



Satestrat

Una experiència de grans altures

Coma, Aleix
Portella, Lluís

Dirigit per Fina Graboleda
2n Batxillerat B.

INS Pere Alsius i Torrent
Banyoles, 10 de gener de 2014

Agraïments i dedicatòria del treball

Ens agradaria agrair l'èxit d'aquest projecte a diferents persones i institucions. En primer lloc, a les nostres famílies, a la tutora del treball, Fina Graboleda i al co-tutor Narcís Bartis per la confiança i suport que ens han donat durant tot el projecte. En segon lloc a l'Enrique Herrero pels consells i l'ajuda tècnica. A continuació a totes aquelles persones i empreses que ens han donat el seu vot de confiança i han aportat el seu granet de sorra econòmic, mitjançant la pàgina web del projecte. També volem fer una menció especial al club CAGIP (Club d'Aeromodelisme Girona Provincial) per proporcionar-nos les seves instal·lacions el dia de l'enlairament. Volem donar les nostres més sinceres i profundes gràcies al Sr. Garriga per haver trobat l'aparell.

Ens agradaria dedicar el treball a les nostres famílies, a l'INS Pere Alsius i Torrent i a l'Escola Casa Nostra per haver-nos despertat l'afany científic i les ganes d'aprendre. Gràcies.

Entitats

AstroBanyoles
AstroGirona
CAGIP
El Punt/Avui
Escola Casa Nostra
INS Pere Alsius i Torrent
INS Josep Brugulat
INS Narcís Xifra
Revista de Banyoles
UAB
TV Banyoles

A títol personal

Carla Figueras
Carles Figueras
Dolors Costa
Elena Vega
Enrique Herrero
Joana Vila
Joan de Palau
Lluís Busquets
Miquel Roure
Montse Coma
Pau Masramon
Raimon de Palau
Xavier de Palau



Fig. 1. Logotip empresa Hydroo. Font: pròpia



Fig. 2. Logotip Josep Portella, Arquitecte. Font: pròpia



Fig. 3. Logotip empresa Postalfree Girona. Font: pròpia



Fig. 4. Logotip club CAGIP. Font: pròpia

Índex

1. Introducció	1
2. Introducció a l'atmosfera terrestre.....	3
2.1 Atmosfera de la Terra	3
2.2 Estratosfera	5
3. Construcció	6
3.1 Electrònica	6
3.1.1 La placa base	7
3.1.2 La shield	7
3.1.3 Els sensors de temperatura	8
3.1.4 El radiotransmissor i l'antena de ràdio	9
3.1.5 El GPS i l'antena de GPS	9
3.1.6 La càmera fotogràfica	10
3.2 Mecànica	10
3.2.1 La caixa	11
3.2.2 La manta tèrmica	12
3.2.3 El paracaigudes	13
3.2.4 Les cordes	14
3.2.5 El globus	15
4. Enlairament, recuperació i resultats	17
4.1 Enlairament	17
4.2 Recuperació	21
4.3 Resultats	25
4.3.1 Gràfics	26
4.3.2 Imatges	31
5. Satestrat II	33
5.1 Primera prova	35
5.2 Disseny de la missió	37
6. Difusió i finançament del projecte	41
6.1 Difusió	41

6.2 Finançament	43
7. Conclusions	45
8. Bibliografia	48
Annexos	

1.Introducció

En els últims anys, gràcies a la miniaturització i l'abaratiment de l'electrònica, han aparegut un important nombre d'iniciatives, impulsades per emprenedors autodidactes, que han consistit en la construcció d'aparells capaços de suportar condicions extremes i el seu posterior enviament a l'espai mitjançant un globus. Aquests ginys es coneixen com a sondes estratosfèriques i permeten obtenir interessants dades de l'alta atmosfera terrestre amb mitjans casolans i bastant assequibles, molt lluny dels pressupostos de les grans agències espacials.

Vàrem considerar que dur a terme una experiència d'aquestes característiques ens ajudaria enormement en l'adquisició de coneixements electrònics de cares a la universitat, ja que tots dos volíem estudiar una carrera d'enginyeria. També ens seria molt útil per a saber organitzar i gestionar projectes importants en un futur proper. La construcció i posteriorment llançament d'una sonda a l'espai era un objectiu que ens semblava atractiu i a la vegada fructífer per a la societat, ja que li podria interessar a un gran nombre de persones i permetria, en un futur, investigar mètodes per abastar l'espai d'una forma més convencional.

De fet, l'objectiu que ens vàrem plantejar inicialment consistia en el disseny d'una missió de baix cost per a posar satèl·lits en una òrbita baixa (uns 200 km d'altura). D'aquí neix el nom de "Satestrat", resultat d'ajuntar les paraules "satèl·lit" i "estratosfera". Partíem de la investigació feta en el projecte Wikisat (veure annex 1), però al veure la dificultat i el poc temps del que disposàvem, vàrem desistir d'aquest objectiu inicial.

Un cop decidit que volíem desenvolupar una sonda, ens vàrem plantejar la hipòtesi a la qual volíem focalitzar el projecte. Sabíem que l'ozonosfera es trobava a la capa atmosfèrica a la qual volíem arribar, és a dir a l'estratosfera, per tant ens preguntàrem: es produeixen fluctuacions de temperatura a l'atmosfera?

També ens preguntàrem si es produïen variacions en el mòdul i direcció del vent a diferents alçades com a conseqüència del canvi de capa atmosfèrica.

Tot i així, també volíem aconseguir uns objectius secundaris:

- Superar els 35.000 m d'alçada, ja que teníem constància que era l'altura màxima a la qual havia arribat una sonda de les mateixes característiques.

- Demostrar l'existència de la capa d'ozó, notant un increment de temperatura.
- Obtenir imatges inèdites del nostre planeta.
- Acostar la ciència i la tecnologia a totes aquelles persones que en tinguessin una concepció avorrida.

Pel que fa a la metodologia, al llarg del treball hem seguit una sèrie de passos. Primerament, vàrem cercar per Internet informació sobre el tema en general. Consultant pàgines web d'altres projectes de sonda estratosfèrica que hi havia a nivell estatal, vàrem contactar primer amb en Jaime Ruíz Páez de la CHA.S.A (*Chaminade Space Agency*) i, més tard, amb l'Enrique Herrero de SonCube. Gràcies als consells de l'Enrique, vam determinar els components que necessitàvem per a la construcció i els vam comprar quasi bé tots a través d'Internet. Després d'haver resolt alguns problemes burocràtics respecte als enviaments, vam dur a terme la construcció durant els mesos de juny i juliol. Alhora vam contactar amb AENA (*Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea*) per tal que donessin el vistiplau al llançament. Finalment, un cop realitzat el vol, vàrem procedir a l'anàlisi de les dades obtingudes per determinar fins a quin punt s'havien complert els objectius inicials.

Hem estructurat aquest treball en set capítols. El primer, és aquest: una introducció al projecte. El segon és una breu explicació de l'atmosfera terrestre, ja que això permet situar-nos més bé durant el desenvolupament d'aquesta memòria. Després ve el procés de construcció. En aquest apartat hi estan explicats els trets més importants de l'electrònica i la mecànica de la sonda. Seguidament, hi trobem el capítol més important: enlairament, recuperació i resultats de la sonda. Després passem a parlar d'una propera segona part, Satestrat II. Com a penúltim punt trobem com s'ha pogut difondre i finançar aquest projecte i, finalment, les conclusions, on fem el balanç final de l'experiència duta a terme.

2. Introducció a l'atmosfera terrestre

Abans de començar a dissenyar la nostra sonda, era imprescindible conèixer el medi al qual s'hauria d'enfrontar. Per això hem trobat adient fer una petita introducció de l'atmosfera terrestre.

2.1 Atmosfera de la Terra

L'atmosfera d'un cos celest és la capa o les diverses capes de gasos que n'envolten la superfície. Aquests gasos es mantenen al voltant de l'objecte en qüestió degut a la força gravitatòria d'aquest.

L'atmosfera terrestre està composta per diferents gasos, que s'organitzen, segons la seva composició, en capes situades a diferents alçades. Tal com indica el llibre *Ciencias Físicas* de F. Bueche "la Terra està fonamentalment composta per nitrogen i oxigen, encara que també estan presents traces d'algunes altres molècules." A la taula següent es poden veure els principals gasos i la seva concentració en tant per cent.

Gas	Símbol	Concentració en tant per cent
Nitrogen	N ₂	78
Oxigen	O ₂	21
Argó	A	0,9
Diòxid de carboni	CO ₂	0,03
Neó	Ne	0,002
Heli	He	0,0005
Metà	CH ₄	0,0002

Fig. 5. Comparativa dels principals gasos de l'atmosfera terrestre. Font: *Ciencias Físicas*.

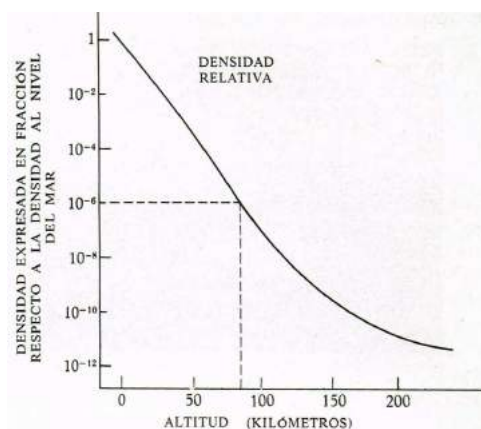


Fig 6. Variació de la densitat de l'aire en funció de l'alçada. Font: *Ciencias Físicas*.

També hem de tenir en compte que la densitat de l'aire no és constant. A mesura que ascendim es nota un decreixement molt important (veure figura 6) de la densitat. Això ens indicava que la sonda, quan comencés a caure, descendiria quasi bé en caiguda lliure, ja que no hi hauria suficient quantitat d'aire per frenar-la.

Principalment es poden distingir 5 capes:

1. Troposfera: és la capa on habiten tots els éssers vius i tenen lloc tots els fenòmens meteorològics. Engloba les profunditats marines, la superfície terrestre i abraça fins a una altitud variable: uns 6 km a les zones polars fins a uns 20 km als tròpics. Per a la latitud de Catalunya, es considera que la troposfera s'acaba a uns 15 km d'altura. Dins d'aquesta capa, la temperatura és inversament proporcional a l'altura (baixen $0,65^{\circ}\text{C}$ cada 100 m) fins a arribar a un mínim mitjà de -50°C al final d'aquesta.

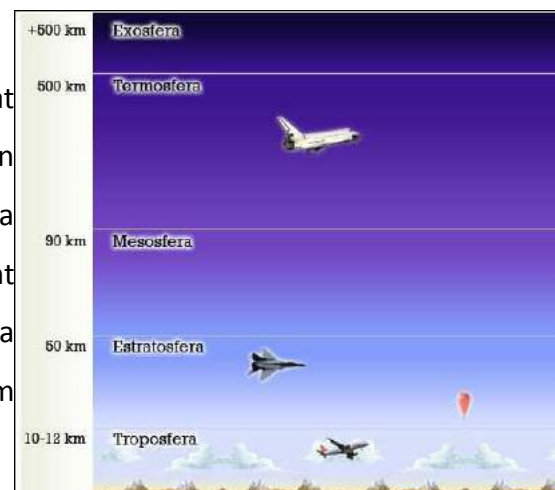
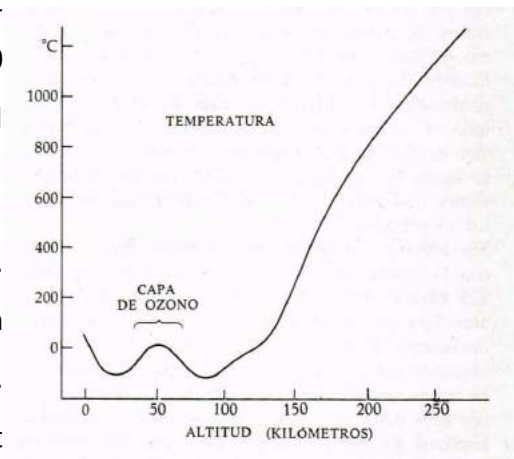
2. Estratosfera: s'estén fins a uns 50 km d'altitud. S'anomena així perquè està dividida en diferents estrats (capes horitzontals de gasos).

A l'estratosfera, la temperatura és directament proporcional a l'alçada de tal manera que la temperatura pot pujar fins a situar-se per

sobre dels 0°C al voltant de 50 km d'alçada. Dins d'aquesta es troba la capa d'ozó (ozonosfera), vital per a la vida a la Terra, ja que absorbeix el 98% de la letal radiació ultraviolada del Sol.

3. Mesosfera: abraça dels 50 km fins a uns 80 km d'altura. Al límit entre l'estratosfera i la mesosfera (estratopausa) es produeix una inversió tèrmica de tal manera que la temperatura es redueix amb l'alçada. Al límit superior de la capa, la temperatura baixa fins als -80°C .

4. Termosfera o ionosfera: el seu límit està situat als 500 km d'altitud de la Terra, englobant gran quantitat de satèl·lits i naus en òrbita d'aquesta. Les temperatures varien bruscament degut a la radiació solar i es poden arribar a temperatures per sobre dels 1000°C , tal i com es pot veure en la figura 7.



5. Exosfera: és la part més exterior de l'atmosfera. Comença als 500 km i no té un límit clar i definit, aproximadament abraça fins els 10.000 km. En aquesta capa, la densitat és quasi bé negligible, igual que la pressió. Un fet curiós que destaca el mateix llibre anomenat anteriorment, és que a uns 650 km de la Terra, hi ha un milió de molècules per cada cm^3 , però aquest número és 10^{-13} vegades menor que a nivell del mar.

2.2 Estratosfera

És la capa on la nostra sonda s'hauria d'endinsar, ja que preteníem superar els 35 km sobre el nivell del mar. A aquesta alçada, la temperatura mitjana és d'uns -10°C . Ara bé, durant el viatge, hauria de travessar la tropopausa (el límit entre la troposfera i l'estratosfera), una zona especialment freda (de -40 a -60°C).

A 35 km sobre la Terra, la pressió atmosfèrica és extremadament baixa, d'uns 5 a 10 hPa, comparada amb la pressió mitjana a la superfície, de 1013 hPa. La radiació és especialment alta ja que hem deixat enrere una gran quantitat d'ozó, podent arribar a detectar des d'aquesta alçada rajos còsmics. Aquest ozó, tal i com s'explica en el llibre Ciencias Físicas de F. Bueche, *“es forma quan un àtom d'oxigen aïllat es combina amb una molècula d'oxigen. L'oxigen lliure es forma quan un fotó d'energia alta xoca amb una molècula d'oxigen. D'aquí que només existeixi ozó en quantitats apreciables a altures on els rajos del Sol són bastant intensos.”*

És degut a aquesta radiació que l'aire de l'estratosfera pateix un procés de ionització (procés de perdre o guanyar electrons) transformant-se en millor conductor tèrmic. És gràcies a aquesta millora en la conductivitat tèrmica, que la temperatura augmenta en passar la tropopausa. La humitat és gairebé inexistent.

En el seu viatge, la sonda travessaria una barrera psicològica: la línia d'Armstrong. Aquesta està situada a uns 19.000 m d'alçada, a poc més de la meitat del recorregut, i consisteix en l'altura a partir de la qual la sang i tots els fluids del cos d'un ésser humà es posarien a bullir a temperatura ambient. Per a sobreviure per sobre d'aquesta “línia”, cal portar un vestit pressuritzat com el dels astronautes. És per això que de vegades s'ha proposat aquesta barrera com “la frontera de l'espai exterior”.

3. Construcció

El procés de construcció de la sonda va durar uns 5 mesos. En aquest temps ens vàrem deixar aconsellar per l'Enrique Herrero, promotor de SonCube i SonCube II, a l'hora de triar els components electrònics. Es pot dir per experiència que és la part més difícil del projecte, ja que tots els components electrònics han estat comprats per Internet a Estats Units i a Itàlia, cosa que fa que hi puguin haver problemes amb NIFs (*Numero d'Identificació Fiscal*), distribuïdors, facturació de paquets... També és la part del projecte més entretinguda, ja que és la que dura més temps, la part en la que es veu l'evolució d'aquest i en la que s'aprenen més aspectes relacionats amb electrònica, processos d'encolat, processos de soldadura... La construcció de qualsevol giny d'aquestes característiques és extremadament delicada. S'ha de tenir en compte que qualsevol error comès és per sempre, no hi ha marxa enrere. Un encolat mal fet o una perforació equivocada és crític.

Per a fer més entenedor aquest apartat, hem dividit el procés de construcció en dos blocs diferenciats:

3.1 Electrònica

L'electrònica és la part imprescindible per a la captació i recepció de dades, és el cervell de la sonda. Es caracteritza per ser el tema més complex i el que dominàvem menys a l'inici del treball. El cervell de Satestrat està format per una placa base Arduino UNO i una shield amb tots els components soldats sobre aquesta. Aquest conjunt s'anomena Trackuino¹. Com que és un tema amb molts tecnicismes, n'intentem donar una visió general per procurar ser entenedors.

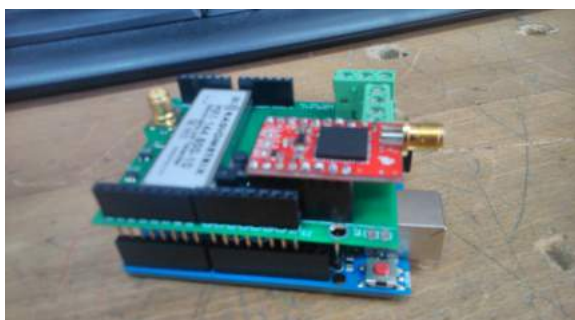


Fig 9. Placa Trackuino muntada. Font: pròpia.

Es pot dir que l'electrònica de la sonda segueix dos processos. El primer és la posada en marxa del sistema electrònic. En aquest moment tots els components comencen a funcionar gràcies a la seva prèvia programació. El segon procés és, un cop acabada la inicialització, la captació i enviament continu i indefinit (fins que s'acaba la bateria) de

dades. A continuació detallem els components electrònics més rellevants de la càpsula.

¹ Trackuino: Aparell de posicionament GPS basat en la placa base Arduino.

3.1.1 La placa base

Les plaques bases són la part fonamental de tot circuit electrònic, serien com l'esquelet de l'electrònica, ja que ofereixen les tres parts essencials d'un ordinador integrades en un sol xip: processador, memòria i unitat d'entrades i sortides.

La placa base per la qual vam optar pel Satestrat va ser l'Arduino UNO. Les Arduino són de tecnologia italiana i es caracteritzen per ser plaques de



Fig 10. Placa Arduino UNO. Font: pròpia.

sistema obert, ser molt versàtils i relativament senzilles d'utilitzar. Apostarem pel model UNO, ja que és el més senzill i cobria totalment els requisits per ser el sistema de control de la sonda. Gràcies a aquesta placa podíem tenir un control complet de la càpsula.

A continuació proporcionem una taula de característiques.

Microcontrolador	Atmega168
Voltatge operatiu	5 Volts
Voltatge recomanat	7-12 Volts
Voltatge d'entrada límit	6-20 Volts
Pins d'entrada/sortida digital	14
Pins d'entrada analògics	6

Fig. 11 Taula de característiques de la placa Arduino UNO. Font: www.arduino.com

3.1.2 La shield

La shield és la placa en la qual es solden tots els components electrònics. És un component molt senzill i funcional, perquè només es tracta d'una placa de circuit imprès i, a més a més, va indicat de quina manera i a on s'ha de soldar cada component. És a dir que per inicialitzar-se en electrònica o en Arduino és absolutament recomanable apostar-hi.

Aquesta va connectada sobre l'Arduino i els seus circuits interns són extremadament delicats, massa temps soldant un component podria cremar el circuit. La utilització d'aquesta placa depèn de la utilitat que se'n vol fer, és a dir, en el cas de la sonda Satestrat era necessària la seva

utilització perquè era essencial fer servir uns sensors de temperatura, un transmissor de ràdio, sistema de geolocalització, o altres, i l'Arduino no permet la soldadura directa d'aquests components sobre seu. S'ha de fer mitjançant la shield.

