, perquè no hi havia cap SMS amb la posició de la càpsula a terra (només del descens), per a calcular per on havia d'haver caigut.

Una vegada fet el càlcul, i veient que havia caigut a prop de l'Aeroport

d'Alguaire, es va decidir agafar del nou el cotxe i desplaçar-se cap allà. Just abans d'entrar al vehicle es va rebre un nou SMS, amb la posició de la càpsula ja a terra. La posició era molt semblant a la que s'havia calculat, i per tant no es va haver de canviar el rumb del viatge.

En arribar a prop de l'Aeroport d'Alguaire va caler desviar-se per camins no asfaltats. Després de circular per molts d'aquests camins, sense veure res que semblés ser el que es buscava, es va arribar a una zona molt propera a on havia de ser la càpsula. L'equip de llançament va baixar del cotxe amb un dispositiu GPS i va caminar els metres que quedaven fins a la càpsula.



Figura 32: Camp de matolls on es va trobar la càpsula.

La càpsula va caure en un camp ple de matolls d'aproximadament un metre d'altura, que molt segurament va esmorteir força la caiguda de la mateixa. La càpsula va ser trobada després de molt cercar entre els matolls, cap a les 14:20h. Malgrat tot, faltaven el sistema d'ancoratge, el paracaigudes i el globus, que no es van trobar a la

zona. La càpsula, en caure, havia quedat amb força desperfectes. Bona part del Sistema d'Ajuda a la Recuperació, situat a la part exterior de la càpsula (enganxat a la tapa), havia estat arrencat de la càpsula amb la caiguda. Alguns dels elements de l'SAR es van trobar per terra i d'altres no es van arribar a trobar.

Quedaven encara moltes coses per encaixar, per entendre què havia passat en un vol tan curt i perquè no hi havia ni rastre del paracaigudes. A part dels desperfectes en l'SAR, el sistema d'ancoratge havia desaparegut, i del mateix només en quedaven tres brides trencades i una perduda. En obrir la càpsula es va poder veure com els dos Arduino de l'SDR i de l'STV s'havien trencat per l'entrada d'alimentació, mentre que l'objectiu la càmera de fotos també s'havia trencat.

Malgrat tot, la sensació de treball ben fet va predominar entre l'equip de llançament. S'havia aconseguit llançar i recuperar amb èxit, en un sol matí, un globus sonda meteorològic.



Figura 33: Posant amb la sonda després de recuperar-la.

ANÀLISI DE DADES

Introducció

En aquesta secció es farà una anàlisi de les dades preses pels diferents sistemes de la missió (SRD, STV, càmeres i ràdio balises) amb interès des del punt de vista tècnic, és a dir, aquelles que ajudin a entendre si hi va haver cap error de càlcul o hi va haver algun element de la missió que va fallar.

Abans d'analitzar a fons les dades convé saber que el globus es va enlairar cap a les 10:43h del dia 6 de desembre, i la càpsula va aterrar cap a les 11:24h del mateix dia. L'alçada màxima aconseguida durant el vol va ser de 17034 metres (a les 11:15h). El vol, per tant, va ser força més curt del previst, com ja s'havia comentat abans i es veurà ara amb més detall.

Sistema de Recollida de Dades

Cal recordar que el SRD prenia dades cada 5 segons de temperatura interna, temperatura externa (higròmetre), temperatura externa (baròmetre), acceleració en els tres eixos, humitat relativa i pressió atmosfèrica.

L'SRD va realitzar 647 sèries de mesures, funcionant durant un total de 54 minuts i patint un reinici inesperat als 51 minuts de funcionament, segurament pel mal estat de les piles que l'alimentaven. És de destacar que l'higròmetre va deixar de funcionar als 45 minuts de funcionament, molt segurament degut a les temperatures exteriors extremadament baixes, properes als -50 ºC.

L'SRD va prendre moltes dades que ja s'analitzen pertinentment al treball que parla de la ciència d'aquesta missió. Des del punt de vista tècnic val la pena analitzar les dades de temperatura interior, perquè són les que ens parlen de l'aïllament tèrmic, una part essencial de la missió.

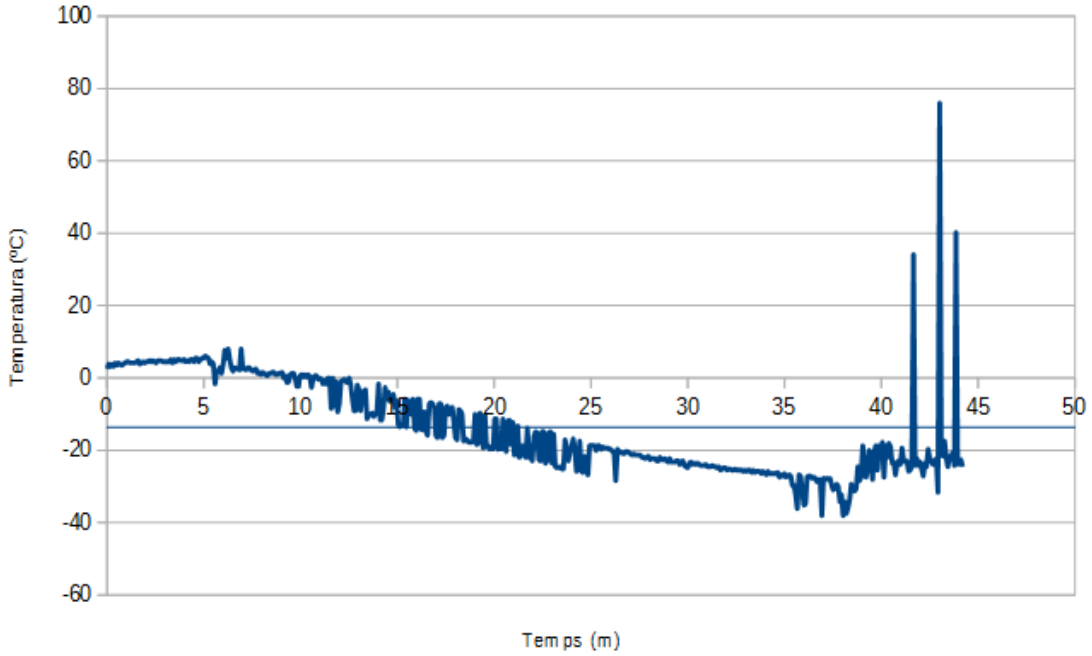


Figura 34: Gràfica de la temperatura interior de la càpsula durant el vol.

Com es pot veure, la temperatura interna de la càpsula va rondar valors negatius durant la major part de la missió, trobant-se la mitjana al voltant dels -10 ºC i estant la temperatura mínima al voltant dels -40 ºC. Aquest és un clar indicador que la protecció tèrmica no va servir per a res, molt segurament degut a haver fet els forats pels objectius de les càmeres massa grans.

Els pics de temperatura positius al final del gràfic són errors de mesura puntuals del sensor.

Sistema de Telemetria en Viu

L'STV fa fallar parcialment en no enregistrar de manera completa les dades GPS obtingudes. Tot i que es van rebre cadenes de telemetria de l'STV amb coordenades GPS fins a una altura de 6300 metres, aquest sistema només va enregistrar 9 sèries de dades durant els primers 2 minuts de funcionament a terra.

Per tant, només va fallar la part de l'enregistrament de dades. Aquesta part sol

ser sensible i segurament fallés a causa de la manca d'espai a l'SRAM de l'Arduino. L'SRAM és la memòria on l'Arduino emmagatzema les variables que un programa està utilitzant. En el cas d'un Arduino UNO, l'SRAM només té 2 kB, que es podrien haver superat durant l'execució del programa provocant errors a l'hora de desar les dades a la targeta SD. En aquest sentit, haver escollit un Arduino Mega com a CPU, que es va considerar per a l'STV i que al final es va descartar per ser més gran i pesat que l'Arduino UNO, podria haver previngut d'aquest problema, en tenir una memòria SRAM quatre vegades major (de 8 kB). Tant des del punt de vista tècnic com científic no val la pena analitzar les dades de l'STV, en ser molt poques i no ser representatives de la missió.

Càmeres

De les dues càmeres preparades (la de fotografies i de vídeos) només va funcionar correctament la de fotografies. La càmera de vídeos no va enregistrar cap vídeo ni dada.

Una vegada analitzat el perquè es va descobrir que la càmera no havia estat configurada adequadament en ser posada en marxa, i es trobava en mode de fotografies en comptes de mode de vídeos. Això va impedir que s'enregistrés cap vídeo.

La càmera de fotos va realitzar 90 fotografies (69 de les quals durant el vol), prenent 89 sèries de dades útils i funcionant durant 57 minuts (es va encendre a les 11:27h i va deixar de funcionar a les 12:24h, degut a l'impacte contra el terra, que la va espatllar).

No hi ha, de totes maneres, cap dada presa interessant a comentar.

Ràdio balises Android

La ràdio balisa programada per al Projecte va funcionar correctament durant l'ascensió, enviant els SMS requerits, però va fallar durant el descens. Va ser iniciada a les 10:30h i va deixar de funcionar a les 11:13h (a una altura de

16115 metres). Per tant, va funcionar només durant 43 minuts, enregistrant un total de 38 sèries de dades. Es pot dir per tant que va funcionar només de manera parcial.

La informació més rellevant que es va poder extreure de les dades de la ràdio balisa pròpia va ser la velocitat d'ascens mitjana, situada al voltant dels 8,26 m/s, com es pot veure en el següent gràfic, que relaciona les dades d'altura amb les de temps.

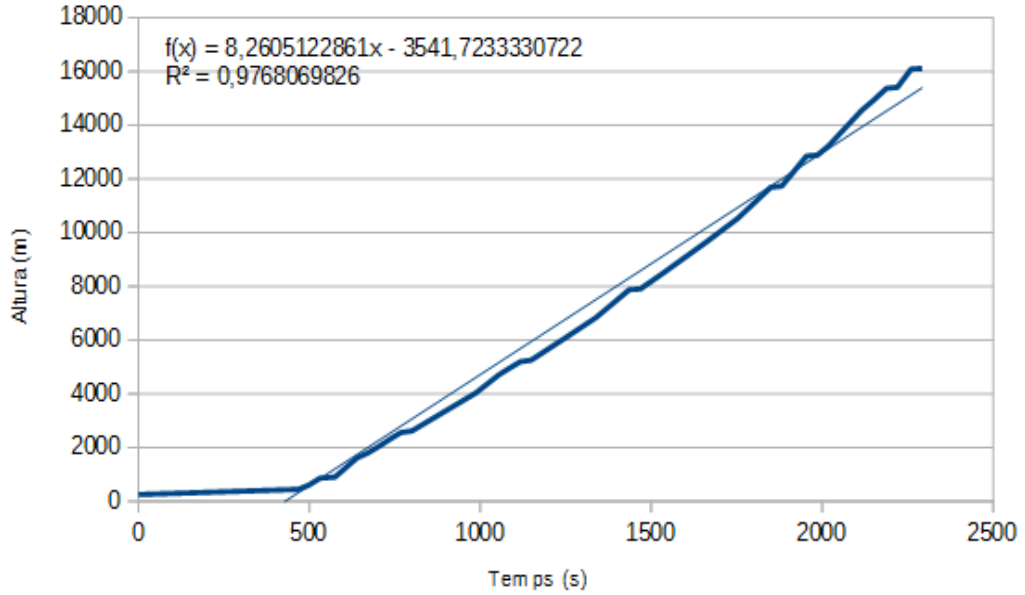


Figura 35: Gràfica de la velocitat d'ascens de la càpsula (dades de la ràdio balisa pròpia).

Per contra, la ràdio balisa cedida pel *Proyecto Daedalus* va funcionar correctament durant tota la missió. Va ser iniciada a les 10:30h i va deixar de funcionar a les 11:24h amb l'aterratge de la càpsula tal i com estava planejat, enregistrant un total de 3251 sèries de dades.

Amb les dades de la ràdio balisa del *Proyecto Daedalus* es va poder calcular també la velocitat d'ascens mitjana, situada segons aquestes als 8,74 m/s, un valor força semblant als 8,26 m/s calculats amb l'altra ràdio balisa i que corrobora que les dades dels dos dispositius van ser força acurades (tot i que el

coeficient de determinació R^2 ens indica clarament que les dades de la ràdio balisa del *Proyecto Daedalus* són més precises):

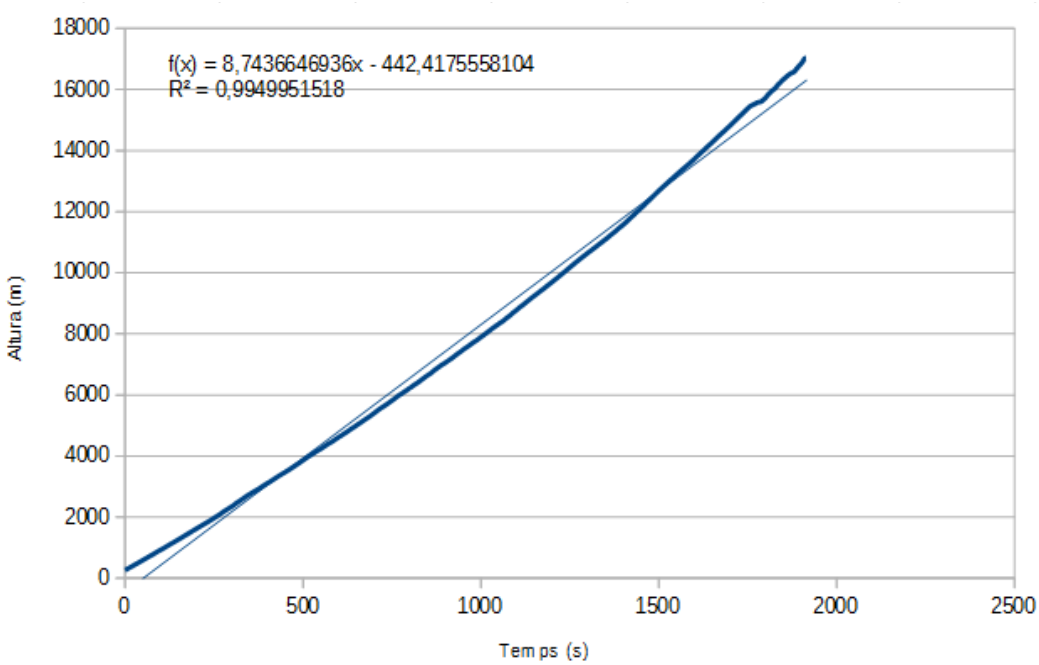


Figura 36: Gràfica de la velocitat d'ascens de la càpsula (dades de la ràdio balisa Daedalus).

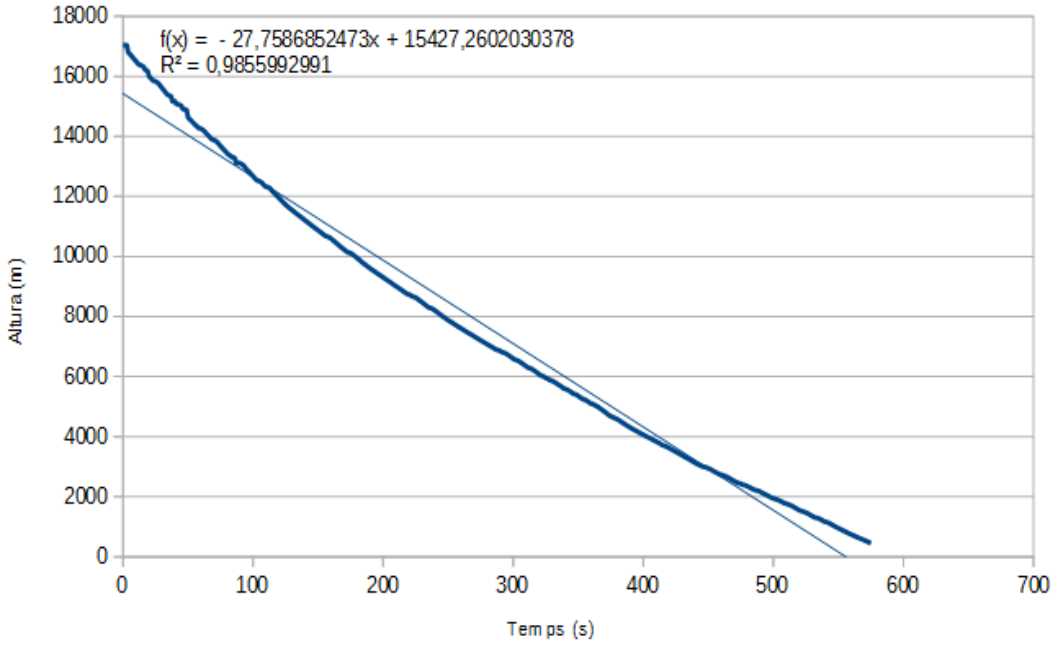


Figura 37: Gràfica de la velocitat de descens de la càpsula (dades de la ràdio balisa Daedalus).

Com es pot veure en la gràfica de dalt, amb les dades d'aquesta ràdio balisa també es va poder calcular la velocitat mitjana de descens, que va arribar a l'enorme quantitat de -27,76 m/s. Aquesta velocitat indica que la càpsula va descendir sense paracaigudes, i explica per tant els desperfectes produïts tant a la càmera de fotografies com els dos Arduino de l'SRD i l'STV amb l'impacte final contra la superfície.

Gràcies a les coordenades GPS recollides per la ràdio balisa del *Proyecto Daedalus* durant el vol es va poder realitzar més endavant la representació de la trajectòria del mateix amb el programa Google Earth.

La trajectòria real que va seguir el globus és la «petita», en vermell, i la trajectòria predita per al vol amb l'últim patró meteorològic és la «gran», en groc. Una vegada més es pot comprovar amb aquestes imatges que el vol va ser molt més curt del previst.

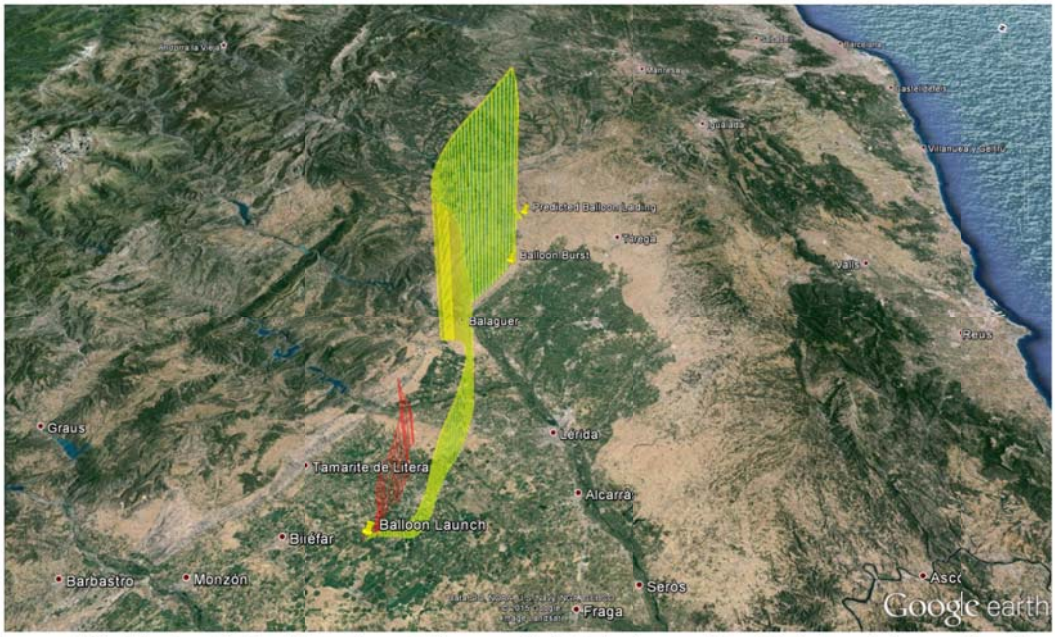


Figura 38: Trajectòria del vol real (vermella) i de la predicció del vol (groga) sobre un mapa.

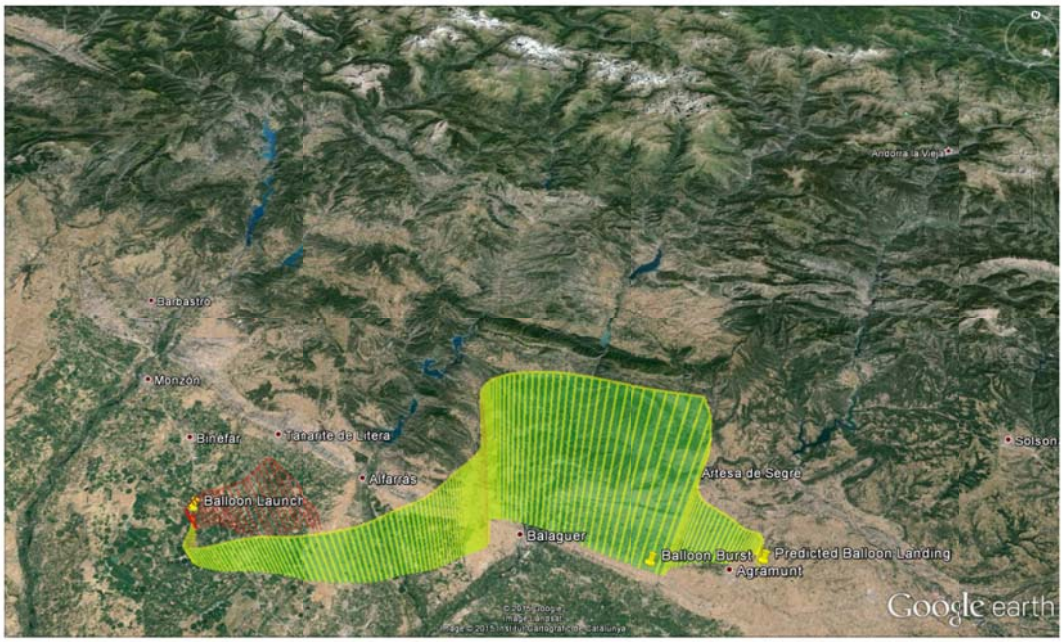


Figura 39: Trajectòria del vol real (vermella) i de la predicció del vol (groga) sobre un mapa.

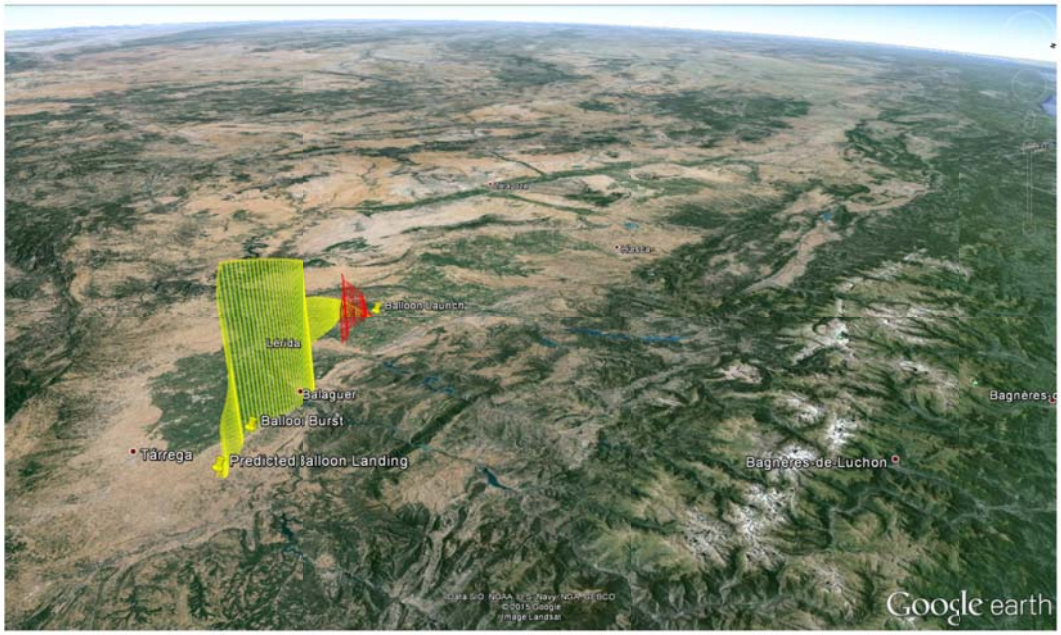


Figura 40: Trajectòria del vol real (vermella) i de la predicció del vol (groga) sobre un mapa.

Gràcies a les dades de les ràdio balises s'han pogut extreure dues conclusions molt interessants: que la velocitat d'ascens, i especialment la de descens, van ser massa elevades. Això indica, d'una banda, que la quantitat d'heli que se li va posar al globus va ser massa gran i d'altra banda confirma la tesi anteriorment plantejada: el sistema d'ancoratge va fallar durant la missió fent que la càpsula caigués a plom sense paracaigudes contra la superfície.

CONCLUSIONS

Aquest treball ha servit per a demostrar que sense ser cap agència espacial o institució científica, amb un pressupost reduït, amb pocs recursos i amb coneixements bàsics d'electrònica i programació es pot dissenyar i dur a terme amb èxit una missió de sondeig atmosfèric, obtenint dades ambientals que poden donar peu a interessants recerques científiques. Aquest treball ha estat una molt bona manera d'aproximar-se a diferents branques del saber científic i tècnic (la física -sobretot meteorologia-, la mecànica, l'electrònica, la programació, les telecomunicacions...) adquirint un ample ventall de coneixements, i també una bona manera de combinar ciència i tecnologia, en definitiva, recerca i tècnica, d'alt nivell.

Quan vaig començar aquest treball tenia uns coneixements mitjans de programació i bàsics d'electrònica. El camp de les telecomunicacions era completament nou per a mi, i vaig haver de fer una recerca des de zero per tal de trobar una solució adient a les necessitats del treball però també al seu pressupost. Aquest treball m'ha ajudat, per tant, a enfortir les bases que ja tenia de programació, aprofundir molt més en l'àmbit de l'electrònica, i fer la meva primera immersió al camp de les telecomunicacions, descobrint diversos mètodes de transmissió i recepció de dades per ràdio, amb els seus avantatges i inconvenients.

Aquest treball també m'ha ajudat a qüestionar-me els meus mètodes d'organització per tal de ser més eficient. El fet d'haver treballat conjuntament amb una altra persona dues cares diferents d'un mateix treball m'ha ajudat també a veure les coses des de punts de vista organitzatius diferents, havent de consensuar força decisions importants, i evidentment, m'ha ajudat a millorar les meves habilitats en treball en equip.

Però probablement el més important és que aquest treball m'ha fet reafirmar en el meu interès per l'exploració espacial, i més concretament, en l'electrònica, la

programació i les telecomunicacions, així com d'altres aspectes, que són d'importància en satèl·lits i sondes d'exploració espacial.

Aquest ha estat un treball llarg. Des que es va iniciar el Projecte, quan encara no era un treball de recerca, fins que es va llançar i recuperar finalment el globus sonda van passar 1 any i 3 mesos.

Al llarg del treball s'han trobat nombroses dificultats, no només a nivell d'electrònica o programació, que han provocat força maldecaps i hores perdudes; sinó també a nivell organitzatiu. I és que aquest treball ha estat, sobretot, una carrera contra el temps en la que ha calgut prendre decisions arriscades perquè el temps no permetia prendre'n d'altres.

Hi va haver moments en què vaig pensar que la part pràctica del treball no s'acabaria a temps. Tot i que finalment es va fer el llançament amb el temps just per a fer l'anàlisi de les dades preses i la redacció de la memòria del treball, va ser un encert, des del meu punt de vista, arriscar-se a fer un treball tan extens i tècnicament complex com aquest. Sense cap mena de dubte, els nombrosos coneixements obtinguts en els diferents àmbits que toca el treball han ben valgut el risc a intentar abastar massa.

