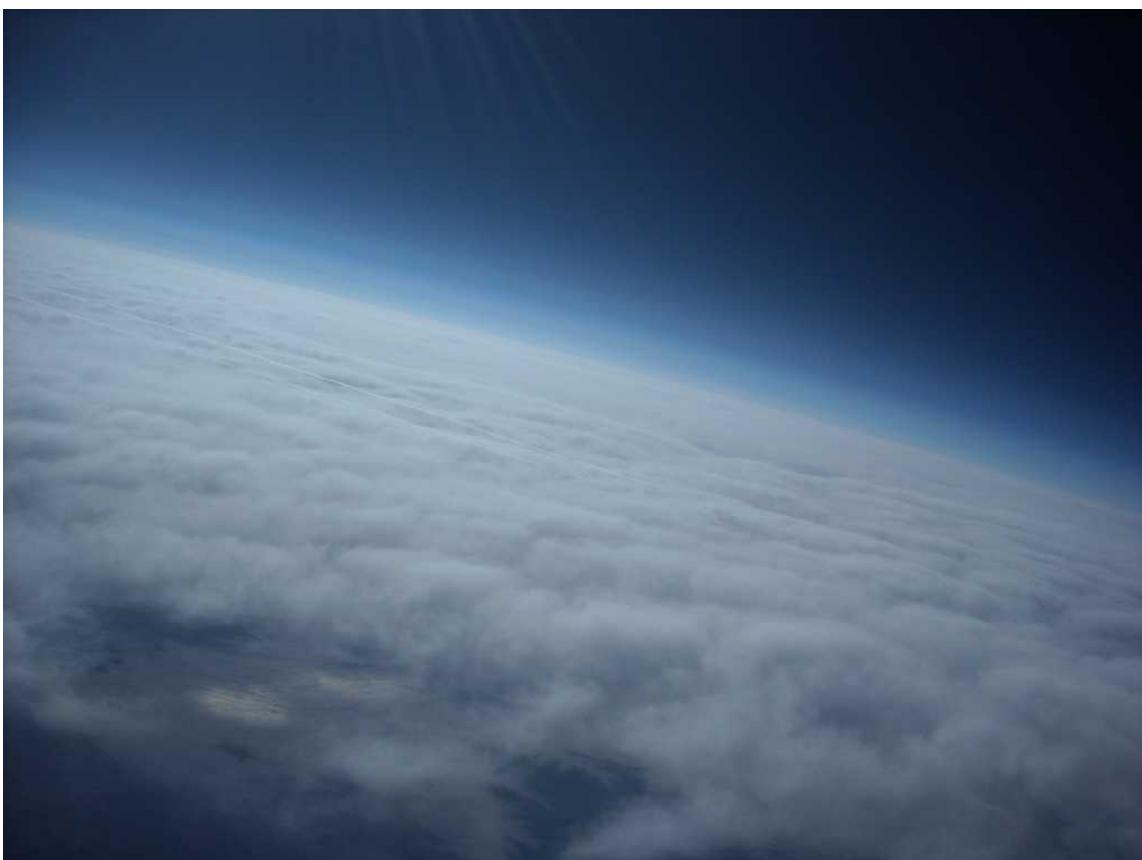


---

# Meteotek08

## Sonda Meteorològica

---



*Mai consideris l'estudi com una obligació, sinó com una oportunitat per penetrar en la bellesa i el meravellós món del saber.* Albert Einstein

# Agraïments

*Un agraïment personal al professor Jordi Fanals, que des d'un primer moment va confiar en aquesta idea i va donar el seu suport al llarg del tot el projecte.*

Ens agradaria donar les gràcies especialment a la Digna Planas i a en Jordi Toda, membres del Servei Meteorològic de Catalunya per la invitació a un dels seus llançaments i també per proporcionar globus per poder fer proves. Un altre agraïment especial el voldríem fer als membres de la comunitat UKHAS (*United Kingdom High Altitude Society*) per proporcionar informació útil i suport moral al llarg del projecte. Seguidament, al centre d'estudis IES La Bisbal pel finançament d'alguns components. Es mereixen una menció especial els familiars, per proporcionar alguns materials, llocs de treball i assistència en el llançament. També aquelles persones que, desinteressadament, van acollir a l'expedició quan es va necessitar alimentació pels portàtils el dia del llançament, sense ells potser no es podria haver acabat el projecte. Finalment a tots aquells mitjans de comunicació que han donat el seu suport, com també moltes persones que d'una manera o altre han aportat el seu gra de sorra a aquest projecte. Gràcies!

# Índex

---

## ● Introducció

1. Orígens del projecte.....	7
2. Objectius i procediment.....	7
3. Una introducció a l'atmosfera terrestre.....	8
3.1. Troposfera.....	8
3.2. Estratosfera.....	8

## ● Capítol 1: Estructura i materials

1. Materials utilitzats.....	11
1.1. Aïllants tèrmics.....	11
1.1.1. Porexpan.....	11
1.1.2. Escuma expansiva.....	12
1.1.3. Manta tèrmica.....	12
1.2. Estructura metàl·lica d'alumini.....	13
1.3. Suport giratori.....	14
1.4. Sistema d'anivellament i cordes.....	14
1.5. Suports d'antena.....	15
1.6. Paracaigudes.....	16
1.7. Globus.....	16

## ● Capítol 2: Electrònica i programació

1. Introducció general.....	19
2. Els components electrònics.....	19
2.1. El microcontrolador.....	19
2.2. Sensors meteorològics.....	20
2.2.1. Sensors de temperatura.....	20
2.2.2. Sensor de pressió.....	21
2.3. Receptor GPS.....	21
2.3.1. Una petita introducció al sistema de posicionament GPS.....	21
2.3.2. El mòdul utilitzat.....	22
2.4. El radiotransmissor.....	23
2.5. Sistema de fotografia.....	24
2.5.1. Càmera fotogràfica.....	24
2.5.2. Servomotor.....	26
2.6. Alimentació.....	27
3. Visió gràfica dels components.....	27
4. Programació del sistema.....	28
4.1. El llenguatge de programació C.....	28
4.2. Programari i llibreries utilitzats.....	29
4.3. Estructura general del codi.....	30
4.3.1. El sistema operatiu MTKOS.....	30
4.3.2. Els controladors de perifèrics.....	31
4.3.3. Les tasques de control.....	31

## ● Capítol 3: Fases de proves

1. La necessitat de dur a terme proves.....	35
2. Proves a baixa temperatura.....	35
2.1. Per què proves a baixa temperatura?.....	35