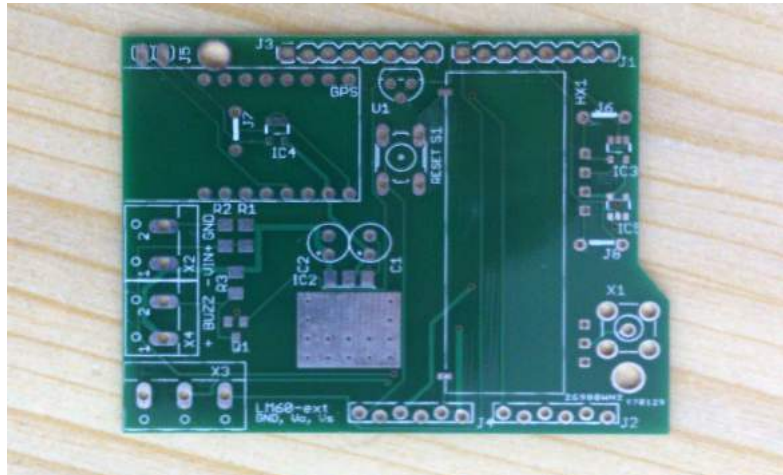


Fig 12. Shield. Font: pròpia.

3.1.3 Els sensors de temperatura.

Segurament la variable meteorològica més coneguda és la temperatura. A més, un aspecte curiós de l'estratosfera és que es produeixen fluctuacions (tal com hem indicat en l'apartat anterior), fet que és degut en part per la capa d'ozó que pot fer pujar la temperatura uns 10°C. És per això, que la sonda incorporava dos sensors de temperatura. Concretament dos sensors Lm60, un per a la temperatura exterior de la sonda i l'altre per a la interior. El seu rang de sensibilitat és de -40°C a +125°C alimentat a 2.7 V, tot i que l'Lm60 exterior utilitzat va enregistrar -41°C. Hipotitzem que, si



Fig 13. Esquema de pins del sensor Lm60. www.ti.com

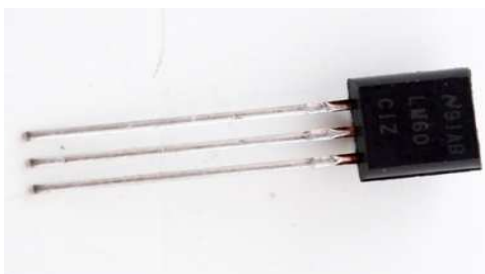


Fig 14. Sensor de temperatura Lm60. Font: www.inventgeek.com

hagués tingut un rang més ampli hauríem enregistrar temperatures més baixes. El més important d'aquests dos termòmetres era l'exterior, ja que l'interior només ens servia per comprovar l'eficiència a l'hora d'aïllar tèrmicament la sonda. També era important tenir en compte la polaritat, perquè una confusió a l'hora de connectar-lo a l'Arduino podia cremar tots els circuits de la placa. Aquests sensors tenen moltes aplicacions avui dia, per exemple en els mòbils, en els ordinadors, en els faxes i impressores.

3.1.4 El radiotransmissor i l'antena de ràdio

El radiotransmissor és l'intermediari entre el sensor de temperatura i l'antena de ràdio. Aquest



Fig 15. Radiotransmissor. Font: www.radiometrix.com

és l'encarregat d'enviar la informació del termòmetre a l'antena. Vàrem apostar per utilitzar el Radiometrix HX1 amb una freqüència de 144.800 MHz, tot i que aquest dispositiu abraça totes les freqüències des de 120 MHz fins a 180 MHz. A més aquest transmissor permet enviar telemetria a partir de 18 km d'altura, cosa que el feia el candidat més adient per a

l'experiència duta a terme.

No ens hem d'oblidar de mencionar l'antena de ràdio, ja que sense aquesta no hauríem rebut les dades de temperatura durant el vol. Utilitzàrem una antena de quart d'ona amb base magnètica. No sabem el model ni la marca, ja que la vam comprar per Ebay.

3.1.5 El GPS i l'antena de GPS

El culpable que la sonda es pogués seguir en directe i quedés sobreposada la seva trajectòria en



Fig 16. Mòdul Venus GPS. Font: www.electan.com

el mapa va ser el sistema de GPS (*Global Positioning System*). El model que vam utilitzar va ser el Venus GPS. Aquest era perfectament compatible amb la placa Shield i amb l'antena utilitzada per rebre les dades de geolocalització, ja que tots dos compartien el connector SMA (*Subminiature version A*). A més, és un sensor força precís, només té un error de 2,5m (error totalment assumible en el nostre projecte). Es caracteritza per ser relativament àgil a l'hora

d'inicialitzar-se: en fred, 29 segons, i en calent 1 segon. Aquest giny requereix un subministrament de 3,3 V i a plena potència, la placa utilitza 90 mA. Com que té un gran abast en alçada, més de quaranta quilòmetres, feia que fos el candidat perfecte per realitzar la funció de control de posició de la càpsula.

Hem de fer esment a l'antena que anava connectada a aquest transmissor. Era una antena amb base magnètica, amb connector SMA.

3.1.6 La càmera fotogràfica

Era evident que una experiència d'enviament d'una càpsula a l'espai proper havia de poder ser demostrada amb imatges. Per això vam utilitzar una càmera fotogràfica en posició de gravació, per tal de poder veure paisatges espectaculars del nostre planeta. Es podria veure l'Estany de Banyoles, el Mediterrani, la curvatura de la

Terra i el cel negre. La càmera utilitzada va ser la Go Extreme Race d'EasyPix, després de valorar altres opcions com una Go-Pro. La Go Extreme Race era molt lleugera i expressa per suportar condicions extremes, tot i que no s'especificava si servia per a l'experiment dut a terme. Aquesta venia tota equipada amb complements per a poder realitzar diferents tasques. Un d'aquests components addicionals era una carcassa per a poder submergir-la fins a grans profunditats. Vam



Fig 17. Go Extreme Race. Font: www.easypix.eu

decidir utilitzar-la ja que la càmera aniria a

l'exterior del Satestrat i facilitava molt la seva subjecció a la sonda, a part que també l'aïllava tèrmicament. La seva resolució era acceptable d'acord amb el seu preu (1280x720p), tot i que estant a l'interior de la carcassa i per culpa de la condensació, es va entelar l'objectiu. La càmera, malauradament, no es caracteritza per tenir molta autonomia, uns noranta minuts aproximadament. Això comportava ser conscients que només es podria veure com a màxim tot l'ascens, si tot anava perfecte.

3.2 Mecànica

La part mecànica de la sonda era, de la mateixa manera que la part electrònica, completament indispensable i fonamental, i calia fer-ne un bon disseny.

La mecànica engloba els components següents:

- La caixa, que conté tota la part electrònica de la sonda, per tal d'aïllar-la de l'exterior.
- El sistema de paracaigudes, que permet un descens controlat i relativament suau un cop el globus s'ha reventat.
- El sistema de cordes, que és el que uneix la caixa amb el globus.
- Finalment, el globus (inflat amb heli), que és el que impulsa cap amunt tot el conjunt.

3.2.1 La caixa

La missió de la caixa és aïllar i protegir els components electrònics per tal que aquests puguin fer la seva funció. És l'estructura que engloba tota la càrrega útil.



Fig 18. Caixa de porexpan, obtinguda en una farmacia. Font: pròpia.

Dins de la troposfera (la primera capa de l'atmosfera, que arriba fins als 15-18 km d'alçada), la temperatura va disminuint a mesura que augmenta l'altitud a un ritme gairebé constant de $-0,65^{\circ}\text{C}$ cada 100 m, tal com hem dit. Un cop passada la troposfera ens trobem amb l'estratosfera (va dels 15-18 als 50 km d'alçada) en la qual es produeix una inversió tèrmica: la temperatura comença a augmentar de manera proporcional a l'alçada. Per tant, la temperatura més baixa que pot arribar a enregistrar una sonda com la nostra es troba pels voltants del límit entre la troposfera i l'estratosfera (tropopausa), a uns 15-18 km per sobre del nivell del mar.

Aquesta temperatura mínima oscil·la entre els -40 i els -60°C, i donat que la majoria de components electrònics que conformaven la nostra sonda no asseguraven funcionar per sota dels 0°C, era vital que l'interior de la caixa es mantingués per sobre d'aquesta temperatura límit durant tota la missió.

Des del primer moment vàrem decidir que la caixa havia de ser de porexpan degut a 3 factors:

- El seu baix pes, que és un paràmetre clau a controlar.
- La seva disponibilitat: es poden trobar caixes de porexpan en moltes farmàcies (es fan servir per transportar medicaments), supermercats, etc.
- La seva resistència als cops: el porexpan es fa servir, en molts casos, per construir avions d'aeromodelisme ja que és capaç de rebre forts impactes a grans velocitats sense trencar-se.



Fig 19. Treballant el porexpan. Font: www.bricolaje.facilismo.com

Ara bé, el porexpan no és prou bon aïllant del fred (no pas a temperatures de -50°C) i per tant ens calia un altre component que recobris tota la caixa i que permetés mantenir la temperatura interior per sobre dels 0°C. En aquest cas tampoc ens va costar gaire decidir-nos i ràpidament vàrem adquirir una manta tèrmica. Les mantes tèrmiques són molt utilitzades pels serveis sanitaris i serveixen per mantenir l'escalfor

corporal de, per exemple, les víctimes d'un accident de transit.

3.2.2 Manta tèrmica

Una manta tèrmica consisteix en una pel·lícula fina de plàstic amb una de les cares de color daurat i l'altra, platejada. El seu funcionament és molt senzill: si col·loquem la manta de tal manera que la part platejada està en contacte amb el cos de la víctima, l'escalfor del cos es reflexarà



Fig 20. Manta tèrmica sense desplegar. Font: pròpia.

amb la manta i s'impedirà que s'escapi, mantinguent així la temperatura corporal de la persona ferida. En la nostra sonda passava igual: la cara platejada, mirant cap endins, reflexava l'escalfor produïda pels components electrònics per contrarrestar les baixes temperatures de l'exterior de la caixa. La cara daurada era visible des de l'exterior i reflectia la llum del sol, fent que la sonda es pogués veure des de molt lluny. Així doncs, envoltant tota la caixa amb la manta tèrmica aconseguíem l'aïllament tèrmic que necessitavem sense que augmentés ni el volum ni el pes de la sonda (el pes de la manta era ínfim).

Una altra funció de la caixa era protegir l'integritat de l'electrònica de l'impacte amb el terra (un cop el globus s'hagués rebotat) per tal de poder reutilitzar-la en futures missions. Sabíem que



Fig 21. Estructura d'alumini recobrint una sonda estratosfèrica. Font: www.teslabs.com/meteotek08

l'impacte es produiria a una velocitat considerable (12-15 m/s) tot i l'ús d'un paracaigudes.

En un primer moment, vàrem pensar en construir una estructura protectora d'alumini que encaixés amb les vores de la caixa (com en la sonda SonCube, llançada a l'agost de 2012). Durant unes proves del paracaigudes, però, vàrem poder

comprovar que la sola caixa de porexpan era capaç de resistir forts impactes sense abonyegar-se ni trencar-se perquè tenia un gruix d'uns 3cm, cosa que feia innecessari l'ús de qualsevol altra protecció (que per altra banda en faria augmentar el pes total).

3.2.3 El paracaigudes

El paracaigudes era el component indispensable a l'hora de garantir el retorn de la sonda sana i estalvia. En els primers quilòmetres de caiguda lliure, i tal com va passar amb l'austriac Fèlix Baumgartner, la càpsula experimentaria una gran acceleració deguda a la quasi total absència d'aire. En penetrar en la troposfera, el fregament amb l'aire la frenaria considerablement. Tot i

aquesta frenada, la càpsula seguiria caiguent a una velocitat per sobre dels 100 km/h, uns 30 m/s, suficient com per què la sonda quedés greument danyada en impactar contra el terra.

Hi havia dues opcions: comprar el paracaigudes o reutilitzar/fabricar-lo. Vàrem decidir reutilitzar una tela de paraigua vell (de 1,10 m de longitud) ja que aquesta tenia ja, des del principi, la forma octogonal que volíem.

Per a aconseguir desplegar el paracaigudes durant el descens, vam optar per un sistema molt utilitzat entre els aficionats a les sondes estratosfèriques que era, a la vegada, molt senzill. Consisteix en foradar-lo pel mig, fent-hi passar per



Fig 22. Paracaigudes utilitzat. Font: pròpia.

dintre una corda de 12 m de llargària, que és la que uneix la caixa amb el globus. Acte seguit, fem un nus ben gros a uns 3 m de la caixa de manera que, mentre el globus estigui pujant, el nus faci pressió al paracaigudes impedit que s'obri. Quan el globus es rebenta i la sonda comença a caure, la corda queda destensada. En arribar a les capes baixes de l'atmosfera (menys de 10 km d'alçada), el propi fregament amb l'aire fa desplegar el paracaigudes.

3.2.4 Cordes

El sistema de cordes manté unida la caixa amb el paracaigudes i el globus. És important que totes les cordes tinguin la mateixa llargada per tal que totes estiguin igual de tensades i hagin de suportar la mateixa càrrega.

Les cordes eren de niló trenat, molt resistents a la tracció i als canvis de temperatura. També eren especialment resistents a la fricció amb qualsevol superfície. Per unir-les a la caixa, fèiem un forat al porexpan, hi introduíem un extrem de la corda i ho tapàvem/enganxàvem amb molta silicona.

Una funció important de les cordes també era aconseguir la màxima estabilitat possible, per tal que les imatges obtingudes fossin estables i anivellades, i evitar al màxim el trontoll que sol ser

molest en aquestes sondes. Per minimitzar la torsió de les cordes, aquestes havien de tenir una certa llargada, 12 metres en el nostre cas. Per donar-li encara més estabilitat, vàrem fer ús d'un mosquetó, que servia d'unió entre la caixa i el globus.

3.2.5 El globus

El globus és el component que s'encarrega d'impulsar tots els components de la sonda fins la frontera de l'espai.

Per a aconseguir-ho, cal inflar-lo amb un gas noble que sigui més lleuger que l'aire, ja sigui l'hidrogen (extremadament inflamable i perillós però més barat i eficient) o heli (més car d'obtenir, menys eficient però molt més fàcil de manejar i completament segur). De seguida ens vàrem decantar per utilitzar l'heli ja que en molts llocs web desaconsellaven el maneig de l'hidrogen en cas que no fóssim experts.

L'explicació de per què volava la nostra sonda és ben senzilla: perquè el gas que hi havia a dintre del globus era més lleuger que l'aire. Com que l'aire és més dens que l'heli, també és atret amb més força per la gravetat de la Terra, amb la qual cosa desplaça cap amunt el gas de dins el globus (de la mateixa manera que les bombolles d'aire en aigua), i amb ell tota la sonda. A mesura que el globus ascendeix, la pressió de l'aire que l'envolta va disminuint amb la qual cosa l'heli (que com tots els gasos té tendència a guanyar volum), s'expandeix per dintre d'aquest fent-ne augmentar la mida. Arriba un punt, que les parets del globus estan tan botides que s'esquincen i explota, provocant la caiguda de tota la sonda.

Per saber la quantitat d'heli justa que necessitàvem vàrem utilitzar un simulador gratuït a internet que, entre altres coses, ens permetia saber també la trajectòria teòrica del globus per un dia qualsevol. Amb aquest simulador vàrem determinar que necessitàvem que la sonda pugés a 6,1 m/s per tal que assolís els 35.000 m d'alçada en uns 100 minuts (tots aquests càlculs es varen complir a la perfecció el dia del vol). Sabent aquestes dades, vàrem calcular que necessitaríem un total de 4,6 m³ d'heli. Ara només ens calia trobar una ampolla a mida.

Satestrat, una experiència de grans altures

Aconseguir l'ampolla d'heli que necessitàvem va ser realment complicat, una de les traves més importants de tot el projecte: vàrem haver de contactar amb tres proveïdors abans no vam aconseguir pocs dies abans del llançament una ampolla de lloguer de 7,8 m³ i un manòmetre per mesurar la pressió de subministrament. Els globus (en vàrem comprar 2 perquè volíem tenir marge d'error en cas que alguna cosa anés malament amb el primer) els havíem adquirit un mes abans que l'heli en una compra conjunta amb el promotor de la iniciativa SonCube.

Un cop comprovat el funcionament de l'electrònica, construïda la caixa, muntades les cordes, provat el paracaigudes i adquirits els globus i l'heli,



Fig 23. Inflant el globus. Font: pròpia.

es pot dir que estàvem preparats per dur a terme la prova definitiva: el vol estratosfèric.

4. Enlairament, recuperació i resultats

4.1 Enlairament

Finalment va arribar el dia del llançament. Gràcies al simulador HabHub (www.habhub.org) i les previsions meteorològiques vam acordar el dimecres dia 24 de juliol (veure annex per visualitzar una comparació entre la simulació i la trajectòria real de la sonda). Aquest dia, la sonda només



Fig. 24. Cara principal de la sonda Satestrat. Font: pròpia

se'ns desviava 9,5 quilòmetres, aproximadament, del punt d'enlairament en línia recta. A més, no hi havia cap perill que caigués al mar, quasi no hi havia humitat i la nuvolositat era del 0%. Tot i així, aquest dia també comportava uns inconvenients: era un dia laboral, per tant no podia

assistir molta gent al llançament i era un dia d'estiu, és a dir, que passaríem molta calor i hauríem de passar tot el dia sota un sol de justícia.

El dia 24, ens vàrem aixecar a un quart de set del dematí i vam enllestir els últims retocs de la construcció de la sonda: posar brides, comprovar el cablejat, enganxar els logotips... Havíem quedat amb la Fina Graboleda a les 7 per anar a la muntanya de Rocacorba per a fer l'última prova de recepció de dades per APRS (*Automatic Packet Reporting System*). Un cop vàrem ser a dalt i havíem posat l'electrònica en funcionament, no vam aconseguir rebre les dades, però tot i així no ens vàrem fer enrere i vam agafar el bou per les banyes. No vam suspendre l'enlairament. Segons ens constava per altres llançaments, rebríem la senyal un cop la sonda sigués a certa alçada. Vam baixar de Rocacorba per anar a l'INS Pere Alsius, on molt amablement, ens guardaven l'heli i ens cedien l'equip d'altaveus i megafonia.

Satestrat, una experiència de grans altures

A les 8:30 erem a l'antic camp d'aviació del Pla de Martís. Un cop allà, ens esperaven les nostres famílies i començarem a descarregar material. Seguidament, vàrem comprovar la connexió al servidor *proxy*² del club CAGIP (*Club d'Aeromodelisme Girona Provincial*) i aquest va ser el primer entrebanc amb què ens vam topar. No aconseguíem la connexió amb el servidor



Fig. 25. Posant amb la tutora abans del llançament. Font: pròpia

de la muntanya Mare de Déu del Món, sense la qual ens era impossible fer el seguiment de l'artefacte. Vàrem parlar amb Santi Coll, expert en telecomunicacions i professor de l'IES



Fig. 26. Sonda Satestrat volant. Font: pròpia.

Josep Brugulat, que ens ajudava amb aquest tema. Va realitzar una trucada i al cap de pocs minuts, ja ens funcionava. El que fallava era l'enllaç de 5 GHz troncal³ fins als proxys.

Començava a arribar gent i, sense entretenir-nos, posàrem un plàstic al terra on començarem el procés d'inflat del globus. La Fina va realitzar una trucada a AENA per recordar-los del llançament, avisat prèviament per un formulari (veure annex 3), en els pròxims trenta minuts.

L'enlairament estava previst a les 11, però per culpa de la lentitud en l'inflament, no el vam llançar fins les 11:45. Abans

de llançar-lo, però, vam posar l'electrònica en funcionament, la càmera a gravar, el bronzidor ja sonava i vam lligar el globus a la corda de l'artilugi. Segellàrem la tapa amb cinta americana i posàrem, juntament amb la tutora, per fer l'última fotografia (veure annex 4). En aquell moment, una vuitantena de persones plasmaven el moment, gràcies a les seves càmeres. Ens dirigírem al punt concret per deixar anar el conjunt.