Hi ha moltes maneres de plantejar un treball d'aquest tipus, i la nostra és només una de les moltes vàlides. Al llarg dels capítols d'estructura, electrònica i programació s'han plantejat diverses alternatives que en el seu moment es van considerar i van ser rebutjades. Sense cap mena de dubte, si es tingués l'oportunitat de realitzar de nou aquest treball, es realitzaria en un parell de mesos, molt més ràpidament, en estar feta ja tota la recerca pertinent, i es modificarien força coses que van resultar ser contraproduents a la missió. Per exemple, es faria un altre sistema d'ancoratge, que agafés tota la càpsula, en comptes de només la tapa, amb quelcom més resistent que brides; les càmeres de fotos i vídeos se situarien força de la càpsula, per evitar l'entrada d'aire fred pels forats dels objectius; s'aconseguiria un sensor de temperatura exterior adequat; es compraria un globus que no fos de segona mà i que fos més resistent, etc... També s'accentuaria la part de recerca científica del treball amb

objectius de recerca més clars i amb una anàlisi de dades posterior més elaborada.

Tot i que no s'han complert de manera exhaustiva els objectius generals proposats inicialment pel treball, sí que s'han complert en bona part, i això permet dir que el treball ha estat un èxit parcial. En aquest treball també hi ha un component important de sort, i el fet que hàgim pogut recuperar la càpsula és prou important per a sentir-se satisfet amb el resultat global.

Resumint, es pot dir que aquest treball de recerca, tot i ser millorable en molts aspectes, ha assolit amb bon grau, malgrat les dificultats tècniques aparegudes i el poc temps disponible, les expectatives que va generar. Aquest treball ha estat una gran experiència tant a nivell acadèmic com personal, i representa una molt bona base i plataforma per a organitzar a partir del mateix més vols, millorant els aspectes comentats per tal d'enfocar-los més cap a la recerca científica i la demostració de tecnologies concretes.

BIBLIOGRAFIA

Membres del Projecte Daedalus (2011). *Informe de la Misión NS1* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.proyectodaedalus.com/informes/informe-de-la-mision-ns1/>

Membres del Projecte Daedalus (2011). *Informe de la Misión NS1b* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.proyectodaedalus.com/informes/informe-de-la-mision-ns1b/>

Membres de Meteotek08 (2008). *Meteotek08 Sonda Meteorològica* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.teslabs.com/meteotek08/fitxers/docs/meteotek08_catala.pdf>

Col·laboradors d'UKHAS (2014). *Linking an Arduino to a Radiometrix NTX2B Transmitter* [en línia]. Disponible a Internet: <http://ukhas.org.uk/guides:linkingarduinotontx2>

Col·laboradors d'UKHAS (2014). *Beginners guide to Tracking using dl-fldigi* [en línia]. Disponible a Internet: <http://ukhas.org.uk/guides:tracking_guide>

Boletín Oficial del Estado (2014). *Real Decreto 552/2014 por el que se se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/07/01/pdfs/BOE-A-2014-6856.pdf>

Analog Devices (2013). *TMP35/TMP36/TMP37 Data Sheet* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/TMP35_36_37.pdf>

Texas Instruments (2013). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

Aosong Electronics. *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module AM2302* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf>

Measurement Specialities (2012). *MS5611-01BA Barometric Pressure Sensor, with stainless steel cap* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.meas-spec.com/downloads/MS5611-01BA03.pdf>

Analog Devices (2010). *Small, Low Power, 3-Axis +/-3 g Accelerometer ADXL335* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL335.pdf>

U-blox (2014). *NEO-7 ublox 7 GNSS modules Data Sheet* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/NEO-7_DataSheet_%28GPS.G7-HW-11004%29.pdf>

Radiometrix (2013). *NTX2B UHF Narrow Band FM Transmitter* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.radiometrix.com/files/additional/NTX2B.pdf>

Atmel (2013). *ATtiny25/V / ATtiny45/V / ATtiny85/V Summary* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet-Summary.pdf>

Membres de CHDK (2013). *CHDK 1.3.0 User Manual* [en línia]. Disponible a Internet: <http://chdk.wikia.com/wiki/CHDK_1.3.0_User_Manual>

Agraïments

Voldria donar les gràcies per la realització del meu treball de recerca al Ramón Garcia, el meu company amb qui he fet el meu treball de Recerca de manera cooperativa i hauria estat molt difícil arribar fins on he arribat sense ell. També voldria recordar-me de la seva família, la qual va ser molt amable amb mi i em va acollir com si fos un membre més de la família durant la nit que vaig passar a Lleida. A més voldria agrair l'ajuda dels membres del projecte *Daedalus* que, de manera desinteressada ens van oferir la informació i el material necessaris per a nosaltres. En tot aquest procés ha estat molt important l'ajut del meu tutor de recerca, en Josep Rubió I Pons. Per acabar, m'agradaria donar les gràcies als meus pares que em van donar el suport anímic en els moments més complicats.

ÍNDEX

1 Introducció....5
2 Informes sobre l'atmosfera....10
2.1 Per a què serveix l'atmosfera?....10
2.2 Composició de l'atmosfera....11
2.3 Formació de l'atmosfera....12
2.4 Capes de l'atmosfera....12
2.4.1 La troposfera....12
2.4.2 Estratosfera....13
2.4.3 Mesosfera....14
2.4.4 Termosfera....14
2.4.5 Exosfera....15
2.5 Factors ambientals....15
2.5.1 La pressió atmosfèrica....15
2.5.1.1 La pressió atmosfèrica i l'altitud....15
2.5.2 La temperatura....16
2.5.2.1 Escales....16
2.5.2.2 La variació de la temperatura amb l'altura....17
2.5.2.3 Gradient tèrmic....17
2.5.2.4 El punt de rosada....18
2.5.3 La humitat....18
2.5.3.1 Definicions relacionades....18
2.6 Els núvols....19
2.6.1 La formació dels núvols....19
2.6.2 Classificació dels núvols....21
2.7 El principi d'Arquímedes....21
2.7.1 Arquímedes i la corona del rei....22
2.7.2 Definició del principi d'Arquímedes....22
2.7.3 L'impuls hidrostàtic....23
2.7.4 Comportament dels cossos en un fluid....23
2.7.5 Conclusions....24
3 Estructura i materials....26
3.1 Pressupost....27
3.2 Materials....29
3.2.1 Heli....29
3.2.2 Globus....32
3.2.3 El paracaigudes....35
3.2.4 Caixa de porexpan....36
3.2.5 Manta tèrmica....37
3.2.6 Unitat sensorial....38
3.2.6.1 Arduino Uno....39
3.2.6.2 Protoboards....40
3.2.6.3 Sensor de temperatura externa....40
3.2.6.4 Sensor de temperatura interna....41
3.2.6.5 Sensor de pressió....41
3.2.6.6 Sensor d'humitat relativa....42
3.2.6.7 Acceleròmetre....42
3.2.7 Sistema de telemetria en viu (STV)....43

3.2.8 Radiobalises i mòbils....44
3.2.9 Càmeres....46
3.2.10 Altres....49
3.3 Despeses....49
4 Construcció de la càpsula....54
4.1 La caixa de porexpan....54
4.2 El recobriment amb la manta tèrmica....55
4.3 Foradar la capsa....56
4.4 Disseny de les caixes per a les càmeres....57
4.5 Preparació del sistema de cordes de la càpsula....59
4.6 Sensors exteriors....61
4.7 Mòdul emissor de ràdio....62
4.8 La massa total....62
5 Fase de proves....64
5.1 Proves a baixa temperatura....64
5.2 Proves amb el SRD....67
5.3 Prova sobre la duració de les piles....69
5.4 Prova sobre les radiobalises....69
5.4.1 Prova sobre el funcionament de les radiobalises....70
5.4.2 Segona prova....71
5.5 Proves sobre les bateries dels mòbils....72
5.6 Proves amb les càmeres....73
5.6.1 Prova amb la càmera de fotografies....73
5.6.2 Prova amb la càmera de vídeos....74
5.7 Prova d'anivellament....75
6 Organització del llançament....76
6.1 Lloc del llançament....76
6.2 Data del llançament....78
6.3 Marc legal....78
6.4 Simulacions d'un llançament....80
6.5 Preparació del llançament....81
6.5.1 Protocols....81
7 El llançament....83
7.1 Preparació del material....83
7.2 El viatge....84
7.2.1 Desplaçament a Lleida....84
7.2.2 L'endemà....84
7.3 El muntatge....85
7.3.1 Inflament del globus....85
7.3.2 Preparació de la càpsula....86
7.3.3 Unió del globus, el paracaigudes i la càpsula....88
7.4 L'enlairament....89
7.5 El seguiment....90
8 Anàlisi del vol....96
8.1.1 Evolució de l'altura durant el vol (1r gràfic)....97
8.1.2 Evolució de l'altura durant el vol (2n gràfic)....98
8.1.3 Evolució de l'ascens....99
8.1.4 Evolució del descens....100
8.2 Anàlisi de les velocitats....101

8.2.1 Anàlisi de la velocitat d'ascens (1r gràfic).....101
8.2.2 Anàlisi de la velocitat d'ascens (2n gràfic).....102
8.2.3 Anàlisi de la velocitat de descens.....103
8.3 Anàlisi dels factors ambientals.....104
8.3.1 Anàlisi de les temperatures.....104
8.3.1.2 Anàlisi de la temperatura interior.....106
8.3.2 Anàlisi de la humitat relativa.....107
8.3.3 Anàlisi de la pressió atmosfèrica.....108
8.4 Anàlisi d'imatges.....109
8.4.1 Imatge 1.....110
8.4.2 Imatge 2.....110
8.4.3 Imatge 3.....111
8.4.4 Imatge 4.....111
8.4.5 Imatge 5.....112
8.4.6 Imatge 6.....113
8.4.7 Imatge 7.....114
8.4.8 Imatge 8.....115
8.5 Recorregut de la sonda.....116
8.5.1 Reconstrucció del vol.....117
8.5.2 Proves amb brides.....118
8.5.3 Conclusions sobre el vol.....119
10 Llistat de referències.....122

1 Introducció

El començament d'aquest treball es remunta a mitjans de setembre de 2013, durant el començament del nou curs. En aquells moments, el meu company, el Ramon Garcia, em va suggerir si em volia endinsar en un projecte que requeriria esforç i sacrifici que consistia en realitzar un disseny d'una sonda meteorològica.

Des de sempre he mostrat interès per aprendre més sobre el món que m'envolta i sempre m'ha agradat aprendre per mi mateix. Crec sincerament que amb aquest treball de recerca es presentava l'oportunitat de desenvolupar les dues coses a la vegada, cosa que em va semblar un gran estímul per a mi.

Amb aquest treball intentava donar resposta a diverses preguntes, com ara saber quin era el comportament de l'atmosfera i dels seus factors, quina és l'estructura de la capa atmosfèrica o si des del punt de vista logístic i mecànic es podia realitzar un projecte dedicat al disseny d'una sonda meteorològica

Objectius proposats

- **Realitzar un projecte que fos viable.** Per tal de dur-lo a terme s'havia de tenir en compte especialment els següents aspectes:
  - Per començar, l'aspecte econòmic i material era el més sensible, doncs la posada en marxa, el desenvolupament i l'èxit d'aquest projecte depenia en bona part de la disposició o no dels diners necessaris i dels béns, dispositius i eines suficients per dur-lo a terme. Era doncs, indispensable preparar un pressupost ben detallat i el més econòmic possible que permetés ajustar-se a les possibilitats de la realització d'un treball de tals magnituds per dos estudiants de batxillerat, a més de maximitzar el rendiment de tots els elements emprats.
  - El temps. Tot i que aquest ha estat un projecte que es va iniciar a mitjans de setembre de 2013, s'ha de dir que el temps, o més ben dit la seva falta, va esdevenir una de les preocupacions més importants.

- La data del llançament. Un cop acabada la càpsula, s'havia de contemplar els possibles dies per efectuar el llançament. En aquest cas calia tenir present les condicions atmosfèriques, que canvien dia a dia i en cada moment, i en alguns casos aquestes podien ser favorables i en altres, no tant. Per tant, calia tenir cura a l'hora d'escollir un dia en concret que mostrés la compatibilitat entre el temps que es necessita per preparar el llançament i les condicions meteorològiques.
- El lloc del llançament: Trobar un espai tal que, per una banda, es trobés lliure d'herbes altes i per altra banda, havia de tenir un fàcil accés per entrar i sortir de la zona en qüestió era una qüestió delicada.
- El marc legal vigent: Realitzar un vol amb una sonda significa una entrada en l'espai aeri de l'estat i com a conseqüència era important informar-se de forma precisa sobre les lleis existents sobre el tràfic i espai aeris.

- **Dissenyar i construir una sonda meteorològica.** L'objectiu essencial del projecte. Corresponia la part més tècnica, concretament a les manualitats.

- **Dur a terme el llançament i el vol de la sonda realitzada.** Una vegada finalitzats els processos de construcció i fetes les proves pertinents, i amb una data concretada i confirmada, arribaria el moment de realitzar l'enlairament de la sonda. Per assolir aquest objectiu era important entendre que s'havia de preparar un ordre protocol·lari seguit de manera molt meticulosa per tal d'evitar qualsevol contratemps que pogués provocar el fracàs i/o l'avortament de la missió de sondeig.

- **Recuperar la càpsula.** A partir d'un conjunt de dispositius amb els quals es pogués seguir la sonda i esbrinar el lloc d'aterratge de la mateixa, aquest projecte volia tornar a tenir la càpsula que s'havia enlairat.

- **Enregistrar tot un seguit de dades sobre el vol.** Gràcies a tota una sèrie de sensors es pretenia obtenir tot el conjunt de dades que es considerés necessari per tal de fer els posteriors raonaments analítics.

- **Obtenir material audiovisual.** El fet de poder obtenir imatges i vídeos sobre una experiència tan espectacular com podia ser el vol d'una sonda que arribaria fins a uns 30.000 metres d'alçada era un estímul més per realitzar un treball com aquest,

- **Analitzar les dades.** A partir de la recollida de dades per part de la càpsula es buscava portar a terme unes interpretacions deductives sobre les mateixes i extreure'n conclusions sobre certs aspectes de l'experiència.

Metodologia del treball

Donat que aquest treball és el resultat d'un projecte fet per dos estudiants de Batxillerat es va considerar just repartir-se les tasques a fer i d'aquesta manera realitzar dues memòries diferents inspirades en un únic projecte. Per tal d'elaborar aquestes memòries es va dividir el projecte en quatre àmbits: el científic, l'organitzatiu, el mecànic i l'electrònic. L'àmbit científic va recaure exclusivament sobre aquesta memòria, tot compartint tasques en els aspectes organitzatius i mecànics. Per tant, en aquesta memòria es parlarà dels següents àmbits:

Àmbit científic:

S'ocupava d'obtenir totes aquelles dades que fossin necessàries per tal que els altres apartats poguessin dur a terme el seu treball a partir d'informes. També havia de proposar la realització d'experiments, els quals podien donar-se a terme abans de la realització del llançament o durant el mateix vol. L'encarregat de l'àmbit científic havia d'analitzar, un cop es recollissin totes les dades sobre el vol (temperatura, humitat relativa, pressió, fotografies,etc.) les circumstàncies i fets destacables d'aquest.

Àmbit organitzatiu:

En aquesta àrea s'havia de concertar les diferents reunions de treball entre els membres del projecte, a més de posar-se en contacte amb aquelles empreses amb les quals era necessari parlar, ja fos a través del correu electrònic o mitjançant els seus telèfons. Una tasca indispensable dintre d'aquest àmbit era la responsabilitat econòmica, així que la tasca d'elaborar un pressupost equilibrat i el més econòmic possible, així com portar els comptes del projecte i concretar les compres de tots aquells objectes necessaris requeia en aquesta secció. A més a més a mesura que s'acostava el dia del llançament, calia que, a partir d'aquest àmbit, es dirigís totes les operacions perquè tot sortís segons el previst, tot preparant els protocols convenients i qualsevol material que fos indispensable i necessari per aquell dia.

Àmbit mecànic

Calia que portés a terme una estructura tal que permetés l'assegurança d'un vol estable. S'havia de basar en les informacions i consells provinents de l'àmbit científic, de manera que aquests dos àmbits havien d'estar necessàriament coordinats, cooperant un amb l'altre.

Estructura del treball

El següent treball s'ha dividit segons les tasques a realitzar descrites en els àmbits anteriors, de manera que els capítols resultants són:

1. **Informes sobre l'atmosfera**: El marc teòric sobre l'atmosfera i els seus factors ambientals sobre el qual es van fer les anàlisis posteriors al llançament.
2. **Estructura i materials**: Explicació detallada de la forma de la sonda i de tots els materials emprats durant el projecte, així com l'elaboració de pressupostos i del càlcul de despeses final.

3. **Construcció de la càpsula**: Elaboració d'una estructura capaç de viatjar a 30.000 metres d'altitud.

4. **Proves i experimentació**: Recull de totes les proves i les observacions derivades de l'experimentació que es van realitzar abans del llançament.
5. **Organització del llançament**: Explicació de l'elecció del dia, el lloc, de la realització de simulacions, així com també l'explicació sobre la preparació del llançament a partir de protocols.
6. **El llançament**: Crònica de l'experiència sobre la preparació, enlairament i seguiment de la sonda durant el dia del llançament
7. **Anàlisi del vol**: Realització de gràfiques, anàlisi d'imatges i explicació sobre el recorregut de la sonda.

2 Informes sobre l'atmosfera

Es considera l'atmosfera com la capa gasosa que envolta el planeta Terra. Està formada per una mescla homogènia de gasos que es va tornant cada vegada més fràgil fins arribar a l'espai, on només hi trobem el buit.

2.1 Per a què serveix l'atmosfera?

L'atmosfera pot desenvolupar diferents funcions de les quals se'n pot destacar quatre accions fonamentals:

- Evita l'oscil·lació extrema de les temperatures que trobem al planeta gràcies a l'efecte d'hivernacle natural que genera l'atmosfera, fent que els rajos que arriben a la Terra siguin absorbits per les partícules que es troben en les diferents capes, transformant la radiació solar en calor que, per una banda, una part d'aquesta és radiada de nou a l'espai i per altra banda la calor restant és enviada a la superfície de la Terra. Gràcies a això, la temperatura mitjana és d'uns 15 °C. Si no existissin les capes atmosfèriques, probablement hi hauria una baixada extrema de les temperatures fins a tal punt d'arribar als -18ºC.

- Filtra les radiacions ultraviolades: La gran part de radiacions provinents del Sol són nocives per a tots els organismes de tots els ecosistemes presents arreu de la Terra, de manera que si no existís l'atmosfera tal com la coneixem avui dia amb els seus corresponents elements, és molt possible que la vida tal com la coneixem en l'actualitat no fos possible.

- La seva composició de l'aire en la capa més propera a la superfície permet el sosteniment adequat de la vida.

- Genera cicles hidrològics: la presència de gasos amb baixes densitats permet el seu desplaçament arreu de tots els espais possibles. Gràcies a les variacions de les temperatures i al continu ascens i descens de les partícules que formen l'aire permet la creació de vents i també a la condensació del vapor d'aigua, tot produint les precipitacions.

2.2 Composició de l'atmosfera

Els gasos que formen principalment l'atmosfera són:

- El nitrogen: És el principal element constitutiu de l'atmosfera amb un 78% del volum d'aire que hi ha.. Es troba en forma de gas diatòmic. És un element molt estable, la qual cosa no és gaire propens a intervenir en processos químics.

- L'oxigen: És el segon element més present a l'atmosfera amb un 21% de volum d'aire. També es troba en forma de gas diatòmic. Gràcies a l'oxigen la immensa majoria dels organismes poden dur a terme el procés de respiració cel·lular. És per tant, un element clau en la formació, desenvolupament i evolució de la vida a la Terra.

- L'argó: És el tercer element més present amb un 0,9% (aproximadament) de volum d'aire. És un gas noble, la qual cosa no participa en absolut en reaccions químiques.

- El diòxid de carboni: El quart element més present a l'atmosfera amb un 0,033% de volum d'aire. És un dels causants de l'escalfament progressiu actual del planeta a causa dels efectes retenidors de la calor en ser un gas hivernacle.

2.3 Formació de l'atmosfera

La mescla que forma l'aire actual ha anat evolucionant al llarg dels 4500 milions d'anys de vida del planeta. L'atmosfera primitiva havia d'estar composta principalment d'aquells components provinents de les erupcions volcàniques, com per exemple, el vapor d'aigua, el diòxid de carboni, diòxid de sofre i nitrogen, amb molt poca o cap presència de l'oxigen.

Més endavant, amb l'origen de la vida i amb la capacitat de certs organismes de realitzar la fotosíntesi es va començar a produir oxigen. Fa uns 570 milions d'anys, el contingut d'oxigen en la mescla d'aire era suficient per permetre l'existència de la vida marítima i fa uns 400 milions d'anys el nivell d'oxigen era l'adequat com per poder desenvolupar-se la vida terrestre.

2.4 Capes de l'atmosfera

L'atmosfera terrestre es caracteritza principalment per les diferents separacions que presenta al llarg de tota la capa, des del punt més baix de la Terra fins al buit de l'espai a 9600 km d'altura.

2.4.1 La troposfera

La zona inferior de l'atmosfera. Té una altura de 1
quilòmetres en l'equador i entre uns 7 i 9 quilòmetre
d'altura en els pols. És la capa de l'atmosfera on s'arribe
a desenvolupar els fenòmens aeris, aquosos i elèctrics.

Conté al voltant del 90% de la massa atmosfèrica total
Destaca per ser una de les capes més primes del planeta
Té la capacitat de concentrar una gran quantitat d'oxigen
part del vapor d'aigua.

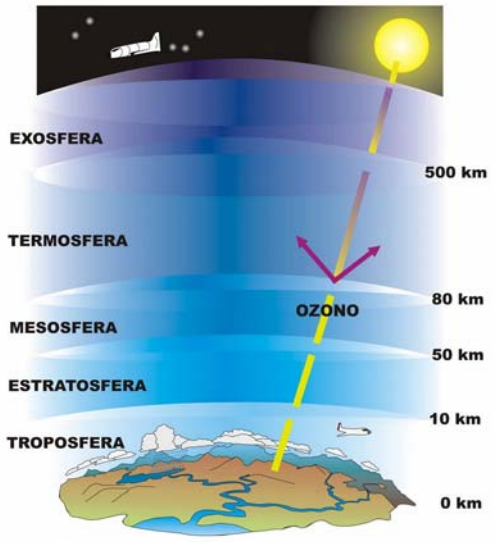


Figura 1: Les diferents capes de l'atmosfera

Generalment hi trobem importants moviments de masses d'aire normalment anomenats vents horitzontals i verticals, és per tant, una zona atmosfèrica on tenen lloc canvis constants. És reconeguda pels meteoròlegs com "l'àrea dels núvols" i és de gran importància per la presència d'importants fenòmens climàtics i meteorològics entre els quals ressalten les pluges i les tempestes.

Pel que fa a la temperatura, a la troposfera la temperatura pot arribar a descendir fins als -70ºC.

2.4.2 Estratosfera

Capa de l'atmosfera que es troba entre la troposfera i la mesosfera i pot arribar a tenir una extensió de 40 quilòmetres, per tant, pot estendre's des del límit superior de la troposfera o tropopausa, situada a uns 15-20 quilòmetres aproximadament, fins a uns 50 quilòmetres.

Està constituïda per la capa d'ozó, present a partir dels 25-30 quilòmetres d'altura i la seva principal funció és la de protegir la Terra dels rajos ultraviolats, fet elemental per a la vida.

En aquesta zona hi té lloc la presència de vents horitzontals els quals poden arribar als 200 quilòmetres per hora de forma freqüent, cosa que facilita de manera substancial la difusió de qualsevol substància present a la capa.

Pel que fa a la temperatura, aquesta va augmentant progressivament des dels -70ºC existents a la tropopausa fins als 0 °C que es donen en el límit superior de l'estratosfera o estratopausa. La presència de les molècules d'ozó (O^3) en aquesta capa permeten l'augment de les temperatures a mesura que l'altura augmenta.

2.4.3 Mesosfera

Capa atmosfèrica que es troba en la zona mitjana de l'atmosfera, comprèn des dels 50 quilòmetres de l'estratopausa fins als 80 quilòmetres aproximats d'altura a la mesopausa.

Conté amb prou feines el 0,1% de la massa total de l'aire. És important per la quantitat de reaccions químiques que hi tenen lloc en ella.

La tercera capa de l'atmosfera és també coneguda com la regió més freda de totes, amb temperatures que poden arribar a assolir registres mínims de -100 °C. La disminució de la temperatura combinada amb la baixa densitat en aquesta zona provoquen l'aparició de certes turbulències i masses d'aire que actuen en intervals d'espai i temps molt importants.

2.4.4 Termosfera

Quarta capa de l'atmosfera que es troba entre els 80 quilòmetres d'altura,, zona on es troba la mesopausa, fins als 700 quilòmetres d'altura. En aquest cas, la capa destaca per l'augment sobtat de la temperatura a mesura que l'altura puja.

En aquesta capa hi té lloc la ionització o producció d'ions carregats elèctricament, cosa que explica en part les altes temperatures a les quals es poden arribar a registrar i permet en bona part la realització de la propagació dels senyals de ràdio, causada per l'absorció d'aquests per l'aire ionitzat i la posterior desviació i tornada a la Terra. Gràcies als efectes d'aquests ions, és possible la comunicació a distàncies molt més grans de les que serien possibles si es realitzessin simplement sobre la superfície terrestre.

La temperatura és variable depenent de major o menor grau de radiació solar al llarg del dia, si bé és veritat que mentre rep la llum directa del Sol les temperatures poden oscil·lar al voltant dels 1500 °C.

2.4.5 Exosfera

S'estén fins als 9600-10000 quilòmetres d'altura, fins arribar al buit de l'espai interplanetari, sent el límit exterior de l'atmosfera i essent l'única capa amb contacte directe amb l'espai exterior. Es troba relativament indefinida.

2.5 Factors ambientals

2.5.1 La pressió atmosfèrica

Encara que l'aire no és un material molt pesat, l'enorme quantitat d'aire atmosfèric que hi ha sobre un punt de la Terra fa que el seu pes total sigui prou gran perquè la pressió que exerceix sobre aquest punt tingui una gran magnitud.

Els gasos generen pressió per tot el seu entorn; o sigui, cap amunt, cap a tots els seus costats i cap avall, per la propietat més important que els caracteritza: tendeixen a ocupar tot l'espai que els conté.

Les diferències de pressió en l'atmosfera poden donar lloc a moviments de masses d'aire, ja que l'aire es mou de les regions de pressions més altes a les de pressions més baixes, fins que la pressió s'iguala.

2.5.1.1 La pressió atmosfèrica i l'altitud

Com la pressió atmosfèrica es deu al pes de l'aire sobre un cert punt de la superfície terrestre, és lògic suposar que com més alt estigui el punt, menor serà la pressió, ja que també és menor la quantitat d'aire que hi ha a grans altituds.

La disminució que experimenta la pressió amb l'altura no és directament proporcional, ja que l'aire és un fluid que es pot comprimir molt, de manera que les masses d'aire més pròximes al sòl estan comprimides pel mateix pes de l'aire de les capes superiors i són, per tant, més denses.

Així, a prop del nivell del mar un petit ascens en alçada suposa una gran disminució de la pressió, mentre que a gran alçada cal ascendir molt més perquè la pressió disminueixi en la mateixa mesura.

Una forma no exacte però que s'aproxima a la realitat és l'aplicació de la fòrmula baromètrica: $P_h = P_0 \cdot e^{-mgh/kT}$

2.5.2 La temperatura

La Temperatura és una propietat de la matèria que està relacionada amb la sensació de calor o fred que se sent en contacte amb ella. No obstant això, encara que tinguin una estreta relació, no hem de confondre la temperatura amb la calor.