2.2. Construcció de la cambra de fred.....	35
2.3. Gel sec.....	37
2.4. Proves realitzades a baixa temperatura.....	37
2.4.1. Proves de materials: cordes, alumini i aïllants.....	37
2.4.2. Prova de components electrònics bàsics.....	38
2.4.3. Prova del cut-down.....	38
2.4.4. Prova final de ràdio, GPS i aïllament de la caixa de la sonda.....	39
<b>3. Proves de ràdio.....</b>	<b>39</b>
3.1. Per què proves de ràdio?.....	39
3.2. Prova de recepció.....	40
3.3. Prova global de recepció.....	41
3.4. Proves d'enlairament controlat.....	42
<b>● Capítol 4: Preparació del llançament</b>	
1. Un procés llarg i delicat.....	45
2. Elecció del lloc de llançament.....	45
3. Programes de simulació i Google Earth.....	46
3.1. Què és un programa de simulació?.....	46
3.2. Programes utilitzats.....	46
3.2.1. Programes de simulació.....	46
3.2.2. Google Earth.....	47
4. Permisos d'AENA.....	47
5. Materials.....	49
6. Expedició.....	49
<b>● Capítol 5: El llançament</b>	
1. Previs.....	51
2. Preparació del material.....	51
3. El viatge.....	51
3.1. Desplaçament a Bujaraloz.....	51
3.2. Preparació del muntatge.....	52
3.3. El llançament.....	53
3.4. Seguiment.....	54
<b>● Capítol 6: Resultats i conclusions</b>	
1. El recull de dades.....	63
2. Possibles millores.....	64
3. Aparició en els medis de premsa.....	64
4. Conclusions globals.....	65
<b>● Bibliografia</b>	
1. Llibres.....	67
2. Documents i publicacions.....	67
3. Pàgines web.....	67
4. Altres.....	67
<b>● Annexos</b>	
- Annex 1: Àlbum fotogràfic	
- Annex 2: Anàlisi gràfic de dades	
- Annex 3: Suport digital (Codi, fulles d'especificacions, fotografies, etc.)	



---

# Introducció

# 1. Orígens del projecte

Era el mes de febrer de l'any 2008 quan ens trobàvem fent el crèdit de Taller de Tecnologia després d'haver acabat tots els treballs de recerca. Feia mesos que necessitavem fer alguna cosa diferent, algun projecte que relacionés les nostres passions. Alguns del crèdit ho eren en el món dels ordinadors i l'electrònica, altres en l'astronomia i la meteorologia. Sempre ens havia interessat tot aquest món i una de les coses més fascinants era la de imatges aèries. Durant els últims anys s'han obtingut imatges de la terra i de l'espai realment impressionants, un bon exemple són les obtingudes per astronautes des de l'Estació Espacial Internacional o les del telescopi Hubble. Curiosament, des de fa poc, grups d'aficionats també s'han proposat poder obtenir imatges d'aquest estil però fetes amb aparells propis. Gràcies a les tecnologies actuals com el GPS i les càmeres digitals és possible dur a terme projectes d'aquest estil amb pressupostos baixos. Aquests artilugis casolans s'anomenen *sondes estratosfèriques*. Els aparells que inclouen dins són molt diversos i en el nostre cas consistien en sensors meteorològics i una càmera fotogràfica, és per aquest motiu que l'anomenem sonda meteorològica. Després de veure uns quants aparells d'aquests duts a terme en alguns països com els Estats Units o el Regne Unit, vam plantejar-nos fer alguna cosa semblant. Sabíem que era una projecte difícil de fer, però estàvem disposats a aportar-hi tantes hores com fes falta, necessitavem fer un somni realitat: *visitar l'estratosfera* i veure la Terra com probablement mai podrem fer-ho. Així és com va néixer el projecte Meteotek08 a les aules de l'IES Bisbal.

# 2. Objectius i procediment

Com hem acabat de dir a l'apartat anterior una de les coses més interessants era l'obtenció d'imatges ja que visualment són impactants i potser són la prova directa que la sonda ha estat realment a l'estratosfera. Tot i això darrera d'aquestes imatges hi ha uns passos a seguir que cal estructurar molt bé. En els següents punts es mostra un resum dels objectius que ens vam marcar en començar el projecte, ja que calia fer una feina precisa i molt ben coordinada per intentar no descuidar-nos cap detall:

- **Fase prèvia**

Abans de procedir amb el projecte es van aportar idees sobre el què s'havia de fer, després es van seleccionar els materials electrònics i estructurals que serien els que composarien la sonda, i finalment es va procedir a la recerca de proveïdors on comprar aquests primers materials.

- **Procés de construcció**

- **Estructura**

L'estructura és una part on l'objectiu principal és construir la caixa. A més cal incloure aquí els aïllaments, l'anivellament i distribució de pesos entre altres

- **Electrònica i programació**

Aquest apartat és un dels més llargs i més importants del projecte. Un objecte autònom requereix dur en el seu interior algun mecanisme automàtic que s'encarregui de gestionar totes les tasques: fer fotografies, recollir dades, enviar registres via ràdio, etc.

- **Sessions de proves**

Un projecte amb part pràctica consta d'una fase de proves, és a dir, l'intent de fer treballar la sonda a condicions semblants a les que es trobarà en realitat el dia del llançament. En el cas del projecte Meteotek08 les proves fetes van ser bàsicament tres:

- Proves a baixa temperatura dels components electrònics i materials
- Proves de recepció de ràdio fetes amb cotxe
- Enlairament controlat de tot el muntatge per comprovar l'estabilitat del conjunt

- **Llançament i resultats**

Un cop superats tots els processos arriba el moment més esperat, el llançament. Cal seleccionar un lloc adequat, demanar els permisos corresponents i evidentment estudiar gràcies a simulacions els dies més favorables. Un cop realitzat, es fa un ànalisi posterior de les dades obtingudes.

Cal dir que en aquest treball l'objectiu és explicar de forma divulgativa les parts del projecte i detallar-ne els procediments seguits, és per aquest motiu que alguns aspectes tècnics no s'aborden en més profunditat. També ens agradaria fer esment de la pàgina web del projecte (<http://www.teslabs.com/meteotek08>) on des dels inicis es va anar informant dels processos seguits a més d'incloure documentació tècnica i una gran col·lecció de fotografies. Es recomana visitar la pàgina com a complement d'aquest document.

### 3. Una introducció a l'atmosfera terrestre

L'atmosfera, és la capa gasosa que envolta completament la terra fins a una altura mitjana d'uns 1000km, ja que varia depenent si estem a l'equador o als pols. La seva composició majoritària és de 78% de nitrogen, un 21% d'oxigen i la resta de gasos molt menys importants, restes en suspensió i com no l'aigua. Aquesta atmosfera però, concentra el 85% de la seva massa a la seva capa més baixa, la troposfera, que s'estén des de la superfície terrestre fins aproximadament els 20Km d'altura. Per sobre d'aquesta es troba l'estratosfera, la qual és molt més extensa que la primera i assoleix els 50Km d'altura i inclou la capa d'ozó. He volgut introduir aquestes dades ja que la sonda travessa aquestes dues capes durant el seu vol, i tenir-ne una idea inicial crec que és important. Val a dir que a l'atmosfera existeixen altres capes com la mesosfera, la termosfera i exosfera, que podeu veure al gràfic de la dreta però que no detallarem.