Havia arribat el moment que tants mesos havíem estat esperant amb un gust agredolç: nervis,

² Proxy: servidor intermediari que se situa entre l'aplicació client i el servidor real. Font: enciclopedia.cat

³ Enllaç troncal: és un enllaç punt a punt, entre dos dispositius de xarxa, que transporta més d'una VLAN (*Virtual Local Area Network*). Font: slideshare.net

il·lusió i, al mateix temps, incertesa, ja que podria ser l'últim moment que veiéssim la sonda.

El compte enrere havia començat. 10, 9, 8, 7... Els números els cantava la Fina, gràcies al sistema de megafonia. 6, 5, 4... En aquest moment vam tenir un problema amb les cordes: per culpa dels nervis i el gran nombre de cordes que subjectaven el paracaigudes es va fer un gran embolic. 3, 2, 1... Enlairament! Les nostres mans intentaven desfer el nus que s'havia produït i ara sí, la sonda Satestrat estava volant.

Tota la gent estava mirant com l'artefacte s'enlairava fent formes realment curioses.

No ens vàrem quedar a veure com la sonda s'enfilava cap al cel empetitint-se i, sense més dilacions, ens vam col·locar als ordinadors, i amb impaciència esperàvem aparèixer en el mapa.

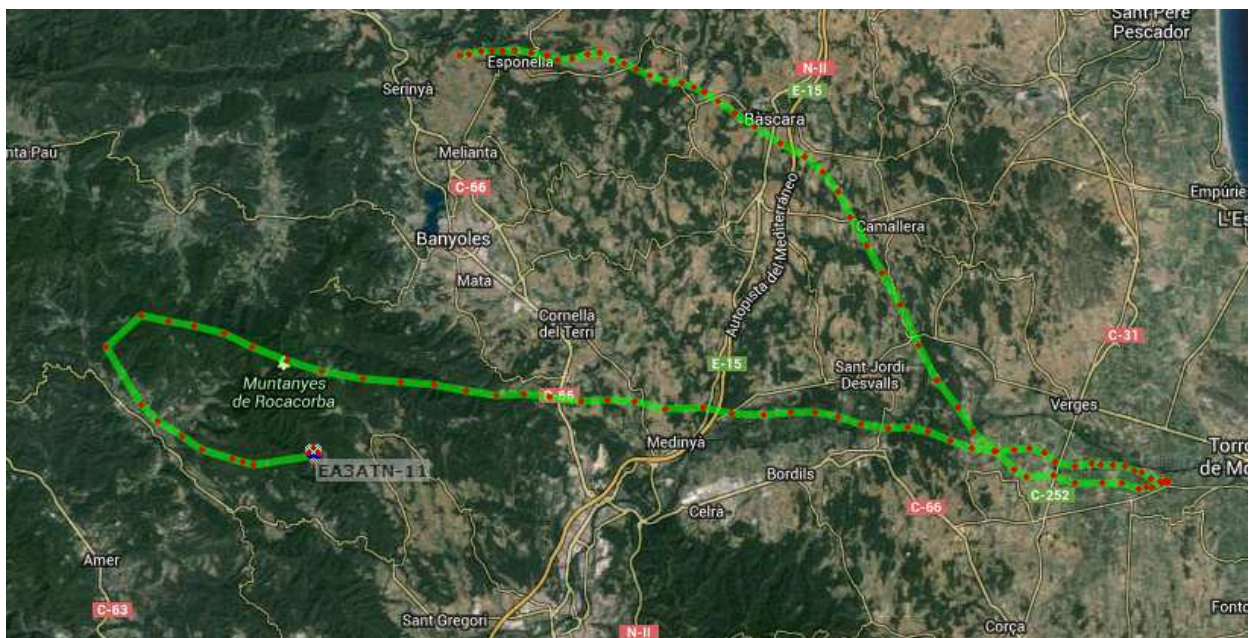


Fig. 27. Trajectòria real que va seguir l'aparall. Font: pròpia

Durant els primers minuts, vam estar volant a cegues, sense cap contacte amb la sonda ja que la muntanya de Rocacorba tapava els repetidors. El teníem! Vam rebre les primeres dades quan la sonda estava als 1.512 m d'altura i les primeres ovacions es varen fer presents. Acte seguit, Banyoles TV va entrevistar-nos i també ho va fer a diferents persones que ens havien ajudat. Minut a minut rebíem informació de l'aparall i tot anava segons el previst: s'enlairava a bon ritme, en la direcció correcta i la temperatura interior es mantenia positiva. La temperatura mínima durant l'ascens, es va produir als 18.000 m d'alçada, a la tropopausa, a l'hora que els vents canviaven de direcció i empenyien la sonda cap a l'interior, tal com havien mostrat les nostres simulacions. A partir d'aquest punt, podíem dir que el nostre giny havia entrat a

Satestrat, una experiència de grans altures

l'estratosfera, a la regió coneguda com a espai proper, és a dir que en principi, missió complerta. Un cop a l'estratosfera, es va produir una inversió tèrmica, tal i com esperàvem, de manera que la temperatura va començar a augmentar proporcionalment a l'alçada. Si haguéssim disposat d'un sensor d'ozó, en aquest moment hauríem pogut detectar un augment sobtat de concentració d'aquest gas, indicant l'inici de la coneguda capa d'ozó. La sonda va seguir enviant dades sense problema durant tot l'ascens. A mesura que passava el temps, augmentava la velocitat d'ascens de forma exponencial, que va arribar a ser d'uns 500 m/min. 30.000 m, 31.000 m, 32.000 m... 36.458 m! Això era un rècord mundial absolut d'alçada per a aquest tipus de sondes! Aplaudiments per part de la gent que encara seguia al Pla, amb nosaltres. La següent lectura (33.918 m) ens indicava que, finalment, el globus havia rebotat i la sonda ja queia, de tornada a la Terra. De nou, eufòria general, ja que semblava que tot funcionava a la perfecció i en qüestió de poques hores tindríem de nou la sonda a les nostres mans.



Fig. 28. Seguint en directe el Satestrat. Font: pròpia.

Van arribar els moments de “Houston, tenim un problema”. Vam estar dotze minuts de caiguda sense rebre cap senyal de la sonda. Pensàvem haver perdut definitivament l'artefacte, quan de sobte, el vàrem recuperar als 12.000 m! Durant la caiguda, es van poder registrar temperatures de $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eufòria altra vegada. Tot seguia en normalitat fins els 3.300 m, on vàrem

perdre la senyal, definitivament. Tenim diferents hipòtesis sobre aquest fet: podria ser que l'antena s'hagués trencat per culpa de les cordes, podria ser que per culpa del fred les piles perdessin molta capacitat, o bé que la muntanya de Rocacorba tapés el repetidor de senyal.

4.2 Recuperació

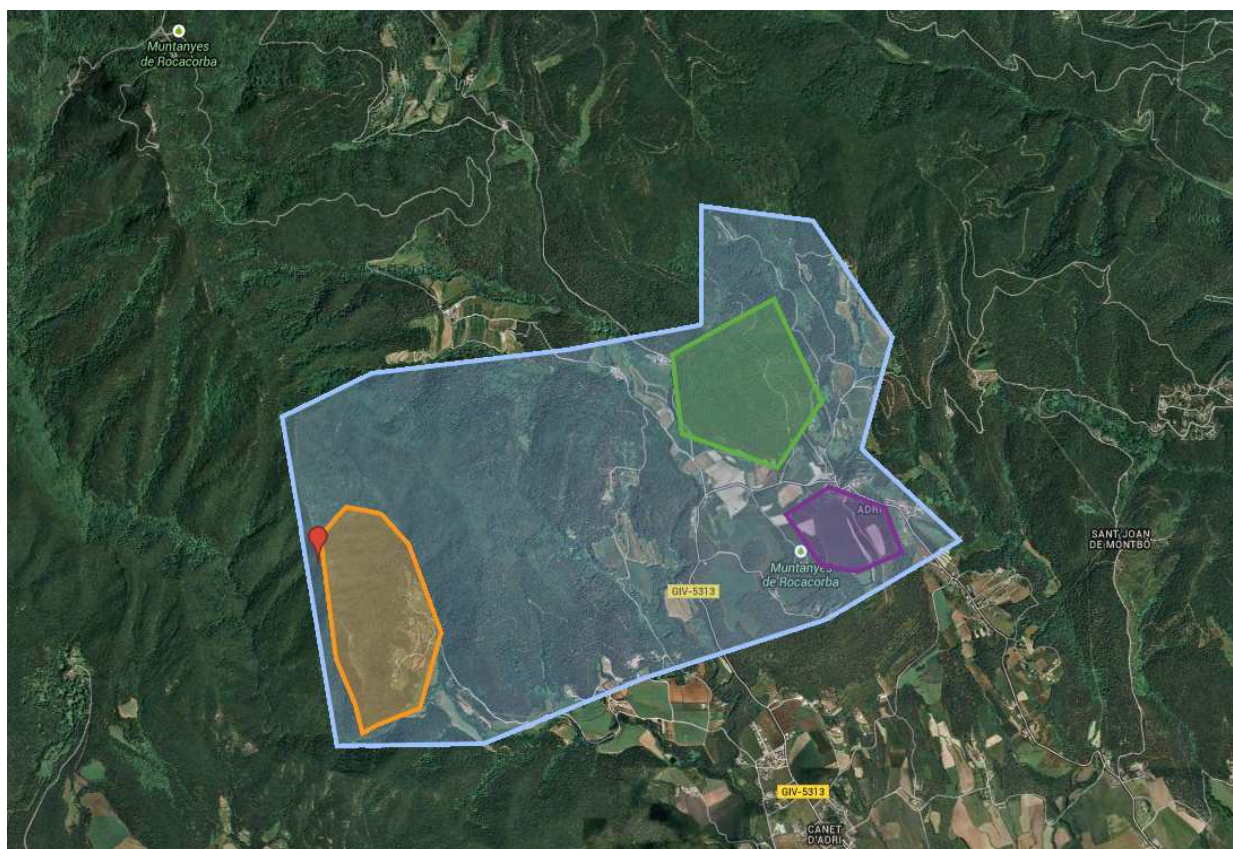


Fig. 29. Zona de cerca de la sonda. Font: pròpia

- zona estimada d'aterratge
- àrea de cerca al primer dia
- zona de cerca al segon dia
- zona de cerca al cap de setmana

xinxeta vermella: última posició on la sonda va enviar telemetria.

Seguidament discutírem diferents opcions d'on podia haver caigut. Gràcies a la velocitat de baixada i a l'altitud vam poder definir una zona de cerca de l'artefacte. Calculàrem que la sonda devia haver tardat uns 6 minuts més en tocar terra. Sabent que es desplaçava amb una velocitat horitzontal d'uns 20 m/s i en direcció est, vam suposar els voltants de la població de Canet d'Adri com a zona d'aterratge.

Ens desplaçàrem ràpidament cap a aquells boscos frondosos i, ajudats per un receptor VHF (Very High Frequency) Talkie i un equip d'unes sis



Fig. 30. Talkie VHF. Font: www.dealwinwin.com

persones, vàrem proseguir a la seva cerca. La recerca del primer dia va durar unes tres hores, temps durant el qual vàrem recórrer primer amb cotxe i després a peu tota una primera vall. No vam tenir èxit. Vam contactar amb veïns de la zona, agents forestals,

Satestrat, una experiència de grans altures

cossos de bombers, ajuntaments propers, policia local, etc, avisant-los de la presència d'un objecte daurat que emetia un brunzit agut i que indicava Satestrat en una de les seves cares. Els següents dies després del llançament es va organitzar un esdeveniment a les xarxes socials per tal que un nombrós grup de persones ens ajudés en la seva cerca, desinteressadament.



Fig. 31. Cercant la sonda amb un grup de set persones. Font: pròpia

Després de cada expedició, anàvem descartant diferents àrees de bosc i ho publicàvem sobreposat en un mapa, a les xarxes socials, ja que així s'agilitzava enormement el procés de recuperació. En total es van fer cinc expedicions: la del primer

dia, una segona a les cinc de la matinada del següent dia, una tercera al cap de setmana amb una guarda forestal d'ajuda, una quarta utilitzant un ordinador i una antena receptora de senyal VHF i finalment una cinquena un mes més tard. Totes sense èxit.

Per a informar als mitjans de comunicació de l'esdeveniment de l'enlairament es va enviar la següent nota de premsa:

“El passat dimecres 24 de juliol, dos joves banyolins, Lluís Portella i Aleix Coma, alumnes de l'INS Pere Alsius i Torrent, van enlairar a 36458 m la Satestrat, una sonda de baix cost construïda per ells, des del Pla de Martís. La sonda està constituïda, bàsicament, per una capsula de porexpan recoberta amb manta tèrmica, una antena de GPS, una de ràdio, un paracaigudes reciclat d'una tela de paraigua i un globus d'un làtex especial. La idea va sorgir el mes de novembre del 2012 com a treball de recerca d'aquests estudiants i els ha permès enregistrar dades de temperatura interior i exterior de la càpsula, posició, altura i velocitat. La mínima temperatura exterior enregistrada va ser de -41°C, durant la caiguda. A més, l'artefacte incorporava una càmera que gravava tot el trajecte que va durar aproximadament dues hores i que tothom qui volgués el podia seguir en directe per internet a aprs.fi. Aquests joves han pogut comprovar una de les seves hipòtesis: la temperatura exterior fluctua i, quan la sonda passa per la capa d'ozó, la

temperatura puja considerablement. Per finançar el cost del projecte van rebre diferents aportacions econòmiques, mitjançant la seva pàgina web (www.satestrat.com), d'empreses i particulars que els han permès amortitzar quasi la meitat de l'experiència, que els ha costat pels voltants de 1000 €.”

Dies més tard, vàrem valorar els avantatges i els inconvenients de la situació per veure fins a quin punt era indispensable un sisè desplaçament per a recuperar l'artefacte.

Avantatges de fer un sisè desplaçament		Inconvenients de fer un sisè desplaçament
Es podria trobar la sonda.		Les probabilitats de trobar el Satestrat eren ínfimes, ja que la zona d'aterratge era extremadament gran, densa i poc accessible. Per tant, el més segur era quedar-se a esperar que alguna persona es posés en contacte amb nosaltres, comunicant-ne la troballa.
En cas de trobar el giny estratosfèric, obtindríem les espectaculars imatges del planeta Terra i, en conseqüència, hauríem acomplert un dels principals objectius del projecte.	Es podrien reutilitzar la majoria dels components electrònics per a un posterior enlairament.	
En cas de no trobar-la, s'hauria descartat una altra zona.		

Fig. 32. Taula comparativa d'avantatges i inconvenients de fer un altre desplaçament. Font: pròpia

Hi havia més avantatges que inconvenients, però vam considerar que el pes d'aquests era major que la suma dels avantatges. No vàrem efectuar el sisè desplaçament, donant la sonda per quasi perduda. L'única esperança que teníem era que algun caçador, boletaire o guarda forestal es trobessin l'aparell per casualitat i ens truquessin, ja que la sonda incorporava dos mòbils de contacte i un correu electrònic.

Quasi al cap de tres mesos del dia 24 de juliol, el dia 19 d'octubre vam rebre una trucada d'un número desconegut. Era un home de mitjana edat de nom Gerard Garriga el qual deia haver localitzat un cub daurat penjat d'un roure molt a prop d'una gorga amb els nostres telèfons de contacte impresos a la tapa. Havia trobat el Satestrat!

Immediatament vam organitzar una trobada amb el noi a Girona, aquella mateixa tarda. Havent

dinat, ens desplaçarem fins a aquella ciutat, on ens va fer l'entrega de la sonda. Explicà que la va trobar gràcies a l'ajuda d'un senglar malferit que s'havia amagat entre uns arbusts i que ell estava seguint. Va localitzar l'aparell literalment penjat d'una branca de roure, prop d'una gorga anomenada El Pantà, entre Can Colomer i Can Fàbregas.

A continuació s'adjunta un mapa on la xinxeta de color groc indica el lloc exacte d'aterratge de la sonda.

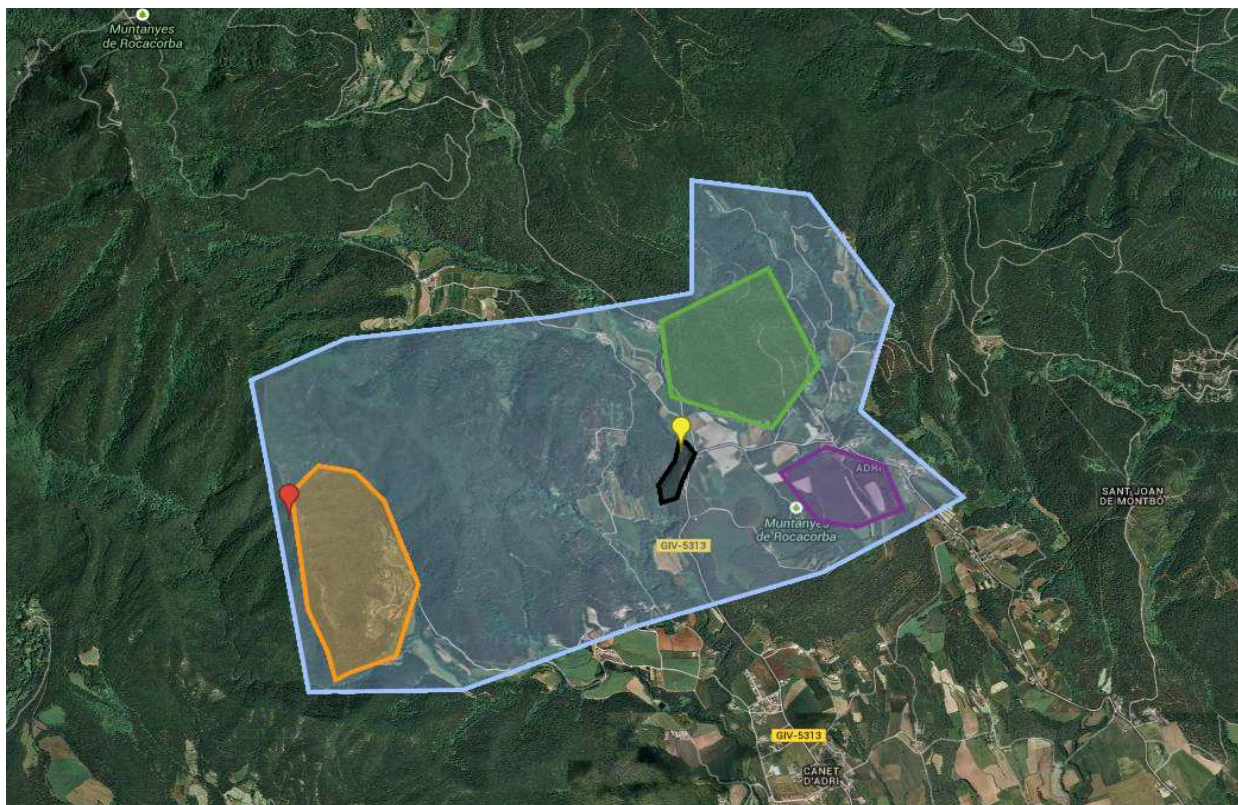


Fig. 33. Zona de cerca de la sonda amb l'indicació exacta del punt d'aterratge. Font: pròpia

■ zona estimada d'aterratge

■ àrea de cerca al primer dia

Xinxeta vermella: últim lloc on la sonda va enviar dades.

■ zona de cerca al segon dia

■ zona de cerca al cap de setmana

Xinxeta groga: lloc d'aterratge del giny.