2.5.2.1 Escales

Actualment s'utilitzen tres escales per mesurar la temperatura, l'escala Celsius és la que tots estem acostumats a usar, l'escala Fahrenheit s'usa en els països anglosaxons i l'escala Kelvin té un ús científic.

- Escala Celsius (ºC): Utilitza com a referència els punts de congelació (0 °C) i d'ebullició de l'aigua (100 °C)

- Escala Fahrenheit: La seva referència és el punt de congelació d'una mescla anticongelant d'aigua, sal junt amb la temperatura del cos humà. La seva equivalència és de: °F = 1,8 °C + 32.

- Escala Kelvin: La seva referència és el zero absolut, que es coneix com la temperatura més baixa possible que pot arribar a existir. La seva equivalència és de K = °C + 273.

2.5.2.2 La variació de la temperatura amb l'altura

Els sondejos diaris meteorològics confirmen que, generalment, a mesura que s'ascendeix a la zona de l'atmosfera més propera a la Terra o troposfera, el gruix mitjà de la qual és d'uns 11-15 km, la temperatura disminueix a un ritme d'uns 0,65 °C per cada 100 metres d'elevació aproximadament. La causa principal d'aquest fenomen, conegut com a gradient de temperatura, és la superfície terrestre, que actua com un focus calorífic, desprenent la calor rebuda per la radiació solar i transmetent-la a la capa d'aire més propera a ella.

2.5.2.3 Gradient tèrmic

S'anomena gradient tèrmic a la variació de la temperatura per unitat de distància. Aquesta variació té diferents comportaments segons les capes de l'atmosfera

Si en certes regions de l'atmosfera la temperatura augmenta amb l'altura, es diu, llavors, que el gradient de temperatura és negatiu. En canvi, si disminueix la temperatura, el gradient és positiu.

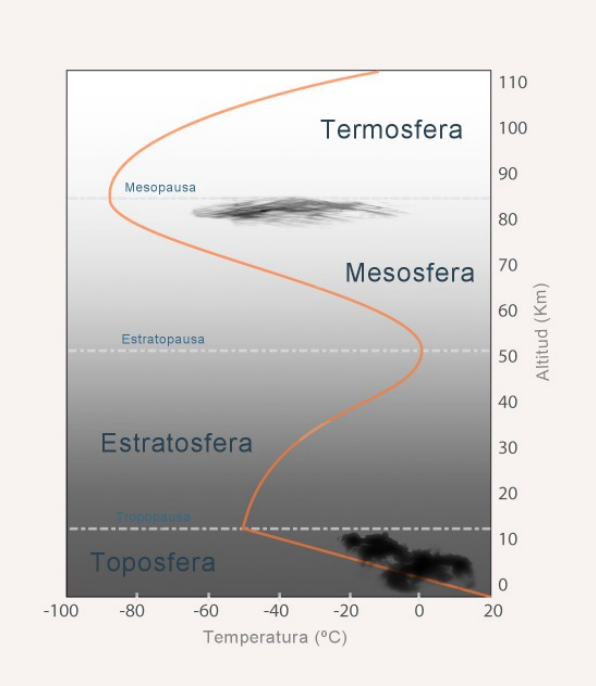


Figura 2: Gradient tèrmic de les capes atmosfèriques

A la troposfera, tal com s'ha dit abans, el gradient tèrmic té un valor aproximat de sis graus per quilòmetre. Això vol dir que si, per exemple, la temperatura al nivell del mar és de 15 graus, a l'altitud de cinc quilòmetres, aproximadament, arribarà el valor de -15 graus (una disminució de 30 graus).

En les capes més baixes de l'estratosfera la temperatura no varia, pràcticament, amb l'altura. Per tant, el gradient tèrmic vertical és nul. Llavors es diu que aquesta part de l'atmosfera és isoterma (mateixa temperatura)

També es produeixen inversions de temperatura a la part superior de l'estratosfera. Per contra, en la mesosfera la temperatura disminueix de mitjana quan es puja, és a dir, el gradient tèrmic és positiu.

A la termosfera, la temperatura creix amb l'altura i, per tant, el gradient tèrmic torna a ser negatiu en aquesta regió de l'atmosfera.

2.5.2.4 El punt de rosada

El punt de rosada és la temperatura a la qual ha de refredar una massa d'aire per provocar la condensació del vapor d'aigua contingut en ella, sense que variï la quantitat de vapor d'aigua que hi ha. Aquest concepte apareix especialment en la formació dels núvols.

2.5.3 La humitat

El vapor d'aigua es forma a causa de l'evaporació de l'aigua present en la naturalesa, per exemple en els habitatges, elevades quantitats de vapor són produïdes per les plantes, les activitats de la cuina, el rentat i pels mateixos habitants, a través de la respiració i la transpiració.

El vapor d'aigua produït és absorbit per l'aire en quantitats que depenen de les condicions ambientals, provocant un augment del contingut d'humitat. La màxima quantitat de vapor que l'aire pot absorbir és anomenada "quantitat de saturació" i augmenta en funció de la temperatura a un mateix volum.

2.5.3.1 Definicions relacionades

- Humitat absoluta: quantitat de vapor d'aigua continguda en un m3 d'aire. Pot expressar-se en g / m³.

- Humitat relativa: relació entre la humitat absoluta i la quantitat de saturació. Normalment s'expressa en%.
  UR = UA / quantitat de saturació

- Saturació: a una massa d'aire amb una certa temperatura se li diu quan conté la màxima quantitat de vapor d'aigua que pot estar present amb una certa temperatura i una certa pressió. Si s'augmenta la quantitat de vapor d'aigua (per exemple cuinant) o es baixa la temperatura de l'aire, el vapor es condensa i torna a l'estat líquid.

2.6 Els núvols

Es coneix el núvol com la massa aquosa que es troba suspesa en l'atmosfera. Els núvols, visibles en el cel, estan formades per gotes d'aigua o cristalls de neu que tenen un mida molt petita, ja que no passen dels 0,2 mil·límetres.

2.6.1 La formació dels núvols

Els canvis d'estat de l'aigua juguen un paper primordial en la formació del núvol, que són els següents:

- Vapor ⟷ Líquid (condensació o evaporació)
- Líquid ⟷ Sòlid (congelació o fusió)
- Vapor ⟷ Sòlid (sublimació)

L'atmosfera està composta per diversos gasos, entre ells, el vapor d'aigua. La major part del vapor d'aigua està en la Troposfera, que és la capa més baixa de l'atmosfera. El vapor d'aigua prové de l'evaporació de les masses líquides de la Terra.

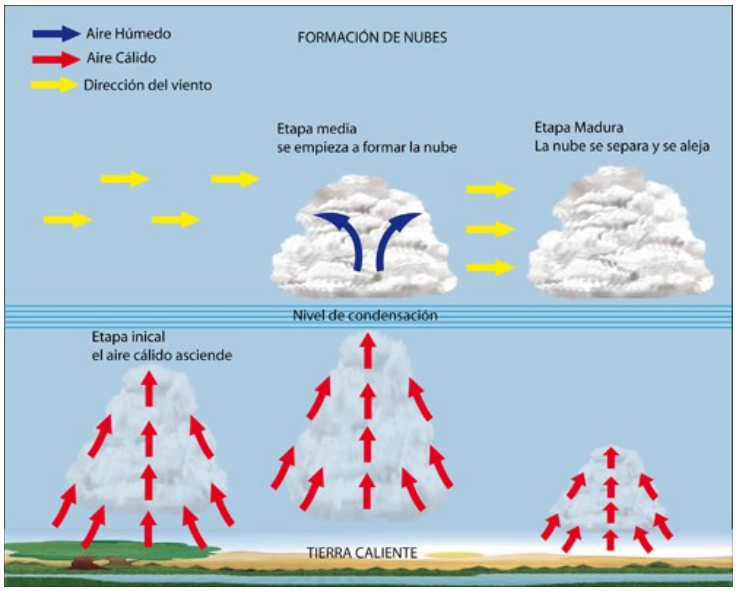


Figura 3: Esquema de la formació dels núvols

El vapor d'aigua circula arrossegat a través de l'atmosfera. Quan l'aire es refreda, no pot contenir el vapor d'aigua i llavors es condensa. En aquest moment s'arriba al punt de rosada, i es formen petites gotes, donant origen als núvols. Els núvols poden evolucionar i créixer; això depèn de la quantitat de vapor d'aigua que arrossegui una massa d'aire calent en ascendir a la Troposfera.

La massa que formen es distingeix a simple vista, suspesa en l'aire, i és producte d'un gran procés de condensació. Aquestes masses es presenten amb els colors, aspectes i dimensions molt variades.

Els núvols poden formar-se de tres maneres diferents:

- Núvols per ascens orogràfic: La massa d'aire calent i humit xoca contra una muntanya. Això fa que l'aire ascendeixi a capes més fredes, donant origen a un tipus de núvols horitzontals. Es formen per sota dels 3 km d'altitud.

- Núvols de convecció tèrmica: Un corrent d'aire calent i humit ascendeix a capes més altes i fredes, donant lloc a la formació de núvols. Això sol passar per sota dels 3 km d'altitud. El núvol pot créixer en alçada. Quan es produeix la caiguda de la pluja núvol se separa en dos fragments, perquè no pot ascendir l'aire calent. En fragmentar el núvol, la pluja s'atura. A partir d'aquesta formació de núvols es poden donar borrasques de curta durada però molt intenses.

- Núvols de convecció produïdes per un front: Els fronts són zones de contacte entre dues masses d'aire que tenen diferent temperatura i densitat. Si una massa d'aire calent i humit, en moviment, xoca contra una d'aire fred, es formen núvols horitzontals, que produeixen, generalment, pluja.

2.6.2 Classificació dels núvols

Els núvols es poden classificar en quatre grans grups

- Núvols de desenvolupament vertical: Són aquells que produeixen les precipitacions més fortes com la calamarsa o les tempestes elèctriques.

- Núvols alts: Tenen un aspecte filamentós i no provoquen cap precipitació. Es troben entre els 5000 i 13000 metres d'altura.

- Núvols mitjans: Formen una capa gris estable que pot arribar a ocultar la llum del Sol. Provoca precipitacions intermitents i contínues. Es troben entre els 2000 i 7000 metres d'altitud.

- Núvols baixos: Solen situar-se al voltant dels 2000 metres i mai produeixen precipitacions.

2.7 El principi d'Arquímedes

L'enlairament d'un globus meteorològic suposa haver d'utilitzar una sèrie d'elements que permetin enlairar la sonda. Per tal que això s'acabi efectuant s'arriba a la conclusió que és necessària l'acció de quelcom que sigui gasós i molt poc dens, com pot ser l'heli en aquest cas.

Però, què hi té a veure la densitat amb l'enlairament d'un globus meteorològic a partir d'un gas poc dens com l'heli? La resposta la podem trobar en un filòsof de l'Antiga Grècia anomenat Arquimedes.

Arquimedes de Siracusa va ser un dels físics matemàtics més importants de la Grècia Antiga que va enunciar el principi que rep el seu nom: El principi d'Arquimedes.

2.7.1 Arquímedes i la corona del rei

Segons es creu, Arquímedes va rebre l'encàrrec per part del rei Hieró de Siracusa de determinar si la corona reial estava confeccionada a base d'or i no pas de plata i per tant, havia de descobrir si el rei havia estat enganyat pel joier que havia decorat la seva corona o no.

Arquimedes, tot i pensar profundament al respecte no se'n sortia a l'hora de trobar una solució al problema del seu rei, però segons expliquen diferents escrits, quan el filòsof es trobava prenent un bany no es va adonar que hi havia massa aigua a la banyera, de manera que una part d'aquesta es va vessar en el moment en què va entrar-hi. Va ser aleshores quan Arquímedes va obtenir una manera de resoldre l'enigma, i es va alegrar tant de la seva descoberta que va sortir despullat pels carrers cridant: *"Eureka, Eureka!"* que es podria traduir al català com "ja ho he trobat".



Figura 4: Representació d'Arquímedes en el bany

Va ser així com Arquímedes va trobar un mètode per calcular els volums de diferents tipus de cossos a partir de la mesura del volum o espai que ocupen els determinats objectes.

2.7.2 Definició del principi d'Arquímedes

Arran del seu descobriment sobre el càlcul de volums deriva la definició del principi:

- Un cos submergit en un fluid (sigui líquid o gas) en repòs rep una força ascensional equivalent al pes del volum del fluid que el conté.

O el que és el mateix:

$E = mg = d \cdot V \cdot g$

On:
E representa la força ascensional o impuls hidrostàtic mesurat en newtons (N).
m és la massa del fluid mesurada en quilograms (kg)
g és la gravetat, expressada en metres per cada segon m/s^2
d consisteix en la densitat del fluid mesurat en quilograms partit per metre cúbic (kg/m^3)
V és el volum que s'ha vist desplaçat pel cos en qüestió (m^3)

2.7.3 L'impuls hidrostàtic

A partir de l'experiència es pot demostrar que un cos submergit en un líquid qualsevol experimenta una força amb direcció vertical i cap amunt. Aquesta força que permet moure el cos i que contraresta l'exercida pel pes s'anomena impulsió.

S'ha de suposar que el cos que es troba en un fluid determinat està sotmès a dues forces verticals que no sempre s'anul·len, de manera que la força resultant d'aquestes forces és una dirigida cap amunt.

2.7.4 Comportament dels cossos en un fluid

Per determinar si un objecte que es troba submergit en un fluid surarà, es mantindrà en equilibri o bé s'enfonsarà s'ha de tenir en compte tres premisses:

- La força d'impuls que farà en tot moment el fluid sobre el cos en particular
- El pes del cos que s'ha introduït en el fluid.
- La força resultant o resta de les anteriors (segona llei de Newton)

Depenent del valor de les variables anteriors, es poden donar els tres casos següents:

- Que el pes i la força ascensional siguin iguals (E=P): El cos romandrà en equilibri en qualsevol punt del fluid, sense variar en cap moment la seva posició.

- Que el pes tingui un valor superior a la força d'impulsió (P>E): El cos descendirà i s'enfonsarà en el fluid que el conté.

- Que la força d'empenta sigui superior a la del pes (E>P): Aleshores el cos pujarà i quedarà en suspensió en el moment d'arribar a l'extrem superior del fluid o el que és el mateix, surarà.

2.7.5 Conclusions

Després de demostrar el principi d'Arquimedes, i tornant a la pregunta inicial i amb la informació obtinguda, es pot determinar que la força d'empenta hidrostàtic efectuada per la massa d'aire que envoltarà el globus d'heli en el moment del vol serà superior a la força del pes duta a terme pel propi gas a causa de la densitat inferior que té aquest envers l'aire (0,17857 kg/m3 i 1,29 kg/m3, respectivament) de manera que permetrà l'ascens de la sonda fins al moment de l'explosió del globus.

Aplicant la fórmula anterior i tenint en compte que 9,1 m^3 són 1,624987 kg i que el radi del globus (que és molt semblant a una esfera) pot arribar a fer un metre un cop inflat i que la seva massa és, aproximadament, d'uns 2,2 kg podem determinar la força d'ascensió:

$E = d \cdot V \cdot g = mg = (1{,}62 + 2{,}2) \cdot 9{,}8 = 37{,}44$ N

Un cop calculada E, es calcula el pes a partir de la massa estimada de la sonda (1,3kg) i després s'aplica la segona llei de Newton:

$P = mg = 1{,}3 \cdot 9{,}8 = 12{,}74$ N

$E\text{-}P = ma = 37{,}44 - 12{,}74 = 24{,}69$ N

Per tant, en el moment en que s'enlairi la sonda es produirà unes forces tals que la suma d'aquestes serà de 24,69 N.

L'acceleració del sistema serà, en el moment de l'enlairament:

$$a = \frac{24{,}69}{m heli + globus + m\,càpsula} = \frac{24{,}69}{5{,}12} = 4{,}82 \text{ m/s2}$$

3 Estructura i materials

Des del primer dia es va pensar en la idea de realitzar un vol impulsat a partir d'una estructura independent de qualsevol material combustible i que fos capaç de pujar fins a una altura màxima d'uns 30.000 o 35.000 metres. En aquest cas s'havia tingut en compte algunes experiències realitzades per diferents persones i associacions les quals en la gran majoria de casos s'utilitzava un globus unit a un paracaigudes i aquest últim a una càpsula on se situaven tots els components electrònics.

Per tant, prenent com a exemple es va arribar a la conclusió que la sonda meteorològica havia de tenir aquestes tres parts fonamentals:

- Globus: l'element encarregat d'impulsar l'estructura cap a l'estratosfera i un cop arribat a una altitud determinada aquest hauria d'explotar i deixar caure la sonda. Es va pensar en l'heli com a gas que serviria per inflar el globus a causa de la seva baixa densitat, la qual provocaria l'ascens de la càpsula.

- Paracaigudes: aquest element estructural s'encarregaria de frenar la caiguda lliure de la sonda un cop el globus explotés.

- Càpsula: probablement la part més important de totes. Aniria unida al paracaigudes a partir de la col·locació de quatre cordes en els extrems de la càpsula que s'enllaçarien d'alguna manera amb el paracaigudes. El seu material havia de ser lleuger però a la vegada resistent als cops En ella es col·locarien els diferents components electrònics encarregats de prendre i/o transmetre:
  - Dades sobre les condicions atmosfèriques i sobre la posició
  - Material audiovisual (fotografies i vídeos)

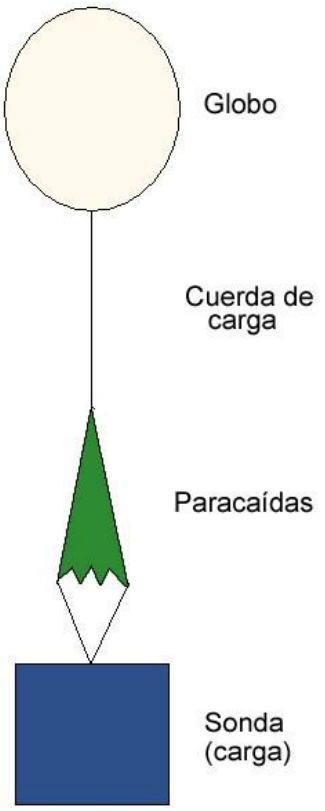


Figura 5: Esquema de la sonda

3.1 Pressupost

Un projecte d'aquestes dimensions requeria un pressupost per a totes les possibles despeses. Aquesta part corresponent a l'àmbit organitzatiu era molt delicada, ja que la quantitat d'objectes necessaris a comprar era molt gran i en molts casos també resultava molt car.

Basat en les estimacions fetes a partir de les peticions d'informació feta a les empreses, la visita de llocs web i la lectura de memòries de projectes homòlegs es va elaborar el següent pressupost amb les diferents sortides de diners previstes en un principi.

Taula 1: Pressupost del projecte	
Objectes	**Preu estimat**
Càmeres	60 euros
Manta tèrmica	4 euros
Mòdul GPS	30 euros
Mòdul de ràdio	30 euros
Paracaigudes	40 euros
Globus	75 euros
Heli	150 euros
Acceleròmetre	5 euros
Sensor de pressió	5 euros
Receptor de ràdio	40 euros
Sensors de temperatura	10 euros
Altres	20 euros
Total pressupostat	**459 euros**

Tal com es pot observar en la taula anterior el pressupost es situava en un total de 459 euros. La part més important del pressupost es trobava en la compra dels elements estructurals de la càpsula. Per començar, l'heli, la part més cara de totes les descrites, representava una tercera part del total. Pel que fa al globus va ser considerat com el segon objecte més car a comprar. El paracaigudes es trobaria com l'objecte més barat de tots tres.

El porexpan no es va tenir en compte perquè es podia demanar a qualsevol empresa que conservés congelats i no es creia que el seu preu es pogués considerar com una despesa tan important com per tenir-la en compte.

Pel que fa a les despeses previstes destinades a l'electrònica i a la preparació de la càpsula es pot observar que la quantitat que calia destinar a la part de les telecomunicacions (el GPS, els aparells relacionats amb la ràdio...) era molt important, amb 110 euros calculats. Pel que fa a la resta de l'electrònica (els sensors i les càmeres) es va deduir que es necessitarien uns 70 euros.
Comparant aquests càlculs amb els de l'heli, es pot dir que la compra d'un producte com el gas arribava gairebé al mateix preu que tota l'electrònica, la qual cosa significava que l'heli suposaria el problema més gran econòmic si les previsions fossin properes a la realitat.

En l'apartat "altres" del pressupost es reunien la resta de coses que es consideraven prou importants per dedicar-li una part, com ara les piles, els cables, etc.

Tot i que es va ser curós a l'hora de preparar els pressupostos i es va intentar procurar no gastar més del que s'estipulava era molt difícil aconseguir-ho per no dir pràcticament impossible, ja que si apareixien imprevistos, com per exemple el trencament d'aparells o l'aparició de noves necessitats, farien superar la quantitat estimada.
De totes maneres es va considerar que si les despeses no sobrepassaven el pressupost més de 50 euros, es podria considerar l'elaboració del pressupost com un èxit organitzatiu.

Tal com s'ha dit al principi, amb un projecte com aquest era evident que es necessitarien diners per dur-lo a terme i el pressupost elaborat n'és una mostra. Com que la quantitat calculada era molt gran es va pensar a dividir en parts iguals la quantitat a invertir en el projecte, de manera que la responsabilitat econòmica no recauria en una sola persona sinó en vàries i això feia més viable el projecte.

3.2 Materials

El nombre total de materials diferents utilitzats ha estat molt elevat, ja que un projecte d'aquest tipus necessitava nombrosos objectes capaços de resistir les extremes condicions de treball a les quals havien de ser sotmesos durant el vol i a més, havien de tenir una qualitat acceptable. La recerca de tots els materials va ser un procés que es va iniciar des del primer moment i que es va anar allargant durant gran part del projecte, concretament fins a l'últim dia.

3.2.1 Heli

L'heli (He) és un gas noble de nombre atòmic 2. És incolor i insípid i en condicions normals de pressió i temperatura roman en l'estat gasós (imatge). La presència de l'heli en l'atmosfera de la Terra és d'un 0,000524%. Això ho fa, indubtablement, en un element molt escàs en el nostre planeta i per tant, en un bé molt car. Ara bé, en el conjunt de l'univers, aquest gas es troba en el 20% de la matèria de les estrelles.

En ser un gas noble, no és reactiu i per tant, no forma cap compost químic a partir d'altres substàncies.

La gran majoria de l'heli que es comercia arreu del món prové dels jaciments de gas natural que es troben als Estats Units d'Amèrica.

La densitat de l'heli és de 0,17857 kg/m^3, essent força més baixa que la de l'aire, la densitat del qual és d'1,29 kg/m3. Això li permet ascendir a partir del principi d'Arquímedes i per la mecànica dels fluids (explicat en el capítol anterior).

Aplicacions habituals

Una de les aplicacions més habituals de l'heli és la d'inflar globus de tot tipus com poden ser els d'aniversari, els dirigibles i també les sondes meteorològiques per ser més lleuger que l'aire. També és utilitzat en els sistemes airbag dels automòbils immediatament després de patir un accident.

Es pot arribar a utilitzar en la fabricació de fibres òptiques o de semiconductors.

També té la seva utilitat en la sanitat per refredar els dispositius IRM (imatge per ressonància magnètica i així poder obtenir major qualitat en les imatges.

Els reactors nuclears, els quals necessiten refredar-se constantment, utilitzen l'heli com a agent refrigerant.

En les immersions a grans profunditats en els mars i oceans s'empra per evitar el risc de narcosi provocada per l'absorció del nitrogen.

Subministrador d'heli

Per comprar la bombona d'heli hi havia diverses opcions per tal de proveir-nos amb el gas. Un cop estudiades totes les opcions, es va decidir optar per l'empresa *Publi Zeppelines*, una companyia amb la seu a Astúries dedicada bàsicament a la fabricació de productes inflables, així com la venda o lloguer de gasos com l'heli.



Figura 6: Diferents bombones que sumministrava l'empresa

Aquesta empresa tenia heli disponible en tres envasos en forma de bombones d'acer, les capacitats de les quals eren:

Bombona petita: capacitat de 2,4 m^3. Preu: 125 euros més IVA
Bombona mitjana: capacitat de 5,5 m^3. Preu: 138 euros més IVA
Bombona gran: capacitat de 9,1 m^3 Preu: 168 euros més IVA.

Finalment es va decidir llogar una bombona de 9,1 m^3 encara que en un principi s'havia optat per una bombona de mida mitjà. Aquest canvi de decisió va ser provocat perquè no tenien disponibles en aquells moments més bombones de 5,5 m^3 i només ens podien subministrar o bé una o més bombones petites o bé una o més bombones grans. Tenint en compte que les necessitats del projecte requerien una quantitat d'heli més gran que 2,4 m^3 i que era més rendible pagar una bombona gran que una petita (en una diferència de més de 6 m^3 la diferència de preus era d'uns 40 euros sense incloure l'IVA) es va considerar que la bombona de 9,1 m^3 era la millor opció, de manera que es va sol·licitar aquesta a l'empresa.



Figura 7: Imatge de la bombona llogada estirada

Les seves dimensions eren considerablement grans. L'alçada de la bombona gran era de 170 centímetres de diàmetre.

A més a més, per tal de poder inflar el globus en el dia del llançament es va demanar un adaptador, el preu del qual era de 29 euros més IVA que consistia en una mànega d'1,5 metres de llargària que tenia un cabal prou alt per a inflar un globus en un temps relativament curt.

Forma de compra

En primer lloc es va establir contacte amb l'empresa corresponent a través del correu electrònic del projecte (*pnephos@yahoo.es*) per obtenir informació sobre els productes i els seus respectius preus. Un cop fet això, es va procedir al lloguer de l'ampolla durant un període de 30 dies.

El pagament es va fer a través d'una transferència bancària, la quantitat a pagar de la qual van ser de 203,28 euros per la bombona més els 35,09 euros de l'adaptador i els 9,68 euros de les despeses d'enviament. S'ha de tenir en compte que es va llogar durant 30 dies i el preu per lloguer era de 0,55 euros/dia IVA inclòs, la quantitat ascendia a 16,5 euros. Sumant totes les xifres, la quantitat de diners a pagar va ser de 268,54 euros.

L'empresa proveïdora va informar que no podia transportar la bombona a un pis d'un particular per normes laborals i de seguretat i va decidir deixar-la en el polígon industrial de Mataró, lloc en el qual es va anar a recollir-la.

Tenint en compte la quantitat final és evident que la compra de l'heli va ser un problema important, ja que tal despesa significava que una bona part del pressupost aniria destinada a l'heli i per tant, deixava molt poc marge per altres despeses, fossin previstes o imprevistes.

3.2.2 Globus

Un globus meteorològic és un globus aerostàtic (és a dir, es basa en el principi de fluids d'Arquímedes per volar, entenent l'aire com un fluid) no propulsat que és usat per portar a una altura determinada instruments diversos per tal d'obtenir informació al voltant de les condicions meteorològiques.

Les seves dimensions, un cop inflats, solen trobar-se entre 1 i 3 metres de diàmetre, que poden augmentar a mesura que la sonda ascendeix i la pressió baixa de tal manera que el diàmetre pot arribar a ser entre tres i cinc vegades més gran just abans d'arribar al punt de ruptura. Això es pot explicar a partir de dues de les lleis dels gasos ideals:

- La pressió i el volum són inversaments proporcionals. Per tant, a menor pressió, major és el volum. (Llei de Boyle y Mariotte)
- La temperatura i la pressió són directament proporcionals. A menor temperatura, menor pressió. (Llei de Charles)

El material del qual estan compostos aquests globus és el làtex, un dels materials més elàstics que es coneixen en l'actualitat. S'obté de forma natural, concretament a partir de la saba lletosa de l'arbre del cautxú. La majoria de l'obtenció es troba a Amèrica del Sud i la seva producció es troba estesa per Europa i Àsia.