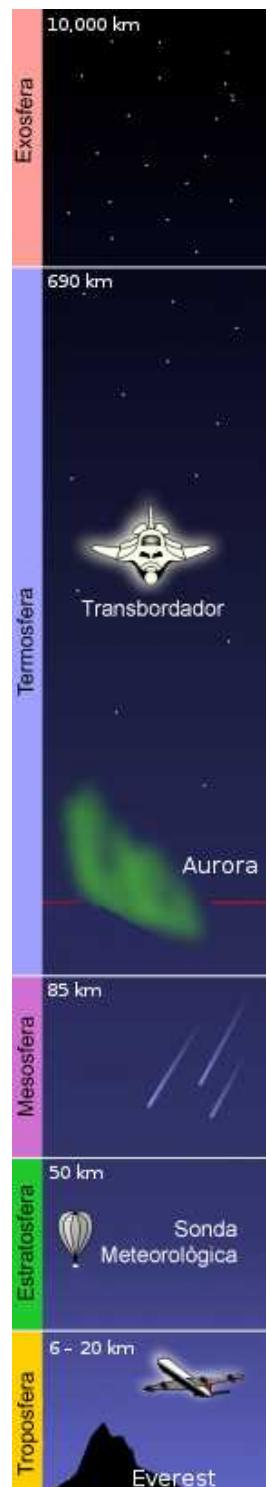
#### 3.1. Troposfera

Tres quartes parts de la massa de l'atmosfera es troba a aquest ample cinturó que forma la troposfera (del grec *tropos*: canvi), que pot arribar a tenir fins a 20Km d'altura a l'equador. Es tracta de la zona situada immediatament per sobre de la superfície, i a la qual es duen a terme tots els processos meteorològics, o sigui el temps atmosfèric. L'escalfament de la troposfera es produueix gràcies a la radiació de calor de la Terra. És per aquest motiu que s'observa una clara disminució de la temperatura amb l'altura fins a arribar a valors propers als -60°C.

El problema més gros de la troposfera el trobem en travessar la tropopausa, que és la zona situada entre la troposfera i la estratosfera, i es tracta d'una capa de varis quilometres entre les dues esferes. Aquest intercanvi de capes es du a terme de forma força violenta i això comporta la creació de violentes tempestes (denominades jetstream, o corrents de raig) que poden arribar a velocitats de fins a 600 Km/h. Segons dades però, en el nostre entorn no són tant freqüents com a altres llocs, per exemple al Regne Unit.

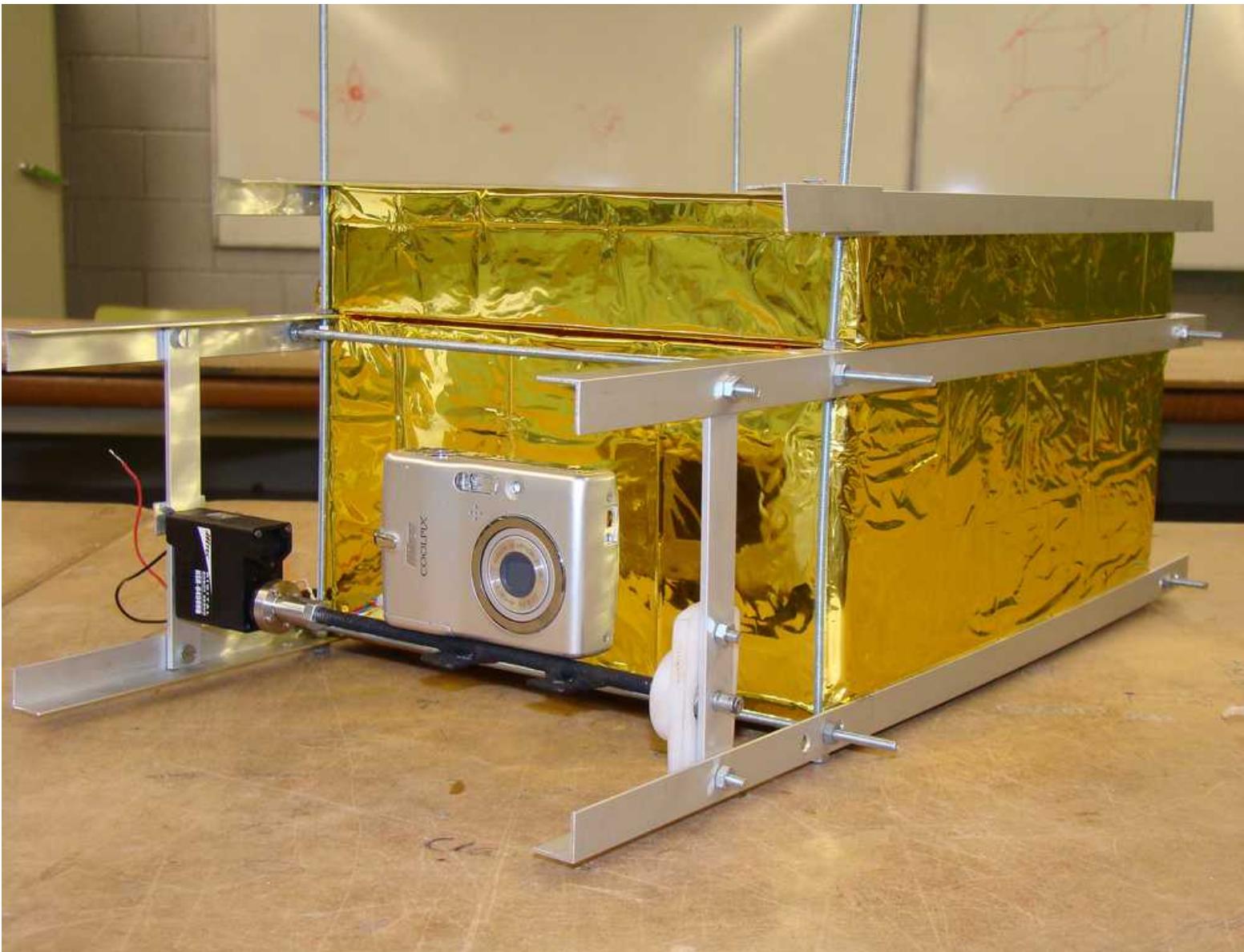
#### 3.2. Estratosfera

L'estratosfera (del grec *stratos* significa capa) s'estén des de la tropopausa fins a una altura de fins a 50 km. A la seva zona inferior, hi han temperatures d'entre -50°C i -60°C, a la zona superior segueix una capa amb majors temperatures que arriba a tenir valors de fins a 15° C. Tot i així la nostra altura màxima de vol sol ser de 30 – 33 Km i tot i que la temperatura pugi, no arribem a valors positius encara, sinó que ens quedem amb valors entre -15 i -30° C. Val a dir també que la pressió atmosfèrica a aquesta



altura es mínima i que arriba a valors propers als 6-10 hPa.

És important mencionar també, que un cop passada la tropopausa el vent és gairebé inexistent a causa de la baixíssima densitat de l'aire i de la seva temperatura, que impossibilita els corrents convectius.



# Capítol 1

# Estructura i materials

# 1. Materials utilitzats

El nombre total de materials diferents utilitzats ha estat molt eleva, ja que havien de tenir poc pes, ser relativament barats però alhora de qualitat a més de poder resistir les extremes condicions de treball a les quals havien de ser sotmesos durant el vol. La recerca de tots els materials va ser un procés que es va iniciar des del primer moment i que es va anar allargant durant gran part del projecte, ja que contínuament sorgien nous imprevistos que ens obligaven a buscar diverses solucions.

## 1.1. Aïllants tèrmics

El problema de l'aïllament va ser la nostra primera prioritat des del començament i això va comportar que fos al qui hi dediquéssim major nombre d'hores i de proves. Això és degut a que a l'atmosfera les condicions de pressió i temperatura són molt dures, arribant a temperatures prop dels -60°C i a pressions molt baixes pròximes a 0 Pa, i com és lògic això podria comportar problemes. En el tema de la pressió poca cosa es podia fer, doncs cambres amb pressió controlada són molt costoses en aquests casos, tot i que no és un problema per la majoria de components treballar en aquestes condicions. Pel que fa a la temperatura si que pot suposar un problema, alguns materials electrònics poden tenir comportaments lleugerament diferents dependent de la temperatura i a més, en la majoria d'ells no es garanteix la operabilitat per sota dels -40°C.