Havíem de comunicar de seguida aquella extraordinària notícia. Gràcies a la informació que ens va proporcionar el senyor Garriga, ho vam comunicar a les xarxes socials i la nostra tutora, molt amablement, va enviar la següent nota de premsa als mitjans:

“El dissabte 19 d’octubre es recuperà la sonda Satestrat que fou llançada pels alumnes de l’INS Pere Alsius i Torrent, Lluís Portella i Aleix Coma el propassat 24 de juliol a l’antic camp d’aviació de Pla de Martís. Fou trobada per un caçador, el senyor Gerard Garriga, de la colla senglanaire de Canet d’Adri. La sonda estava a la riba del Rissec, entre Can Colomer i Can

Fàbregas, just sobre una gorga anomenada El Pantà, a prop d'on s'havia calculat que cauria, però en una zona molt poc accessible degut al pendent i la densitat de vegetació. Sortosament, el mosquetó que subjectava el paracaigudes es va enganxar en una branca de roure i va deixar la sonda Satestrat literalment penjada. Un senglar malferit va donar el rastre fins a aquest punt on el Sr. Garriga hi va poder accedir recuperant-se la sonda, que estava situada encara a una certa alçada. Una vegada recuperada, de seguida va trucar per donar l'avís, seguint les instruccions que portava el Satestrat en la seva part exterior. Només hi ha malmesa una antena, però la càmera, que va gravar tot el procés, està intacta i en bon estat. "



Fig. 34. Nosaltres amb el senyor Garriga, entregant-nos l'aparell. Font: pròpia

4.3 Resultats

Gràcies al sistema Trackuino, durant tot el vol rebíem diferents dades cada minut, tal i com ja hem dit anteriorment. Amb aquestes dades s'han pogut fer diferents gràfics que val la pena interpretar, ja que es produeixen fenòmens interessants. El primer indica la temperatura exterior detectada en diferents altituds. El segon destaca la temperatura interior del Satestrat respecte el temps. El tercer és la comparació dels dos anteriors. Indica la diferència entre les dues temperatures. El quart gràfic és la relació entre l'altura de la sonda i el temps transcorregut. Finalment, el cinquè ens mostra la velocitat que portava l'artefacte respecte el temps. És important no oblidar-nos que gràcies a la recuperació de la sonda es van obtenir les imatges gravades per aquesta.

Hem dividit aquest apartat en gràfics i imatges, ja que així és més fàcil analitzar els resultats obtinguts.

4.3.1 Gràfics

Per tal de poder analitzar molt millor els paquets de dades rebuts durant el vol, vàrem pensar que el més adequat era fer-ho mitjançant gràfics. Els gràfics donen una interpretació molt més visual dels resultats i proporcionen una perspectiva molt més còmoda per fer-ne una interpretació.

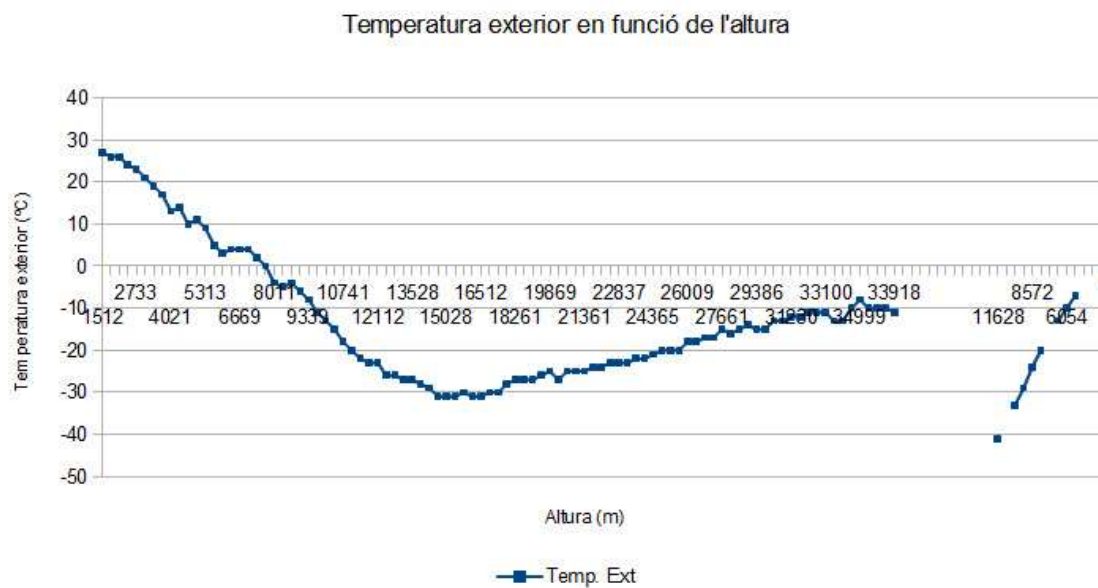


Fig. 35. Gràfic de la temperatura exterior enregistrada respecte l'altura. Font: pròpia

Aquest gràfic subratlla una de les hipòtesis prèvies a l'enlairament: la temperatura exterior fluctua. Podem veure que al començament del vol la temperatura disminueix de manera força proporcional. Arriba un punt en què es registra un mínim durant l'ascens de la sonda (-31°C), el qual indica que l'aparell es troba a la tropopausa, tal i com s'ha indicat en altres apartats. Als voltants dels 15 km, entra a l'estratosfera i també a la capa d'ozó. En aquest moment es pot apreciar un increment considerable de la temperatura, tot i que creix més lentament que durant la baixada. Aquest creixement segueix bastant proporcionalment fins els 36.458m i, un cop la sonda ja està en fase de descens, la temperatura exterior torna a disminuir.

Es va perdre el contacte amb l'artilugi durant uns dotze minuts seguits i la següent dada que vàrem rebre va ser el nostre mínim absolut: -41°C. Es seguí perdent el contacte amb el Satestrat de manera intermitent, detectant temperatures cada vegada més grans fins a perdre'n el seu contacte definitiu als 3.370 m.

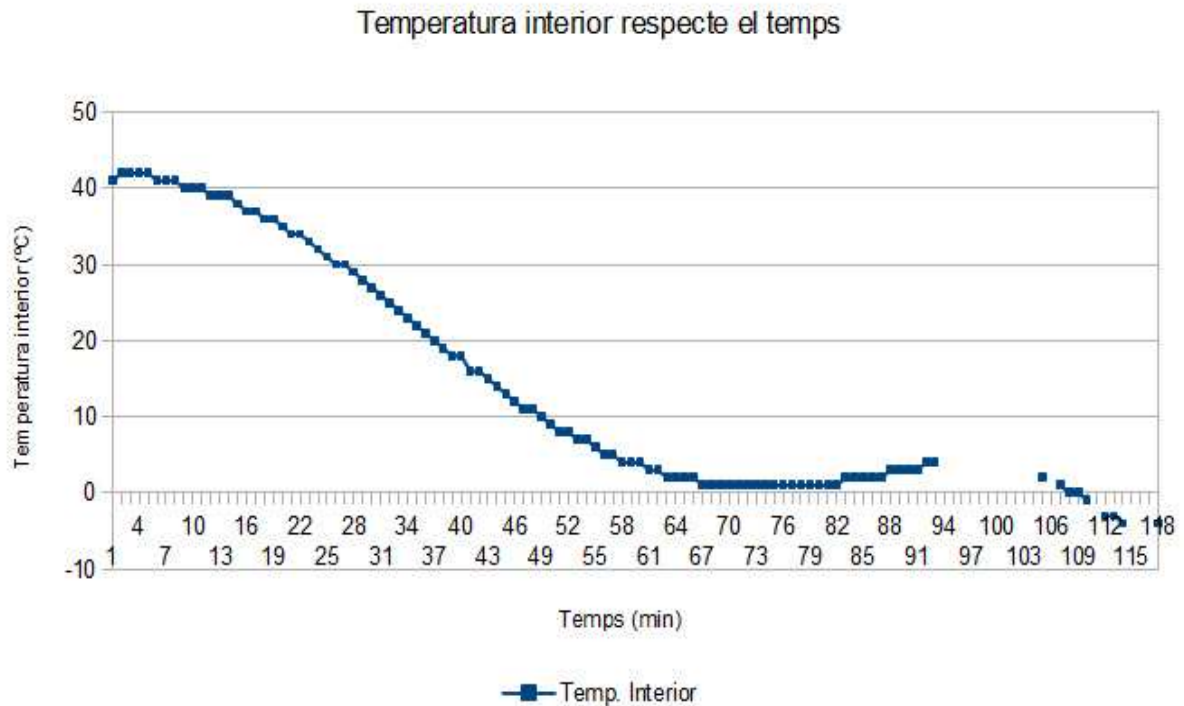


Fig 36. Gràfic de la temperatura interior enregistrada en funció del temps. Font: pròpia

Aquest segon gràfic demostra que la temperatura interior, igual que l'exterior, al principi del vol disminueix de manera proporcional fins arribar en un moment d'estanquitat just per sobre dels 0°C, a partir del qual la temperatura augmenta lleugerament durant els últims quilòmetres de pujada. Volem destacar que el mínim assolit per la temperatura interior durant la pujada es dona quan la sonda es troba ja a uns 30.000 m d'alçada. Pel que fa a la temperatura a l'exterior, aquesta es dona al voltant dels 15.000 m. Això significa que, entre l'exterior i l'interior de la càpsula, hi ha una inèrcia tèrmica considerable.

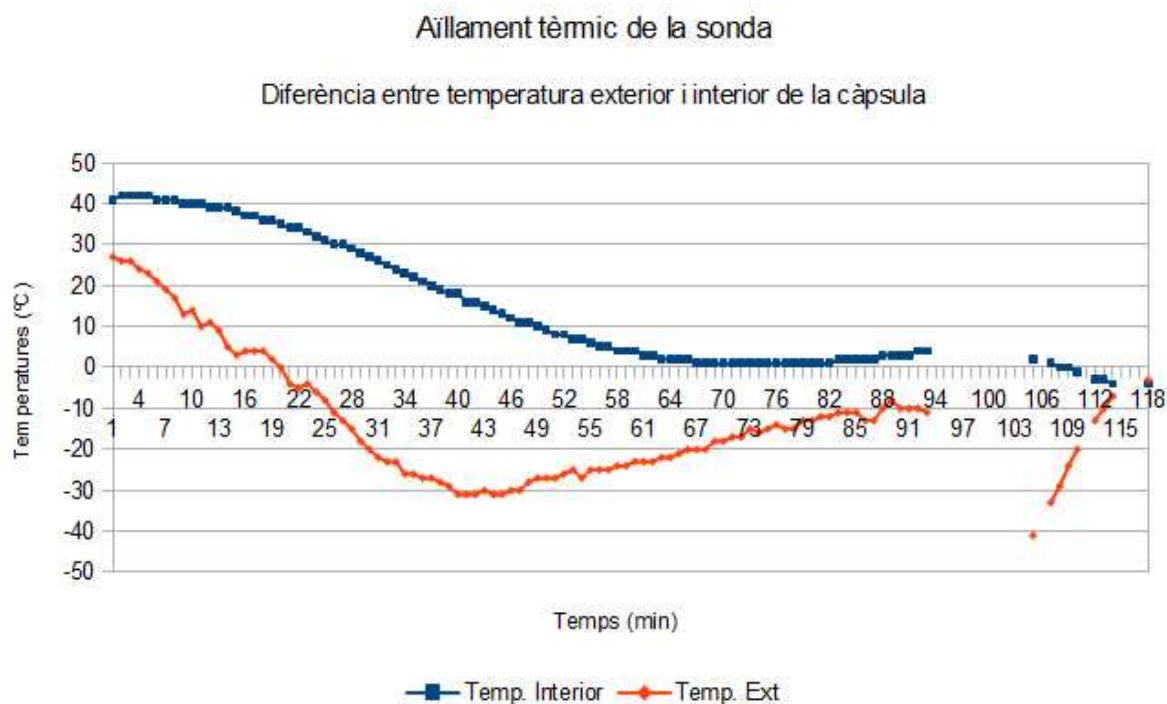


Fig 37. Gràfic comparatiu de les dues temperatures captades per la sonda. Font: pròpia

Si superposem les dades obtingudes de temperatura interior i exterior en un mateix gràfic, podem valorar l'efectivitat de l'aïllament tèrmic de la sonda. Recordem que, per una banda, comptàvem amb la manta tèrmica, que dificultava la transmissió d'escalfor de l'interior cap a l'exterior. El porexpan utilitzat tenia un gruix d'uns 3 centímetres i estava tancada hermèticament amb cinta americana i silicona de manera que no pogués entrar ni l'aire ni la humitat de fora. També s'ha de tenir en compte l'escalfor generada pels mateixos components electrònics per efecte Joule⁴. Sumant tot això, es pot veure que l'aïllament va funcionar a la perfecció, ja que excepte els últims instants, la temperatura interior va ser positiva. Això ens assegurava el funcionament de l'electrònica.

És interessant comentar que el moment en què hi ha més diferència entre una temperatura i una altra, coincideix amb el mínim de la temperatura exterior durant l'ascens.

4 Efecte Joule: Producció de calor en un material conductor en ésser recorregut per un corrent elèctric. Font: enciclopedia.cat



Fig 38: Gràfic altura en funció del temps. Font: pròpia

En aquest altre gràfic veiem que, des del moment que la sonda deixa de tocar terra fins que el globus explota, descriu una recta quasi bé proporcional. Si calculem la velocitat mitjana de pujada, ens marca que ascendia a uns 400 m/min, és a dir, 6,6 m/s tal i com havíem suposat en la simulació.

Durant la caiguda, es pot apreciar que no cau a velocitat constant per culpa de la gravetat terrestre ($-9,81 \text{ m/s}^2$). Al principi, experimenta una gran acceleració ja que es troba en caiguda lliure amb un fregament amb l'aire negligible. En el moment en què recuperem la senyal, als 12.000 m, ja es troba de nou en la troposfera, per tant amb el paracaigudes desplegat. A partir d'aquest moment, la velocitat de descens és quasi constant a uns 10,5 m/s fins que aterra, 13 minuts més tard.

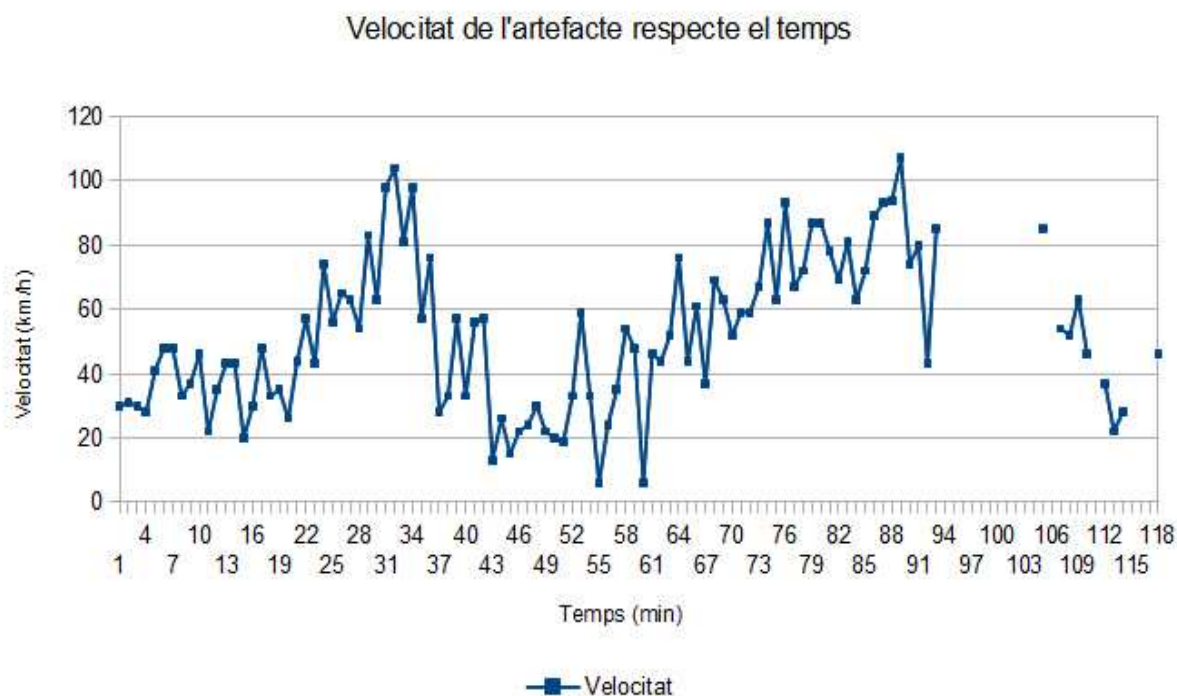


Fig 39. Gràfic de la velocitat que portava la sonda respecte el temps. Font: pròpia

Finalment, l'últim gràfic mostra les diferents velocitats que experimentava la sonda. Tal i com es pot veure, no segueix cap patró definit. Això és degut a les diferents corrents d'aire que l'aparell es va trobar durant el seu vol. A cada altura hi ha corrents distintes d'aire que fan variar increïblement la velocitat del Satestrat.

Durant l'ascens, el màxim enregistrat de velocitat va ser de 108 km/h i el mínim durant el descens, de 21 km/h. Els dos mínims durant la pujada (5 km/h), coincideixen amb el canvi de cent-vuitanta graus de rumb de la sonda, quan es situava prop de Torroella de Montgrí. En aquell moment, la velocitat horitzontal era gairebé nul·la i pràcticament tota la que tenia era vertical.

Hem de dir que aquesta velocitat mostrada en el gràfic és la resultant de la velocitat horitzontal i la vertical.

4.3.2 Imatges

Tot i que el vol va durar unes dues hores, la càmera només va enregistrar-ne quaranta-cinc minuts. Molt probablement la causa d'aquest problema va ser el fred i la condensació. El fred perquè la càmera anava a l'exterior de la sonda, protegida només per una carcassa de submarinisme (sense ser recoberta amb manta tèrmica) i la condensació perquè la diferència de pressions entre dins la carcassa i l'exterior devia mullar la gravadora.

Encara que no haguéssim tingut aquest problema, l'autonomia de la càmera (90 min), tampoc hauria estat suficient per cobrir tot el vol.



Fig. 40. Imatge captada per la sonda durant el seu enlairament. Font: pròpia

Aquesta va ser una de les primeres imatges espectaculars que va captar la sonda. Si comencem a analitzar-la de baix cap a dalt, en primer terme veiem el Pla de Martís, acompanyat per la dreta pel poble de Serinyà. A mitja imatge per la banda esquerra es pot veure l'Estany de Banyoles i, al centre de la imatge, tapada per una petita gota d'aigua condensada, s'intueixen els cims de Rocacorba. Tal i com s'aprecia, el cel estava completament net, cosa que feia que el dia triat pel llançament fos el més adient i encara que semblava intuir-se la curvatura terrestre, aquest fet és degut per l'efecte d'ull de peix⁵ de la càmera, que tenia una obertura de 120°.

⁵ Efecte d'ull de peix: Efecte fotogràfic que es dona en càmeres amb un objectiu angular de més de 90°. Font: enciclopedia.cat

Altitud aproximada	2.100 m
Cel	Net i blau
Condensació	Molt poca
Apreciació de la corbatura terrestre	No

Fig. 41. Taula especificativa sobre la figura 40. Font: pròpia



Fig. 42. Imatge enregistrada pel Satestrat, sobre Torroella de Montgrí. Font: pròpia

Aquesta segona imatge és l'exemple perfecte per mostrar el que hem dit anteriorment de la condensació. En primer terme podem veure part de la Costa Brava i tot el Golf de Roses, en segon terme el Mediterrani i, darrere, l'horitzó amb el cel negre com a fet principal a destacar. Tota la imatge està protagonitzada per una gran gota d'aigua condensada que impedeix veure en claredat el paisatge. Aquest problema va començar a ser significatiu als voltants dels 5 km i va durar fins que la càmera va deixar de gravar.

Hem de destacar que el moment en què es va obtenir aquesta captura va ser justament en el lloc on es produïa el principal canvi de vents, prop de Torroella de Montgrí.

Altitud aproximada	17.000 m
Cel	Net i negre
Condensació	Molta
Apreciació de la corbatura terrestre	Sí

Fig. 43. Taula especificativa sobre la figura 42. Font: pròpia

5. Satestrat II

La sonda Satestrat I, és infinitament millorable. De fet, poc després del primer llançament ja ens vàrem posar a treballar en una segona versió més complexa, fiable i funcional.