Figura 8: El globus utilitzat durant el llançament

Pel que fa a la fabricació de globus meteorològics els principals països productors i exportadors d'aquests són: els Estats Units, el Japó i l'Índia.

Aquests globus s'omplen, en la gran majoria dels casos, a base d'hidrogen o d'heli. El primer té un baix cost però és fàcilment inflamable, per la qual cosa s'escull en la majoria dels casos l'heli com a gas elevador per a les sondes, tot i la seva escassetat.

El globus del projecte

El globus emprat per al llançament es va obtenir a través d'un particular que pretenia vendre'l a través d'una pàgina web dedicada a la compra/venda de productes de segona mà anomenada *eBay*. El globus es trobava precintat en una bossa de plàstic i en perfectes condicions.

Figura 9: El globus completament inflat

El globus va ser fabricat, segons les dades del mateix venedor, per l'empresa *Kaymont* i amb una massa de 2,2 quilograms. El diàmetre que podia assolir en condicions de pressió i temperatura normals (1013 hPa i 0 °C) era d'uns 2 metres aproximadament. A 30 quilòmetres d'altura i a punt de rebentar el seu diàmetre límit era d'uns 9 metres.

El preu del producte era de 62,90 euros, 20 dels quals eren el preu considerat pel particular i la resta prové de les despeses de l'enviament.

Forma de compra

Un cop escollit el globus que es volia utilitzar es va tramitar el pagament del mateix a través d'una transferència bancària. El paquet va arribar en avió des dels EUA i va ser portat a l'oficina de l'empresa de transports *Correos*, on va ser finalment recollit per part del projecte.

Pel que fa als diners gastats en aquest globus es pot considerar que la quantitat és força elevada, però comparant amb les altres opcions i analitzant les diferents empreses productores, la compra d'un globus de segona mà era la més econòmica i per tant, era l'elecció més correcta de cara al pressupost del treball.

3.2.3 El paracaigudes

El paracaigudes era una de les parts més importants de la sonda per la seva funció: frenar la caiguda lliure de la càpsula un cop el globus explotés. Aquest element havia de procurar que les càmeres i la resta de dispositius no patissin desperfectes o si més no, que rebessin els mínims possibles.

Un cop el globus rebentés, el paracaigudes s'havia d'obrir de forma natural, donant major resistència aerodinàmica i reduir l'acceleració de la caiguda fins al punt d'arribar a la velocitat terminal de descens.



Figura 10: Model de paracaigudes com l'utilitzat

El seleccionat en aquest cas era un paracaigudes de color vermell que constava a més a més de quatre cordes de niló provinents dels extrems del mateix que calien lligar-se a un punt en concret. El seu diàmetre era d'un metre. Aquest paracaigudes havia de ser capaç d'estabilitzar la velocitat fins a 7 m/s per a objectes de massa propera a 1,5 kg.

Subministrador del producte

L'empresa amb la qual es va contactar a través del correu electrònic del projecte va ser l'americana *The Rocket Man*, dedicada a la fabricació de tota classe de paracaigudes.

El preu del producte va ser d'uns 40 euros amb IVA inclòs, els quals uns 35 anaven destinats a les despeses del producte i els altres 5 eren els corresponents a les despeses d'enviament.

Forma de compra

Es va dur a terme el pagament a través d'una transferència bancària. El paquet va arribar en avió des dels EUA i va ser portat a l'oficina de l'empresa de transports Correos, on va ser finalment recollit pel projecte.

Tenint en compte la despesa econòmica la quantitat a pagar ha estat la prevista en referència al pressupost.

3.2.4 Caixa de porexpan

Per tal de construir una càpsula es necessitava un material econòmic, de poc pes i compacte. Un dels elements en els quals es va pensar immediatament va ser el porexpan.

El porexpan és un material que presenta una capacitat excel·lent per a l'aïllament tèrmic tant per al fred com per a la calor i és per això que en moltes empreses i en les indústries es guarden els productes que cal conservar de les condicions exteriors en capses fetes a base de porexpan. A més a més les caixes de porexpan resulten ésser molt lleugeres i resistents als cops, ja que absorbeixen de manera molt efectiva l'energia d'un xoc.



Figura 11: Caixa de porexpan utilitzada

Es van obtenir dues capses en els supermercats *Condis,* que les empraven per emmagatzemar congelats. No va caldre pagar-les, la qual cosa va ser un estalvi petit, ja que no s'esperava pagar gaire per aquest producte, però tot i així es va agrair.

3.2.5 Manta tèrmica

La manta tèrmica era l'element aïllant principal de la càpsula, ja que es trobava tant a l'interior com a l'exterior.

La manta tèrmica, també anomenada manta d'emergència o de supervivència és un element utilitzat generalment per mantenir la calor corporal de les persones que pateixen algun accident. Està formada per una capa de plàstic per una banda i per una capa d'alumini per altra banda. El seu funcionament és molt senzill:



Figura 12: Manta tèrmica emprada plegada

- Si el que interessa és mantenir el fred el màxim possible es posa com a cara exterior el color platejat, ja que reflecteix qualsevol font lluminosa fent que no es retingui calor a la superfície.

- Si pel contrari ens interessa mantenir la calor d'un objecte, aleshores es posa la cara daurada cap a fora de manera que s'aconsegueix que aquesta reculli la calor de les fonts lluminoses exteriors.

En el cas de la sonda interessava guanyar temperatura per mantenir els components electrònics a un rang de temperatures òptim, així que si es posava la part daurada a l'exterior, aconseguíem recollir petita part de l'energia solar.

El preu pagat per la manta tèrmica va ser de 4 euros, una mica menys del que estava inicialment pressupostat.

3.2.6 Unitat sensorial



Figura 13: Unitat sensorial dins la càpsula

Recollir dades tant de l'interior com de l'exterior de la càpsula i analitzar-les posteriorment era un altre dels propòsits a realitzar. És per això que es va pensar en un sistema que, un cop programat, pogués interpretar l'entorn que l'envoltava, recollir les dades que percebés i retenir-les en una targeta de memòria.

Aquest sistema es va anomenar SRD o Sistema de Recepció de Dades, tot i que en ocasions també es va utilitzar el concepte de unitat sensorial per referir-se a tot el conjunt.

Tenint en compte totes les magnituds a mesurar es va considerar necessària l'ús dels següents dispositius:

- Arduino Uno
- Protoboards
- Sensors de temperatura
- Sensor d'humitat relativa
- Sensor de pressió atmosfèrica
- Acceleròmetre

3.2.6.1 Arduino Uno

L'Arduino UNO consisteix en una placa amb un microcontrolador dissenyada per facilitar l'ús de l'electrònica en projectes multidisciplinaris. Permet la programació de diversos dispositius en múltiples llenguatges informàtics.

Accepta un voltatge d'entrada de fins a 12 V i opera amb 5 V. Conté 6 entrades analògiques, 14 entrades digitals i 6 més per a l'alimentació. L'aparell té una llargària de 68,6 mm i una amplada de 53,4 mm. La seva massa de 25 grams.



Figura 14: Model d'Arduino com l'utilitzat

No va ser necessari comprar-lo ja que ja en disposàvem de dues unitats, de manera que una part del pressupost dedicada a l'electrònica s'estalviaria per altres necessitats.

3.2.6.2 Protoboards

Una *protoboard* o placa de proves és una làmina reutilitzable emprada en la realització de circuits electrònics



Figura 15: Model de protoboards com les utilitzades

Les plaques de prova més utilitzades són les que estan fetes per blocs de plàstic amb nombroses perforacions que es troben connectades electrònicament. En aquest cas no va fer falta comprar-ne perquè ja en teníem per utilitzar.

3.2.6.3 Sensor de temperatura externa

Amb motiu de registrar una de les variables meteorològiques més importants com és la temperatura es va cercar diversos sensors per tal d'incloure'ls en la càpsula. A més a més, tal com s'ha vist en l'informe de l'atmosfera i les seves capes, la temperatura experimenta variacions diverses a mesura que canvia de capa.

L'elecció del sensor va esdevenir força complicada, ja que les temperatures extremadament baixes que es podien registrar feien que hi hagués pocs models que les registressin.



Figura 16: Model de sensor de temperatura com l'utilitzat

El sensor de temperatura externa escollit va ser el model LM35AH fabricat per l'empresa americana *National Semiconductor*. Es trobava directament calibrat en graus Celsius. Les temperatures en les quals era capaç de funcionar i donar dades es trobaven entre els -55ºC i els 150 °C. La seva precisió era de ± 0,5 °C. Podia operar a partir dels 4 V i amb un límit de 30 V.

El preu pagat per aquest sensor va ser de 9.51 euros, un preu força moderat comparat amb la resta d'opcions. Tal com va passar amb alguns materials explicats anteriorment el sensor va ser enviat en un paquet per avió fins a arribar a Barcelona, on va ser traslladat a l'oficina de transport per correu.

3.2.6.4 Sensor de temperatura interna

Observar si durant el vol a l'interior de la càpsula es mantenia una temperatura força més alta que a l'exterior i comprovar si realment la protecció tèrmica funcionava correctament. La protecció tèrmica donava confiança i el porexpan era un bon aïllant tèrmic i es va considerar que la temperatura de l'interior no hauria de baixar fins mínims tan extrems com els de fora de la caixa.



Figura 17: Model del sensor TMP 36 com l'emprat

Així doncs, el sensor escollit va ser el model TMP36, que en aquest cas no disposava d'uns límits de presa de dades com el sensor de temperatura externa, concretament podia calcular des dels -40ºC fins als 85 °C amb una precisió de ± 2%. El seu preu va ser d'uns 4 euros aproximadament.

3.2.6.5 Sensor de pressió

El model escollit va ser el MS5611. Aquest sensor era capaç de mesurar fins a pressions de només 1000 Pa. El sensor MS5611 era capaç de suportar temperatures de fins a -40ºC i 80ºC. El preu a pagar va ser de 9,89 euros.



Figura 18: Sensor de pressió com l'utilitzat

3.2.6.6 Sensor d'humitat relativa

Pel que fa al sensor d'humitat relativa, hem escollit el DHT22. Aquest sensor digital conté un mesurador d'humitat i un termistor intern i cobreix tot el rang d'humitat relativa (del 0 al 100%). No obstant això, com el sensor anterior, no funcionarà sota 40 °C així que és possible que en moments puntuals del vol no tinguem informació sobre la humitat relativa.

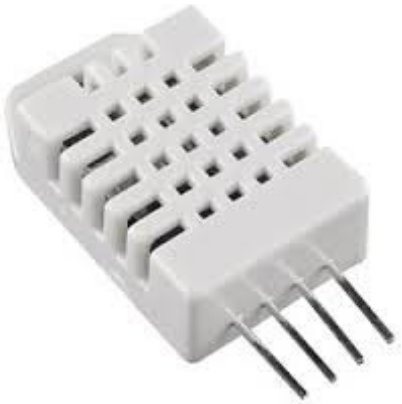


Figura 19: Sensor d'humitat com l'usat

3.2.6.7 Acceleròmetre

Un acceleròmetre és un tipus de sensor que mesura acceleracions lineals. Les acceleracions amb aquests sensors se solen mesurar utilitzant la unitat "G" que no és més que la unitat de referència de l'acceleració gravitatòria de la terra (9,81 m/s^2. Ja es disposava d'aquest dispositiu, per la qual cosa no va ser necessari comprar-lo.

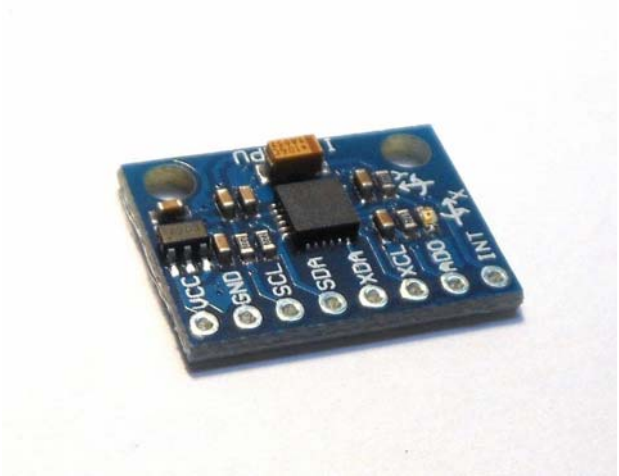


Figura 20: Acceleròmetre com l'usat

3.2.7 Sistema de telemetria en viu (STV)

El Sistema de Telemetria en Viu o STV és un conjunt de dispositius emprats en el projecte que tenien la funció d'enviar i rebre dades a través de la ràdio. Amb aquest sistema el que es pretenia era poder seguir la sonda en tot moment. Els elements que s'han emprat per elaborar aquest sistema han estat:

- Mòdul GPS: A partir dels senyals que emeten els satèl·lits, aquest dispositiu el que havia de fer era rebre'ls de manera que així es podia saber la localització de qualsevol objecte o objectes, que en aquest cas es tractava de la sonda. El seu preu va girar en torn els 11,40 euros.



Figura 21: Mòdul GPS com l'emprat

- Mòdul emissor de ràdio: Les dades rebudes pel GPS eren transmeses a través d'un emissor en forma d'ones. L'emissor, en aquest cas, es va tractar del model NTX2B que era capaç d'emetre ones amb una freqüència de 434 MHz. El seu preu va ser d'uns 40 euros.



Figura 22: Mòdul de ràdio com l'emprat

- Receptor de ràdio: Es necessitava un dispositiu que rebés les ones de l'emissor. En aquest cas es va emprar un dispositiu RTL2832U. El seu preu va ser d'uns 12 euros



Figura 23: Receptor de ràdio emprat

- Antena receptora de ràdio: Serviria per amplificar el camp de recepció de senyals i així poder detectar ones de ràdio a major distància. Es va fer servir una antena Yagi que va costar uns 50 euros.

3.2.8 Radiobalises i mòbils

De la mateixa manera que a partir de la ràdio es volia transmetre informació sobre la posició, l'altura i la velocitat de la sonda, amb unes radiobalises es buscava tenir un segon sistema que permetés enviar les mateixes dades que amb el sistema de telemetria en viu.

Però, què és una radiobalisa? Una radiobalisa és un mecanisme utilitzat per facilitar la localització de qualsevol objecte o persona mitjançant l'emissió intermitent de dades.

Les radiobalises són emprades sobretot en situacions d'emergència per efectuar els rescats en vaixells, avions i persones que es troben en perill.

En aquest cas el funcionament de les radiobalises es duia a terme a partir d'aplicacions emprades per a telèfons intel·ligents o smartphones. El funcionament del programa es basava en la captació de senyals GPS que permetien saber la posició a la qual es trobava la radiobalisa. Un cop es rebia el senyal GPS, es produïa l'enviament de missatges SMS a un tercer mòbil amb la informació de l'altura, la velocitat i la posició en forma de latitud i longitud. El sistema havia de funcionar fins a una altura determinada que es podia escollir segons la conveniència a partir de la qual es deixava d'enviar els missatges.

Mòbils utilitzats

Per a la missió de sondeig meteorològic es volia introduir en la càpsula que constituïa una part de la sonda dos telèfons mòbils

- *Samsung Galaxy Ace S5830*: mòbil amb una massa de 113 grams i amb unes dimensions de 11,2x5,9x1,15 centímetres de llargària, amplada i profunditat respectivament.

- *Samsung Galaxy Mini 2*: mòbil amb una massa de 105,3 grams i amb unes dimensions de 10,9x5,9x1,16 centímetres de llargària, amplada i profunditat respectivament.

Els mòbils ja els teníem a la nostra disposició, de manera que no es va necessitar comprar-los.



Figura 25: Samsung S5830 com l'emprat



Figura 24: Samsung Mini 2 com l'emprat

3.2.9 Càmeres

Un dels objectius primordials d'aquest projecte era obtenir fotografies i vídeos de la Terra pel fet de poder observar la curvatura del planeta, el color blau del cel, els núvols i tenir material per analitzar posteriorment. Per fer-ho es requeria l'ús de càmeres que captessin aquest material audiovisual i a més a més amb una qualitat acceptable. Una de les opcions que es van plantejar inicialment van ser les càmeres digitals, molt versàtils, compactes i amb bones capacitats tècniques.

Tanmateix es plantejava una qüestió important: com es podien fer les imatges i els vídeos amb les càmeres sense la dependència de cap persona? Es necessitava un control sobre les mateixes per garantir poder emprar-les durant tot el vol.

Un altre punt a destacar era la durada dels vídeos. Les càmeres digitals convencionals estan preparades per gravar-los amb un màxim de 30 minuts per cada vídeo. Això vol dir que en un vol que podia durar entre 90 i 120 minuts només es podria gravar un de sol, ja que només es podria apretar el botó per començar a gravar una sola vegada.

Per aquests motius l'organització del projecte es va decantar per la marca Canon, una multinacional japonesa dedicada a la fabricació de dispositius per a l'obtenció òptica d'imatges, així com videocàmeres, etc. Les seves càmeres digitals permetien la introducció d'un programa anomenat CHDK (*Canon Hack Development Kit*) que permet l'obtenció automàtica de fotografies i vídeos amb els intervals de temps desitjats pel que fa a les imatges i amb la durada i el nombre d'arxius de tipus visual en el cas de la càmera dedicada a la gravació de vídeos.

En aquesta ocasió es van fer servir dos models Canon diferents:

- La càmera digital Canon Powershot A-1200
- La càmera digital Canon Powershot A-2200

Canon Powershot A-1200

Aquesta càmera va ser preparada per l'obtenció de les imatges del vol. Podia funcionar en entorns on les temperatures es trobessin entre 0 i 40 °C i amb una humitat que girés entorn el 10% i el 90%.
Les seves dimensions eren: 97,5 mm d'amplada, 62,5 mm d'alçada i 30,7 mm de profunditat. La seva massa es trobava aproximadament pels 185 grams, incloent-hi la bateria i la targeta de memòria.

Obtenia imatges amb una qualitat de 12,1 megapíxels. Funcionava a base de piles alcalines de mida AA i els arxius creats es guardaven en una targeta SD (Secure Digital). La seva pantalla tenia unes dimensions de 2,7 polsades (6,8 cm).

La càmera va ser comprada per un particular que volia vendre-la a través d'un lloc web destinat a la venda de productes de segona mà. El preu que es va pagar per ella va ser de 30 euros. Tenint en compte que era de segona mà i que el model era del 2005, es va considerar força cara, ja que avui dia ens podem trobar càmeres noves en les botigues amb un preu d'uns 50 o 60 euros. Tanmateix, era la millor opció tenint en compte les diverses ofertes que hi havia al lloc web i a més no es volia dedicar tants diners per finançar unes càmeres, de manera que es va adquirir.



Figura 26: Càmera A-1200 utilitzada

Canon Powershot A-2200

Aquest model de càmera digital va ser programat per tal d'aconseguir filmar la missió de sondeig meteorològic. Segons les especificacions del seu manual d'instruccions, era capaç de realitzar imatges amb una qualitat equivalent als 14,1 megapíxels. Funcionava a partir d'una bateria de liti que podia suportar fins a 6 hores de reproducció aproximadament.



Figura 27: Càmera A-2200 emprada

La seva massa s'aproximava als 135 grams inclosos la bateria i la targeta de memòria inclosa. El seu entorn de funcionament es trobava en temperatures que anaven des dels 0 °C fins als 40 °C i entre el 10% i el 90% pel que fa a la humitat.

Les seves dimensions eren de 9,32 centímetres d'amplada, 5,72 centímetres d'alçada i 2,36 centímetres de profunditat.

Aquesta càmera també es va comprar de segona mà a través del mateix lloc web que l'anterior. El preu d'aquesta va ser de 30 euros, 5 més dels que s'havien pressupostat. El model de la càmera era del 2010, de manera que era força més recent que la càmera anterior.

3.2.10 Altres

Piles de 9V

Necessàries per a l'alimentació elèctrica dels sistemes electrònics. D'aquestes se'n van comprar fins a 6 unitats, arribant al preu de 12 euros.

Cordes de niló

El niló, un material resistent i lleuger, havia de servir per unir la càpsula amb el paracaigudes. La seva amplada amb prou feines arribava als 10 mil·límetres. Es van comprar quatre unitats d'1,25 metres cadascuna per un preu de 3 euros en total.

Escuma de poliuretà

L'escuma de poliuretà o escuma expansiva és un material plàstic que en un principi és líquid però a mesura que passa l'estona es va tornant sòlid i s'expandeix. Es va comprar una ampolla de 800 ml per 5 euros.

3.3 Despeses

Havent comprat tots els elements que havien de constituir la sonda era el moment de fer comptes i saber la quantitat gastada finalment i comparar la quantitat gastada amb la pressupostada. Per fer-ho, s'ha dividit les despeses en tres apartats:

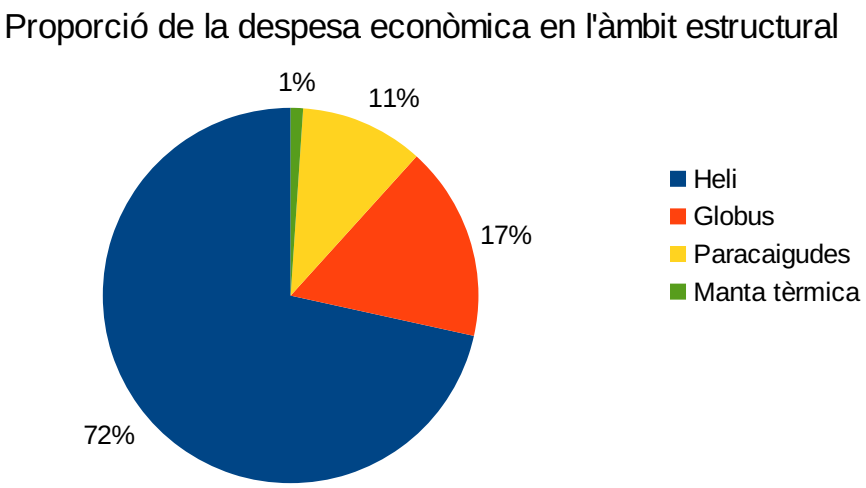
Apartat estructural: tot allò que havia de constituir la forma i propulsió de la sonda s'ha inclòs en aquest apartat. En aquest punt es va incloure l'heli, el globus, el paracaigudes i la manta tèrmica.

Apartat electrònic: tots els elements que formaven els sistemes electrònics, com els sensors, les càmeres, els aparells d'emissió i recepció per ràdio....

Apartat estructural

A continuació es mostra les dades distribuïdes en taules i gràfics que resumeixen la despesa econòmica en aquest apartat.

Taula 2: despeses de l'apartat estructural	
Materials	**Preu**
Heli	268,89 euros
Globus	62,9 euros
Paracaigudes	40 euros
Manta tèrmica	4 euros
Total	375,79 euros



Tal i com es pot observar, el cost total d'aquest apartat ha estat d'uns 365,79 euros repartits entre quatre elements principals: l'heli, el globus, la manta tèrmica i el paracaigudes.

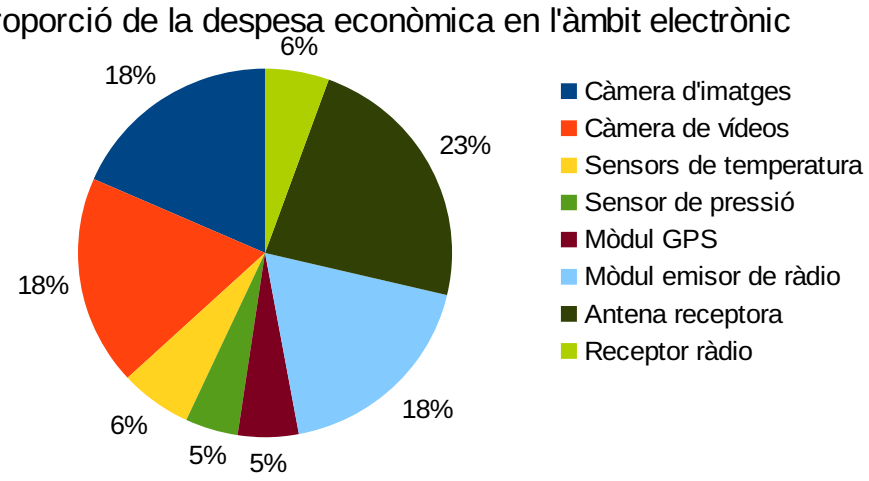
L'heli suposà el 72 % de la despesa en aquest àmbit. En comparació amb el que es va pressupostar hi ha un desfasament de 118,89 euros. Tal i com s'ha explicat en pàgines anteriors, estava pensat comprar una bombona de 5,5 m3 però que finalment no es va poder, de manera que es va decidir comprar la bombona de 91 m3 que era més cara.

El globus va costar uns 12 euros menys del que s'havia calculat en un primer moment, però tot i així ha suposat una despesa quantiosa. Tenint en compte que era de segona mà, encara ha resultat ser barat, ja que les empreses fabricants i venedores de globus meteorològics feien servir preus que arribaven als 100 euros o més. El globus representa el 17 % d'aquest apartat.

Pel que fa al paracaigudes, representa l'11 % del total. El preu pagat per aquest ha estat d'ns 40 euros, tal i com s'havia estimat. La manta tèrmica ha estat dels productes més barats, amb 4 euros i un 1 % del total.

Apartat electrònic:

Taula 3: despeses de l'apartat electrònic	
Objectes	**Preu**
Càmeres	80 euros
Sensors de temperatura	13,51 euros
Sensor de pressió	9,89 euros
Mòdul GPS	11,4 euros
Mòdul emisor de ràdio	40 euros
Antena receptora de ràdio	50,22 euros
Receptor de ràdio	12 euros
Total	217,02 euros

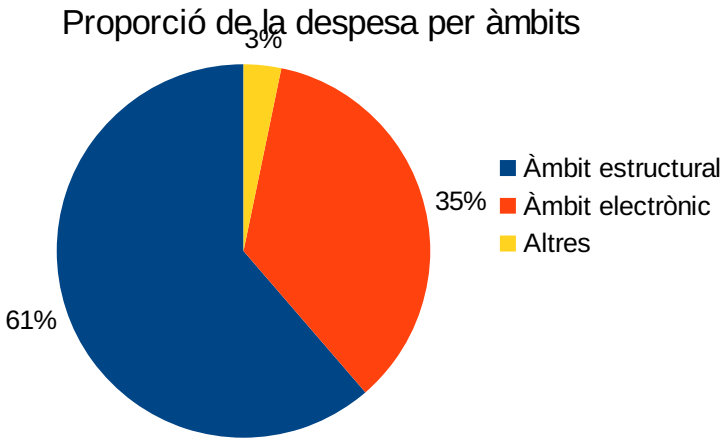


La despesa en l'apartat electrònic ha estat de 217,02 euros, els quals s'han dividit en 7 elements: les càmeres, els sensors de temperatura i de pressió, el mòdul GPS, el mòdul emissor per a la ràdio, l'antena receptora i el receptor de ràdio.

La despesa més important és la de l'antena receptora que ha costat un total de 50,22 euros que en un principi no es va considerar necessària però sí temps més tard. Li segueix les càmeres, que ambdues sumen 80 euros (40 per cadascuna) i el mòdul de ràdio (40 euros). El receptor de ràdio, el mòdul GPS i els sensors es troben a més diferència, amb una suma d'uns 45 euros aproximadament.