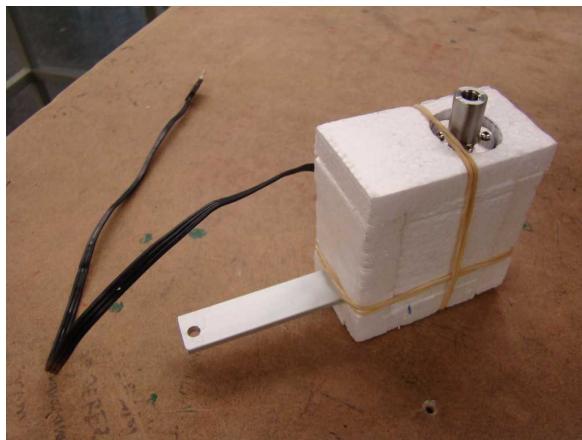
### 1.1.1. Porexpan

El porexpan va ser l'element més utilitzat per a l'aïllament general de la caixa de la sonda, això és degut a l'alt grau d'aïllament tèrmic que ens pot subministrar amb gruixos relativament petits de material, com també el seu poc pes. Cal dir que la caixa que conforma la sonda no és més que una caixa de congelats industrials, vam decantar-nos per aquesta opció ja que oferien bona estanquitat, cosa que afavoria un bon aïllament. Finalment, cal destacar el seu baix cost.

El porexpan també va ser utilitzat, entre altres elements pel recobriment de la càmera i del servomotor.



*La caixa utilitzada*



*Fotografia amb el servomotor i la càmera aïllats utilitzant diversos tipus de porexpan*

### 1.1.2. Escuma expansiva

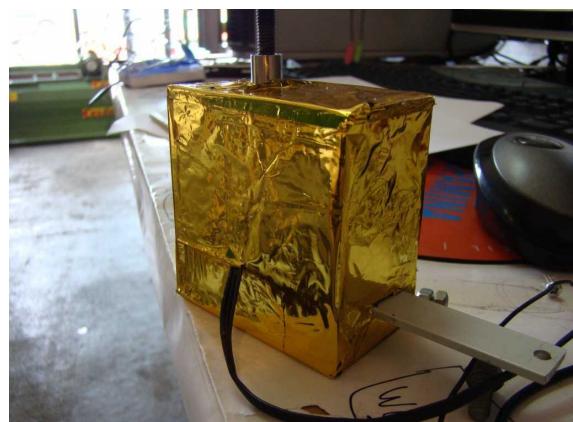
L'opció d'utilitzar escuma expansiva va sorgir del fet que necessitavem un aïllant per aquells objectes no regulars i en els quals per qüestió de disseny no es podia aïllar adequadament amb l'aplicació directa de porexpan. L'element en el qual es va utilitzar l'escuma va ser la càmera ja que com hem dit tenia formes irregulars. S'ha de reconèixer que en aquest cas, més que com a aïllant es va utilitzar per obtenir una forma rectangular que permetés fer més fàcil l'encaix a l'estructura externa i a més, oferia resistència als cops en el moment de la caiguda.



*Moment de l'aplicació de l'escuma expansiva i posterior resultat*

### 1.1.3. Manta tèrmica

La manta tèrmica és l'element aïllant més visible de la sonda, ja que era el que anava a l'exterior. És un element utilitzat en general per mantenir el calor corporal de les persones accidentades. El seu funcionament és molt senzill: Si el que ens interessa és preservar un objecte el més fred possible, posarem a la cara exterior el color platejar, ja que reflexa qualsevol font lluminosa fent que no es retengui calor a la superfície. Al contrari, si ens interessa mantenir calent o fins i tot escalfar un objecte, posant la part daurada a fora aconseguim que aquesta reculli el calor de les fonts lluminoses exteriors. En el cas de la sonda, interessava guanyar temperatura per mantenir els components electrònics a un rang de temperatures òptim, així que si es posa la part daurada a l'exterior aconseguim recollir petita part de l'energia solar. En el cas de la cambra de proves a baixes temperatures, la qual es veurà en capítols posteriors, interessava reflectir qualsevol font calorífica exterior per tal de mantenir la temperatura interna el més baixa possible.



*Exemples d'aplicació de la manta tèrmica: la caixa principal i el servomotor*

## 1.2. Estructura metàl·lica d'alumini

L'estructura metàl·lica externa a la caixa de la sonda va ser un dels primers elements en els quals es va treballar, ja que era bàsica per a la integritat de la sonda en el moment de la seva caiguda i posterior impacte contra el terra, i a més ens condicionava la disposició de tots els elements externs ja que aquests havien d'anar dins d'aquesta per estar protegits.



*Primers talls de l'estructura*

L'estructura inicial no era la de la fotografia, si no que era feta de ferro però s'oxidaven amb facilitat i pesaven massa. El material amb el que vam pensar de seguida va ser l'alumini, ja que disposa d'una capacitat d'absorció d'impactes elevada, i d'un pes baix, essencial per una sonda on el pes juga un paper molt important. Es va decidir fer servir escaires llargs que es van ajustar als cantells de la caixa i que sobresortien per un costat d'aquesta, aquests sortints van servir per tal de fixar-hi el servomotor i la càmera els quals anaven externs a la caixa per permetre a la càmera tenir diverses orientacions i obtenir així fotografies del terra i del cel. Alhora aquesta estructura forma una mena de gàbia integral que protegeix els elements de l'impacte i en dissipa l'energia d'impacte.

Les unions entre els cantells d'alumini es van fer mitjançant varilles roscades per facilitar així de collar-hi les femelles que han de donar tensió a l'estructura i fer-la resistent. Per a més seguretat les femelles van ser fixades amb una cola fixadora industrial de caragols.



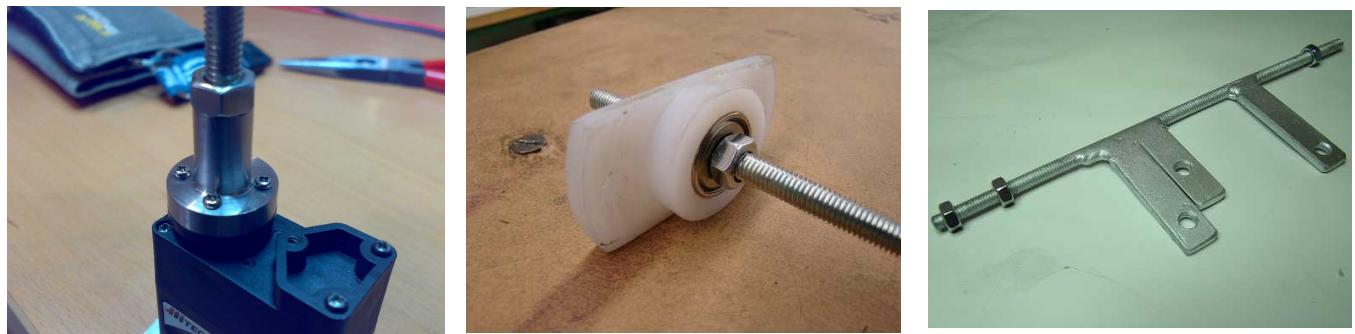
*Muntatge amb tots els elements*

## 1.3. Suport giratori

El suport giratori tot i ser un element simple, és un dels més importants del projecte ja que la seva incorporació va permetre la obtenció de fotografies en diferents angles podent així tenir fotografies del terra, de l'horitzó i l'atmosfera. Cal remarcar que la incorporació d'aquest sistema orientable va ser el fet més innovador del projecte, ja que en molts projectes semblants són amb càmera estàtica i només poden captar fotografies en horitzontal.