Vàrem considerar un parell d'aspectes que era indispensable millorar de cares a la nostra segona "missió":

6. En primer lloc, polir el sistema de localització per GPS, que no havia demostrat ser del tot fiable ja que durant la caiguda havia fallat en diverses ocasions. Hi havia l'opció de, per una banda, reemplaçar el GPS per un de nou o, molt millor, utilitzar-ne el mateix però recolzat per un sistema de localització redundat. D'aquesta manera, encara que fallés el mòdul GPS del trackuino, en seguiria funcionant un altre.
7. Millor càmera/càmeres: tot i la recuperació de la sonda, les imatges obtingudes eren de baixa qualitat (molt per sota d'altres projectes com SonCube) per culpa de la condensació que es va produir en la carcassa. La condensació es podria evitar tan sols posant la càmera a l'interior de la caixa i no pas a fora recoberta per una carcassa protectora. També hi havia l'opció d'incorporar dues o més càmeres (o una càmera articulada per un servomotor) per tal de gravar el viatge des de diferents perspectives.

Tot seguit, vàrem pensar en una sèrie de novetats i innovacions que podia incorporar la nova sonda:

1. Una de les possibilitats que més ens entusiasma, era la d'emetre el vídeo de les càmeres de la sonda en streaming, a través d'Internet, per tal que un gran nombre de gent ho pogués seguir en directe. Per a aconseguir-ho, faria falta crear un enllaç de vídeo consistent en un equip emissor-receptor d'imatges. Per tal



*Fig. 44. Equip emissor i transmissor de vídeo d'1,2 W.
Font: www.electronicarc.com*

de rebre-les hauríem d'utilitzar una antena direccional i anar-la enfocant manualment en direcció a la sonda durant tot el vol. Podríem emetre-ho tot per una pàgina web com

ara Veetle (www.veetle.com).

2. Les sondes estratosfèriques "amateur" (com la nostra) solen experimentar un trontolleig constant si fa vent, que pot ser molest a l'hora de prendre fotos o enregistrar vídeos. Per tal d'eliminar aquest moviment, vàrem pensar en instal·lar un petit aleró que estabilitzés la sonda.
3. Tot i que amb el Satestrat I ja havíem aconseguit un rècord d'alçada superant els 36 km, volíem anar encara més lluny fins a superar la barrera dels 40 km. Això vol dir que ens situaríem ben a prop de la següent capa de l'atmosfera: la mesosfera. Per a aconseguir-ho, caldria construir una sonda tan lleugera com fos possible i impulsar-la mitjançant un globus especial de 3.000 g, en comptes de 1.600.
4. També seria interessant utilitzar la sonda com a plataforma per a dur a terme experiments científics a l'alta atmosfera a molt baix cost. Per a dissenyar/fabricar els experiments, podríem recórrer a institucions tals com escoles, instituts... i, de pas, aprofitar tot el potencial divulgatiu d'aquests aparells en matèria de ciències (sobretot meteorologia, astronomia i física).

5. Per últim, vàrem pensar que podríem dur a terme un canvi radical en el disseny i els objectius de la sonda. La idea consistia en substituir la caixa per un avió d'aeromodelisme, que arribaria fins a l'estratosfera impulsat per un



Fig. 45. La Terra, vista des d'una "nau estratosfèrica". Font: www.dailytech.com

globus. Un cop el globus hagués explotat, el planejador, gràcies a la seva aerodinàmica, seria capaç de maniobrar fins a aterrar, literalment, al mateix lloc des d'on s'hauria enlairat. Això permetria recuperar la sonda el mateix dia del llançament sense haver d'anar a buscar l'aparell muntanyes i boscos a través.

Durant les acaballes d'estiu, vàrem acordar els objectius que volíem assolir amb el Satestrat II

per determinar quina o quines de les propostes anteriors acabàvem duent a terme. El procés va anar de la següent manera:

El dia 3 d'agost, ens vàrem reunir amb en Santi Coll (expert en comunicacions) i amb en Josep Mas (vicepresident del club CAGIP), per a discutir la possibilitat d'emetre vídeo en streaming durant tot el vol. Vàrem arribar a la conclusió que, tot i que no era impossible, ens caldria comprar un equipament amb un preu com a mínim equivalent al cost de tota la primera missió. A més, ens caldria anar orientant manualment durant tot el vol la sonda amb una antena direccional de 18 dB amb un marge d'error molt petit, de manera que podríem perdre fàcilment la senyal de vídeo. Vàrem decidir que no faríem la transmissió d'imatges durant tot el viatge, sinó només durant els instants posteriors al llançament (fins que la sonda es trobés a uns 10-15 km de nosaltres). D'aquesta manera podríem utilitzar un equip que ens cediria en Josep Mas, que era capaç d'emetre fins a 10-15 km.

El 20 d'agost, ens vàrem interessar per fer un planejador estratosfèric (proposta nº5) i ho vàrem proposar a en Santi Coll i vàrem quedar per reunir-nos el dia 7 de setembre.

El 7 de setembre ens vam reunir al Pla de Martís i vàrem decidir tirar endavant la proposta nº5 i també la nº1. El Satestrat II seria un robot amb ales capaç de volar, literalment, per l'estratosfera, mentre gravaria l'aventura. Vàrem acordar fer una primera prova del sistema de transmissió d'imatges en directe i dels servomotors el dia 21 de setembre.

5.1 Primera prova

El dissabte 21 de setembre ens vàrem reunir al Pla de Martís i, un cop allà, ens vam dividir en dos grups. En Santi i en Lluís es vàren desplaçar fins al cim de la Mare de Déu del Món, a uns 9-



Fig. 46. Equip de transmissió de vídeo. Font: pròpia.

10 km del Pla en línia recta, mentre en Josep i l'Aleix es quedaven.

En Santi i en Lluís s'emportaven una càmera, l'equip transmissor de vídeo i un servomotor, simulant l'equipament que portaria l'avió un cop en la seva missió.

Mentrestant, en Josep i l'Aleix es

Satestrat, una experiència de grans altures

quedàven al “centre de control” amb l’equip de recepció d’imatges, les antenes i el comandament de radiocontrol. L’objectiu era, per una banda, poder rebre el vídeo de la càmera un cop engegada i, per l’altra, activar i fer moure el servo des de la distància que ens separava. Tots els objectius es van completar amb èxit.

Després d’aquesta prova, vàrem agafar confiança per continuar amb el projecte i, des de llavors, hi estem treballant. Esperem tenir a punt el Satestrat II per a ser presentat a la fira de robòtica i tecnologia Robotot 2014.

Alguns detalls tècnics de la prova:

- Freqüència utilitzada: 2,4 GHz
- Potència transmissor vídeo: 1,2 W
- Guany de l’antena: 8 dB
- Qualitat de les imatges rebudes: 640x480p

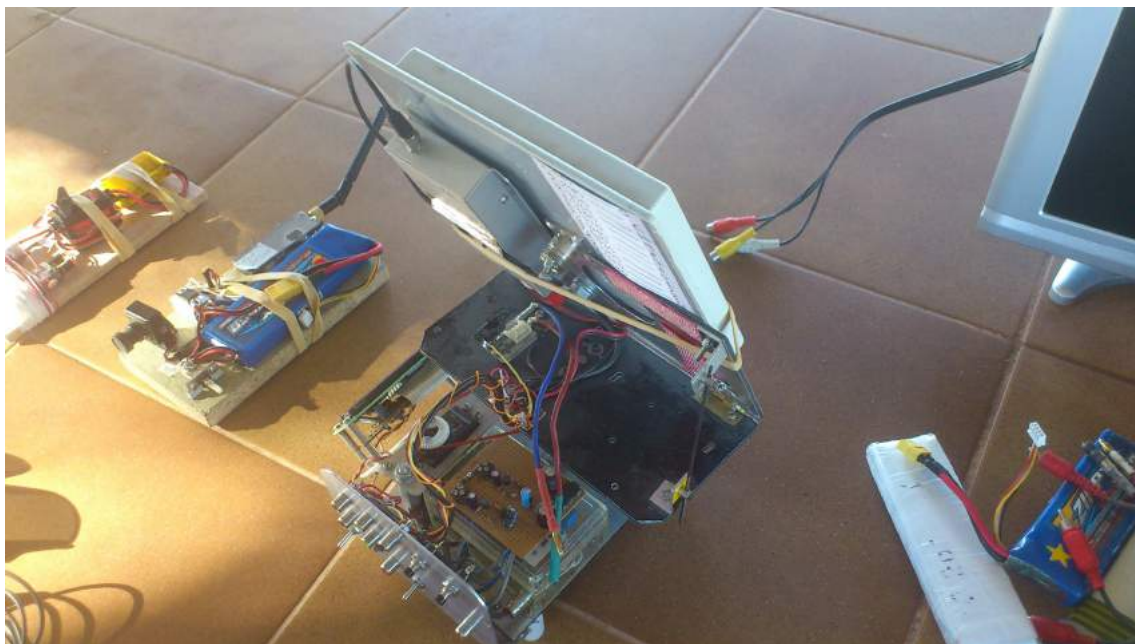


Fig. 47. Antena de recepció de vídeo. Font: pròpia.

5.2 Disseny de la missió

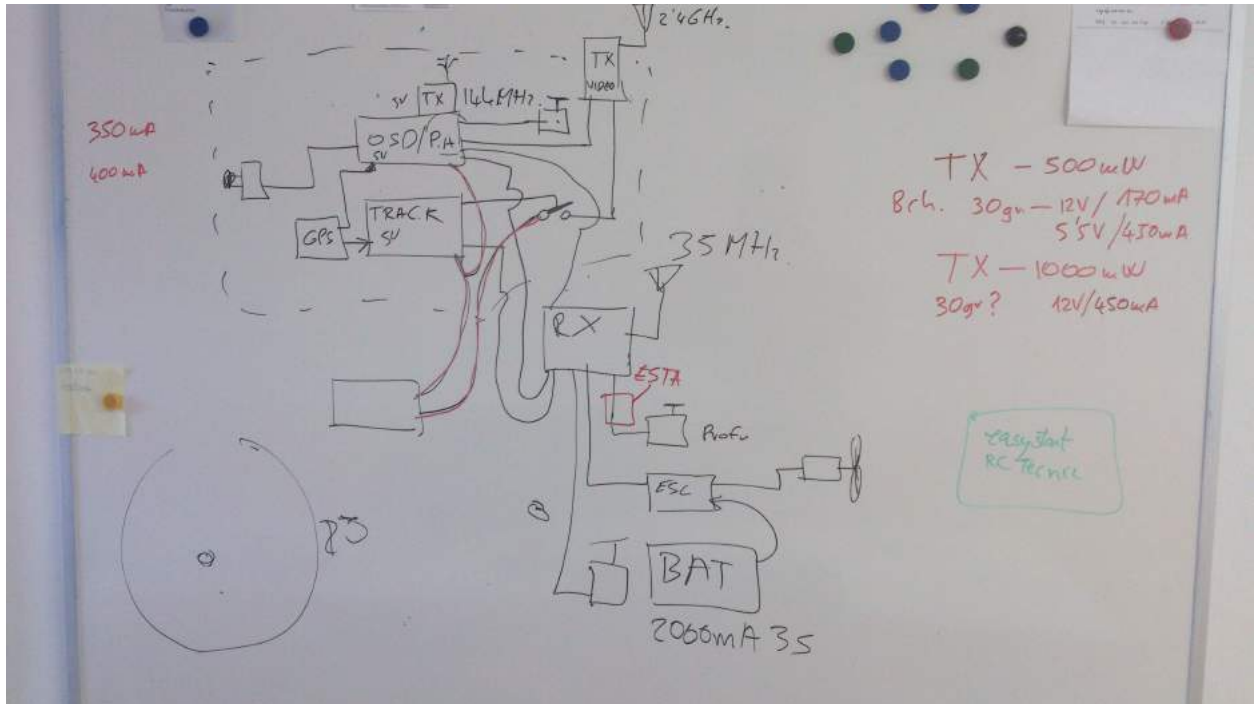


Fig. 48. Esquema complet de funcionament del Satestrat II. Font: pròpia.

Els diferents sistemes que constitueixen la nova sonda són els següents:

- Sistema de recollida de dades: és l'encarregat de recollir diverses dades (temperatura, velocitat, posició, etc) mitjançant diferents sensors i d'enviar-les en forma de radiopaquets a través de la xarxa APRS. Gràcies a aquest, podem fer un seguiment en temps real de l'estat de la sonda i, en cas d'emergència, avortar la missió. Consisteix, bàsicament, en els sensors i un GPS, que prenen les dades, la placa base Arduino que les processa i el radiotransmissor que les envia i actualitza amb una freqüència de 10 segons. Aquest sistema està en funcionament durant tot el vol.



Fig. 49. Càmera principal del Satestrat II. Font: pròpia.

- Sistema de vídeo: està format per la càmera principal de la sonda que enregistra tot el viatge i el transmissor de vídeo

que emet la gravació de manera que la podem captar a l'instant. El sistema de vídeo roman apagat durant bona part de la missió per tal d'estalviar energia. En cas d'emergència, ens veuríem obligats a engegar-lo per tal de poder-nos orientar mentre pilotem l'avió de tornada amb un comandament de radiocontrol.

- Sistema d'alliberament de la sonda: consisteix en un servomotor el qual, en activar-lo, desenganxa l'avió de les cordes que el subjecten al globus. Solament haurem d'utilitzar-lo quan la sonda es trobi en el seu punt més alt (al voltant dels 35.000 m) o per avortar la missió abans d'hora en cas d'emergència.

- Sistema de control i actitud: la seva funció és estabilitzar i fer maniobrar l'avió durant el seu vol (quan ja es troba en fase de descens) per tal que aconsegueixi la seva missió: tornar automàticament al lloc de l'enlairament. Està format per un conjunt de servos (que permeten moure's en qualsevol



Fig. 50. "Centre de control" de la Satestrat I. Font: pròpia.

direcció), en un petit motor (que l'impulsa, per tal que pugui recórrer grans distàncies) i en un mòdul de pilot automàtic que els governa. En cas que no funcionés el pilot automàtic passaríem al control manual.

- Sistema d'aïllament tèrmic: està format únicament per elements passius com ara una manta tèrmica recobrint l'avió i/o paper d'alumini disposat a la bodega de la sonda per tal de reflexar l'escalfor dels components electrònics. El seu objectiu és simplement el de mantenir una temperatura interior acceptable per als diferents components electrònics (que perden càrrega amb el fred i no solen funcionar per sota dels -20°C).
- Sistema de subministrament d'energia: la seva funció és proporcionar l'energia

elèctrica necessària a la resta de components per tal que puguin realitzar la seva funció. Està format per dues bateries Lipo 3s de 2.000 mA.

- Control de terra: està format per les diferents antenes i equips de recepció desplegats al Pla de Martís per tal de seguir la sonda, els portàtils per anar rebent les dades i, en última instància, nosaltres, que bàsicament hem d'anar engegant o parant els diversos sistemes en funció de la fase en què ens trobem, estar pendents que la sonda estigui en bon estat i, en cas d'emergència, avortar.

Des d'aleshores hem anat reconsiderant i pulint els aspectes de la missió. Actualment, havent-ne començat la construcció tenim la següent idea sobre com serà el primer vol del Satestrat II:

- A diferència del Satestrat I, la nova sonda podrà volar en condicions adverses de vent, ja que encara que aquest se l'emporti, podrà fàcilment remuntar volant tot l'espai que el separi de nosaltres. Per tant, no caldrà escollir tan estrictament el dia.
- Un cop en el dia del llançament caldrà fer un desplegament de mitjans bastant més important que l'altra vegada. En primer lloc, haurem d'instal·lar fins a 3 antenes al Pla de Martís per tal de poder seguir l'avió. Inflarem un globus d'heli, igual que l'altra vegada, hi acoplarem el planejador i l'enlairarem.
- Durant tot el procés d'ascensió cap a l'estratosfera, el sistema d'actitud i control de la sonda romandrà apagat per tal d'estalviar energia (sinó caldria incorporar més bateries, que farien augmentar el pes total). Cada 10 segons, rebrem un paquet de dades que inclouran posició, velocitat, altitud i temperatura interior/exterior per la pàgina web



Fig. 51. Intent de "nau estratosfèrica", a punt per a ser llançada. Font: www.rcexplorer.se

aprs.fi; exactament igual que amb el Satestrat I. Paral·lelament anirem rebent les imatges d'una de les càmeres, cosa que farà el seguiment molt més emocionant.

- Quan la sonda estigui entre els 10-15 km d'alçada, apagarem el sistema de transmissió d'imatges també per a estalviar energia. A més, el transmissor de la sonda, no està pensat per a emetre a grans distàncies degut a la seva baixa potència.

- Un cop l'aparell arribi a la seva alçada màxima (o abans, en cas que considerem oportú avortar la missió) l'avió es desenganxarà literalment de les cordes que el subjectin, per acció d'un servomotor. Aleshores començarà la fase de descens incontrolat per part de l'avió en la



Fig. 52. Fusellatge de la nova sonda. Es tracta del model Sky Eye Epo. Font: www.hobbyking.com

qual tots els sistemes estaran apagats excepte el d'enviament de dades, que ens permetrà saber l'estat de l'avió durant la caiguda. Al llarg d'aquesta fase, l'aparell assolirà velocitats bastant altes, ja que la densitat de l'aire durant els primers quilòmetres serà gairebé nula, però sense arribar a posar en perill la integritat de l'avió.

- Un cop estigui de nou entre els 10 i 15 km d'alçada (on l'aire comença a ser dens) començarà el descens controlat: engegarem el sistema d'actitud i control per tal que l'avió s'estabilitzi i s'autodirigeixi de tornada. En cas que fallés el sistema d'actitud i control, passariem al mode de control manual, és a dir, pilotant l'avió mitjançant un comandament de radio control i orientant-nos amb les imatges del sistema de vídeo.
- Un cop l'avió s'hagi apropat prou com perquè en tinguem el contacte visual, passarem al mode manual per tal de dur a terme l'aproximació final i l'aterratge a la pista del Pla de Martís.

6. Difusió i finançament del projecte.

Tota aquesta experiència la vàrem poder dur a terme gràcies a unes campanyes de difusió i finançament molt importants.

6.1 Difusió

Un dels objectius importants de Satestrat és acostar la ciència a les persones. Per aquesta raó vàrem decidir fer públic el projecte. Com que avui dia la majoria de persones disposen de connexió a Internet, ens va semblar una bona idea crear una pàgina web (www.satestrat.com) on poder actualitzar les últimes notícies sobre el treball i penjar-hi fotografies i vídeos sobre el procés de construcció i, posteriorment, l'enlairament. Però tot això no era suficient. També volíem arribar als joves i/o adolescents, per tant també vam posar el projecte a les xarxes socials, concretament a Facebook i a Twitter.