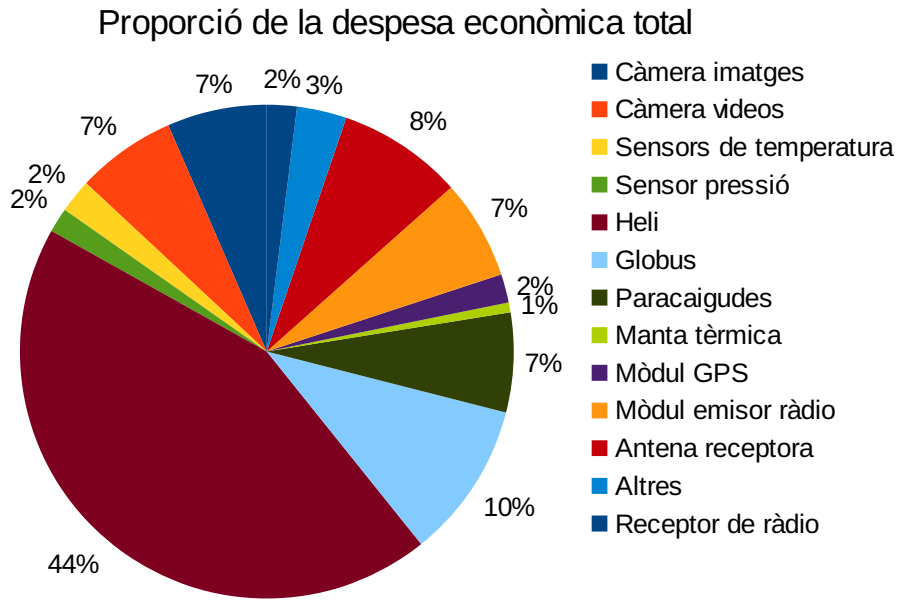
Despesa total per àmbits

Taula 4: Despeses per apartats	
Apartat	**Preu**
Apartat estructural	375,79 euros
Apartat electrònic	217,02 euros
Altres	20 euros
Total	612,81 euros



L'àmbit estructural ha suposat el 61% del pressupost i la part electrònica el 35% i els objectes variats només el 3%. Per tant, la major part de la despesa s'ha produït en els productes destinats a l'estructura de la sonda.

Tot seguit es disposa un gràfic amb les proporcions de tots els materials comprats.



4 Construcció de la càpsula

En aquest capítol s'explica el conjunt de procediments destinats a la creació pròpia d'una càpsula preparada per, en un temps aproximat de dues hores, poder pujar, descendir i aterrar en les millors condicions. No s'inclou cap referència a l'electrònica excepte per alguna implicació en els procediments de conformació de la càpsula

A més a més es volia demostrar com a partir d'una caixa de congelats reutilitzada per aquest projecte es pot arribar a convertir en una estació meteorològica preparada des del punt de vista estructural per aguantar tota una experiència com la d'un vol a 30.000 metres.

A mesura que l'àmbit electrònic anava completant i finalitzant els diferents sistemes que posteriorment anirien acoblats dins la capsa, i un cop vistos els terminis de temps marcats, la necessitat de posar-se amb treballs manuals pensades per al porexpan obtingut creixia.

Els elements de què es disposaven havien de permetre un disseny capaç de ser resistent a les condicions de fred extrem a partir d'un aïllament amb la màxima eficàcia possible mitjançant l'ús de la manta isotèrmica i d'un bon tancament de la dita càpsula.

A banda de l'aïllament també era important aprofitar el màxim l'espai disponible de la caixa per situar en els punts més òptims tots els objectes que havien d'estar presents, com per exemple les càmeres, destinades a recollir tots els arxius de caràcter audiovisual, així com les piles corresponents a l'alimentació dels circuits elèctrics dels sistemes d'obtenció i/o transmissió de dades, els mòbils, etc.

4.1 La caixa de porexpan

Com ja s'ha dit anteriorment una de les característiques més destacades d'aquest objecte residia en les seves dimensions que la fan compacte i lleugera.

Les mesures de la capsa eren de:

- Llargària: 31 centímetres
- Alçada: 9,5 centímetres
- Amplada: 23,5 centímetres

4.2 El recobriment amb la manta tèrmica

El revestiment de la capsa amb la protecció tèrmica esdevenia el principal recurs emprat per donar seguretat i evitar la mínima fuga de temperatura de l'interior. Com que el que es pretenia era retenir la quantitat més gran de calor era molt important que es col·loqués de forma que es veiés la part daurada de la capa.



Figura 28: La capsa amb la manta afegida

Procediment aplicat

En primer lloc es va retallar en parts petites l'extensa manta tèrmica (cal recordar que aquesta podia tapar fins a dues persones a la vegada) per facilitar la seva posterior manipulació.

A continuació es va començar a enganxar a base de cola de barra i amb cinta adhesiva transparent tenint en compte que el costat platejat havia de estar dirigit cap a la caixa. En un primer moment es va pensar en substàncies adherents més potents, com ara la cola líquida, però en veure que la làmina de manta tèrmica s'enganxava perfectament es va seguir amb el mateixos adhesius. Per evitar espais d'aire entre la caixa i la manta es va impedir que es formessin arrugues en les làmines.

Tot seguit es va acabar de cobrir completament la part exterior.

Acabat la part de fora, era el torn de l'interior. En aquesta ocasió va ser força més complicat ja que les parets de la mateixa caixa van esdevenir incòmodes a l'hora d'encolar l'espai intern. Amb cura i paciència es va enganxar tot procurant que no apareguin les mateixes arrugues que en els procediments anteriors.

4.3 Foradar la capsa

Des del primer moment en què es va plantejar la introducció de càmeres en la missió de sondeig meteorològic es va tenir clar que no es podia deixar, sota cap concepte, a l'exterior. Les temperatures que podien suportar una càmera digital convencional obligaven a col·locar-les a dins de la capsa. Feia necessari realitzar uns orificis per fer que les lents de les càmeres poguessin captar l'exterior.

Un cop decidit que la seva ubicació es trobaria a l'interior era el moment de donar-los una posició fixa per a cadascuna d'elles:

- La càmera *Canon Powershot A-2200*: situada a la base de la càpsula.
- La càmera *Canon Powershot A-1200*: situada a un dels costats, preferiblement en aquell on la llargària de la paret de la capsa fos de 31 centímetres.

Procediment

Per començar calia saber el diàmetre de les lents de les dues càmeres. Amb un regle es va mesurar que era d'uns 3 centímetres per part d'ambdós objectius.

Després del pas anterior es va començar a realitzar dos talls amb un cúter d'uns 4 centímetres de costat per a cadascun dels forats a fer.



Figura 29: Forat de la càpsula per a la càmera de fotografies

4.4 Disseny de les caixes per a les càmeres

Com que la ubicació de les càmeres estava destinada a la part interior es va pensar que un cop protegida la càpsula amb manta tèrmica no hi havia més necessitat d'afegir-hi més. Malgrat tot, després de llegir les característiques d'ambdues càmeres va sorgir un imprevist: podien presentar problemes en el funcionament dels seus sistemes interns a partir dels 0 °C.

Per una banda es confiava amb la protecció aïllant que ja s'havia incorporat a la capsa de porexpan, però per altra banda no es volia arriscar a perdre un material que en el seu conjunt superava els cinquanta euros, fos per les baixes temperatures o per patir un cop molt fort en l'aterratge.

Després de debatre si calia centrar més els esforços a cobrir dues càmeres o si ja n'hi havia prou amb deixar-les sense cap coberta. Es va determinar la primera opció.

Les capses pensades per a les càmeres servirien com a mesura de prevenció, és a dir, la seva funció es basava simplement en la d'evitar possibles danys per part dels sistemes electrònics que tenien a causa de la seva vulnerabilitat a baixes temperatures.

Les proteccions anirien envoltades de manta tèrmica per dins i per fora i amb un altre orifici per als objectius.

Per preparar-les calia tenir en compte les dimensions de les càmeres usades i es va decidir crear dues proteccions diferents una de l'altra.

Procediment

Primerament es van calcular les mesures que tindrien les sis parets que formarien les caixes un cop revisades les de les càmeres.

- Per a la Canon A-1200: 2 bases de 10 X 3,5 centímetres, 2 costats laterals grans de 10 X 6,5 centímetres i 2 costats laterals petits de 6,5 X 3 centímetres.

- Per a la Canon A-2200: 2 bases de 10 X 3 centímetres, 2 costats laterals grans de 10 X 6 centímetres i 2 costats petits de 6 X 2,5 centímetres.



Figura 31: Caixa per a la Canon A-1200



Figura 30: Caixa per a la Canon A-2200

Seguidament es van retallar els trossos de porexpan allà on s'havien establert les marques de les dimensions. Seguidament es va recobrir tots els fragments de manta tèrmica.

El pas següent va consistir en la realització de nous forats tenint en compte el diàmetre de les lents de les càmeres.

Tot seguit es va utilitzar un adhesiu anomenat cianoacrilat, una substància d'adhesió extremadament ràpida, en cas d'un possible ús s'ha d'utilitzar amb molt de compte, ja que s'adhereix a la pell instantàniament.

Un cop acabades, les caixes protectores de les càmeres no van ser instal·lades immediatament a la càpsula. Es va observar que, a causa del poc espai del qual es disposava dins d'ella, la col·locació de les càmeres durant el dia del llançament es podria veure complicada. Finalment, es va decidir posar únicament la caixa que cobriria la càmera *Canon A-2200* momentàniament. A base de cianoacrilat novament es va enganxar aquesta caixa amb la sonda.

L'altra caixa va ser instal·lada minuts abans del llançament

4.5 Preparació del sistema de cordes de la càpsula

Un cop que la sonda anava agafant forma calia pensar en com unir la càpsula amb els dos elements estructurals restants: el paracaigudes i el globus.

Per aquesta raó es va pensar en la tapa de la caixa de porexpan, que encara no havia estat modificada. En ella es va afegir el sistema de cordes

Es va pensar en un sistema de 4 cordes de niló en cadascun dels 4 extrems de la tapa per tal de:

- Unir la càpsula amb el paracaigudes
- Evitar girs excessius per part de la càpsula durant el vol, és a dir, donar estabilitat a la capsa. Era important sobretot per les càmeres, que necessitaven un objectiu més o menys fix.

En aquest punt també es va tenir en compte el repartiment de masses. Es va considerar que el pes havia d'estar distribuït de manera equitativa en tots els punts per evitar un desequilibri i una posterior inclinació en un dels costats durant el vol.

Procediment

En primer lloc es va aplicar uns forats a la tapa de la caixa per travessar-hi les brides, que acabarien enrotllant-se en cercles tancats. Per tal d'evitar fugues de calor, es va tapar els orificis a base d'escuma de poliuretà o escuma expansiva tant per l'exterior com per l'interior.



Figura 32: Brides incorporades

Tot seguit es va tallar el niló en quatre parts iguals per donar lloc a quatre cordes exactament iguals.

Després, un cop tallades, es van lligar a les brides i es van enganxar, per major seguretat, amb cinta adhesiva vermella. Amb aquests dos passos el sistema de cordes ja estava fet i preparat per dur a terme proves.

Situació dels sistemes

El sistema SRD es va situar a la part esquerra, al costat de la caixa central. Per contra, el sistema STV es va situar a la part dreta de la capsa.

4.6 Sensors exteriors

Com que calia prendre dades de l'entorn exterior es va pensar en col·locar-los també a la part superior de la tapa. De la mateixa manera que amb les brides, es van realitzar un conjunt d'orificis per tal de fer passar els cables a la cara exterior de la tapa. Després, un cop instal·lats, es van tornar a aplicar l'escuma de poliuretà.



Figura 33: Sensors d'humitat i de pressió a l'exterior

4.7 Mòdul emissor de ràdio

El mòdul emissor de ràdio es va instal·lar a la part inferior de la càpsula tot fent passar els cables per una sèrie de forats que posteriorment serien tractats amb poliuretà.

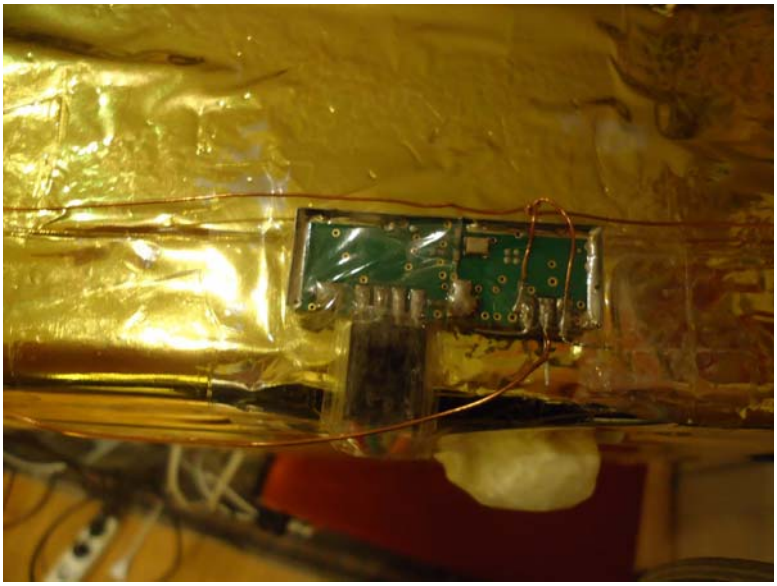


Figura 34: Mòdul de ràdio a l'exterior

4.8 La massa total

Després d'acabar amb tots els procediments referents a la construcció de la sonda es va realitzar un recompte de la massa total que hi hauria el dia del llançament. En total, el pes de la càpsula va donar com a resultat 1254 grams en total. Pel que fa a la sonda en si cal sumar el pes del globus i del paracaigudes, que es va estimar en un total de 2,2 kg, de manera que la massa total de la sonda sense afegir-hi heli seria d'uns 3454 grams.



Figura 35: La càpsula amb tots elements interiors



Figura 36: Càpsula amb tots els elements exteriors

5 Fase de proves

Les proves formaven una part molt important de cara al projecte, ja que

5.1 Proves a baixa temperatura

Tal com s'ha descrit en el capítol d'informes sobre l'atmosfera i la meteorologia, l'ambient pel qual la sonda podia trobar-se es basava en què les condicions atmosfèriques arribarien a ser extremes, ja que les temperatures en aquests punts podien arribar a oscil·lar al voltant dels -60 °C. Un coneixement del comportament aïllant de la caixa en condicions fredes era imprescindible de cara a la preparació d'un llançament.

Amb els medis disponibles al nostre abast feia impossible recrear una situació de tal fredor. L'única possibilitat que es va tenir en compte va ser l'obtenció de gel sec. Es va consultar sobre una possible compra d'aquest producte, que consistia bàsicament en CO2 en estat sòlid a -78ºC que podia sublimar, és a dir, podia passar de l'estat sòlid a l'estat gasós directament, la qual cosa ho feia molt pràctic, ja que no deixava cap rastre.

Desgraciadament, el seu preu era excessiu (superava els 50 euros per cada quilogram que es desitjava obtenir) i el pressupost i ja es trobava tancat i es va decidir descartar-ho. L'única opció contemplada i que per tant era possible dur-la a terme va ser la d'usar congeladors convencionals que es poden trobar en qualsevol habitatge.

Objectiu

L'objectiu d'aquestes proves consistia a comprovar la capacitat de retenció de la calor per part de la caixa folrada a base de manta tèrmica i calcular el nombre de graus centígrads que baixava per unitat de temps.

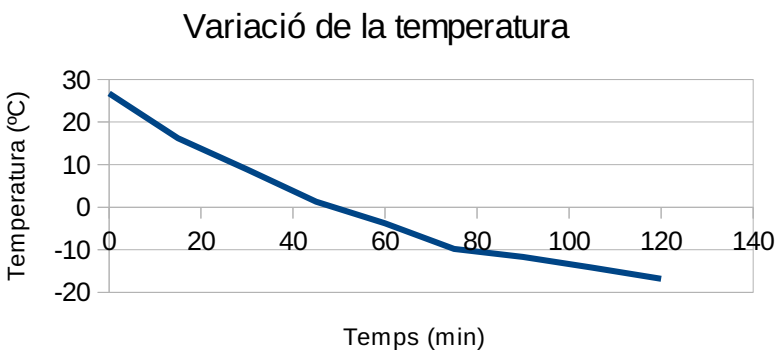
Procediment

El procediment esdevenia de la següent manera:

- Primer pas: Folrar amb una doble capa de manta tèrmica la segona caixa de porexpan obtinguda.
- Segon pas: Foradar la caixa amb uns cercles de 3 centímetres de diàmetre aproximadament.
- Tercer pas: Introduir un termòmetre que pogués mesurar temperatures al voltant dels -18ºC
- Quart pas: Ficar la capsa en el congelador
- Cinquè pas: Enregistrar la temperatura cada 15 minuts fins a arribar a les dues hores.

Resultats obtinguts

Taula 5: Descens de la temperatura	
Temps (minuts)	**Temperatura registrada (ºC)**
0	26,7
15	16,2
30	8,9
45	1,3
60	-3,8
75	-9,8
90	-11,7
105	-14,2
120	-16,8



Observacions

Els resultats obtinguts no van ser gaire positius però esperats tenint en compte que la caixa es trobava foradada per simular que en aquells punts hi havia d'haver una càmera. En prou feines va passar un quart d'hora i la temperatura ja havia baixat més de 10 °C la qual cosa dóna més arguments a l'explicació anterior.

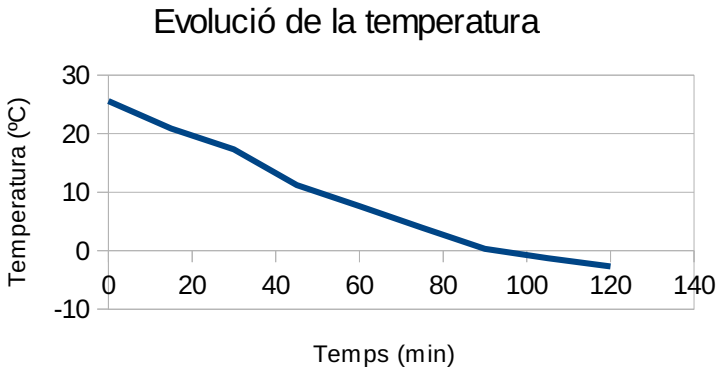
Calculant la temperatura perduda restant el registre final menys el registre inicial el resultat que es va obtenir va ser de -43,5 ºC, amb una pèrdua de 0,3625 °C /minut de mitjana i de 5,44 °C per cada registre efectuat. Era una quantitat exageradament alta, per la qual cosa es va decidir tornar a repetir la prova amb la mateixa durada i els mateixos registres de temperatura però amb la diferència que en aquesta ocasió els forats havien de ser tapats per un plàstic transparent.

Segona prova

L'objectiu i el procediment es repeteixen de la mateixa manera que en la prova anterior, tot posant aquesta vegada un plàstic en el forats.

Resultats de la segona prova

Taula 6: Descens de la temperatura	
Temps (minuts)	**Temperatura registrada (ºC)**
0	25,6
15	20,9
30	17,3
45	11,2
60	7,6
75	3,9
90	0,3
105	-1,3
120	-2,7



Observacions

En aquesta ocasió els resultats obtinguts van ser molt millors que en l'ocasió anterior. La pèrdua final de temperatura en graus centígrads va ser de -28,3 ºC, la baixada de temperatura per minut es va quedar en 0,23 °C/minut com a mitjana i 3,54 °C per cada registre.

Amb aquests registres es va comprovar que els forats havien de ser tapats per evitar una pèrdua exagerada de temperatura interior i evitar, d'aquesta manera, la congelació de tots els aparells electrònics de la càpsula en el dia del llançament.

5.2 Proves amb el SRD

La unitat sensorial o el SRD (Sistema de Recollida de Dades) era una de les parts fonamentals de la sonda, ja que aquesta era l'encarregada de realitzar la captació de tot un conjunt de dades procedents de l'ambient per on la càpsula havia de volar.

Si aquest sistema fallava, les conseqüències podrien ser molt greus, ja que les anàlisis de dades posteriors al llançament es basaven en aquelles obtingudes a partir del SRD i sense elles, una part del projecte es quedaria sense poder realitzar-se.

Per evitar errors i imprevistos durant el dia del llançament a l'hora de fer funcionar aquest dispositiu es van realitzar les proves que es descriuen a continuació.

Objectiu de la prova

L'objectiu que es perseguia era el de comprovar el funcionament correcte de tots els sistemes que conformaven el SRD, especialment els sensors emprats (el sensor de pressió atmosfèrica, els sensors de temperatura interna i externa i el sensor d'humitat relativa) i també la targeta SD, que havia de crear i guardar un arxiu en el qual serien totes les dades obtingudes a partir dels sensors.

Procediment

- Connectar la placa *Arduino UNO* corresponent al SRD a l'ordinador per donar corrent elèctric a tot el sistema.

- Posar en funcionament el SRD i comprovar que es transmeten les dades correctes i que es guarden correctament en la targeta SD. En aquest punt i en referència als sensors es va intentar constatar si realment experimentaven canvis i es van realitzar tot un seguit d'accions (prémer els sensors de temperatura, els d'humitat relativa...) per revisar si els sensors notaven els canvis.

Observacions

El funcionament dels sensors va ser correcte en tot moment, això significà que la qüestió de programació dels sensors havia estat tot un èxit. Ara bé, el registre i conservació de les dades en la targeta SD va donar més problemes dels previstos. Durant la realització de la prova va crear un arxiu però no es va guardar cap informació.

Amb l'efectuació d'aquesta prova es va poder examinar les errades comeses al voltant de la programació del sistema de registre de dades i l'àmbit electrònic es va proposar solucionar les dificultats que plantejava la targeta SD.

Segona prova

Dies més tard es va tornar a realitzar la mateixa prova de nou amb els problemes detectats suposadament arreglats. Es va tornar a aplicar el mateix procediment esmentat anteriorment, ja que no hi havia motius per canviar-ho perquè els problemes de la prova anterior no van ser provocats pels passos seguits.

Observacions

Pel que fa als sensors no es van produir canvis en el seu funcionament respecte a la prova anterior. Respecte a la targeta SD es va comprovar que en aquesta ocasió si va aconseguir crear l'arxiu i registrar finalment les dades.

5.3 Prova sobre la duració de les piles

A la vegada que es van fer les proves amb el Sistema de recepció de dades es van realitzar els testos amb les piles per esbrinar la seva duració. La durada de les piles connectades al sistema va ser d'unes 10 hores aproximadament, temps més que de sobra per realitzar el vol.

5.4 Prova sobre les radiobalises

Les radiobalises constituïen una de les parts estructurals de la sonda encarregades de determinar la posició de l'aparell a partir de les dades corresponents a la latitud, la longitud, l'altura, la velocitat i la precisió de la mesura.

Com ja s'ha explicat anteriorment, les radiobalises emprades en aquest projecte són aplicacions pensades per a telèfons intel·ligents amb un sistema operatiu Android, com és el cas dels mòbils usats en aquest projecte. Aquestes aplicacions necessiten localitzar un conjunt de satèl·lits i rebre els senyals d'aquests per tal de poder aconseguir la posició a la qual es troba l'objecte en qüestió i enviar un missatge en un període de temps determinat a un número de telèfon determinat.

Aquestes radiobalises havien de funcionar correctament durant el vol perquè eren les encarregades de registrar la posició i l'altura a la qual arribava la sonda. Si les aplicacions dels mòbils o aquests mateixos fallaven durant la missió no hi hauria dades sobre l'altura ni tampoc es podria fer una visualització del vol en 3 dimensions a partir de certs programes.

Les bateries dels mòbils també preocupaven, ja que no se sabia el consum de bateria que necessitaven les aplicacions i també van ser motiu de prova.

5.4.1 Prova sobre el funcionament de les radiobalises

En aquesta prova es van emprar els dos mòbils simultàniament de manera que ambdós aparells transmetien els missatges a un tercer mòbil. Com que els SMS tenen un cost determinat, es va decidir no allargar massa la prova.

Objectiu

L'objectiu de cara a la realització d'aquesta prova era el d'examinar el funcionament de les radiobalises mitjançant l'enviament de certs SMS des del mateixos mòbils a un tercer.

Procediment

- Primer pas: Modificar els mecanismes de l'aplicació de tal forma que en cada període de temps (en aquest cas van ser 30 segons) enviaria un missatge a un número de telèfon mòbil el qual hauria de rebre'l.
- Segon pas: Activar l'opció del GPS dels mòbils
- Tercer pas: Activar les radiobalises i esperar a la detecció de satèl·lits.
- Quart pas: Enviament dels missatges per part dels mòbils un cop detectats els senyals durant 2 minuts.

Observacions

La radiobalisa dissenyada per l'àmbit electrònic va funcionar correctament i va arribar a enviar fins a 4 missatges en total en el model *Galaxy Mini 2*. En canvi, en el Samsung GT-S5830, l'aplicació, un cop va detectar els senyals GPS, va patir una aturada forçada pel sistema operatiu. L'àmbit electrònic va intentar resoldre el problema diverses vegades però tot i els esforços no es va detectar l'anomalia en el programa.

Es va determinar que l'aplicació no era la causant, ja que si hi havia un error en aquesta, ambdós mòbils haurien patit la mateixa situació i no va ser així.

La prova amb el mòbil GT-S5830 es va repetir en nombroses ocasions sense èxit.

Com que no era possible detectar quina havia estat la causa que provocava l'error es va creure que el problema es trobava en el mòbil en si i el seu programari.
En aquell moment se'ns va plantejar un dilema molt important: Si no es podia utilitzar la radiobalisa en un dels dispositius, aleshores què calia fer amb aquest? Per un temps es va descartar la seva presència dins la càpsula durant el vol per rebaixar la massa de la sonda i per evitar possibles desperfectes.

Com que no s'aconseguia fer funcionar de cap de les maneres, l'encarregat de l'àmbit electrònic va demanar informació i consell al projecte *Daedalus* per esbrinar què era el que succeïa. Amablement, aquesta associació ens va oferir de manera desinteressada la seva radiobalisa que utilitzaven durant les seves missions per al nostre treball.

5.4.2 Segona prova

Una vegada que ja es disposava de nou d'ambdues aplicacions per als mòbils es va determinar que calia fer una altra prova. En aquesta ocasió no podia fallar res, ja que se suposava que la radiobalisa cedida havia de funcionar.

Objectiu

L'objectiu, a diferència de la primera prova, era esbrinar si el funcionament de la nova radiobalisa es desenvolupava amb normalitat en el mòbil GT-S5830.

Observacions

En aquesta ocasió ambdues radiobalises van funcionar a la perfecció i totes dues van ser capaces d'enviar en dos minuts quatre missatges amb tota la informació que havia d'aparèixer (altura, velocitat, posició i precisió).

Es tornava a disposar de tots dos mòbils per a la missió de sondeig meteorològic però tot i així no es va poder esbrinar quin era el problema de la primera radiobalisa.

5.5 Proves sobre les bateries dels mòbils

Un altre aspecte a analitzar era el temps de vida de les bateries mentre es mantenia en funcionament l'aplicació dels mòbils. La missió de sondeig havia de durar al voltant de les dues hores, però el temps dedicat a la recerca de la càpsula un cop aterrada per poder-la recuperar no es podia saber, de manera que com més temps poguessin funcionar les radiobalises més possibilitats hi haurien de trobar-la en cas que es compliqués la missió de recuperació.

Objectiu

L'objectiu d'aquesta prova era calcular el temps que trigava a descarregar-se completament la bateria dels mòbils mentre funcionaven les radiobalises.

Procediment

- Primer pas: Programar les aplicacions de tal manera que, tot i rebre els senyals de GPS, no poguessin enviar missatges.
- Segon pas: Esperar al senyal de GPS
- Tercer pas: Mantenir l'aplicació activada fins que s'esgotés la bateria.