Els elements principals d'aquest sistema eren 3:

- **El servomotor:** Era un motor controlat pel microcontrolador i era l'encarregat fer moure el suport de la càmera. Gràcies a ell es podien obtenir girs en un rang de 180°.
- **El suport:** Unia el servomotor amb l'estructura d'alumini permetent sostenir a la càmera. Aquest suport era fet amb 3 planxes de ferro soldades a una vareta roscada, i s'unia a la càmera mitjançant un cargol i dos tensors de plàstic.
- **El coixinet:** Permetia el gir del sistema amb el mínim fregament i era el punt d'unió a l'estructura d'alumini de la caixa.



*El servomotor, el coixinet i el suport respectivament*

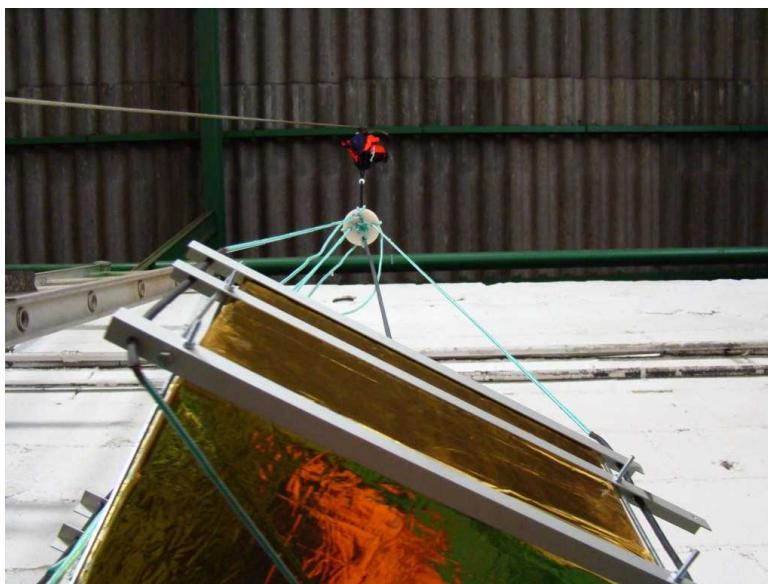
## 1.4. Sistema d'anivellament i cordes

Un cop acabada l'estructura de la caixa va sorgir una nou repte, donar la màxima estabilitat possible a la caixa per poder obtenir unes imatges el més estables i anivellades possible. Per fer-ho vam optar per un sistema simple però eficaç: una peça circular de niló que servia d'unió entre el cable que pujava cap al paracaigudes i el globus, a més dels 4 cables que subjectaven cadascun dels costats de la caixa.

Pel que fa a les cordes aquestes eren de niló trenat de 4mm per assegurar una resistència molt elevada a la tracció i al fred. A més, a les parts amb possibilitats de fregament amb elements d'alumini, les cordes es van revestir de funda retràctil per donar una capa extra de recobriment i evitar així qualsevol possibilitat d'esquinçament per fricció.



*Construcció del punt d'unió principal*



*Fent les proves d'anivellament amb les cordes i el punt d'unió*

## 1.5. Suports d'antena

La utilització d'una antena direccional és bàsic per poder rebre les dades que envia la sonda via ràdio, però l'antena per si sola no disposava de cap base on aguantar-se, per aquesta raó va ser necessari fer un suport. Primerament el vam fer fix per les proves i a posteriori un altre suport mòbil adaptat al vehicle de seguiment durant el llançament. Aquest últim va ser fet el dia abans del llançament, i permetia el gir total en vertical i horitzontal, cosa que va ser especialment útil.

Els suports van ser fets amb barres d'acer soldades entre si i pintats per prevenir el rovell.



*Els dos suports d'antena: el fix i el mòbil*

## 1.6. Paracaigudes

El paracaigudes era una altra part essencial de la sonda, ja que havia de permetre frenar-la durant el descens després de l'explosió del globus, evitant així que aquesta quedés desintegrada en impactar a alta velocitat amb el terra. Al ser un element que requeria una bona fiabilitat, es va decidir comprar-lo directament a una empresa especialitzada anomenada *The Rocket Man*, ubicada als Estats Units. Això també ens va permetre saber la velocitat de descens teòrica de la sonda i no trobar-nos amb sorpreses durant la caiguda. La següent taula mostra algunes de les característiques del paracaigudes utilitzat.

Característiques	Descripció
Fabricant	The Rocket Man
Model	Standard low-porosity 6FT
Velocitat descens (teòrica)	5,4 m/s (amb el pes de la sonda)
Material i altres	Tela rip-stop amb obertura ajustable



El paracaigudes utilitzat

## 1.7. Globus

El globus és l'element més important de la sonda, ja que aquest és l'encarregat de propulsar-la durant el seu ascens i fer-la arribar a l'altura d'explosió per sobre dels 30.000 metres d'altitud. El globus també va ser comprat a una empresa especialitzada, ja que és un element amb usos molt específics. Aquests globus són calibrats i sabent el pes que han d'aixecar podem saber l'altura d'explosió i el volum d'inflat necessaris per assolir les velocitats d'ascens desitjades. A més en el moment de l'explosió el globus es fragmenta obrint-se com els pètals d'una flor amb petites tires de làtex per evitar que aquest s'enredi o privi l'obertura del paracaigudes durant el descens. La taula següent mostra algunes de les característiques més importants del model utilitzat:



El globus utilitzat

Característiques	Descripció
Fabricant	Kaymont
Model	KCI 1500
Color / Material	Blanc / Làtex
Pes del globus	1500 g
Diàmetre de sortida	220 cm
Diàmetre explosió	944 cm
Volum d'heli a la sortida	6,5 m <sup>3</sup>

```
/* If available
 * sem->count++;
 * If not enqueue task and
 * task = sem->queue;
 * if(task){
 *     while(task->sem_queue){
 *         task = task->sem_queue;
 *     }
 *     task->sem_queue = mtkos.tasks.current;
 *     mtkos.tasks.current->sem_queue = NULL;
 *     mtkos.tasks.current->status = MTKOS_TASK_STATE_WAIT;
 *     mtkos_yield();
 * }
 * mtkos_exit_critical();
 *
 * Description: Release semaphore lock for at least current caller
 * Flags:
 * void mtkos_signal(sem_t *sem)
 * task_t *task;
 * mtkos_enter_critical();
 * task = sem->queue;
 * If there's any task in queue re-arrange the queue (yield)
 * task->sem_queue = task->sem_queue;
 * task->status = MTKOS_TASK_STATE_RUN;
 * semaphore count */

```

# Capítol 2

# Electrònica i programació

# 1. Introducció general

Com qualsevol es pot imaginar, un aparell d'aquest tipus no funciona sol sinó que al seu darrera té un complex instrumental electrònic i informàtic que governa i dirigeix totes les operacions. En el cas de la sonda aquest conjunt és força complex i no entrarem a detalls profunds sobre aquest aspecte, sinó que intentarem donar una idea general i visual per ser clars i entenedors. Tot i això, s'inclou com a annex el codi que fa funcionar la sonda per aquelles persones interessades en veure'l i potser treure'n alguna cosa.