Encara que molta gent està endinssada en l'era digital, algunes persones no disposen d'ordinador i/o connexió a Internet, per tant vam decidir fer uns cartells de difusió del projecte. Tot i posar el treball a Internet, la feina de difusió no va ser només nostra. Ens van entrevistar i fer articles diverses revistes i diaris, per exemple, la Revista de Banyoles, el diari El Punt/Avui i el Diari de Girona, gràcies a una nota de premsa adjuntada a contiuació. A part de la premsa, també va col·laborar Televisió de Banyoles que va difondre els seus reportatges a més d'una trentena de televisions. Les següents:

- | | |
|------------------------|--|
| -Banyoles TV | -RTV L'Escala |
| -Canal Blau | -RTV Vandellòs-Hospitalet de l'Infant |
| -Canal Reus TV | -RTV Vilafranca |
| -Canal Taronja Anoia | -RTVR - Ràdio i Televisió del Ripollès |
| -Canal Taronja Central | -TAC12 |
| -Canal Taronja Osona | -TLB |
| -Canal Terrassa | -TV Sant Cugat - Vallès 1TV |
| -Costa Brava TV | -TVM Televisió de Manresa |
| -ETV | -Televisió de Girona |
| -El 9 TV | -VAT - Vídeo Ascó Televisió |
| -Empordà TV | -VOTV |
| -L'EBRE TV | -Vallès Visió |

- Lleida TV
- Olot Televisió
- Pirineus TV
- Vallès Oriental Televisió
- M1tv
- Teleb
- RTV de Badalona



Fig. 53. Cartell creat per a la difusió del projecte. Font: pròpia

Aquesta és la nota de premsa que vàrem enviar als mitjants de comunicació:

“El passat dimecres 24 de juliol, dos joves banyolins, Lluís Portella i Aleix Coma, alumnes de l’INS Pere Alsius i Torrent, van enlairar a 36458 m la Satestrat, una sonda de baix cost construïda per ells, des del Pla de Martís. La sonda està constituïda, bàsicament, per una capsula de porexpan recoberta amb manta tèrmica, una antena de GPS, una de ràdio, un paracaigudes reciclat d’una tela de paraigua i un globus d’un làtex especial. La idea va sorgir el mes de novembre del 2012 com a treball de recerca d’aquests estudiants i els ha permès registrar dades de temperatura interior i exterior de la càpsula, posició, altura i velocitat. La mínima temperatura exterior registrada va ser de -41°C , durant la caiguda. A més, l’artefacte incorporava una càmera que gravava tot el trajecte que va durar aproximadament dues hores i que tothom qui volgués el podia seguir en directe per internet a aprs.fi. Aquests joves han pogut comprovar una de les seves hipòtesis: la temperatura exterior fluctua i, quan la sonda passa per la capa d’ozó, la temperatura puja considerablement. Per finançar el cost del projecte van rebre diferents aportacions econòmiques, mitjançant la seva pàgina web (www.satestrat.com), d’empreses i particulars que els han permès amortitzar quasi la meitat de l’experiència, que els ha costat pels voltants de 1000 €.”

6.2 Finançament

És evident que estem en temps de crisi econòmica i que aquesta afecta a un gran nombre de persones. És per això que el projecte Satestrat va apostar pel micromecenatge, així a part d'amortitzar el cost del projecte, també faria partícips a la gent del voltant.

Primer de tot, vam optar per l'opció de fer un Verkami, però vàrem veure que no era una manera de finançament que s'adaptés al treball, ja que en un Verkami t'ho jugues a "tot o res". A més a més, està regit per un sistema estricte de recompenses i havíem d'esperar quaranta dies (temps que no teníem) per saber si s'havien aconseguit els diners. Després de reflexionar en vàries opcions, vam obrir un compte bancari per, seguidament, fer un compte PayPal. PayPal s'ajustava molt millor a les necessitats del projecte, ja que tot el que es recaptava era per a nosaltres i podíem ser més flexibles amb les recompenses.

Com que unes setmanes abans havíem creat la web de Satestrat, vam decidir utilitzar aquesta plataforma per a què la gent pogués fer les seves donacions. Incorporàrem la pestanya "Col·laboració" i hi afegírem botons per donar 5€, 10€, 30€, 50€, 100€, 150€, 200€ i 500€. No vàrem tenir la sort que una sola persona donés més de cent euros, però tot i així, gràcies a una quinzena de persones i empreses vam poder cobrir la meitat del cost total.

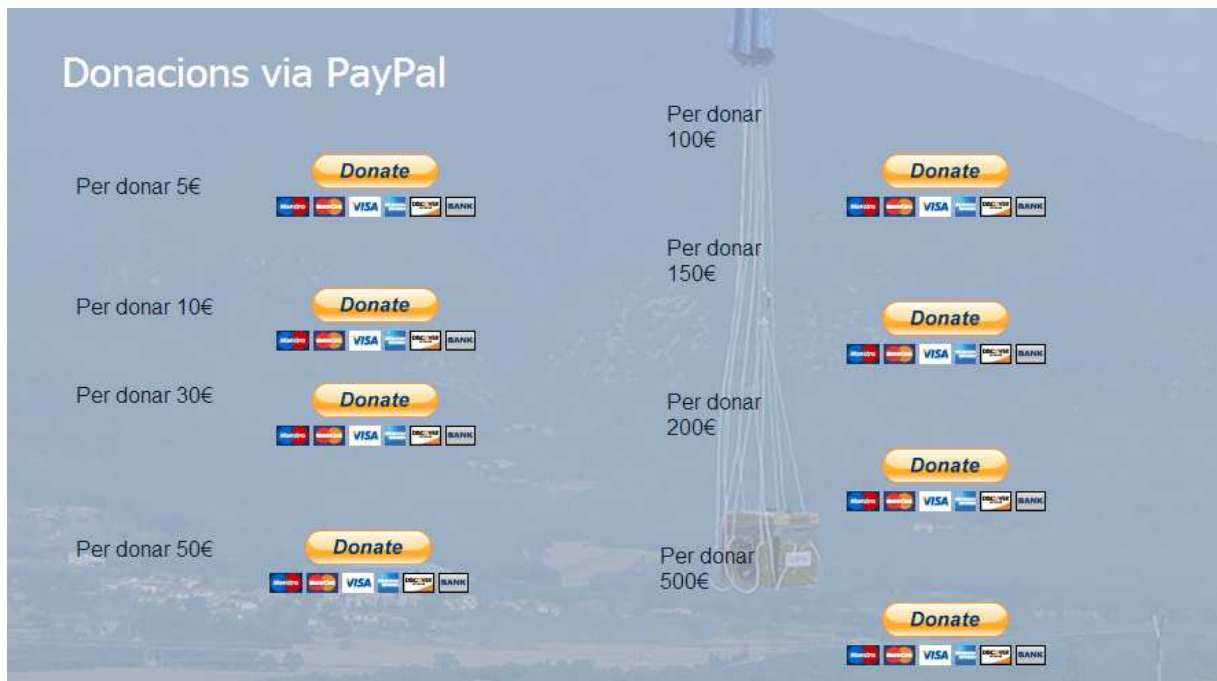


Fig. 54. Botons disponibles a la web del projecte per a fer donacions. Font: pròpia

Les donacions es podien fer mitjançant tres mètodes:

- Mitjançant PayPal.
- Fent una donació directa al compte bancari mitjançant el caixer automàtic (demanant a satestrat@gmail.com el número de compte).
- Donant-nos personalment la quantitat desitjada.

Tot i que obrir un compte PayPal per rebre donacions no regeix de recompenses, decidírem fer-ne. Les classificàrem en dues categories: recompenses per a particulars i recompenses per a empreses / institucions. Són les següents:

Recompenses per a particulars.

- a. Aparició en els agraïments dels diversos mitjans de difusió de Satestrat.
- b. Inscripció del teu nom al paracaigudes de la sonda.
- c. Pin de Satestrat.
- d. Invitació al dia del llançament.

Recompenses per a empreses / institucions.

- e. Aparició en els diversos mitjans de difusió de Satestrat (revistes, web, vídeo del projecte, televisions, etc).
- f. Logotip de l'empresa / institució a l'exterior de la sonda Satestrat.

7. Conclusions

Al llarg d'aquest treball hem intentat demostrar diferents aspectes en relació a les sondes estratosfèriques. El primer, i conseqüentment principal, era que el disseny, construcció, enviament i recuperació d'una sonda a l'estratosfera era factible. Un altre objectiu era, gràcies al vol d'aquesta sonda, demostrar un seguit de paràmetres físics: la temperatura a l'atmosfera fluctua, els vents a diferents alçades són canviants i provar l'existència de la capa d'ozó. Tots aquests objectius es van aconseguir.

Pel que fa a la sonda, la seva construcció va ser la part més llarga i de la qual n'hem tret més profit: hem après a treballar amb plaques Arduino, a soldar els diferents components electrònics, a dissenyar la sonda en comparació a altres projectes, a contactar amb experts en la matèria i a planificar el temps de treball, així com també fer una campanya de publicitat i de finançament.

Respecte al seu enviament a l'espai proper, hem pogut comprovar totes les nostres hipòtesis principals:

1. La temperatura fluctua al llarg de l'atmosfera. Ha estat possible provar-ho gràcies al termòmetre col·locat a l'exterior de la càpsula, que ha enregistrat temperatures des de 27°C fins a -41°C.
2. Els vents no són iguals durant el pas de la sonda per les diferents capes atmosfèriques. Ho vam poder comprovar gràcies al sensor de velocitat integrat al Venus GPS. També, un cop obtingudes les dades, vàrem poder observar que el lloc on la velocitat de la sonda durant l'ascens era més baixa, es produïa un canvi de vents que feia variar el rumb de l'aparell.
3. Existeix la capa d'ozó. Ho comprovarem quan la temperatura va començar a augmentar aproximadament als 15 km d'alçada, per culpa de l'alta concentració de radiació, tal i com hem dit al primer apartat del treball. Si haguéssim tingut un sensor d'aquest gas, hauríem pogut analitzar la seva concentració i, conseqüentment, el gruix d'aquesta capa.

Tot i que tot s'hagi complert amb èxit, al llarg del treball ens hem topat amb grans entrebancs.

Primer de tot, fa una mica més d'un any, no teníem cap coneixement ni indicació de com posar-nos a desenvolupar el projecte. Érem totalment ignorants en la matèria. Buscant grans quantitats d'informació i contactant amb altres persones vàrem poder definir el procés que havia de seguir l'experiència. En segon terme, molta gent propera a nosaltres, així com familiars, amics, tutors, i altres eren bastant escèptics respecte la factibilitat del treball. A continuació, segurament ens vam excedir en el temps dedicat a la part de difusió. Vàrem gastar molta estona en la creació de cartells publicitaris i en la realització de vídeos que aquests finalment no van sortir a la llum. Després, durant l'encàrrec dels globus, vam tenir diferents problemes administratius, obligant-nos a cancel·lar la comanda i a canviar-nos de proveïdor. Tot i així, el problema que ens va marcar més va ser el fet de no aparèixer en el mapa APRS, durant les proves de Trackuino. El promotor de SonCube ens féu la hipòtesi que era degut a una manca d'alçada. Ens desplaçàrem fins a les muntanyes de Rocacorba a uns 1.000 m d'altitud i allà sí que, per primera vegada, sortia la nostra posició en el mapa.

Un dels errors de disseny que vàrem cometre, va ser situar tota la càmera a l'exterior de la sonda i no pas a l'interior, encaixada amb el porexpan. Això va ocasionar la condensació de la lent i congelació de l'aparell durant l'ascens, que ens va impedir obtenir més bones imatges. A més, augmentava el risc de ruptura de la càmera en impactar amb el terra. El principal problema del vol, però, no va ser aquest, sinó que va ser la recuperació del Satestrat. Va caure en un bosc frondós, brut i poc accessible que va retardar en tres mesos la seva trobada.

Malgrat tots aquests inconvenients, el balanç final és molt positiu. Vàrem superar el nostre objectiu d'alçada assolint un rècord absolut de 36.458 m. L'aïllament tèrmic va funcionar a la perfecció, mantenint una temperatura adient pel funcionament electrònic. La recepció de dades va funcionar adequadament per poder provar les nostres hipòtesis i, sobretot, durant tot el treball ens hem divertit molt, alhora que apreníem.

El treball es va i s'ha anat convertint més en un projecte personal on governa l'autosuperació i l'autosatisfacció que no pas un treball acadèmic que té una repercussió important en una nota final. Tal ha sigut la diversió i l'aprenentatge que hem decidit continuar amb una segona part (Satestrat II) amb independència del Treball de Recerca. En aquesta nova fase utilitzarem els coneixements que hem adquirit i els contactes que hem obtingut, per tal de dur a terme un repte encara més ambiciós i motivador.

Al principi del projecte, érem conscients de la nostra falta de coneixements, falta de contactes entesos en el tema, falta de recursos, etc. Però la barreja de voluntat, motivació, ambició, persistència i fe en nosaltres, va fer una suma quallada capaç d'esperonar-nos i fer-nos avançar. El conjunt de tot el que ens empenyia a tirar endavant, va derrotar totes les nostres mancances. Només si ens arriscàvem a grans fracassos, podríem aconseguir grans èxits.

8. Bibliografia

Llibres

BUECHE, Frederick. (1988). *Ciencias físicas*. (1) Barcelona: Reverté, s.a.

FEYNMAN, Richard. (1987). *Física Volumen II: Electromagnetismo y materia*. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana

GALILEI, Galileo. (1604). *La nueva ciencia del movimiento*. Universitat Autònoma de Barcelona.

GALILEI, Galileo. (1638). *Discorsi: mecanica i movimenti locali*. Appreffo gli Elfevirii.

MILLER, Albert. (1966). *Elements of meteorology*. (4) Merril:

Documents

BONET, Lluís. (2011). *High altitude balloon mission design and implementation for a mini-launcher*. mitra.upc.es, Castelldefels.

Diaris i revistes

CASADO, Javier. (2010, feb). El coste del espacio: un trabajo de titanes. *Espacio*; 62, 36-39.

SERNA, Enrique. (2008, des). Satélites en miniatura. *Espacio*; 48, 44-47.

Diaris i revistes digitals

GONZÁLEZ, Ana. (2012) El segundo lanzamiento de sonda estratosférica se convierte en toda una aventura para CDARCU. *Uvitel Online*. Recuperat el 15 de setembre de 2013 a <http://www.uvitelonline.es/general/noticias/0/8998/>

HERRANZ, Carlos. (2007) *Ir al espacio: una introducción a la astronáutica*. *Física y sociedad*; 18, 18-21. Recuperat el 14 d'abril de 2013 a http://www.cofis.es/pdf/fys/fys18/fys_18_18-21.pdf

MARÍN, David. (2013) "Observar des de l'espai proper està a l'abast de tots". *El Punt Avui*. Recuperat el 21 de maig de 2013 a <http://www.elpuntavui.cat/noticia/article/2-societat/15-ciencia/625837-observar-des-de-lespai-proper-esta-a-labast-de-tots.html?cca=1>

Pàgines web

- Blog del projecte SonCube, on es comenta l'actualitat d'aquest, per Enrique Herrero.

<http://www.celdenit.com/soncube>

- Blog de la CHA.S.A, on es mostra el progrés de la iniciativa CHASAT.

<http://www.chasat.blogspot.com.es>

- Pàgina de venda de diferents productes electrònics

<http://www.electronicarc.com>

- Portal d'enciclopèdia en línia i diccionari de català.

<http://www.enciclopedia.cat>

- Blog personal d'Adam Cudworth, creador dels HABE's (*High Altitude Balloon Experiments*) i un dels principals referents mundials a nivell amateur en sondes estratosfèriques.

<http://www.habe.acudworth.co.uk/blog>

- Fòrum de la HAB-HAM, associació anglesa de sondejos de gran altitud (*High Altitude Ballooning*) amb un bon nombre de participants d'arreu del món.

<http://www.hab-ham.org/forum/>

- Simulador en línia que permet predir la trajectòria d'un globus sonda, basant-se en una sèrie de paràmetres, amb set dies d'antelació.

<http://www.habhub.org/predict>

- Pàgina de venda de diferents productes relacionats amb el món del radio-control.

<http://www.hobbyking.com>

- Pàgina oficial del projecte Near Space, un dels més avançats a nivell d'Espanya.

<http://www.nearspace.es>

- Web de Paypal, que permet l'ingrés i la transferència de diners per internet.

<http://www.paypal.com>

- Pàgina de la iniciativa Gagarín, amb seu a Saragossa.

<http://www.proyectogagarin.blogspot.com.es>

- Web personal d'un aficionat anglès, que va dur a terme un intent de planejador estratosfèric (Space Glider) al març de 2013.

<http://www.rcexplorer.se>

- Servidor que permet accedir a un gran nombre de treballs de fi de carrera i tesis doctorals dutes a terme a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

<http://www.upcommons.upc.edu>

- Pàgina d'informació meteorològica que permet fer prediccions amb dues setmanes d'antelació.

<http://www.weather.com>

- Web del projecte Wikisat, impulsat per la UPC, que investiga un mètode de baix cost per a enviar satèl·lits i robots a l'espai.

<http://www.wikisat.org>

Índex d'il·lustracions

Fig. 1. Logotip empresa Hydroo.	0
Fig. 2. Logotip Josep Portella, Arquitecte.....	0
Fig. 3. Logotip empresa Postalfree Girona.....	0
Fig. 4. Logotip club CAGIP.	0
Fig. 5. Comparativa dels principals gasos de l'atmosfera terrestre	3
Fig 6. Variació de la densitat de l'aire en funció de l'alçada.	3
Fig 7. Variació de la temperatura en funció de l'alçada.	4
Fig 8. Esquema de les diferents capes de l'atmosfera de la Terra.	4
Fig 9. Placa Trackuino muntada.	6
Fig 10. Placa Arduino UNO.	7
Fig. 11.Taula de característiques de la placa Arduino UNO.	7
Fig 12. Shield.	8
Fig 13. Esquema de pins del sensor Lm60.....	8
Fig 14. Sensor de temperatura Lm60.	8
Fig 15. Radiotransmissor.	9
Fig 16. Mòdul Venus GPS.	9
Fig 17. Go Extreme Race.	10
Fig 18. Caixa de porexpan, obtinguda en una farmacia.	11
Fig 19. Treballant el porexpan.	12

Fig 20. Manta tèrmica sense desplegar.	12
Fig 21. Estructura d'alumini recobrint una sonda estratosfèrica.	13
Fig 22. Paracaigudes utilitzat.	14
Fig 23. Inflant el globus.	16
Fig. 24 Cara principal de la sonda Satestrat.....	17
Fig. 25 Posant amb la tutora abans del llançament.....	18
Fig 26. Sonda Satestrat volant.....	18
Fig. 27 Trajectòria real que va seguir l'aparell.	19
Fig 28. Seguint en directe el Satestrat.	20
Fig 29. Zona de cerca de la sonda.....	21
Fig. 30. Talkie VHF.	21
Fig. 31. Cercant la sonda amb un grup de set persones.....	22
Fig. 32. Taula comparativa d'avantatges i inconvenients de fer un altre desplaçament.	23
Fig. 33.Zona de cerca de la sonda amb l'indicació exacta del punt d'aterratge.	24
Fig. 34. Nosaltres amb el senyor Garriga, entregant-nos l'aparell.	25
Fig. 35. Gràfic de la temperatura exterior enregistrada respecte l'altura.	26
Fig 36. Gràfic de la temperatura interior enregistrada en funció del temps.	27
Fig 37. Gràfic comparatiu de les dues temperatures captades per la sonda.....	28
Fig 38: Gràfic altura en funció del temps.	29
Fig 39. Gràfic de la velocitat que portava la sonda respecte el temps.....	30

Fig.40. Imatge captada per la sonda durant el seu enlairament.	31
Fig. 41. Taula especificativa sobre la figura 40.	32
Fig. 42. Imatge enregistrada pel Satestrat, sobre Torroella de Montgrí.....	32
Fig. 43. Taula especificativa sobre la figura 42.....	32
Fig. 44. Equip emissor i transmissor de video d'1,2 W.	33
Fig. 45. La Terra, vista des d'una "nau estratosfèrica".	34
Fig. 46. Equip de transmissió de video. Font: pròpia.	35
Fig. 47. Antena de recepció de video. Font: pròpia.	36
Fig. 48. Esquema complet de funcionament del Satestrat II.	37
Fig. 49. Càmera principal del Satestrat II.	37
Fig. 50. "Centre de control" de la Satestrat I.	38
Fig. 51. Intent de "nau estratosfèrica", a punt per a ser llançada.	39
Fig. 52. Fusellatge de la nova sonda. Es tracta del model Sky Eye Epo.	40
Fig. 53. Cartell creat per a la difusió del projecte.	42
Fig. 54. Botons disponibles a la web del projecte per a fer donacions.	43

Annexos

Annex 0

Durant tot el treball, apareixen diferents unitats de mesura. Hem trobat adient fer-ne un annex especificant el seu símbol i indicant el seu significat. Es poden trobar a les següents taules, ordenats alfabèticament.