Observacions

El temps que es van mantenir actives les aplicacions tant en un mòbil com en l'altre va arribar gairebé a les 6 hores. Tenint en compte que ambdós dispositius estaven carregats al 100% de capacitat de les seves respectives bateries es pot calcular que les proporcions entre la descàrrega i el temps era d'un 16,67% per cada hora passada i d'un 0,278% per cada minut transcorregut.

5.6 Proves amb les càmeres

Una de les necessitats de realitzar proves amb les càmeres era comprovar si realment eren capaces de funcionar el temps suficient per poder obtenir les imatges i els vídeos de tot el vol. Per a la càmera de fotografies es va programar durant la prova per realitzar fotos durant uns intervals de temps que es consideraven òptims per al vol. Per a la càmera de vídeos es va programar la càmera per tal que gravés durant un interval de temps prou bo pensant per al llançament.

5.6.1 Prova amb la càmera de fotografies

Objectiu

L'objectiu d'aquesta prova era verificar la durada real de la càmera de fotografies tot realitzant una imatge cada 30 segons per tal de trobar el millor interval de temps de cara a la missió de sondeig. Mitjançant el programa CHDK, la càmera havia de funcionar constantment prenent fotografies fins que se li esgotés la bateria.

Procediment

Per començar calia programar el programa CHDK de manera que la pausa entre fotografia i fotografia fos de 30 segons. A continuació es va ajustar la càmera per tal que estalviés energia, com per exemple, al cap de 10 segons d'encendre la càmera la seva pantalla s'apagava. Després es premia el botó de realització d'imatges i es deixà en un lloc durant el temps que durés la seva pila.

Observacions

La càmera de fotografies, un cop esgotada la seva bateria, va realitzar de manera satisfactòria 120 fotografies en format de qualitat màxima i va durar unes 2 hores i 3 minuts. Això era temps i fotografies suficients per a tot el vol, ja que aquest estava pensat per durar una hora i mitja o com a molt durant unes dues hores.

5.6.2 Prova amb la càmera de vídeos

Objectiu

L'objectiu d'aquesta prova era comprovar el temps de descàrrega de les bateries de la càmera durant la gravació de vídeos la duració dels quals es va proposar que havien de ser 15 minuts. Igual que amb la càmera de fotografies, aquesta també es va programar amb el CHDK.

Procediment

En primer lloc es modificà les opcions de funcionament amb el CHDK de manera que la càmera havia de realitzar vídeos d'una duració de 15 minuts, sense interrupció i sense cap interval de temps que separés vídeo i vídeo. Amb les opcions d'estalvi activades, es va deixar gravar fins al final de la vida de la bateria.

Observacions

Es van fer 6 vídeos de 15 minuts i un altre de 10 minuts de duració, amb un temps de funcionament que va rondar l'hora i 40 minuts. Tenint en compte que el temps de vol havia de realitzar-se en una hora i mitja, el marge de temps era de tan sols 10 minuts. Tot i així el que interessava era sobretot la gravació de l'ascens i el material audiovisual que es podia obtenir.

5.7 Prova d'anivellament

Per tal de saber si la càpsula es podria desequilibrar per un cantó o un altre a causa d'un mal repartiment de pesos de la càpsula es va realitzar una prova d'anivellament que consistia a penjar la càpsula amb tots els elements que s'utilitzarien durant el vol.

Objectiu

L'objectiu de la prova era comprovar si es produïa o no un desequilibri de les cordes, i en cas afirmatiu, corregir-ho amb un nou repartiment de masses a la càpsula.

Procediment

L'únic que s'havia de fer era omplir la càpsula amb tots els objectes destinats a fer-se servir durant el vol de manera repartida i veure si la càpsula, un cop penjada, pateix cap desequilibri.

Observacions

La prova va demostrar que els repartiments eren els adequats, ja que la càpsula no va mostrar cap mostra de desequilibri.

6 Organització del llançament

La planificació d'un llançament ha estat un dels processos que a calgut estudiar amb més paciència i deteniment. Hi havia tot un conjunt de factors que podien influir en les decisions que calia prendre, com ara les condicions meteorològiques, el marc legal sobre l'espai aeri, la llista de materials, els protocols, etc.

En els següents apartats s'explica l'organització prèvia del llançament des de l'elecció del lloc i la data fins a les previsions meteorològiques sense oblidar el servei dels simuladors, dels programes de visualització en 3 dimensions i de la preparació dels protocols i la llista de materials a portar.

6.1 Lloc del llançament

Des del començament del projecte s'havia pensat en diferents ubicacions per fer el llançament. Una de les condicions que es van imposar des del començament era llençar la sonda meteorològica lluny del mar per poder evitar que caigués en ell.

Quan es va tenir accés als enllaços de les pàgines on hi havia simuladors de llançaments de sondes i es van dur a terme diferents prediccions es va observar que si es feia el llançament des d'una zona de Catalunya la gran majoria de vegades la simulació estimava o bé que aterraria en àrees densament poblades de l'àrea metropolitana de Barcelona o bé queia en zones muntanyoses. Per tant, vistes les inconveniències que podria portar fer el llançament en terres catalanes es va decidir traslladar la recerca fora de Catalunya.

Immediatament es va pensar en Aragó, una comunitat autònoma on hi ha una de les densitats més baixes de tot l'Estat espanyol. Un lloc interessant que es va plantejar va ser la zona dels Monegros, on hi ha unes grans extensions àrides on la recuperació podria ser més senzilla que no pas en altres punts.

Ara bé, la distància que existia entre Barcelona i el desert (que eren més de 300 quilòmetres), les poques infraestructures i les informacions que es tenien al voltant del mal estat de les carreteres en aquella zona van fer decantar la balança en contra dels Monegros.

Es continuava sense tenir una zona clara i el temps passava, es necessitava un lloc més o menys proper tenint en compte que l'expedició havia de començar a Barcelona i amb una xarxa de carreteres prou bona per permetre un seguiment ràpid de la sonda un cop enlairada.

El lloc escollit finalment va ser una finca de 8 hectàrees de superfície situada al quilòmetre 1 de la carretera comarcal A-1241. Es trobava a 27 quilòmetres de Lleida i a 9 quilòmetres d'un poble de la província d'Osca anomenat Altorricón. La zona estava molt ben comunicada perquè molt a prop hi havia l'autovia A-22 que comunicava Lleida i Osca i també existia la carretera N-240. A més a més la zona on es trobava la finca era de fàcil accés i tenia camins d'entrada i sortida que permetien una sortida ràpida per tal de seguir la sonda.



Figura 37: Lloc plantejat pel llançament

6.2 Data del llançament

Escollir la data del llançament no era una tasca gens fàcil. La millor data possible era aquella que combinés unes condicions atmosfèriques acceptables i el temps necessari per preparar-ho tot. Les previsions meteorològiques eren el factor principal que determinava si el dia era el més encertat o no ho era.

En un principi el llançament va estar previst pel dia 23 de novembre i fins i tot vam preparar l'expedició, però per desgràcia les condicions meteorològiques van sorprendre totalment les nostres previsions i finalment es va haver de suspendre la missió.

Es desitjava poder realitzar el llançament ben d'hora, durant el matí, concretament entre les 10 i les 11, perquè d'aquesta manera si les coses es complicaven amb la recuperació, hi havia més marge de temps abans que el Sol es pongués i s'acabés la llum.

Finalment es va establir com el dia definitiu el 6 de desembre de 2014. Era una data excepcionalment bona perquè aquest dia era el primer festiu dels tres dies de descans que hi havia abans de tornar a l'institut, la qual cosa donava molt marge a l'hora de planificar l'expedició i també. A més a més les previsions meteorològiques van ser respectuoses amb els desitjos del projecte.

6.3 Marc legal

Estudiar el marc legal sobre l'espai aeri era molt important, bàsicament perquè no es tenia una idea molt precisa sobre aquest tema.

Llegint altres experiències al voltant de sondes meteorològiques es va saber que en un principi el que s'havia de fer era posar-se amb contacte amb AENA, qui té el control de l'espai aeri de l'Estat espanyol.

Un cop posats en contacte amb l'empresa espanyola, es va haver d'esperar fins a tres setmanes per obtenir una resposta el departament de coordinació d'AENA, que va arribar a través del correu electrònic. En aquest correu estava adjuntat un document, el qual s'havia d'omplir i on es demanava les dades de posicionament del llançament, un dia concret, el lloc i la província a la qual pertanyia aquest, entre altres coses.



Figura 38: Imatge publicitària d'AENA

Segons AENA, aquest document s'havia d'enviar per correu escrit per tal que la companyia donés el vistiplau.

Aquestes tramitacions burocràtiques van fer perdre molt de temps, concretament unes cinc setmanes.

Tot i així es va seguint investigant sobre el tema per tal d'aclarir dubtes. Gràcies al contacte amb membres del Projecte *Daedalus* i llegint la normativa sobre l'espai aeri en el BOE (Boletín Oficial del Estado) es va saber que les sondes lleugeres (aquelles que continguin material amb una massa inferior de 3 quilograms)

Per tant, com que la nostra sonda només tenia 1257 grams, sense comptar el globus, la nostra era considerada una sonda lleugera, de manera que en tot moment estaríem complint el marc legal vigent sobre l'espai i el tràfic aeri.

6.4 Simulacions d'un llançament

Un programa de simulació no és res més que un sistema informàtic que mitjançant les dades d'algun model intenta predir la reacció futura d'un esdeveniment. En el cas d'un simulador de llançaments de globus meteorològics es basa, per una banda, en les previsions meteorològiques d'alguna agència meteorològica i per altra banda en un seguit de dades com la ubicació, dia, hora i velocitats d'ascens i descens previstes. A partir de totes aquestes variables elabora una predicció d'un eventual llançament. Els simuladors d'avui dia i que es poden trobar a internet són capaços de traçar el recorregut en un format anomenat KML que permet visualitzar posteriorment la trajectòria 3D teòrica que tindria un globus sonda si es llancés aquell dia a aquella hora i lloc.

La informació que és capaç de donar un simulador no s'ha d'entendre com una veritat, sinó més aviat com una aproximació de la veritat que pot ajudar a valorar la realitat i a prendre segons quines decisions. En definitiva, només és una eina més, com ho poden ser les previsions meteorològiques, que permet interpretar futurs esdeveniments,

En aquesta ocasió el simulador escollit va ser el *CUSF Landing Predictor 2.5*, un simulador elaborat per la universitat britànica de Cambridge. És capaç de realitzar prediccions fins set dies més tard. És un programa fàcil d'usar i molt versàtil que permet seleccionar la ubicació, l'altura inicial d'enlairament si s'està en una zona superior al nivell del mar, l'hora, la data (cal recordar que no pot superar la setmana de diferència entre el dia que es fa la simulació i la mateixa data de la predicció), la velocitat d'ascens, l'altura a la qual el globus explota i la velocitat de descens.

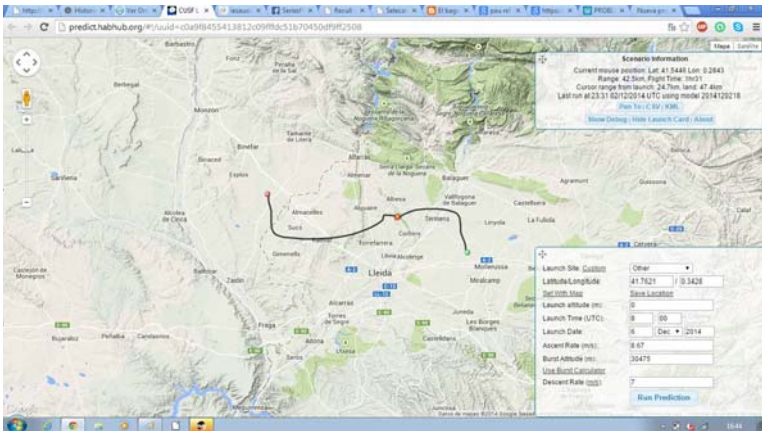


Figura 39: Simulació feta el 3 de desembre

Com que el dia seleccionat era el 6 de desembre es va realitzar una simulació per aquell dia en la qual es va seleccionar:

Segons la predicció el globus havia de realitzar un vol de 32 km de distància amb un aterratge a prop de Mollerussa.

6.5 Preparació del llançament

Per a dur a terme a bon port el llançament d'una sonda era necessària la preparació prèvia de procediments protocol·laris abans, durant i després del llançament per tal de fer més efectiva l'experiència i poder actuar, amb conseqüència, amb major rapidesa.

6.5.1 Protocols

Pel que fa als procediments protocol·laris s'havia de donar preferència a l'inflament del globus, ja que era el que més temps portaria per dur a terme les altres tasques. Tanmateix, en el protocol que apareix a continuació resumeix en ordre tots els passos a seguir des de l'arribada al punt del llançament fins al seguiment.

Abans de començar: calia localitzar una zona allunyada de cables d'alta tensió i els arbres de gran alçada. Un cop fet això es passaria a cercar una zona plana i sense mala herba per instal·lar-hi l'estació de preparació de la càpsula amb un plàstic gran per posar-hi tots els elements necessaris. La descàrrega de la bombona d'heli era la més important, ja que era l'objecte més pesat i perquè es necessitava per tal d'inflar el globus i per tant havia de ser la primera. S'havia d'utilitzar guants i proteccions al cap per evitar la transmissió de greix al làtex.

Durant el procés: Preparar abans de res el muntatge de l'heli i el globus. En primer lloc s'havia d'extreure el globus de la seva caixa i estendre'l posteriorment. Començar a inflar el globus com més aviat millor. Preparar la càpsula (encesa dels sistemes, preparació de les càmeres...) Preparar el sistema d'unió de la càpsula amb el paracaigudes i el globus. Comprovar la recepció de dades. Iniciar les radiobalises i posterior comprovació de funcionament. Precintar la càpsula. Aprovar el llançament

Durant el seguiment: Recollir el més ràpid possible l'estació de preparació. Rebre dades del STV i de les radiobalises. Estar constantment coordinats amb el GPS per introduir-hi les dades rebudes.

7 El llançament

Després d'acabar les classes del divendres dia 5 de desembre es va fer una última reunió per assegurar-nos que les previsions per al dia 6 pel matí eren les correctes per poder realitzar el llançament i aprovar definitivament la sortida en cotxe cap a Lleida. En aquesta reunió es va recordar que calia portar tota la informació legal referent a una missió de sondeig meteorològic. A més a més, per evitar que els mòbils es quedessin sense saldo es van realitzar unes recàrregues en les targetes prepagament. Es van fer les últimes revisions de la càpsula per comprovar que tot funcionés correctament i així va ser.

7.1 Preparació del material

Com ja s'ha remarcat anteriorment era d'una vital importància no deixar-se cap mena de material que ens pogués fer servei durant l'execució del llançament. Ja s'havia realitzat una llista amb totes les coses que calia portar, de manera que durant tota la tarda del dia 5 de desembre es van guardar els diferents estris en bosses separades i es van carregar al cotxe.

Es va comprovar, a més a més, que tots els aparells electrònics com ara els ordinadors portàtils, els mòbils i les càmeres estiguessin completament carregats.

S'ha de dir que com que la bombona d'heli ja es trobava a Lleida no ens vam haver de preocupar en excés per l'espai del maleter, això ens va ajudar a l'hora de portar l'antena receptora de ràdio, que també tenia unes dimensions força importants.

Cap a les 22:00 de la nit ja estava tot carregat al cotxe i poca estona més tard va tenir lloc la sortida cap a Lleida.

7.2 El viatge

7.2.1 Desplaçament a Lleida

El rellotge marcava dos quarts d'onze quan es va decidir sortir finalment cap a Lleida. La ruta seguida al llarg del viatge va consistir a recórrer l'autovia A-2 en direcció a Lleida durant unes dues hores, completant uns 170 quilòmetres aproximadament fins a arribar a la ciutat on passaríem la nit anterior al llançament.

Un cop vam arribar i vam descarregar els objectes de major valor del maleter del cotxe, entre elles la càpsula i els ordinadors, perquè el vehicle es va quedar al carrer durant tota la nit. Abans d'anar a dormir vam aprofitar per realitzar unes últimes proves amb el SRD i el STV, els quals van tornar a funcionar com calia.

7.2.2 L'endemà

Com que es desitjava realitzar el llançament al voltant de les 11:00 del matí ens vam aixecar al voltant de les 7:00 per tal de començar al més aviat possible amb els preparatius del llançament. Es va realitzar una última revisió a les previsions meteorològiques i es van fer les darreres simulacions. Afortunadament no es van produir canvis, la qual cosa no alterava els nostres plans.

Vam tornar a carregar totes les bosses dins el cotxe tot deixant un espai per a l'ampolla d'heli.

Abans de dirigir-nos a la finca on es faria el llançament vam fer una última parada per anar a buscar la bombona i carregar-la al cotxe. Sense perdre més temps, vam sortir cap al nostre destí. Vam trigar uns 30 minuts a arribar-hi. No hi va haver cap incidència destacable excepte la presència de boira força densa. Afortunadament va anar desapareixent a mesura que passava l'estona per la qual cosa no ens havia de preocupar de cara al llançament.

7.3 El muntatge

En el moment del començament del muntatge eren dos quarts de deu del matí, de manera que s'estava seguint l'horari segons tot el previst. Un cop arribats a la finca es va cercar un punt en concret on establir-hi el sistema de muntatge. Un cop trobat, es va desplegar un gran plàstic per dur a terme les diferents operacions. Un cop fet es van descarregar del cotxe tot allò que es necessitava per inflar el globus, inclosa la bombona d'heli.



Figura 40: Muntatge amb la bombona d'heli

Seguint els protocols es va començar amb l'inflament del globus. Com que el làtex del globus és un material molt sensible amb la presència de greixos vam utilitzar guants i proteccions al cabell per evitar qualsevol contacte del làtex amb la pell i així minimitzar els riscos de deixar qualsevol rastre de greix.

7.3.1 Inflament del globus

En aquest apartat es descriu el procediment aplicat per tal de preparar el globus de cara al llançament. Es basa en tot moment amb les explicacions realitzades en l'apartat de protocols del capítol anterior.

En primer lloc es va tallar l'envàs que tenia el globus i tot seguit el vam desplegar al llarg del plàstic del terra.

Un cop desplegat el globus es va introduir en la seva obertura l'adaptador que es va llogar juntament amb la bombona d'heli.

Mentre anava entrant el gas a la cambra interior del globus s'anava aguantant-lo pels dos extrems per evitar que s'enlairés.

Com que el globus va assolir un diàmetre considerable es va comprovar la massa que era capaç d'aixecar a partir de l'acció d'un dinamòmetre. El número obtingut va ser 4,4 kg. Això significava que el globus era capaç de produir una força capaç d'aixecar 4,4 quilograms, i tenint en compte que ell mateix ja feia uns 2,2 kg es va estimar que a l'interior del globus hi havia uns 6,6 m^3 en total. Veient que les dimensions del globus començaven a ser molt grans es va decidir que ja era suficient. A més a més es va observar una deformació del globus, la qual cosa ens va alarmar.



Figura 41: Inflament del globus

7.3.2 Preparació de la càpsula

Un cop acabat el procediment que implicava inflar el globus ens vam posar immediatament amb la preparació de tots els dispositius de la càpsula que havien de funcionar durant el vol . De nou ens vam basar en els protocols preparats dies abans.

Primerament es va preparar l'alimentació dels circuits, que era el més important a preparar, de manera que abans de res es van unir en paral·lel dues piles de 9 V mitjançant un fil gruixut de coure per al SRD.

En segon lloc es va repetir l'acció anterior per a les piles que donarien corrent al STV.

Seguidament es van connectar ambdues bateries als sistemes i es van activar els dispositius. Per comprovar per última vegada que les targetes SD estaven registrant les dades corresponents es va fer una darrera prova per evitar imprevistos. Pel que fa al sistema de la unitat sensorial el funcionament era correcte. No obstant això, en la targeta SD del STV no s'havien guardat. Aquest va ser un greu esdeveniment inesperat que òbviament no podia ser resolt en aquell precís moment. S'havia de prendre una decisió en aquell instant. Finalment es va decidir no comptar amb la SD del sistema de transmissió de dades.

Figura 42: Preparació de la càpsula acabada

Ens havíem quedat sense la possibilitat de tenir un registre local de la posició de la sonda i per tant, les úniques dades recollides serien les rebudes via ràdio, però ens estimàvem més tenir menys informació que no pas un error de tot el sistema provocat per la SD. També es va comprovar que es rebien les dades amb l'estació receptora de ràdio i no es va observar cap anomalia. A més a més disposàvem de les radiobalises, la qual cosa la situació no va esdevenir tan greu.

A continuació es van preparar les càmeres, la primera de les quals va ser la càmera de vídeos que havia d'anar situada en la caixa situada en el centre de la càpsula. La segona a preparar-se va ser la càmera de fotografies que es trobava al costat de l'altra.

Després de les càmeres va ser el torn dels mòbils. Es van activar les radiobalises i es va esperar a rebre el senyal GPS i a què el mòbil receptor rebés els primers missatges. Un cop fet, es van afegir les fundes protectores i les vam posar a sobre de les caixes de les càmeres. Després d'això, era el torn de tapar els forats a base de plàstic protector transparent.

Fet això la càpsula ja estava preparada. Només calia precintar-la. Per fer-ho, es va emprar cinta adhesiva transparent amb la qual es van fer un conjunt de voltes al voltant de la càpsula i també en les vores d'aquesta.

7.3.3 Unió del globus, el paracaigudes i la càpsula

En acabar d'inflar el globus calia preparar el sistema que havia d'unir totes les estructures de la sonda: càpsula, paracaigudes i globus. Les cordes de niló ja estaven lligades a les quatre brides. Per tant, només calia utilitzar un mosquetó de seguretat que unís aquestes cordes i les del paracaigudes.

Seguidament es va repetir el pas anterior però en aquesta ocasió entre el paracaigudes i el globus. De la mateixa manera que abans, amb un altre mosquetó, es van unir la corda que es trobava a l'extrem superior del paracaigudes i la que es va lligar al globus. Arribats a aquest punt la sonda estava completament preparada per enlairar-se.



Figura 43: Mosquetó que unia paracaigudes i càpsula

7.4 L'enlairament

A les 10:42 hora local va esdevenir el moment culminant del projecte. Va ser un moment molt esperat per tots i que finalment havia arribat. Es va realitzar el compte enrere i en el moment d'arribar a zero la vam deixar anar i va sortir disparada cap al cel.



Figura 44: Moment de l'enlairament

7.5 El seguiment

Immediatament després de realitzar l'enlairament de la sonda ens vam posar a recollir tots els estris de l'estació de muntatge, especialment la bombona d'heli, que era la part més gran i pesada de totes.

Al mateix temps, anàvem rebent els missatges procedents de les radiobalises. Llegint-los ens vam adonar que pujava molt ràpid, ja que en només un minut ja havia arribat als 600 metres.

Veient la velocitat que portava la sonda vam entendre que ens havíem de posar de seguida amb el seguiment per ràdio.

Després d'uns quants minuts ja havíem acabat de recollir tot el que s'havia utilitzat moments abans en el muntatge, no obstant això, vam perdre el rastre visual. Vam utilitzar els prismàtics per intentar localitzar-la. Afortunadament vam aconseguir tornar a visualitzar-la i vam observar que s'estava dirigint cap a l'est. Seguíem rebent missatges, la qual cosa significava que encara no havia superat els 3500 metres d'altitud.

Després de tanta estona aturats vam decidir posar-nos en marxa i es va encendre el motor del cotxe per sortir com més aviat millor. Amb l'antena receptora anàvem rebent les dades però els senyals eren cada vegada més febles. Per un moment es va pensar que les bateries ja s'havien acabat, però no tenia cap sentit perquè en les proves havia arribat a durar més de 8 hores. Instants més tard vam considerar que s'estava allunyant massa per poder rebre els seus senyals.

Eren les 10:52, ja havien passat deu minuts des del llançament de la sonda i portàvem una bona estona esperant des de l'última recepció de missatges. Això només podia significar que la sonda havia passat el llindar dels 3500 metres.

El temps passava i seguíem sense sortir de la finca, i el senyal de la ràdio era cada vegada més feble. S'anaven apuntant totes les dades en una llibreta a part per després poder-les emprar per realitzar la ruta en 3 dimensions.

Però una estona més tard, a les 10:57 del matí, es va rebre la darrera dada de localització de la sonda a una altura de 6308 metres d'altitud. Des d'aleshores, ja no arribarien més dades de la ràdio, si a això li afegim que no es rebien més missatges de les radiobalises, podíem assegurar que havíem perdut la sonda, com a mínim momentàniament.

A més, les bateries dels ordinadors portàtils s'estaven acabant, amb la qual cosa ens estàvem quedant sense possibilitats de seguir amb la missió per falta d'energia

La situació era crítica i es necessitaven solucions. Després de rumiar-ho, vam acordar tornar a Lleida per tal de poder recarregar les bateries i reprendre, si era possible, el seguiment de la sonda. Eren les 11:22 i, afortunadament, vam rebre un missatge de la radiobalisa del projecte *Daedalus*. Sorprenentment, la sonda ja es trobava descendint quan encara havia d'estar pujant. Concretament, vam rebre un missatge en el qual es llegia que es trobava a 2718,3 metres sobre el nivell del mar.

Immediatament després d'arribar a Lleida es van tornar a endollar els portàtils i es van deixar carregar durant un bon període de temps. Mentrestant, seguien arribant missatges de la radiobalisa *Daedalus*, però no de l'altra. Aquells missatges arribaven de manera intermitent, la qual cosa podria significar que en alguns moments la cobertura dels telèfons era molt baixa o inexistent. A partir de les 11:25 es van deixar de rebre tot tipus de dada i la ràdio seguia sense trobar cap senyal.

Com que ja no hi havia cap rastre amb el qual poder seguir la sonda es va intentar deduir la trajectòria d'aquesta a partir de la comparació de les dades dels missatges. L'últim que es va rebre indicava que es trobava a una altura de 930,2 metres i l'anterior a aquest, a 1528 metres. La deducció es basava en la resta de les dades corresponents a l'alçada, la latitud i la longitud de l'últim missatge amb les del penúltim i donava com a resultat l'increment o variació de les dades anteriors.

Aplicant-ho, el resultat que s'obtenia afirmava que la sonda es trobava a la posició 41,785234° Nord i 0,53970245° Est i a una altura de 332,4. Immediatament vam introduir aquestes dades a l'ordinador i ens va calcular el punt on es trobava.

Segons la imatge la sonda havia caigut en els Plans de la Unilla, una zona plana que se situava al nord de l'aeroport d'Alguaire.

Un cop els portàtils van estar completament carregats, ens vam posar en marxa per tal de recuperar la càpsula. L'hora de sortida va ser a les 12:00. Vam introduir la posició en el GPS que teníem i vam sortir amb l'esperança de tornar a tenir la sonda a les nostres mans.

Un cop es va arribar a la Unilla la cerca de la càpsula era l'únic que preocupava, però no va ser una tasca gens fàcil. Els camins per on havíem d'accedir estaven difícilment practicables i en alguns casos el cotxe tenia molts problemes per poder seguir la marxa.



Figura 45: Els plans de la Unilla

Moments més tard es van tornar a rebre missatges de la radiobalisa, les dades de la qual eren gairebé idèntiques a les que havíem deduït, de manera que no estàvem gaire lluny de la càpsula, encara que el perímetre a cercar era molt gran.

Ja havien passat unes quantes hores i seguíem sense trobar la càpsula i el cansament començava a aparèixer entre nosaltres, ja que havíem rodejat les mateixes zones diverses vegades i no aconseguíem veure res.

De sobte es van sentir uns crits per part dels acompanyants de l'expedició i immediatament després vam entendre el perquè, la càpsula havia estat localitzada. Tot i així, es trobaven a faltar algunes parts de la sonda com era el cas del paracaigudes que tot i que es va buscar durant molta estona no va haver-hi forma de trobar-lo. Tanmateix, anava apareixent pels voltants alguns dels elements que conformaven la sonda, com per exemple el sensor de la humitat relativa o el mòdul GPS.