La sonda està composta per uns elements principals, els quals interactuen entre ells gràcies al circuit on estan posats i a la sèrie d'instruccions preprogramades que tenen. Per exemple: en engegar-se la sonda el primer que es fa es inicialitzar tots els dispositius com els sensors, la càmera... i un cop acabat es posa a fer una sèrie de tasques que si no hi ha cap anomalia es repeteixen indefinidament com són la lectura de dades, el seu enviament... El següent diagrama de blocs mostra aquesta interconnexió dels elements:

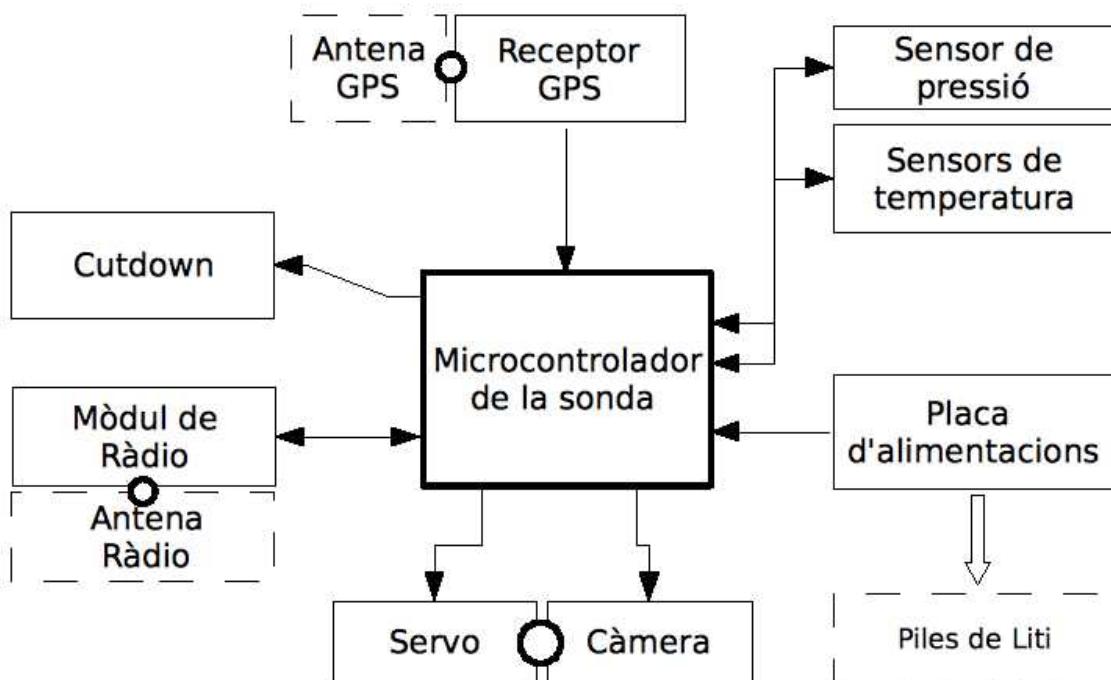


Diagrama de blocs amb els components principals de la sonda Meteotek08

Tot seguit es detallarà cadascun d'aquests components així com també una explicació entenedora del tema de programació.

# 2. Els components electrònics

## 2.1. El microcontrolador

Els microcontroladors són petits dispositius electrònics que ofereixen les tres parts essencials d'un ordinador integrades en un sol xip: processador, memòria i unitat d'entrades/sortides. A més, poden incloure altres utilitats com temporitzadors (Timers), implementació de busos com l'USART o SPI a més de moltes altres opcions que variaran en funció del camp d'aplicació del microcontrolador, el qual pot ser molt variat. Els microcontroladors són utilitzats en moltíssims llocs actualment, des dels més potents als telèfons mòbils fins

als més simples com el de la sonda Meteotek08. Tot i ser simple però, és la part essencial de la sonda Meteotek08 i es podria qualificar com el seu “cervell”. El microcontrolador és l'encarregat d'executar la sèrie de seqüències pre-programades i per tant és qui duu a terme la majoria de tasques o bé dona ordres a components secundaris perquè en realitzin d'altres.

El microcontrolador utilitzat és d'ús general i pertany a una sèrie anomenada AVR fabricada per l'empresa Atmel. Concretament és un Atmega1281, del qual tot seguit se'n mostra una fotografia i una taula de característiques.



*Fotografia del microcontrolador utilitzat per la sonda Meteotek08*

Característica	Descripció
Fabricant	Atmel
Model	Atmega1281
Arquitectura	RISC, 8-bits
Memòries	- SRAM: 8KB - Flash: 128KB - EEPROM: 4KB
E/S	54 poden funcionar com a E/S d'ús general a més de poder activar altres funcions específiques
Algunes utilitats incloses i utilitzades	- Timers de 8 i 16 bits - Canals de PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> ) (8 i 16 bits) - Controlador SPI ( <i>Serial Peripheral Interface</i> ) - Controlador USART ( <i>Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter</i> )
Programació i depuració	- JTAG ( <i>Joint Test Action Group</i> ): Facilitat per programar el xip i depurar codi, entre d'altres funcions.

## 2.2. Sensors meteorològics

### 2.2.1. Sensors de temperatura

Una de les variables meteorològiques més importants i potser la més visual o comuna és la temperatura, és per això que la sonda havia d'incloure sensors de temperatura. A més, com s'ha parlat a la introducció es produeixen variacions *curioses* de la temperatura. Un podria pensar que en allunyar-nos del terra la temperatura continua baixant de la manera que ho fa als primers moments, però quan ens trobem a l'estratosfera s'observa que torna a pujar i en altituds més amunt de les assolides per la sonda fins i tot torna a ser positiva.

L'elecció d'un sensor no va ser fàcil, ja que el rang de temperatures a mesurar era molt ampli. A més, trobar sensors que mesuressin temperatures prop dels -60°C no és fàcil i els seus preus soLEN ser elevats. El sensor triat va ser un *DS18B20*, fabricat per *Maxim-Dallas Semiconductors*. És un



*El sensor DS18B20*

sensor amb límit inferior de mesura als -55°C i amb resolució de fins a 12 bits. Com es pot observar és un rang de mesura massa just, però altres opcions tenien preus massa elevats i vam descartar-les. Curiosament però, tant en les proves de cambra de fred com en el vol hi ha registres inferiors als -55°C els quals són interpretats directament de les dades rebudes del sensor, que numèricament ho fa possible tot i que en el full d'especificacions no detalla que això pugui passar. Tot seguit es mostra una taula amb el resum de característiques.