Símbol	Unitat
°C	Graus Celsius
A	Amperes
B	Bels
b	Bytes
g	Grams
h	Hores
Hz	Hertz
m	Metres
min	Minuts
Pa	Pascals
p	Píxels
s	Segons
V	Volts
W	Watts

Fig. 1. Recull de símbols apareguts en el treball amb la seva respectiva unitat. Font: pròpia

Múltiple	Prefix	Símbol	Submúltiple	Prefix	Símbol
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	mil·li	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	quilo	k	10^{-12}	pico	p
10^2	hecto	h	10^{-15}	femto	f
10^1	deca	da	10^{-18}	atto	a

Fig. 2. Taules de múltiples i submúltiples. Font: pròpia

Annex 1: Wikisat

Iniciativa d'exploració espacial low-cost

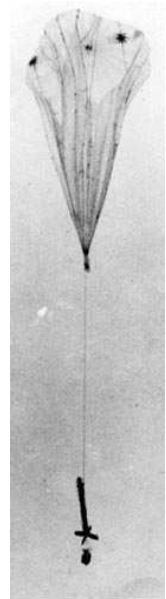
De les diferents aplicacions de les sondes estratosfèriques, una de les més interessants és la possibilitat d'acoblar-hi petits coets (com en l'esquema de baix) i, un cop assolida l'altura màxima, fer ignició. Encara que aquests coets tinguin un impuls relativament petit, són capaços d'assolir altures rècord gràcies a la nul·la oposició del fregament amb l'aire (per sobre dels 30 km, la densitat de l'atmosfera és menyspreable). A aquesta curiosa combinació de sonda estratosfèrica+coet/llançador se l'anomena *rockoon* i s'han utilitzat des de mitjan anys 50 per tal de sondejar les capes d'aire més exteriors: la mesosfera i la termosfera.

Fins el dia d'avui, el rècord d'altitud assolida per una sonda estratosfèrica és de 53 km. Aquesta altitud es troba, no obstant, molt per sota del punt on es considera que comença realment "l'espai exterior". Els *rockoons* tenen la particularitat de trencar aquesta limitació d'alçada ampliant enormement les possibilitats dels globus estratosfèrics.

Wikisat és una iniciativa especialment innovadora de la Universitat Politècnica de Catalunya que contempla autèntiques missions espacials utilitzant materials low-cost i accessibles a tothom.

On comença l'espai?

De forma oficial, es considera com a inici imaginari de l'espai exterior la línia de Karman, situada al voltant dels 100 km d'altitud, zona a partir de la qual un avió s'hauria de moure a la velocitat d'una nau espacial per a generar prou sustentació. No obstant, es considera que hi ha una zona anterior coneguda com a espai proper que, a Espanya, comença a partir dels 18 km. Per sobre de la línia de Karman es troba l'espai orbital que va des de 200 km sobre el nivell del mar (òrbita terrestre baixa o LEO (*Low Earth Orbit*)) fins als 36.000 km (òrbita geoestacionària o GTO (*Geostationary Orbit*)).



A rockoon rising from the U.S.S. Eastwind. U.S. Coast Guard photo.

Fig. 3. Un intent de rockoon s'enlaira a finals dels anys 50. Font:

www.iowaspacescience.org

Mini-lançaderes i femto-satèl·lits

L'objectiu del grup Wikisat és desenvolupar i provar un sistema per tal d'accedir a l'espai exterior de forma extraordinàriament barata. Segons els organitzadors del projecte, posar un petit satèl·lit en òrbita terrestre baixa es pot assolir per uns escassos 1.200 € i situar un robot esfèric a la superfície de la Lluna per menys de 100.000 €, tota una ganga comparat amb els pressupostos de la NASA (mínim 8.000.000 per a un satèl·lit i cap a 100.000.000 per una missió a la Lluna)!

Les dues claus per tal d'abaratir aquest accés a l'espai són les següents:

1. Reduir l'electrònica a la mínima expressió, sense cap sistema redundat. Les sondes espacials amb sistemes redundants són més fiables, però també exponencialment més cares, ja que pesen molt més i també cal més combustible per a enviar-les a l'espai.
2. Canviar la "mentalitat" a l'hora de dissenyar les missions: començar pel disseny del satèl·lit o robot i després, en funció de les característiques d'aquests, construir-ne un coet llançador "a mida". Això contrasta amb la tendència actual de dissenyar les sondes en funció dels coets que hi ha disponibles.
3. Per tal de millorar els dissenys, recórrer al què es coneix com a *open innovation*, és a dir, publicar els resultats a internet per tal que un gran nombre de gent hi pugui accedir i proposar noves idees, millores, etc. La força de la comunitat com a principal recurs.

Un femto-satèl·lit és un dispositiu que orbita la Terra amb la particularitat que pesa menys de 100 grams. El fet que tinguin un pes tan reduït implica que el cost per a posar-lo en òrbita també és més baix. Ara bé, com que el mercat actual de llançadors espacials només està pensat per a posar en òrbita satèl·lits de grans dimensions, el preu segueix essent altíssim, només a l'abast d'uns pocs.

Per tal d'abaratir realment l'enviament d'objectes a l'òrbita terrestre, no n'hi ha prou només fabricant satèl·lits extraordinàriament petits, sinó que també cal disposar d'un sistema de llançament que rendibilitzi al màxim essent dissenyat en funció de cada missió. És per això que el grup Wikisat també



Fig. 4. El grup Wikisat, durant un enlairament de prova. Font: www.wikisat.org

duu a terme el prototipatge i la construcció del Wiki-Launcher, un sistema de llançament

espacial que s'emmarca dins de la categoria dels *rockoons*. La posada en òrbita d'un femto-satèl·lit consta, doncs, de 3 fases:

1. Enlairament d'un globus estratosfèric com el de la figura, que incorpora, dins d'un tub de PVC (*Polyvinyl Chloride*), un mini-llançadera: un coet d'uns 4 kg de pes. A dins d'aquest es troba el satèl·lit que es vol posar en òrbita i que no pesa més de 20 g.
2. Un cop el globus es troba a uns 35 km d'alçada, es produeix l'encesa del motor principal



Fig. 5. Tobera de perfil convergent-divergent. Font: www.wikisat.org

del coet. Utilitzant un fil de Crom-Níquel (com el dels assecadors) i un grapat de pólvora, (tot plegat controlat per un transistor) es provoca una flamarada que encén el combustible sòlid del llançador. Ràpidament, el combustible es transforma en gasos a alta pressió i temperatura que s'escapen per la tubera del motor.

Aquesta, té un perfil convergent-divergent de tal manera que accelera els gasos que passen a través d'ella fins a velocitats supersòniques. Com que tota força d'acció rep una força de reacció de sentit contrari i d'igual mòdul, el coet surt disparat cap amunt a velocitat supersònica. En menys de 4 minuts, assoleix una alçada de 200/300 km a uns 2700 m/s, uns 9700 km/h . En aquest moment, s'acaba el combustible de la primera fase.

3. S'encén la segona fase del coet, també impulsada per combustible sòlid, que accelera el coet de manera tangencial a la curvatura de la Terra, de tal manera que assoleix una òrbita baixa (LEO) circular d'uns 270 km d'alçada. En aquest moment, es produeix el desacoblament entre les restes del coet i el satèl·lit, que es queda orbitant la Terra a una velocitat de 7800 m/s (28000 km/h), completant una volta sencera al planeta cada 90 min.

El coet que han projectat els promotors de Wikisat està fabricat solament amb materials casolans a l'abast de qualsevol persona com ara pots d'esprai (l'alumini de què estan fetes és lleuger, bon aïllant tèrmic i és capaç d'aguantar altes pressions de fins a 30 atmosferes), llaunes de refresc, etc.



Fig. 6. Un dels prototips de mini-llançadors. Font: www.wikisat.org

Pico-rover

Segurament el projecte més ambiciós en què estan ficats els membres del grup Wikisat, és el que duen a terme dins del Team Frednet que participa en el conegut concurs Google Lunar



Fig. 7. Prototip de Pico-rover lunar. Font: www.wikisat.org

Xprize i que consisteix en el disseny d'una missió per tal de fer aterrar un Pico-rover, un robot de menys d'1 kg, a la superfície de la Lluna, fer que recorri 500 m per la superfície i enviï imatges en alta definició de nou cap a la Terra.

El Pico-rover lunar és un robot esfèric de menys de 12 cm de diàmetre que es desplaça gràcies a un pes motoritzat en el seu interior. En diverses proves de tracció, s'ha comprovat que un robot d'aquest tipus seria capaç de remuntar pujades de 34° i desplaçar-se per peraltes de 43° d'inclinació en la superfície lunar, fent-lo apte per a explorar terrenys muntanyosos i accidentats.

Per tal d'enviar aquest robot a superfície lunar de forma relativament barata, de nou caldria utilitzar un globus estratosfèric. L'element més crític de tots de nou, seria el coet llançador, que en aquest cas hauria d'incorporar una 'fase d'allunatge'. El trajecte fins a la Lluna, duraria uns 3 dies, durant els quals el motor del coet romandria apagat seguint l'anomenada 'òrbita de transferència de Hohmann' per tal d'estalviar el màxim de combustible. Només s'encendrien uns petits impulsors laterals en moments puntuals per tal de fer correccions de la trajectòria. Un cop passat el punt de Lagrange 1 (a partir del qual la gravetat lunar és més notable que la terrestre) el coet efectuarà un gir de 180° sobre el seu eix per tal de reduir la seva velocitat vertical fins a uns pocs m/s i poder aterrar suaument.

Un cop a la Lluna, el robot se separaria del mòdul d'aterratge per tal de començar la seva missió que, principalment, consistiria en la recopilació d'imatges. Un robot que, per cert, està format per materials tan casolans com ara el vidre d'una bombeta, paper d'alumini i piles de rellotge.

Annex 2: Comparació de trajectòries

La primera imatge és la simulació que HabHub va fer pel dia 24; la segona, és la trajectòria real que va seguir la sonda; la tercera, a la pàgina següent, és la del simulador de Google Earth. Es pot apreciar que la simulació i el recorregut real conserven una gran semblança: sortint del Pla de Martís es dirigeix en sentit SudEst, fins que duu a terme un canvi de rumb de cent-vuitanta graus a uns 18000 m d'alçada. Un cop fet aquest canvi radical de direcció, va seguint fins passats els cims de Rocacorba on el globus explota i cau, seguint una forma de "C", fins a aterrar al nord de Canet d'Adri.

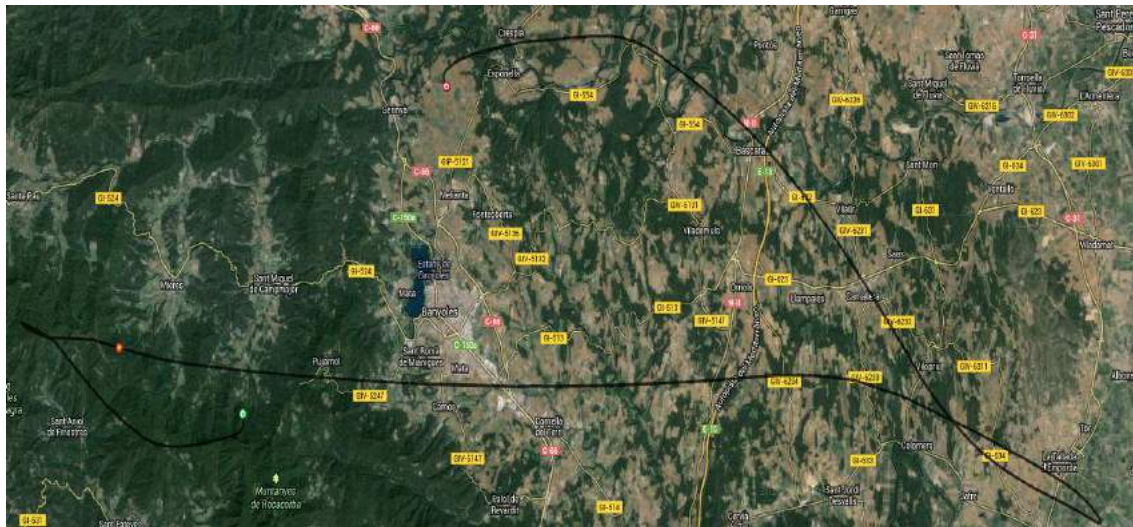


Fig. 8. Simulació HabHub pel dia 24 de juliol. Font: pròpia

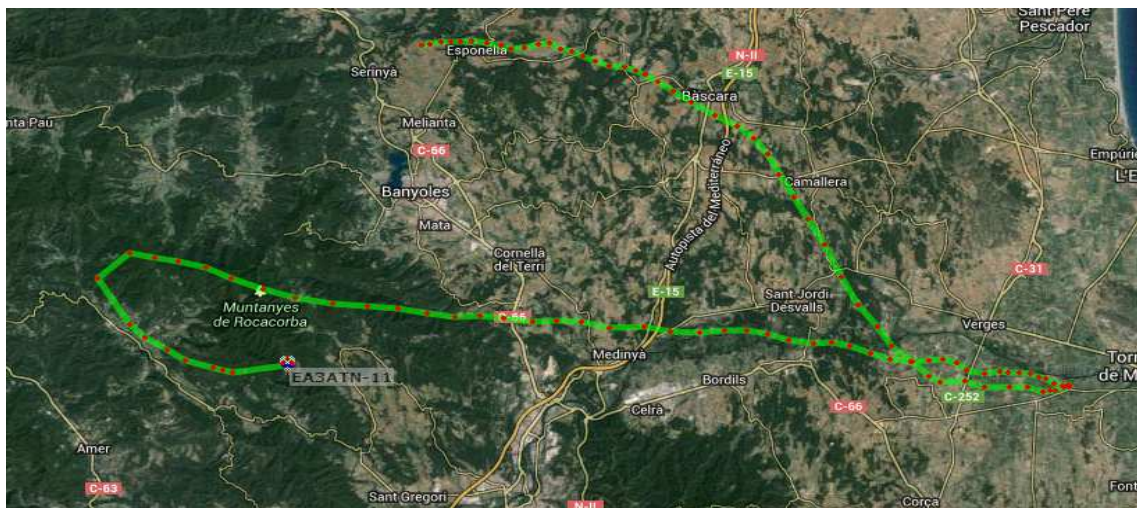


Fig. 9. Trajectòria que va seguir la sonda el dia del llançament. Font: pròpia

Nota: Hem de dir que la simulació, que correspon a la primera imatge, és del dia 24 però feta uns dies abans, ja que el simulador et donava una setmana de marge. El mateix dia de l'enlairament la tornarem a fer i coincideix absolutament amb la trajectòria real. El punt on va explotar el globus era exactament el mateix que el predit i la forma del recorregut era molt més aplanada, com la trajectòria real.

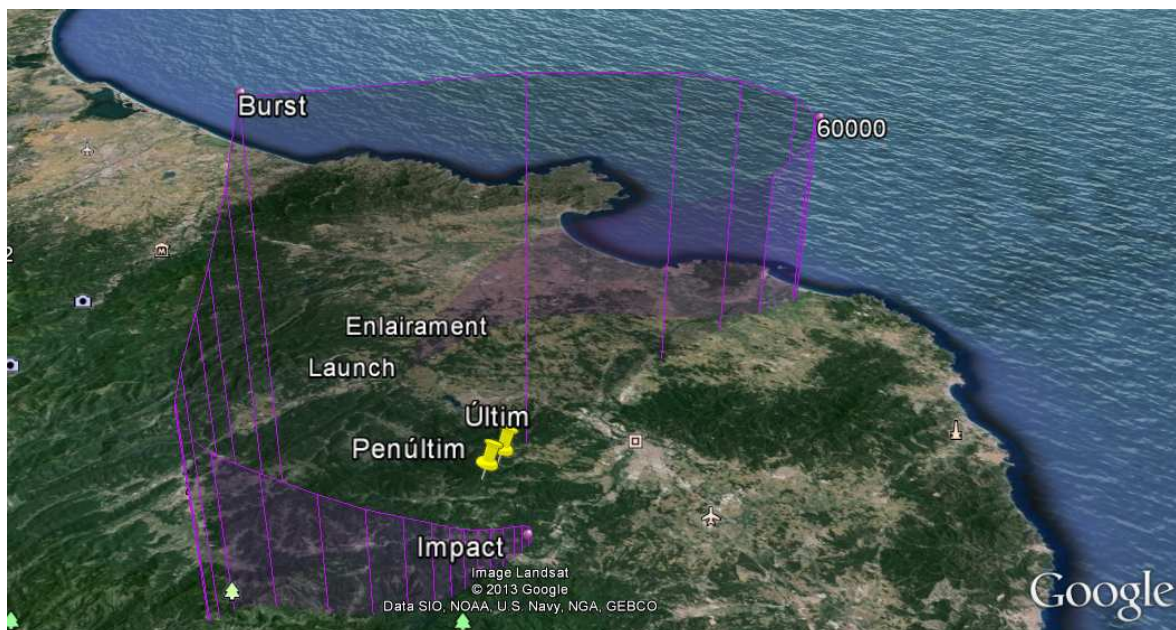


Fig. 10: Simulació de Google Earth de la suposada trajectòria de la sonda. Font: pròpia

Aquesta altra imatge és d'un simulador secundari (el de Google Earth) que també vàrem utilitzar un dia per contrastar aquesta trajectòria amb la del HabHub. La innovació que té aquest simulador és que t'indica el rumb en tres dimensions. Es poden veure diferents altures indicades en llocs clau, així com al canvi de vents o al punt d'explosió del globus. La trajectòria coincideix considerablement amb la del HabHub i la real.

Concloent, els simuladors han estat fonamentals per poder decidir el dia del llançament. Ens van proporcionar informació de distància en línia recta des del punt de l'enlairament, quantitat d'heli necessari per arribar a l'altura desitjada, la velocitat d'ascens, entre altres.

Annex 3: Formulari d'AENA

Tal com hem dit a l'apartat de l'enlairament, vàrem haver de contactar amb AENA per demanar autorització pel llançament. Aquesta autorització va ser possible gràcies al formulari que molt amablement ens varen enviar i, posteriorment, donar el vistiplau per l'esdeveniment. El formulari es diu NOTAM (*Notice To Airmen*) i, tot i que teòricament per a la nostra sonda no calia presentar-lo (ja que pesava menys de 4 kg), decidírem fer-ho igualment. Tal com es pot veure darrere aquesta pàgina, hem adjuntat la sol·licitud que els vàrem enviar. Posàrem que el dia previst per a l'enlairament era el 12 de juliol, per tant vam haver de demanar una pròrroga d'uns dies per a poder-lo efectuar el dia 24. Tot va sortir a la perfecció: ens van respondre dins el límit de temps de 20 dies i donaren l'aprovat sense cap problema.



Aena



*Aeropuertos Españoles
y Navegación Aérea*

**SOLICITUD DE ACTIVIDAD AÉREA CIVIL RELATIVA
A OTROS USOS DEL ESPACIO AÉREO**

REF. COMPAÑÍA:

FECHA:

REF. AENA:

Naturaleza de la actividad:

- Láser / Focos.
- Fuegos Artificiales.
- Suelta de Globos.
- Sondeos Meteorológicos.
- Globos Cautivos.
 - Publicidad.
 - Pasajeros.
 - Fotografía.
- Otros: _____

2. Organizador: Lluís Portella /Aleix Coma (satestrat)

Dirección: C/Francesc de Montpalau 10, 17820 Banyoles (Girona)

Teléfono: 972576098

Móvil: 677796983

Fax: ----

Correo Electrónico: satestrat@gmail.com

3. Representante Autorizado: INS Pere Alsius / Astrobanyoles

Dirección: Sardana, 17

Teléfono: 972570991

Móvil: ----

Fax: 972581159

Correo Electrónico: iesperealsius@xtec.cat

4. Declaración de Autorización:

Por la presente designo y autorizo a Victor Pérez García (INS Pere Alsius)
a actuar como representante en la tramitación de este formulario de solicitud de permiso, y coordinador de la actividad
aeronáutica a realizar, pudiendo aportar, si se requiere, la información suplementaria necesaria.