Figura 46: Recuperació de la càpsula per part de l'expedició

7.6 L'estat de la càpsula

Un cop recuperada la càpsula el primer que es va analitzar va ser el seu estat després de l'aterratge.

Pel que fa a l'electrònica de l'exterior el mòdul GPS i el sensor d'humitat relativa s'havien desconnectat dels cables. Això explicaria perquè es van trobar tan dispersos i separats de la càpsula. El sensor de temperatura externa i el sensor de pressió van ser els únics sensors situats a fora de la caixa que no van patir cap desperfecte. A més a més el sistema de detecció lluminós i sonor s'havia quedat sense el LED ni el brunzidor. L'emissor de ràdio situat a la part inferior no va patir desperfectes.

Pel que fa a l'aspecte tècnic es va observar que les brides emprades per subjectar la càpsula durant el vol estaven trencades d'una manera molt curiosa, com si haguessin patit un tall amb unes tisores.

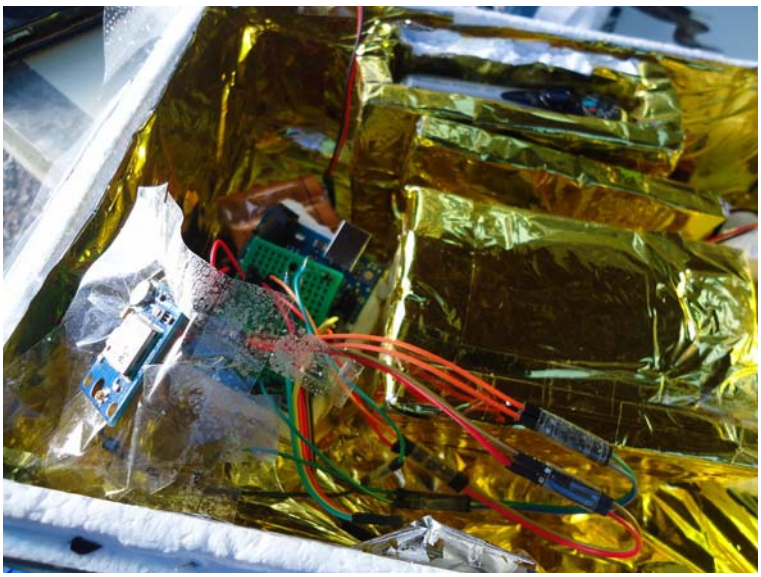


Figura 47: L'interior de la càpsula un cop recuperada

Un cop es va tallar la cinta adhesiva que mantenia segellada la càpsula es va poder observar l'interior. La majoria d'objectes es van trobar força malmesos, com per exemple el SRD, l'Arduino del qual es va espatllar. Pel que fa a les càmeres la d'imatges es va trobar congelada, cosa que va determinar que la protecció tèrmica amb les càmeres no va ser suficient. Es va extreure la targeta de memòria per tal d'observar si havia pres algunes fotografies i així va ser (algunes són emprades en el capítol d'anàlisi del vol, apartat d'anàlisi d'imatges. La càmera de vídeos es trobava en bon estat i es va comprovar si s'havien fet vídeos. Malauradament, no va ser així, probablement per un error del programa CHDK.

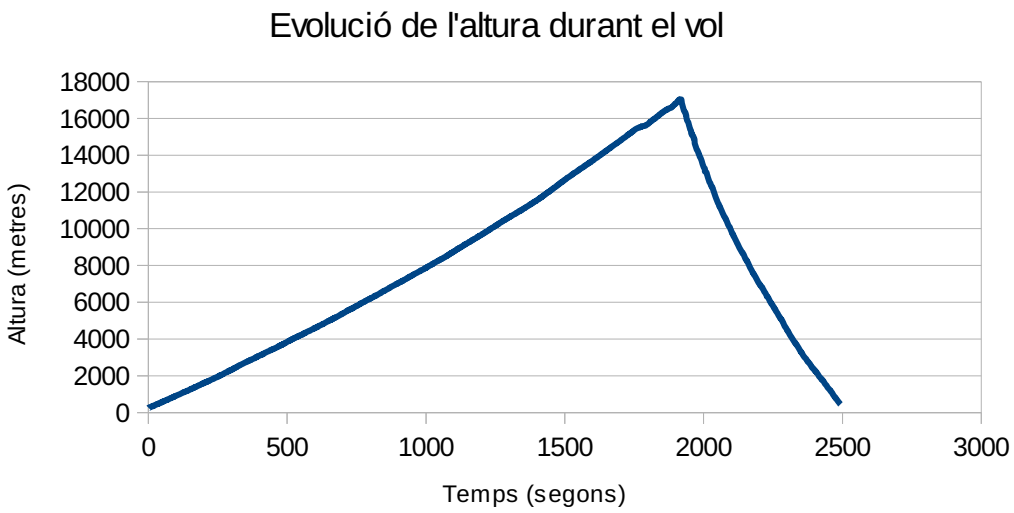
8 Anàlisi del vol

Tal com s'ha descrit al llarg del treball la sonda meteorològica incloïa, tant en el seu exterior com en el seu interior diversos sensors atmosfèrics, dues radiobalises i també un emissor de ràdio a partir del qual s'enviaven les dades del mòdul GPS. Gràcies a ells es van poder registrar les condicions de l'entorn durant el vol. Això no obstant, abans d'enlairar-se, van aparèixer problemes amb l'emmagatzematge de dades en la targeta de memòria del sistema de telemetria en viu, durant la realització del sondeig es va perdre el senyal

8.1 Anàlisi de les variacions d'altitud

A partir de la informació recollida per les dues radiobalises s'han elaborat unes gràfiques que determinen el comportament de la sonda pel que fa a les variacions d'altura.

8.1.1 Evolució de l'altura durant el vol (1r gràfic)



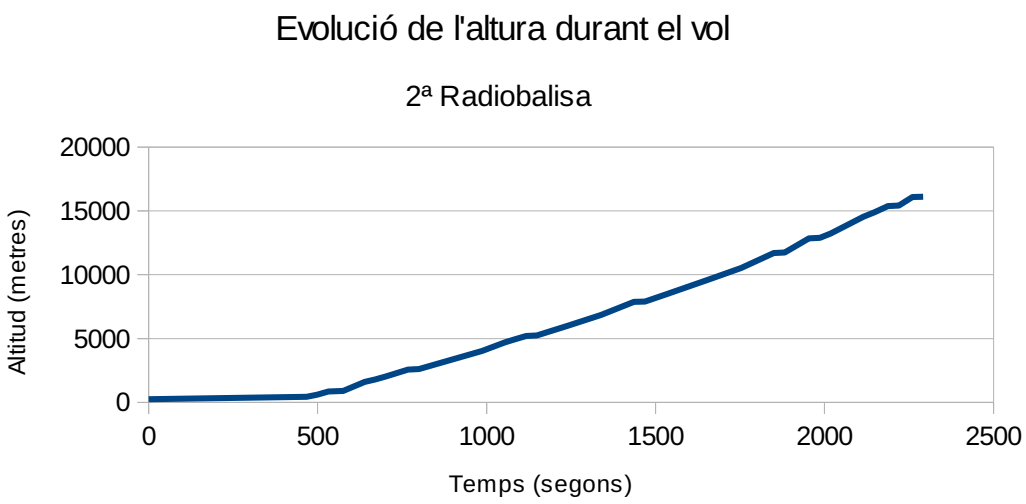
Segons la radiobalisa cedida pel projecte *Daedalus*, les dades obtingudes sobre l'altura mostren que es va començar a enlairar als 263,1 metres i l'altitud màxima a la qual va arribar va ser d'uns 17038,4 metres que la sonda va pujar en un temps de 1916 segons o el que és el mateix, 32 minuts.

La gràfica mostra una línia recta en l'ascens cosa que significa que durant el vol l'aplicació va detectar una velocitat pràcticament constant durant la pujada.

Pel que fa a la baixada el segment és més pronunciat i corb. Va trigar 576 segons (9,6 minuts) en baixar des dels 17038 metres d'altura fins a uns 446,8 metres, de manera que la caiguda va durar 4 vegades menys que l'ascens.

Per tant el vol va durar en total uns 42 minuts aproximadament, menys de la meitat del que s'esperava.

8.1.2 Evolució de l'altura durant el vol (2n gràfic)



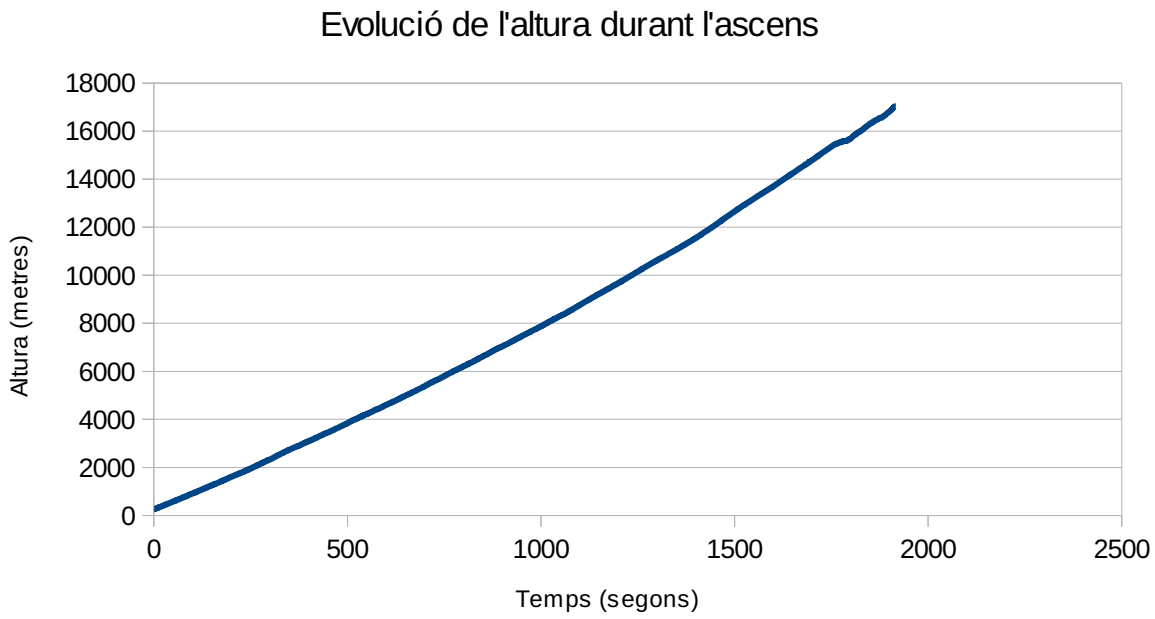
Segons l'altra radiobalisa preparada per l'àmbit electrònic del treball, les dades obtingudes a partir d'aquesta mostren una altura màxima de 16115 metres d'altitud pujats en un temps de 2292 segons (38,2 minuts).

Tenint en compte que la gràfica no ascendeix en l'eix de l'altitud fins que no arriba al voltant dels 400 segons es pot considerar que en aquest temps encara no s'havia enlairat i és probable que la radiobalisa ja es trobés rebent dades a partir del GPS durant aquest instant. Per tant, el temps d'ascens es pot calcular restant aquests temps sense ascendència (500 segons) al temps en què s'assoleix l'altura màxima (2292 segons) i el resultat és d'uns 1892 segons (31,5 minuts), un temps gairebé calcat al de la 1a radiobalisa.

La gràfica resultant mostra força més irregular que l'anterior, ja que es pot observar unes intermitències en les quals segons la radiobalisa la sonda no puja. Probablement aquestes dades pertanyents a aquells instants siguin errònies. Tot i així, consta d'un pendent gairebé constant durant tot l'ascens.

No es disposen de les dades de la caiguda amb aquesta radiobalisa, la qual cosa no es poden comparar les dades d'un programa i de l'altre en aquest aspecte.

8.1.3 Evolució de l'ascens



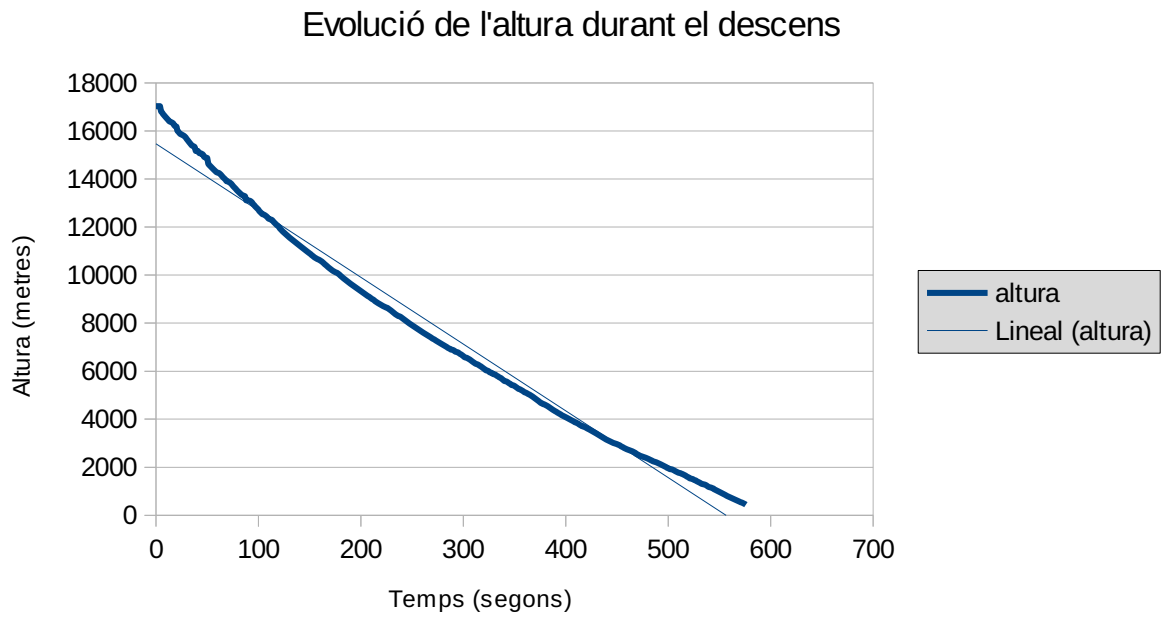
Per tal de poder concretar més sobre l'experiència del vol s'ha dividit la primera gràfica analitzada en dues, les quals reflecteixen l'evolució de l'altura respecte a l'ascens i la progressió de l'altura durant el descens.

A continuació es mostra la gràfica que descriu el desenvolupament de l'altura durant l'ascens

Es pot observar que les dades analitzades formen una línia en la qual no s'aprecia una forma corba en tota la gràfica i que per tant, l'altura augmenta de manera constant durant pràcticament tota la pujada. Tot i així, s'esperava que pugés més de 17038 metres, concretament fins als 30.000 metres d'altura.

8.1.4 Evolució del descens

Seguidament es mostra la gràfica que correspon a la variació d'altitud durant el descens

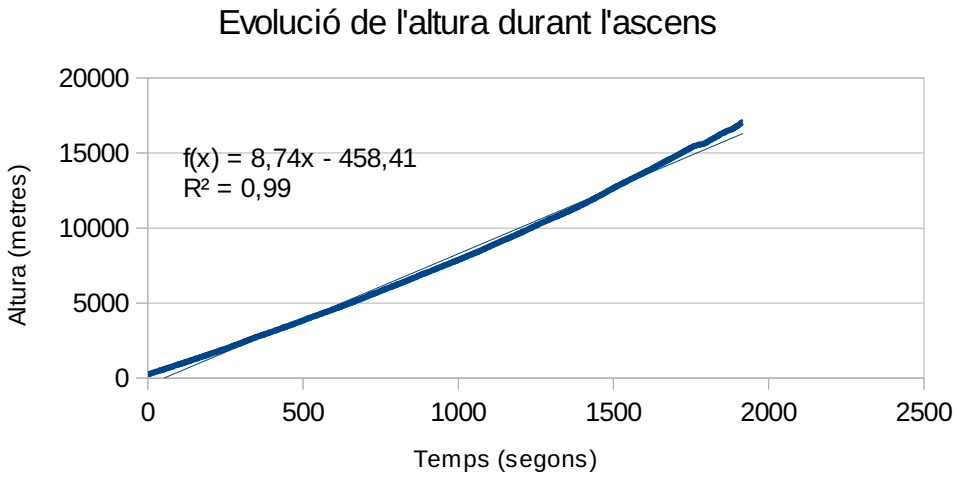


En aquest cas s'observa un dibuix el qual no és completament recte, la qual cosa pot significar que durant la caiguda lliure va haver-hi moments on la disminució de l'altura no era constant en tot moment. Veient la recta de regressió es pot observar que a mesura que es va apropant al moment d'aterrar disminueix el pendent de manera molt subtil.

8.2 Anàlisi de les velocitats

L'anàlisi de les velocitats durant el vol s'han realitzat a partir de les dades sobre la variació de l'altura durant l'ascens i el descens i la línia de tendència de les gràfiques.

8.2.1 Anàlisi de la velocitat d'ascens (1r gràfic)



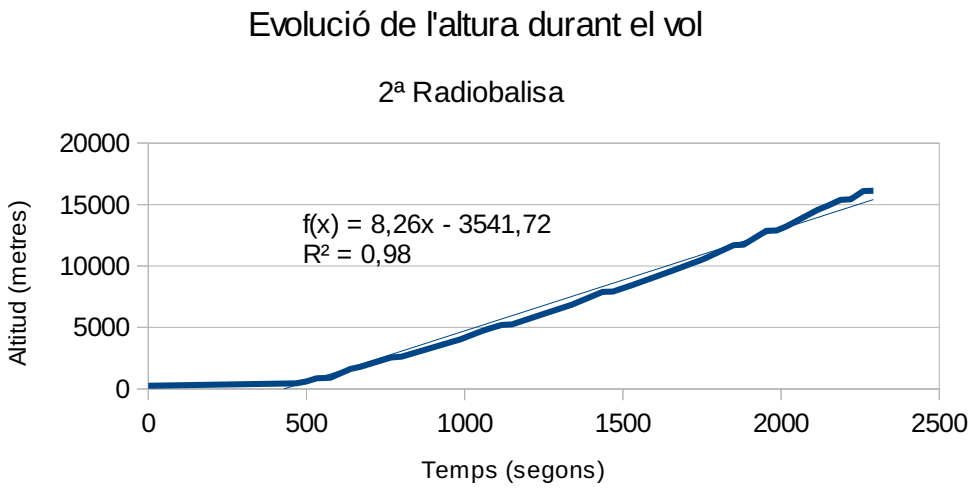
Tal com s'observa en el gràfic, l'equació de la línia de regressió té un pendent de 8,74. Aquest valor representa la velocitat d'ascens mitjana que va tenir la sonda, és a dir, 8,74 m/s.

El coeficient de correlació és gairebé 1, la qual cosa indica que existeix relació entre ambdues variables.

Comparant la recta de regressió i la línia obtinguda durant les dades es pot observar que la velocitat al llarg de l'ascens era molt semblant al valor de la velocitat mitjana.

Tot i que el simulador va determinar en el seu moment que una velocitat propera als 8,75 m/s només es podia aconseguir amb una quantitat d'heli equivalent als 9,1m3, amb 6,6 m^3 ja es va arribar a aquestes velocitats, de manera que era probable que el simulador cometés un error de mesura.

8.2.2 Anàlisi de la velocitat d'ascens (2n gràfic)



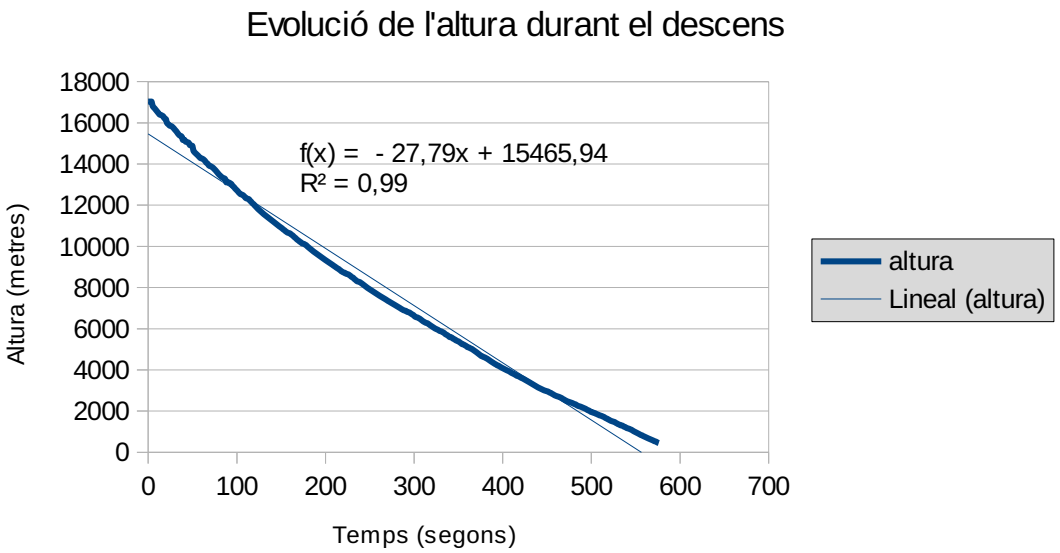
Tal com s'observa en la gràfica el valor de la recta de regressió és de 8,26 i el coeficient de correlació és de 0,98, molt proper a 1.

Tenint en compte que durant els primers segons el llançament encara no s'havia produït (no hi ha increment d'altura), és possible que el valor del pendent no sigui el correcte, sinó que hauria de ser més elevat, concretament s'hauria de situar al nivell que mostra la gràfica de la pàgina anterior. Tot i així la velocitat mitjana, resultat del pendent de la recta de regressió, té un valor semblant al de l'anterior és molt semblant (8,26 m/s).

Comparant la línia de tendència i la gràfica obtinguda es pot veure que la velocitat d'ascens va ser inferior a la mitjana fins a l'arribada als 12000 metres d'altitud.

Per establir un valor mitjà entre les dues velocitats d'ascens calculades al llarg de l'anàlisi el valor mitjà d'aquestes és de 8,5 m/s.

8.2.3 Anàlisi de la velocitat de descens



La recta de regressió mostra un pendent de -27,787 i un coeficient de correlació de 0,98.

Tenint en compte que el paracaigudes havia d'aconseguir que la sonda baixés a una velocitat propera als 7 m/s, el valor del pendent és exageradament alt, cosa que explicaria per què ha baixat de manera tan ràpida (a una velocitat de -27,787 m/s, equivalent a uns -100 km/h).

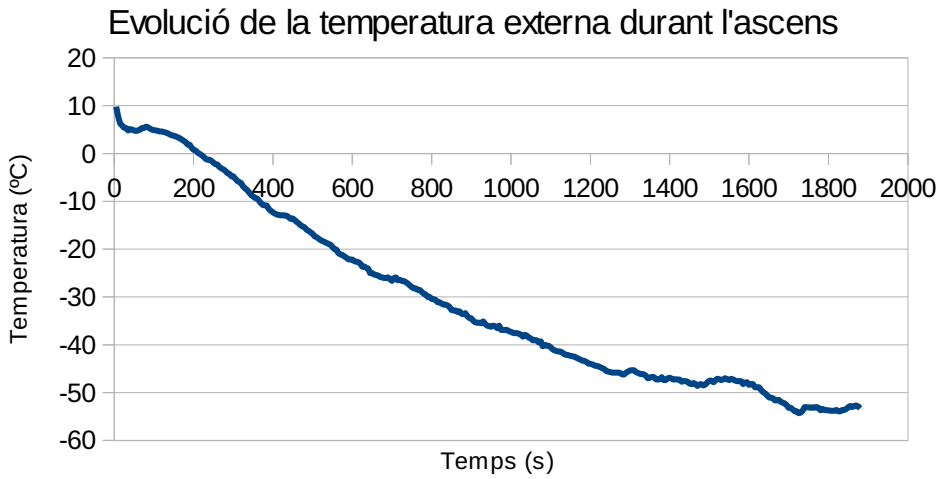
Comparant la recta i la gràfica es pot dir que durant el començament de la baixada la velocitat era superior a la mitjana, però a partir dels 13000-14000 metres la sonda va frenar i va disminuir la seva velocitat fins a ser inferior al valor mitjà i no va ser fins als 2000 metres quan va tornar a recuperar velocitat fins a superar de nou la mitjana.

8.3 Anàlisi dels factors ambientals

Una de les parts més importants del treball consistia a analitzar les dades dels factors atmosfèrics obtingudes durant el vol. En aquest apartat s'observaran les gràfiques sobre la temperatura, la pressió i la humitat relativa i la seva evolució al llarg del viatge.

8.3.1 Anàlisi de les temperatures

8.3.1.1 Anàlisi de la temperatura exterior



Amb la gràfica es pot determinar on es troba el límit de la troposfera o tropopausa. Veient que la temperatura s'estabilitza a partir dels 1300-1400 segons aproximadament, i comparant aquest temps amb l'altura de les gràfiques d'evolució de l'altura durant el vol es pot determinar que la tropopausa es troba al voltant dels 11 quilòmetres d'alçada. En aquest punt les temperatures registrades pels sensors rondaven els -40ºC i els -50ºC. Malauradament no s'han pogut incloure les dades de la temperatura durant el descens perquè no es van poder registrar.

Tenint en compte la temperatura mínima assolida, la temperatura a la qual s'ha donat la temperatura màxima podem calcular la disminució de la temperatura mentre puja cap a l'estratosfera a partir de les temperatures mínimes i màximes i l'altura màxima seguint la següent fórmula:

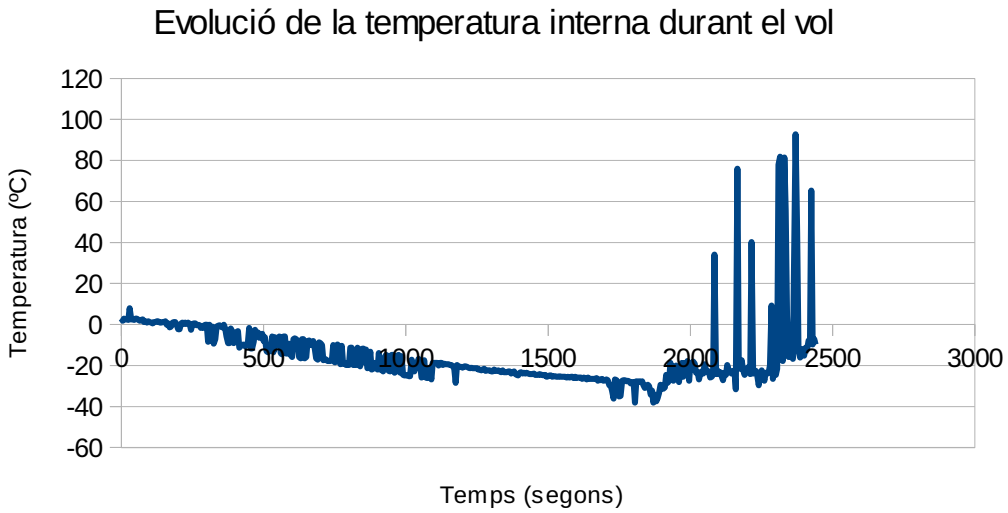
$$\Delta T = \frac{Tmin - Tmax}{h} X\ 100$$

On:

- Tmin correspon a la temperatura mínima assolida (-53,9ªC)
- Tmax correspon a la temperatura màxima del vol (10,9 °C)
- h representa l'altitud en la qual s'ha assolit la temperatura mínima (15129 metres)

Aplicant-la, el resultat obtingut és de -0,42 C/100 metres, es a dir, cada 100 metres la temperatura disminuïa 0,42 C, una quantitat inferior a la teòrica, que indicava una baixada de 0,65 C per cada 100 metres.