Característica	Descripció
Fabricant	Maxim
Model	DS18B20
Rang de temperatures	-55°C a +125°C
Resolució	Selezionable: 9,10,11 i 12 bits
Precisió	$\pm 0.5^\circ\text{C}$ (des de -10°C a +85°C)

Cal remarcar que a la sonda s'inclouen dos sensors de temperatura: un a l'exterior i l'altre a l'interior. L'exterior era el principal i més important, l'altre va ser utilitzat per comprovar que la temperatura de treball de tot el sistema electrònic era òptima, i a més, ha servit per comprovar que en futures missions es poden optimitzar temes d'aïllament i selecció de bateries ja que les condicions no són tant extremes com ens havíem plantejat.

### 2.2.2. Sensor de pressió

Una de les altres variables més importants i conegudes és la pressió atmosfèrica. La pressió atmosfèrica presenta una variació també prou curiosa, ja que és de decreixement exponencial, no és lineal com un es podria pensar. Aquesta variació exponencial és deguda a la formació natural de l'atmosfera.

En el nostre cas el sensor utilitzat també va ser de tipus digital i fabricat per l'empresa *VTI Technologies* i el model és l'*SCP1000*. Cal dir que va comportar alguns conflictes amb la targeta SD ja que utilitzaven el mateix bus (SPI). Tot i que s'utilitzaven selectors per utilitzar el bus mai van minvar els problemes cosa que va fer que durant el vol es desactivés la targeta per evitar problemes que ja havíem tingut durant les fases de prova. Tot seguit es mostra una taula amb el resum de característiques.



Característica	Descripció
Fabricant	VTI Technologies
Model	SCP1000
Rang de temperatures	30kPa a 120kPa
Resolució	Fins a 17 bits

## 2.3. Receptor GPS

### 2.3.1. Una petita introducció al sistema de posicionament GPS

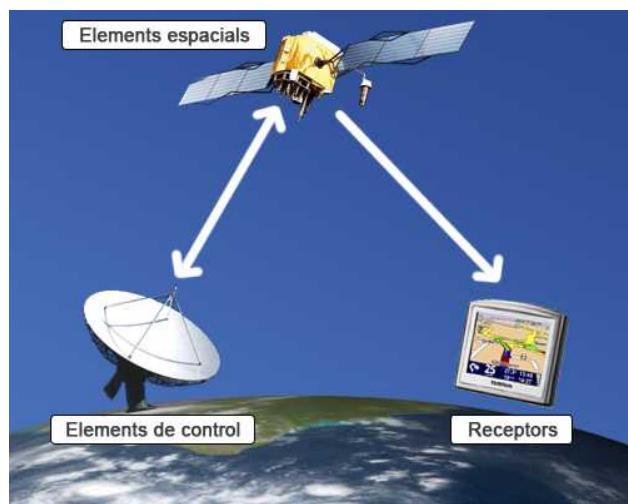
El sistema GPS (*Global Positioning System*) és un sistema que et permet saber en tot moment la teva posició sobre la Terra amb el principi base de la triangulació. La seva precisió ha millorat molt en els últims anys, i actualment s'han aconseguit crear dispositius amb precisions inferiors a pocs centímetres, tot i que els més comuns utilitzats pels ciutadans solen estar al voltant dels 3 metres.

El sistema GPS va ser desenvolupat pels EUA inicialment només per a ús militar. L'objectiu era molt clar: aconseguir un sistema que permetés determinar la posició dels soldats amb dispositius relativament econòmics i que no emetessin cap tipus d'ona de ràdio per tal de no ser interceptats per l'enemic. El GPS però, no es va dissenyar del no res sinó que té uns predecessors com són els projectes *Transit*, *Timation* i *System 621b*.

El sistema està compost per una xarxa de 24 satèl·lits i unes quantes estacions de control ubicades a la terra. Els satèl·lits estan distribuïts de tal manera que com a mínim en puguem veure 4 des de qualsevol lloc de la terra i són els encarregats d'emetre contínuament una sèrie d'ones de ràdio gràcies a les quals els receptors poden determinar la seva posició sobre la terra. Aquestes ones de ràdio tenen una estructura determinada que el receptor coneix i per tant és capaç d'interpretar. Les dades que hi podem trobar són les següents:

- Paràmetres orbitals del satèl·lit
- Informació del temps (horari) i l'estat del rellotge del satèl·lit
- Model per corregir errors del rellotge del satèl·lit
- Model per corregir els errors causats per la ionosfera i troposfera
- Informació sobre l'estat de salut del satèl·lit
- Almanac (estat dels altres satèl·lits)

Gràcies a tot aquest conjunt de dades un receptor serà capaç de determinar la seva posició sobre la terra. També cal dir que els satèl·lits inclouen 4 rellotges atòmics, uns rellotges altament precisos i molt costosos, que són necessaris per no perdre precisió.



Un esquema simple del sistema GPS: Els elements espacials (satèl·lits), els de control (estacions) i les aplicacions d'usuari com poden ser els navegadors.

### 2.3.2. El mòdul utilitzat

Actualment la tecnologia GPS s'ha estès moltíssim i té un ampli camp d'aplicacions. És per aquest motiu que existeix una àmplia banda de receptors i escollir-ne un no va ser fàcil. La majoria funcionen de manera semblant i les característiques, tamany o consum són semblants. Tot i això, hi ha un punt que és molt important: la seva altura màxima de funcionament. La majoria de receptors deixen de reportar posició a partir dels 18.000m d'altura o bé per a velocitats majors que els 515m/s degut a una sèrie de restriccions imposades als fabricants. Com podeu veure, la nostra sonda assoliria altures superiors als 30.000m i si en perdíem la posició podria haver suposat un fracàs de la missió. És per això que va costar trobar un mòdul apte pel projecte, que



Trimble Copernicus

finalment va ser el *Trimble Copernicus*, el qual activant una opció anomenada *AIR MODE* permetia el posicionament fins als 50.000m. Tot seguit es mostra una taula amb les seves característiques principals.

Característica	Descripció
Fabricant	Trimble
Model	Copernicus
Temps de <i>cold-start</i>	39s (Primera posició vàlida en engegar-se sense dades anteriors de satèl·lits)
Consum mitjà	28.5mA a 3.3V
Formats de sortida	NMEA, TSIP i TAIP

Finalment, cal fer menció de l'antena, sense la qual el mòdul no podria rebre correctament les senyals GPS. En el nostre cas es va utilitzar una antena magnètica, mostrada a la següent fotografia.



Antena GPS utilitzada

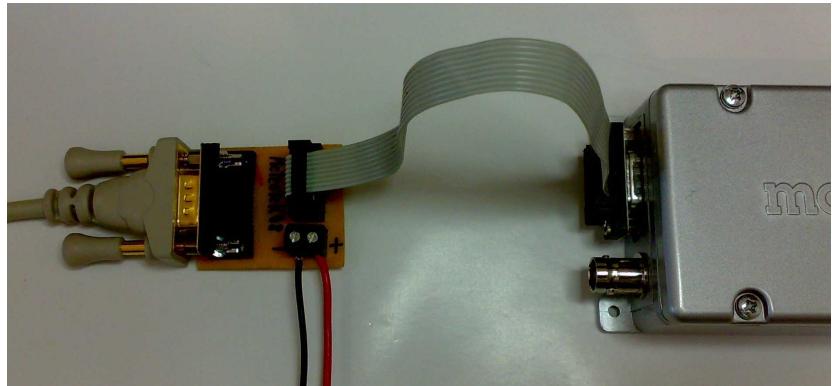
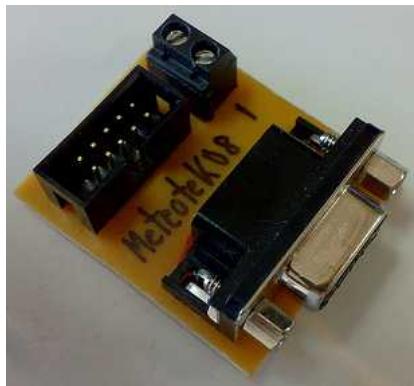
## 2.4. El radiotransmissor