Firma del organizador

Lugar y Fecha: Banyoles, 21 de junio de 2013



Aena



*Aeropuertos Españoles
y Navegación Aérea*

5. Fechas de la Actividad:

Fechas: 12/07/13

Horarios: 11:30/12:30
local o UTC)

(indicar si es hora

Duración (Expresado en horas o minutos): 3 horas

6. Zona de Trabajo y Características de la Actividad:

Municipio y Provincia: Pla de Martís-Esponellà (Girona)

Sistema de referencia: ED-50 WGS-84

A. Tipo de Zona: Coordenadas geográficas.

Área circular / Punto / Polígono / Trayectoria.

W / E

Latitud: 42 ° 10 ' 25,9 " Longitud: 2 ° 46 ' 03,9 "

W / E

Latitud: ° ' " Longitud: ° ' "

W / E

Latitud: ° ' " Longitud: ° ' "

W / E

Latitud: ° ' " Longitud: ° ' "

Radio: Km. / Nm.

B. Altitud o Alcance Máximo sobre el Terreno: 37000 m AGL / Ft AGL /

Ft MSL

C. Sondeos Meteorológicos / Suelta de Globos:

Tipo de sondeo: Ligero / Medio / Pesado.

Diámetro del globo: 2 m Peso de la sonda: 2,4 Kg.

Color del globo: Blanco Número de globos: 1

Régimen de ascenso: 6,1 m/sg. Régimen de descenso: 12 m/sg.

D. Láser / Foco:



Aena



*Aeropuertos Españoles
y Navegación Aérea*

Barrido horizontal del haz (Entre 0° y 360°): _____ ° _____ °

Barrido vertical del haz (Entre la horizontal 0° y 90°): _____ ° _____ °

E. Otros Datos: _____

Se adjuntará mapa de la zona afectada por la actividad representada en Mapa Aeronáutico.

7. Certificado de Conformidad del Organizador:

Certifico que:

La información contenida en este formulario, así como la documentación adjunta, es real, verdadera y correcta.

Cuento con la habilitación necesaria para poder acometer la actividad solicitada.

El personal y/o medios materiales empleados para realizar la actividad cumple con los requisitos establecidos por la Dirección General de Aviación Civil / AESA

Firma del organizador

Firma del representante

Fecha: 21 de junio de 2013

Fecha: 21 de junio de 2013

Este formulario debe ser firmado por el organizador o por el representante debidamente autorizado en caso de haberse cumplimentado el apartado correspondiente.

Remitir a:

AENA

Dirección de Operaciones / GCAT

Dpto. Coordinación Operativa del Espacio Aéreo

Avda. de Aragón 402

Edificio Lamela, 4ª Planta

28022 Madrid

Teléfono: 913 213 378 / 913 213 139

Fax: 913 213 391

E-mail: HYPERLINK "mailto:cop@aena.es" cop@aena.es

Annex 4: Manual de llançament Satestrat I

Material:

- Caixa amb cordes i paracaigudes
- Bombona d'heli
- 2 globus
- guants de làtex
- brides
- altaveus i micro
- silicona i cintes adhesives (totes)
- Ordinador
- lladres

*Ordinador portàtil amb màxima bateria.

1. Arribem al Pla de Martís 3 hores abans del llançament amb tots els cotxes.
2. Instal·lem la carpa, el plafó i els ordinadors.
3. Comprovem la connexió a internet.
 - a. Internet Explorer
 - b. Opcions d'Internet-Connexions
 - c. Configuració LAN
 - d. Adreça proxy: 10.139.38.2, port del proxy: 3128
 - e. Usuari: club1.cagip, Contrassenya: cagip
 - f. A casa, desactivar proxy

Si falla la connexió utilitzem un telèfon (màxima bateria) com a mòdem.

4. Engeguem el trackuino, fem una prova final de recepció de dades i comprovem el brunzidor. Si falla la recepció, interrompem el procés i s'intenta solucionar. Si no és possible, s'avorta el llançament.

5. *Speech*

- a. Agrair assistència
- b. Passos que seguirem

6. Tancar sonda

7. Inflar globus

- c. Estendre manta al terra
- d. Agafar el globus amb guants de làtex
- e. Inflar-lo
- f. Fer-li el nus
 - f.i. Agafar la corda i lligar-la al voltant (fer-li un altre nus).
 - f.ii. Reforçar-ho amb cinta adhesiva i brides.

8. Obrir el grup electrogen i posar la càmera en marxa.

9. *Speech* final (compte enrere).

10. Llançament

11. Seguir la sonda per aprs.fi

12. Quan hagi caigut i tinguem la posició, fer un pla de cerca (si el GPS falla, anirem al lloc indicat per l'última predicció que hàgim fet)

13. Agafar els cotxes i cercar la sonda

Annex 5: Projecte SonCube

SonCube és un altre exemple de projecte de sondes estratosfèriques desenvolupat íntegrament a Catalunya. Dins de la iniciativa, es varen enlairar fins a tres sondes entre l'agost de 2012 i el setembre de 2013. Es tracta d'un projecte de divulgació de l'astronomia i de les ciències de l'espai dirigit especialment als joves. De fet, a l'abril de 2013, es va dur a terme un concurs "d'experiments estratosfèrics" per a estudiants de batxillerat al qual, nosaltres, vàrem participar sense èxit.

Hem de destacar que va ser en gran mesura gràcies a l'ajut, les recomanacions i la cooperació del seu promotor, l'Enrique Herrero, que vàrem tirar endavant el nostre propi projecte.

SonCube I

La sonda Soncube I es va enlairar el dissabte 11 d'agost de 2012 des del centre MónNatura Pirineus, a les Planes de Son (Alt Àneu). La sonda anava equipada amb una càmera Canon, programada per a prendre una foto cada cert interval de temps, i una Mini HD, una càmera de menys de 50 g que enregistrava vídeo. També incorporava un sistema de seguiment basat en una placa Arduino, exactament igual que amb el nostre Satestrat I. Tot i assolir l'alçada estimada (uns 30.179 m), la càmera que enregistrava vídeo va fallar uns 5 minuts després del llançament per la qual cosa només se n'obteniren imatges estàtiques. La sonda va caure a l'est d'Andorra, a uns 2600 m d'alçada. L'última dada rebuda havia estat a 3200 m d'alçada.

SonCube II

Es va plantejar una segona missió amb els objectius d'enregistrar i emetre imatges en directe per internet, utilitzar un tracker més potent i fer un seguiment de la sonda mitjançant un telescopi. A més, es va dur a terme, durant el març i el juny, una campanya de crowdfunding per Verkami (www.verkami.com) amb l'objectiu de recollir 1500€ i un concurs d'experiments a incorporar a la nova sonda, adreçat a estudiants de batxillerat. Vàrem decidir participar en el concurs ja que teníem algunes idees, les quals no podríem incorporar al Satestrat I (aleshores teníem previst el



Fig. 11. Enrique Herrero i Ada Fontrodona inflant el globus. Font: pròpia

Satestrat, una experiència de grans altures

llançament per a finals de juny). En canvi, el SonCube II, no s'enlairaria fins el 7 de setembre. Així, podríem dedicar els mesos de juliol i agost a desenvolupar la nostra proposta. La nostra proposta consistia en alliberar dos objectes un cop a l'estratosfera, per a què duguessin a terme una caiguda lliure de més de 30 km. Cadascun d'aquests objectes consistiria en un sensor de velocitat i un mòdul de GPS (per a què poguessin ser recuperats més tard). També havien d'incorporar un sistema de desplegament de paracaigudes, accionat per un temporitzador. L'objectiu era comparar les dades de velocitat obtingudes amb un estudi teòric fet anteriorment sobre la caiguda lliure d'objectes al llarg de diferents capes d'aire. Vàrem enviar la proposta l'1 d'abril. Al final, però, va resultar elegit l'experiment de la Marta Puig i l'Ada Fontrodona, consistent en la monitorització de la concentració de diferents gasos al llarg de l'atmosfera, i de la Cristina Uroz, consistent en la detecció de rajos còsmics. Cal dir que la campanya de crowdfunding de SonCube va ser tot un èxit, arribant a recollir uns 2300 €.

El 21 de juny es va enlairar des de l'observatori Montsec una petita sonda de prova. L'objectiu era provar el sistema d'emissió d'imatges en streaming de cares al Soncube II. Tot i que l'objectiu era assolir els 25.000 m, per culpa del mal temps només es va arribar als 14.100 m.



Fig. 12. Aleix Coma, Ada Fontrodona, Marta Puig i Lluís Portella a les instal·lacions de MónNatural Pirineus. Font: pròpia

transmissió d'imatges va funcionar correctament i es va emetre en directe als assistents del 'Sopar amb Estrelles' que s'estava duent a terme, com cada any, a l'Observatori Fabra.

Finalment, el dissabte 7 de setembre es va efectuar el vol del SonCube II, al qual vàrem assistir. Va ser un dia extremadament plujós i fred, cosa que dificultava el procés d'inflat del globus i posada a punt de la sonda. L'enlairament, al qual hi assistia una gran quantitat de gent, a més de les guanyadores del concurs, es va produir pels volts de les 12. Desafortunadament, la transmissió d'imatges no va funcionar, però un cop recuperada la sonda es va obtenir el vídeo en alta definició de la càmera principal.

A continuació adjuntem el formulari que vàrem emplenar per participar en el concurs de SonCube.

SonCube

Experimenta a la frontera de l'espai

Formulari per als participants

1- Dades dels participants

Dades del professor/a:

Nom i cognoms: Fina Graboleda

Telèfon: 972570991

Correu electrònic: finagp@gmail.com/jgrabol2@xtec.cat

Nom del centre educatiu: IES Pere Alsius i Torrent

Població: Banyoles

Dades dels alumnes:

Nombre de participants a l'equip: 2

Participant 1:

Nom i cognoms: Aleix Coma Busquets

Curs: 1r Batx.

Data de naixement: 15/10/1996

Participant 2:

Nom i cognoms: Lluís Portella Costa

Curs: 1r Batx.

Data de naixement: 25/09/1996

Participant 3:

Nom i cognoms:

Curs: 1r Batx.

Data de naixement:

2- Presentació de l'experiment

El nostre experiment consisteix en provocar la caiguda lliure d'un objecte, subjectat a la sonda, des d'una altura de 30000 m dins del qual anirà tot l'instrumental. L'experiment, pròpiament dit, es realitzarà dins de l'objecte durant la caiguda i consistirà en la demostració de les lleis físiques de caiguda lliure d'objectes. L'objecte llançat incorporarà un petit paracaigudes i un sistema de localització que permetran recuperar-lo.

3- Justificació i objectius de l'experiment

La nostra motivació més gran en fer l'experiment és el fet de poder divulgar els seus resultats (i la física en general) ja que el vol de SonCube II serà seguit per un gran nombre de gent. Les dades que obtindrem (velocitats, acceleracions en diverses altituds), a més de verificar algunes de les lleis més importants i fonamentals de la física (entre altres coses, farem un símil de les dades del nostre objecte amb les de la caiguda de Fèlix Baumgartner), les divulgarem a través de la nostra pàgina web (acompanyades d'explicacions i aclariments) i les utilitzarem com a pretext per a una "classe" de física bàsica adreçada a qualsevol persona curiosa.

Per altra banda, aquest any estem realitzant el nostre treball de recerca de batxillerat que consisteix en l'estudi d'un mètode per enviar, en òrbita a l'entorn de la Terra o la Lluna, naus o satèl·lits de baix cost (de fet ja estem treballant en el nostre propi projecte de sonda estratosfèrica) i creiem que aquesta seria una gran oportunitat per a verificar el funcionament de components electrònics en condicions molt semblants a les de l'espai exterior. Des del sistema d'alliberament de la petita càpsula fins al desplegament del paracaigudes, requeriran el funcionament de diferents aparells (el més important, un trackuino que reutilitzarem de la nostra sonda) i la seva construcció i fase de proves serà la part més complexa, entretinguda i profitosa per a nosaltres. Si tot funciona, suposarà un gran pas endavant en la nostra investigació.

Durant la caiguda, la nostra càpsula travessarà diferents capes de l'atmosfera, cosa que permetrà veure la seva resposta (sobretot pel que fa a la seva velocitat) en diferents condicions de densitat d'aire. Aquest aspecte no és possible de reproduir en un laboratori, sinó que cal llançar l'objecte des de gran altitud, com en aquest cas.

Experiments semblants (tot i que molt més perillosos) són els "salts al buit" realitzats per Joe Kittinger i Fèlix Baumgartner, recentment. Esperem obtenir resultats bastant similars als d'aquests dos agosarats investigadors ja que ni la diferència de massa influeix en la velocitat de caiguda ni l'aerodinàmica té massa importància en la quasi-absència d'aire.

4- Descripció tècnica de l'experiment

La càpsula que llançarem serà una llauna de refresc (sobretot degut a la seva lleugeresa) amb estabilitzadors (per evitar que, un cop estigui caient, comenci a donar voltes de manera massa violenta impedit que el paracaigudes es desplegui correctament) amb un trackuino al seu interior i un temporitzador de llarga durada que governarà l'alliberament del paracaigudes (el qual estarà en un segon compartiment que serà ejectat en el moment del seu desplegament).

Les diverses fases de què constarà l'experiment són les següents:

a) ascens lent de l'objecte acoplat a l'exterior de la sonda; b) desacoplament; c) caiguda i rebuda de les dades; d) desplegament del paracaigudes i e) aterratge/recuperació. En la primera, durant l'ascens, l'objecte anirà acoplat a l'exterior de Soncube amb un cordill resistent, concretament en el centre de gravetat de la sonda per no causar desequilibris. El trackuino estarà activat i enviarà dades en tot moment. Un cop s'arribi a una certa altura (la que li haurem imposat, o sigui uns 30 km), un sensor d'altitud connectat a una placa Arduino (que reutilitzarem del nostre projecte) s'activarà descargolant el cordill mitjançant un servo i provocant la caiguda de la llauna. Tot el sistema d'alliberament del cordill estarà dins la sonda. Durant la caiguda, el trackuino seguirà recollint dades mentre la càpsula es precipiti. El temporitzador de llarga durada donarà l'ordre de desplegament del paracaigudes, que frenarà suficientment la llauna com per no fer malbé els aparells. El trackuino de la càpsula seguirà enviant la seva posició després de l'aterratge permetent la seva recuperació.

Primer de tot, caldrà muntar el sistema temporitzador-paracaigudes, que serà sotmès a proves, i el sistema altímetre-servo, que només podrà ser provat un cop sigui a 30.000 m d'altura. El trackuino, que rastrejarà la seva posició i calcularà la seva velocitat, ja estarà muntat i l'haurem provat dins el nostre treball de recerca. Acte seguit, haurem d'integrar-ho tot plegat dins la llauna i sotmetre-la a més proves com ara llançaments a baixa altitud per verificar el desplegament del paracaigudes. El següent pas serà acoblar la llauna a l'exterior de la sonda, subjectada pel cordill. Un cop realitzades algunes proves del servo, la càpsula estarà llesta pel llançament.

5- Pressupost

El cost total és mínim ja que reutilitzarem molts components com ara el servo (que es pot extreure d'un cotxe teledirigit) o tot el Trackuino (que ja haurem muntat dins el nostre

Satestrat, una experiència de grans altures

projecte). La placa Arduino també la reutilitzarem del nostre treball:

Trackuino.....	0 € (material reutilitzable)
Llauna de refresc	~0,70€
Estabilitzadors	0 €
Paracaigudes	0 € (material reutilitzable)
Sensor d'altitud programable	32 €
Servo	0 € (material reutilitzable)
Placa Arduino	0 € (material reutilitzable)
Cordill resistent	0 €
Temporitzador de llarga durada.....	24 €
Total	56,70 €

Annex 6: Aparició als mitjans de comunicació

Ja hem dit que molta part de la difusió del projecte no va ser nostra, sinó que diaris, televisions, ràdios i revistes ens varen ajudar molt. És per això que a continuació deixem els enllaços on es poden trobar aquests documents:

Articles de diaris

- ESTÉBAN, Ramon. (2013). De Banyoles cap al cel: dos estudiants de batxillerat han enviat un globus sonda a més de 36.000 metres d'altura. *El Punt Avui*; 11781, 7.

<http://www.elpuntavui.cat/noticia/article/2-societat/5-societat/668353-de-banyoles-cap-al-cel.html?cca=1>

- ESTÉBAN, Ramon. (2013). El globus sonda 'Satestrat' ha estat recuperat: un caçador localitza el giny de dos estudiants de batxillerat de Banyoles. *El Punt Avui*; 11855, 24.

<http://www.elpuntavui.cat/noticia/article/2-societat/5-societat/688167-el-globus-sonda-satestrat-ha-estat-recuperat.html?cca=1>

Articles de revistes.

- REVISTA DE BANYOLES. (2013) Satestrat enlaira la seva sonda estratosfèrica fins a 36.000 metres des del Pla de Martís. *Revista de Banyoles*; 958, 42.

Entrevistes de revistes

- NIERGA, Jordi. (2013) Mentre construïm la sonda espacial ens oblidem que estem fent un Treball de Recerca. *Revista de Banyoles*; 955, 38-39.

Entrevistes audiovisuals

- Entrevista realitzada per Jordi Xena a Lluís Portella al programa La Tribu de Banyoles TV emès el dia 22 de novembre de 2013.

<http://banyolestv.xiptv.cat/la-tribu/capitol/la-tribu-entrevista-a-lluis-portella>

- Entrevista realitzada per AstroBanyoles emesa el dia 17 d'octubre de 2013 al programa Sopa d'Estrelles de Ràdio Banyoles.

http://arxiu.radiobanyoles.cat/19%20-%20D20131017_H2000_D20131017_H2059.MP3

Notícies

- Notícia de Ràdio Banyoles emesa el dia 5 d'agost de 2013.
<http://www.radiobanyoles.cat/noticia.php?id=10103&t=Dos+estudiants+de+l%E2%80%99IES+Pere+Alsius+han+llan%C3%A7at+una+sonda+a+la+frontera+de+l%E2%80%99espai>
- Notícia de Ràdio Banyoles emesa el dia 23 d'octubre de 2013.
<http://www.radiobanyoles.cat/noticia.php?id=10387&t=Els+estudiants+de+l%E2%80%99INS+Pere+Alsius+han+recuperat+la+sonda+Satestrat%2C+llan%C3%A7ada+a+l%E2%80%99estratosfera+el+juliol>
- Notícia de Redacció Banyoles de Banyoles TV emès el 24 de juliol de 2013.
<http://banyolestv.xiptv.cat/redaccio-banyoles/capitol/satestrat-enlaira-la-seva-sonda-estratosferica-fins-a-36-000-metres-des-del-pla-de-martis-1>
- Notícia de Redacció Banyoles de Banyoles TV emès el 25 de juliol de 2013.
<http://banyolestv.xiptv.cat/redaccio-banyoles/capitol/satestrat-continua-buscant-la-seva-sonda-1>
- Notícia de Redacció Banyoles de Banyoles TV emès el 2 d'agost de 2013.
<http://banyolestv.xiptv.cat/redaccio-banyoles/capitol/l-equip-de-satestrat-prepara-una-segona-sonda-amb-algunes-millores-tecnologiques>
- Notícia de Redacció Banyoles emès el 22 d'octubre de 2013.
<http://banyolestv.xiptv.cat/redaccio-banyoles/capitol/lequip-satestrat-recupera-la-seva-sonda-amb-les-imatges-enregistrades-des-de-lestratosfera>

Reportatges televisius

- Reportatge de Banyoles TV emès el 29 de maig de 2013.
<http://banyolestv.xiptv.cat/redaccio-banyoles/capitol/dos-estudiants-de-batxillerat-enviaran-una-sonda-low-cost-a-l-estratosfera-aquest-estiu-com-a-treball-de-recerca>
- Reportatge al programa Actual Comarques de Banyoles TV emès el 31 de maig de 2013 des del minut 7 fins al 12. Capítol 56.
<http://banyolestv.xiptv.cat/la-setmana-girona/capitol/capitol-56>

Annex 7: Vídeo resum