8.3.1.2 Anàlisi de la temperatura interior

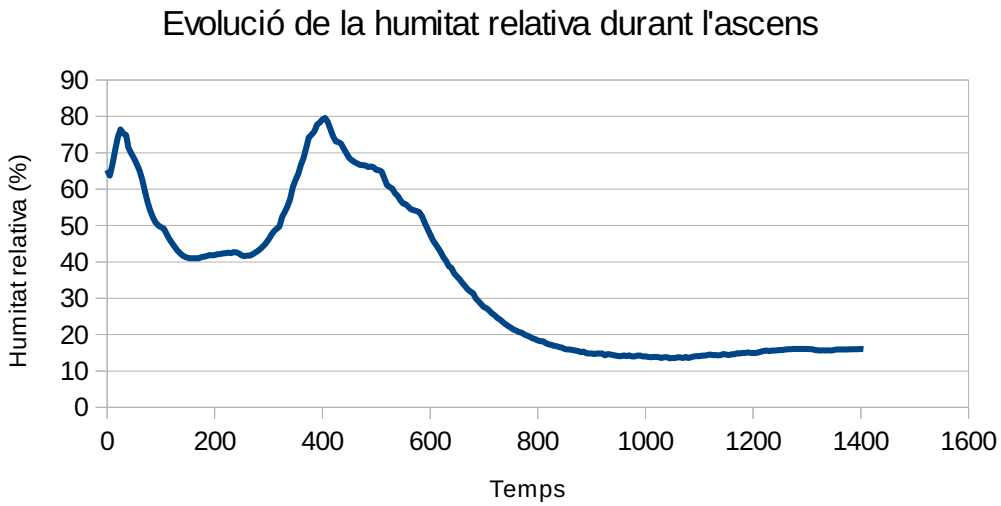


La temperatura mínima registrada en l'interior de la càpsula va ser de -36,7 ºC. Això pot significar que l'aïllament tèrmic no va funcionar tal i com s'esperava, ja que entre la temperatura mínima exterior i la temperatura mínima interior amb prou feines hi ha una diferència de 17 ºC.

La baixada ha estat progressiva al llarg de tot el vol excepte en els últims moments del vol. Pel que es veu en la gràfica hi ha errors de mesura, ja que és físicament impossible que s'hagin arribat a temperatures properes als 80ºC.

Tenint en compte que la temperatura mínima registrada ha estat de -36,7ºC, que la temperatura màxima de l'interior ha estat d'uns 9,9 ºC i que l'altitud a la qual s'ha arribat a tal temperatura mínima ha estat d'uns 15235 metres, es pot trobar la variació de la temperatura. Aplicant la fórmula anterior es pot deduir que la variació ha estat de -0,34ºC/100 m, és a dir, la temperatura ha descendit 0,32ºC per cada 100 metres pujats.

8.3.2 Anàlisi de la humitat relativa

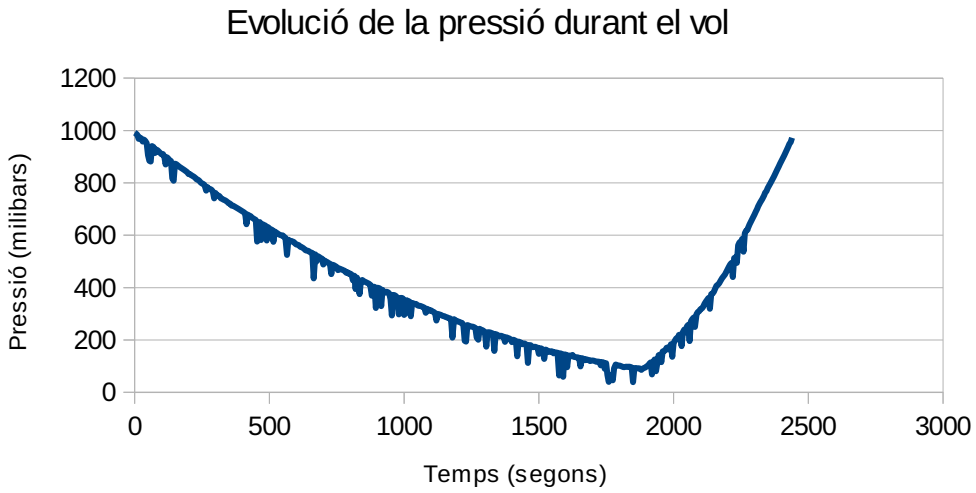


Tal i com ha passat amb la temperatura externa, només s'ha pogut registrar el factor atmosfèric durant l'ascens de la sonda.

Es pot observar un inici amb una disminució de la humitat fins que torna a pujar durant un moment. Segurament que en aquell punt va travessar uns núvols que contenien vapor d'aigua, la qual cosa va provocar l'augment d'aquest valor.

Després d'això es produeix una disminució de la humitat en gairebé tot el trajecte, la qual cosa indica que mentre es puja la quantitat d'aigua present en l'atmosfera en forma de vapor d'aigua va disminuint. Això podria estar causat perquè a mesura que augmenta l'altura, les condicions de pressió i temperatura canvien, la qual cosa fa que l'aigua tingui punts de fusió i d'evaporació diferents, de manera que es va pujant l'aigua s'evapora, cosa que provoca la disminució d'humitat.

8.3.3 Anàlisi de la pressió atmosfèrica



Tal i com es pot observar en el gràfic anterior es produeix una variació constant tant en l'ascens com en el descens, amb la única diferència que durant el descens la variació es produeix amb major rapidesa , ja que la velocitat de descens és major que la d'ascens.

La pressió mínima registrada ha estat de 45,91 mil·libars. Si es fa el factor de conversió 1 mbar = 100 Pa, el resultat que s'obté és de 4591 Pa.

Amb aquestes dades es demostra que la pressió disminueix amb l'altura, això passa perquè, tal i com s'ha explicat en el marc teòric, l'aire que es troba més proper al sòl és més dens i per tant, té una major pressió. A mesura que es va allunyant del terra, l'aire es fa més lleuger i com a conseqüència, té menys pressió.

8.4 Anàlisi d'imatges

La càmera fotogràfica va realitzar un total de 66 imatges del vol i A partir d'aquestes s'ha fet una explicació breu i resumida sobre la descripció i la situació en el sondeig respecte a algunes de les millors imatges obtingudes durant la missió de sondeig meteorològic. Les imatges seleccionades han estat 8, totes durant l'ascens, ja que durant la baixada la qualitat de les imatges no va ser gaire bona i a més falta una part de la caiguda representada en imatges.

8.4.1 Imatge 1



Aquesta imatge es va realitzar a les 10:43 del dia 6 de desembre, dia del llançament. Havia passat un minut i la situació que es pot descriure a partir de la fotografia és la presència de boira al fons de la imatge. També es poden veure els camps de cultiu que es trobaven al nostre voltant i alguns núvols en el cel. L'altura en aquell moment no hauria de ser gaire alt, amb prou feines uns 400 metres d'altitud.

8.4.2 Imatge 2



La imatge anterior va ser realitzada a les 10:44 del matí. Es pot observar el cel amb alguns núvols. Els camps de de conreu amb prou feines es poden veure a causa de la direcció de la sonda, que no permet capturar una imatge d'aquests. L'altura en aquells moments no superaria els 800 metres, de manera que aquesta imatge correspon als inicis del vol com la imatge interior.

8.4.3 Imatge 3



En aquesta imatge es pot reconèixer la presència de gotes d'aigua al voltant del plàstic protector, això significa que s'ha produït una condensació del vapor de l'aigua, cosa que ha provocat l'aparició de gotes petites. Segurament la sonda estaria travessant per una zona més humida i era molt probable que fos boira, ja que moments abans del llançament havia aparegut en terra ferma. A més a més, veient l'obscuritat de la imatge podria semblar que els núvols estiguessin cobrint el Sol.

Tenint en compte que la fotografia es va fer a les 10,44 del matí, l'altura a la qual es podria trobar aquesta imatge presa serien uns 900 o fins i tot 1000 metres d'altitud.

8.4.4 Imatge 4

La imatge correspon a una fotografia feta a les 10:45 Com es pot veure en la imatge, s'han superat alguns núvols molt baixos i molt petits que es trobaven a 1000 metres. Veient-ho, potser va ser aquesta l'explicació per la qual van aparèixer gotes d'aigua en la imatge anterior i no pas la boira.

En aquesta imatge, a més, es pot observar, com si es tractés d'un plànol general, els camps de conreu. Queden a la part superior núvols més densos, que, pel que es veu, sembla que hagi cobert el sol.

L'altura a la qual es va fer la imatge va ser d'uns 1200 o 1400 metres, aproximadament ja que la fotografia té com a data de creació les 10:45 del matí.

8.4.5 Imatge 5



La imatge correspon a una fotografia feta a les 10:47 del matí. Com es pot observar en la imatge, els núvols es comencen a trencar i la llum del sol es torna a veure. La sonda sembla acostar-se cada vegada més als núvols.

Tenint en compte l'hora de realització de la foto la sonda es podia trobar a uns 2000-2300 metres d'altura.

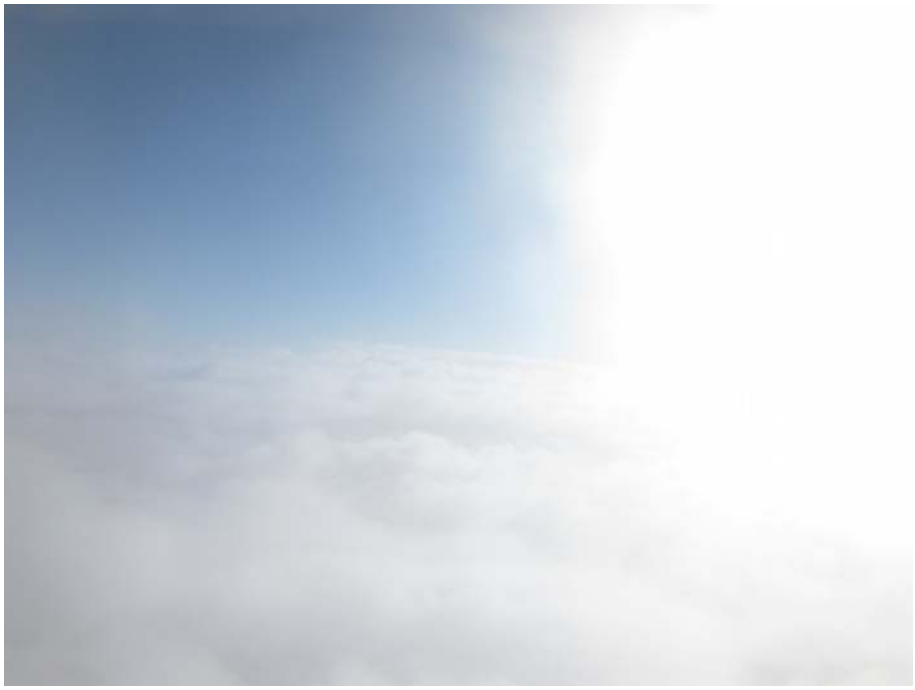
8.4.6 Imatge 6



La imatge correspon a una fotografia realitzada a les 10:51. L'altura corresponent podia ser d'uns 4000 metres aproximadament.

Com que ha travessat els núvols, pot ser que s'hagi registrat un augment de la humitat relativa a causa del pas a través del núvol i efectivament, comparant les dades de la gràfica anterior corresponent a la humitat es pot deduir que els núvols han estat els causants d'un augment d'aquest factor

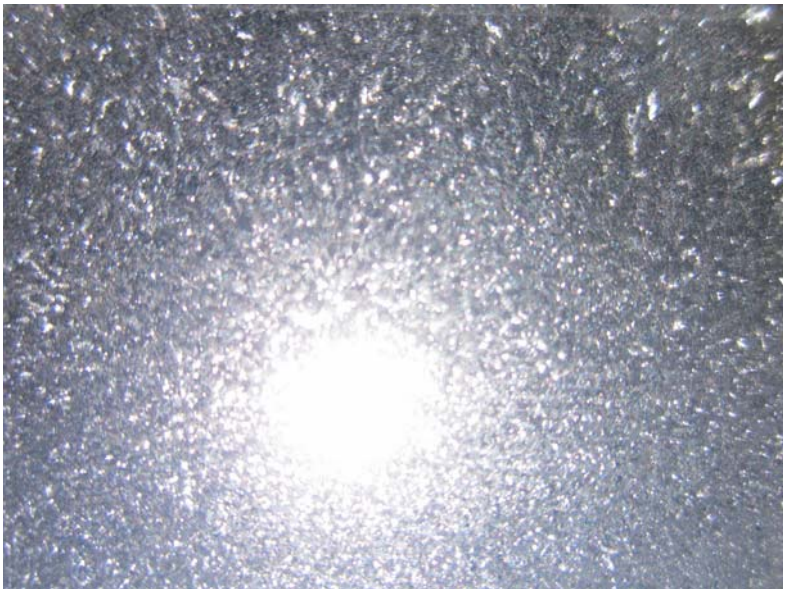
8.4.7 Imatge 7



La imatge 7 correspon a una fotografia realitzada a les 10:54. L'altura corresponent seria d'uns 5000 metres d'altitud.

En aquesta imatge es poden observar, per una banda el conjunt de núvols que no permeten veure una imatge nítida de la Terra. Amb aquesta imatge ja es pot començar a visualitzar en certa manera la curvatura del planeta.

8.4.8 Imatge 8



La imatge 8 correspon a una fotografia realitzada a les 11:05. En aquell moment l'altura corresponent a la imatge era d'uns 11000 metres aproximadament.

En la imatge s'observa l'aparició d'unes estructures cristal·lines a l'exterior del plàstic protector, que semblen ser cristalls d'aigua que s'ha congelat. Segurament, mentre la sonda travessava els núvols es va quedar vapor d'aigua en el plàstic protector, de manera que quan va seguir pujant i la temperatura va seguir baixant, es va congelar.

S'ha de tenir en compte que, en un canvi en les condicions de pressió i temperatura, els punts de fusió i d'ebullició s'alteren. En aquest cas, l'aigua es va solidificar perquè, per una banda, la temperatura era molt baixa i per altra banda la pressió atmosfèrica era la suficient per permetre la congelació de l'aigua.

8.5 Recorregut de la sonda

Un cop recollida la càpsula enviada a l'estratosfera era el moment de visualitzar en 3D el recorregut que havia fet la sonda per tal que hom es pugui fer una idea sobre com s'ha esdevingut el vol.

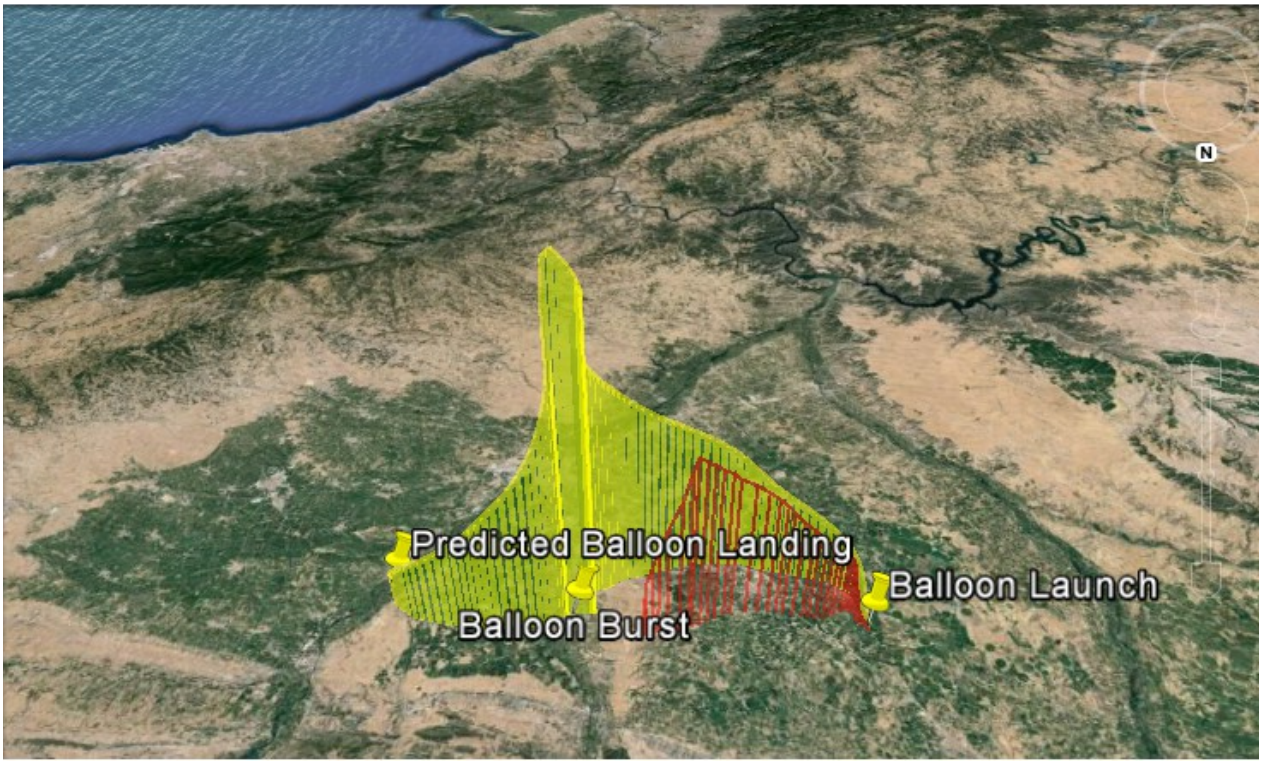


Figura 48: Visualització en 3D del vol

En la imatge es pot veure que la trajectòria groga era aquella que s'havia predit a partir del simulador, el qual havia calculat que el globus explotaria cap als 30475 metres d'altitud.

La trajectòria vermella era la corresponent a la sonda llençada a l'estratosfera el dia 6 de desembre. Tal com es pot veure, amb prou feines arriba a la meitat d'altitud respecte a la groga i el descens comença sobtadament sense haver arribat a l'altura que se suposava que havia arribat.

Tenint en compte les gràfiques realitzades anteriorment la velocitat de descens va arribar a tenir una mitjana de 27 m/s aproximadament quan la velocitat que havia de tenir amb la frenada del paracaigudes era de 7 m/s, si a això li sumem que l'altura màxima a la qual la sonda va arribar va ser de 17038,4 metres i que a més a més el temps total de sondeig no va superar els tres quarts d'hora quan en realitat s'esperava un vol de 90 minuts, era evident que havia succeït algun esdeveniment que no estava previst durant el vol, però no se sabia el què ni el perquè.

Potser no s'arribarà a saber mai que és el que va passar en realitat, ja que només es podrà suposar però no es podrà provar passi el que passi, però com a mínim aquestes suposicions es basaran amb fets provats i amb les hipòtesis més factibles possibles.

Les possibles teories que es van tenir en compte van ser les següents:

- El globus va exercir, en un moment donat, una força excessiva sobre les brides, que van veure afectades les seves propietats resistents amb el fred, i que aquestes no van ser capaces de suportar i es van trencar, de manera que el globus va seguir pujant emportant-se el paracaigudes fins al moment de la seva explosió

- El globus va explotar en un moment donat (en els 17.000 metres) i un cop el paracaigudes va quedar obert va exercir una força contrària al pes de la càpsula que les brides no van poder aguantar, trencant-se i deixant a la càpsula sense paracaigudes i en caiguda lliure.

8.5.1 Reconstrucció del vol

Quan es va recuperar la càpsula no es va trobar un dels elements estructurals, que era el paracaigudes. I durant l'anàlisi a la càpsula es va descobrir un fet sorprenent: les brides s'havien trencat o més ben dit, tres de les quatre brides s'havien trencat i una quarta havia desaparegut amb una part del porexpan que havia estat arrencada.

La forma en la que les brides es van rompre donava a entendre que durant es va aplicar una força sobre les brides la qual aquestes no van poder suportar

Pensant que les brides tenien alguna cosa a veure amb les situacions descrites anteriorment es van realitzar unes proves amb elles.

8.5.2 Proves amb brides

La sospita que es tenia sobre les brides era prou important per realitzar unes proves

Objectiu

Comprovar si realment les brides eren resistents a les empentes d'una força un cop hagués estat refredada o pel contrari es trencaven amb facilitat..

Procediment

La prova consistia a posar dues brides en un congelador, les temperatures del qual solen trobar-se entorn els -18ºC. Es van deixar durant uns 45 minuts, que va ser la durada aproximada del vol.

Es va aplicar una força (en aquest cas, el pes) a partir d'una massa subjectada amb una nansa i aquest sistema es va penjar en un ganxo.

Observacions

Després d'un minut, la brida es va trencar dividint-se en dues parts. La massa aplicada sobre la brida va ser d'uns 3 quilograms.

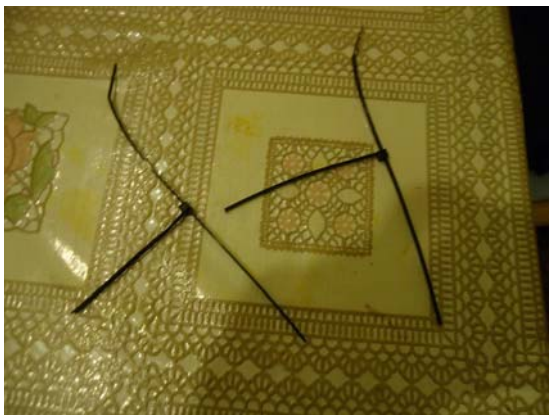


Figura 49: Brides després de la prova

8.5.3 Conclusions sobre el vol

Després d'haver realitzat la prova i veient que les brides no van ser capaces d'aguantar penjada una massa de 3 kg, la qual cosa podria fer que la primera teoria exposada fos acceptada com la certa, però de totes maneres, se'n pot extreure alguna conclusió al voltant del tema:

- La càpsula no estava prou preparada per efectuar un vol tenint en compte el canvi de propietats de les brides, que després d'haver estat durant un període de 45 minuts en una cambra a -18ºC es van trencar amb uns 3 kg

- No tot va responsabilitat de les brides, perquè encara que les brides haguessin aguantat, la tapa de porexpan s'hauria trencat a causa de l'empenta que realitzava el globus, una prova seria el fet que una de les brides va desaparèixer havent arrencat un tros de porexpan de la tapa.

- A més a més la velocitat de descens demostra els apartats anteriors, a més d'explicar perquè es van trobar alguns dispositius de l'interior espatllats. La velocitat de caiguda va ser tan alta que l'impacte va resultar molt fort, de manera que alguns dels objectes es van trencar o espatllar.

9 Conclusions

Un cop acabat el treball és moment per reflexionar sobre tots els esdeveniments que han succeït des de l'inici fins al final. Puc dir que aquesta ha estat una experiència que no oblidaré amb facilitat tant pel que ha suposat per una banda a nivell personal superar-me per tal d'aconseguir els meus propòsits i per altra a nivell acadèmic per realitzar un treball de tals magnituds.

El que vull dir amb aquestes paraules és que sí el treball i el tema en qüestió m'han agradat; m'he respost totes les preguntes de l'inici i m'ha satisfet en els sentits acadèmic i personal puc dir que he pogut realitzar al complert tot el treball de recerca.

Pel que fa a les preguntes crec que ara mateix seria capaç de respondre-les:

- Pel que fa a l'atmosfera ara sé que està formada per diverses capes, cadascuna de les quals té les seves característiques i que condicionen en gran mesura el dia a dia de la meteorologia i del clima.
- Referint-me als factors ambientals ara sé que tant la pressió atmosfèrica com l'altura i la humitat relativa disminueixen conforme s'arriben a determinades capes atmosfèriques, com és el cas del gradient tèrmic.
- Pel que fa a la qüestió logística crec que s'ha pogut realitzar satisfactòriament (encara que amb algunes errades comeses) i dono com a prova el treball realitzat i explicat en aquesta memòria.

Considero que durant tot el projecte s'han realitzat tots els objectius que m'havia proposat en la introducció de manera satisfactòria però amb algun matís en particular. Per exemple, la realització d'un projecte viable era un objectiu proposat durant la introducció però que a l'hora de la veritat ha costat molt d'assolir, ja que s'han comès errors amb el pressupost. A més a més, la no gravació de vídeos a causa d'un error tècnic mostra que un altre aspecte a matisar és la qüestió experimental, que, per la meva part, considero que havia de ser més àmplia després de viure l'experiència del vol. Pel que fa a la mecànica, el sistema d'aïllament tèrmic i el sistema de cordes no van ser els més adequats.

Per tant penso que aquest ha estat un treball que ha tingut un èxit relatiu i que té molts aspectes a millorar:

- Millor planificació del pressupost: Això es pot aconseguir estudiant amb més deteniment les opcions de compra, així com un millor plantejament sobre quins materials s'han d'utilitzar i evitar el màxim els imprevistos un cop el pressupost es trobi tancat

- Millor aïllament tèrmic: les anàlisis del vol han demostrat que l'aïllament no ha funcionat i a causa d'aquest error hi hagut un aparell que s'ha espatllat: la càmera de fotografies. Una manera d'evitar problemes d'aquest tipus és evitar com sigui la realització de forats que impliquin una possible fuga de la calor, així com aplicar altres estratègies d'aïllament diferents a l'adhesió de manta tèrmica, com per exemple la utilització de capes de porexpan més gruixudes.

- Reinterpretació del sistema de cordes: les brides han suposat un error que ha costat la pèrdua d'un paracaigudes i la no arribada de la sonda fins als 30.000 metres. La incorporació d'instruments metàl·lics resistents a les forces aplicades sobre aquests de cara a una propera experiència és una possibilitat per millorar aquest aspecte.

- Reforçament de la tapa de porexpan: crear una estructura capaç de suportar un viatge també ha d'incloure la tapa emprada en aquest cas i en una hipotètica propera ocasió seria convenient reforçar la cara interior per tal d'evitar imprevistos com els que han passat en aquest treball.

- Més proves: una major dedicació de temps per tal de realitzar proves esdevé fonamental de cara a un major èxit de cara a un possible proper intent.

10 Llistat de referències

Llibres:

- Buckley, Bruce (2005). Meteorología. 3a edició. Barcelona: Libros Cúpula. Biblioteca visual, 303.

- Ledesma Jimeno, Manuel (2011). Principios de meteorologia y climatología. 1A edició. Madrid: Parainfo, 531.

- Dunlop, Storm (2004). Weather. 3A edició. Londres: Collins, Independent book sales, 256.

Llocs web

- *La atmósfera de la Tierra* [en línia]. [Consultat: 27 setembre 2014] Disponible a Internet <http://www.astromia.com/tierraluna/atmosferatierra.htm>

- Boletín Oficial del Estado (2014) *Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes.* [en línia] Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España [Consultat: 28 agost 2014] Disponible a internet: <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6856>

- Querelle i Cia. Ltda. (2010) *Profesor en línea-El principio de Arquímedes* [en línia]. Santiago de Xile [Consultat: 26 setembre 2014]. Disponible a internet: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ArquimedesPrincipio.htm>

- Cambio climático (2014) *La atmósfera* [en línia]. Guadalajara. [Consultat: 27 setembre 2014] Disponible a Internet: <http://cambioclimaticoglobal.com/privacy.html>

- Gaardo, José Luis *El principio de Arquímedes* [en línia] Barcelona [Consultat: 29 setembre 2014] Disponible a Internet: <http://es.slideshare.net/dinoflageladoutm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview>

- Martín-Vidales, Encarnación (2010) *Funciones de la atmósfera* [en línia] Madrid [consultat: 29 setembre 2014] Disponible a Internet: <http://es.slideshare.net/emartinvidales/2-atmsfera-funciones>