S'ha de reconèixer que el tema de radiocomunicacions no era la nostra especialitat, ja que és un camp difícil de tractar en aquests moments. Per aquest motiu va ser un dels aspectes als que vam acudir a diverses persones per demanar consells com els membres del UKHAS i finalment a una botiga especialitzada. Teníem clares les nostres necessitats: un sistema per enviar/rebre dades de poc cabal a una distància màxima de 30.000m de cel a terra. A més, també sabíem les possibilitats del microcontrolador, qui seria l'encarregat d'utilitzar el mòdul de ràdio per enviar les dades corresponents.

Després d'algunes discussions, preus i opcions vam seleccionar el conjunt MAXON SD-125 amb el mòdem sèrie MAX-II. Eren uns dispositius fabricats per l'empresa MAXON, i oferien unes característiques que es mostren a la taula següent:

Característica	Descripció
Fabricant	MAXON
Model	SD-125 amb mòdem MAX-II
Potència	Configurable: 1W i 5W
Freqüències - Canals	440-470Mhz (16 Canals)
Tipus de modulació	FFSK
Interfície	RS232; baudrates: 1200, 2400, 4800 i 9600

Les antenes utilitzades van ser una direccional (yagi) per la base de recepció i una altre d'omnidireccional a la sonda. Finalment, també cal fer menció de les plaques adaptadores que es can construir per poder connectar els mòduls directament a l'ordinador a través del port sèrie comú. Es mostren fotografies de tot el conjunt a continuació.



*Placa adaptadora i muntatge del mòdul a la placa, l'alimentació i el cable d'ordinador*



*Antena direccional utilitzada a la base de recepció*

## 2.5. Sistema de fotografia

### 2.5.1. Càmera fotogràfica

Des de la introducció del treball sempre s'ha dit que una de les nostres passions era obtenir imatges de la terra, especialment a aquestes altures pel fet que pots observar la curvatura de la terra, el blau de l'atmosfera i la negror de l'espai. Per fer això ens calia una càmera fotogràfica que a més, poguéssim controlar nosaltres. Un altre aspecte a tenir en compte era la inclusió d'un estabilitzador d'imatge en el moment de fer la fotografia. Sortosament avui en dia una càmera digital convencional és molt econòmica i ofereix una qualitat prou bona. Després de llegir uns quants comentaris, ens vam decantar per la marca *Nikon*, concretament pel model *Coolpix L10*. Tenia una relació qualitat-preu molt bona. A pesar d'això, en

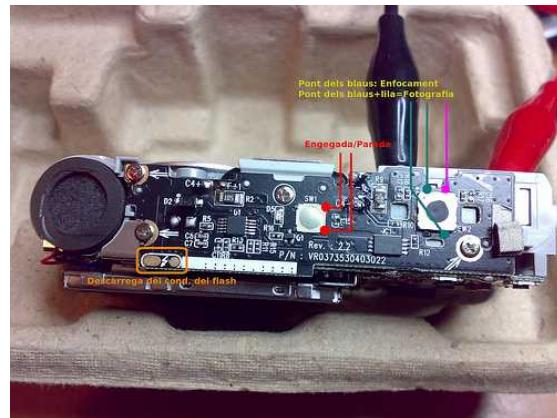


l'intent de modificació de la càmera per poder-la controlar nosaltres la vam fer malbé, cosa que ens va fer canviar a una nova càmera, la *Coolpix L15*. La nova oferia algunes característiques més que la feien millor a l'anterior.

Probablement el gran interès és com fer aquestes modificacions per poder disparar la càmera en el moment desitjat. És un mecanisme molt simple de concepció: consisteix en fer el que fas amb les mans (polsar el disparador) mitjançant un circuit electrònic.

- **Primer pas: desmuntar i identificar les tecles de fer fotografia i engegar/parar**

És un procés simple, només cal observar on estan ubicats respecte la carcassa exterior i a més, tenir clar com estan fets per dins les tecles o botons. Un cop fet es poden fer proves fent petits ponts amb cables conductors (amb certa precaució) per veure ràpidament com està tot distribuït.



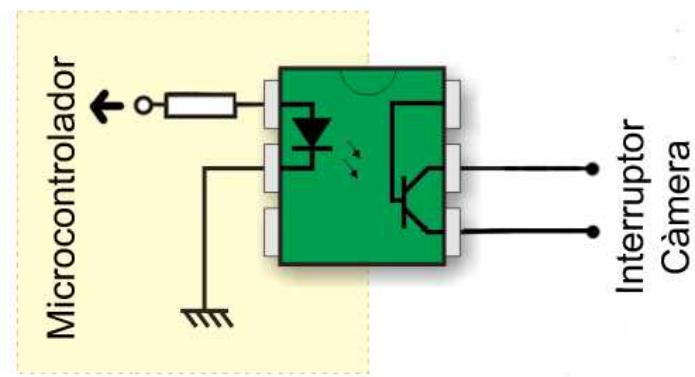
- **Segon pas: col·locar fils als punts on hi ha les tecles**

Després d'haver identificat què fa cada punt, podem procedir a soldar-hi cables que surtin a l'exterior, cosa que en permetrà un posterior control sense haver de tocar la càmera i des de l'exterior.



- **Tercer pas: utilitzar optoacopladors o transistors per fer les fotografies**

El principi d'interruptor electrònic es deu al transistor, i de fet, un optoacoplador no és més que un cas especial d'aquest. Consta de dues parts: un LED infraroig i un fototransistor, el qual s'activa en incidir a la seva base aquesta llum. Això permet fer dues coses: d'interruptor i d'aïllant. El primer és no és més complicat que el funcionament d'un transistor comú i el segon es deu al ser una activació no controlant el corrent de base (cosa que requeriria tenir la base i per tant tot el transistor al circuit on s'està aplicant) sinó que es fa incidir llum infraroja, la qual pot ser generada per un altre circuit totalment independent. Ens vam decantar per aquesta opció bàsicament per això: qualsevol problema electrònic que afectés a la càmera no intervindria en res al circuit principal de la sonda. Tot seguit es mostra un esquema conceptual del muntatge:



## 2.5.2. Servomotor

La nostra idea de poder fer fotografies va anar més enllà i el que ens vam proposar va ser poder fer fotografies en diversos angles. Vam pensar que seria bonic poder obtenir fotografies orientades al terra per veure en detall l'orografia del terreny, l'horitzó i fins i tot el cel. Per fer això teníem dues opcions: muntar un parell de càmeres o bé fer que la càmera fos mòbil. La primera era inviable, tot i que l'havíem vist en altres projectes, la segona semblava interessant ja que al disposar d'una estructura externa d'alumini, acoblar un petit motor que fes girar la càmera no seria massa complicat. Així va ser i la opció triada va ser la col·locació d'un servomotor. Un motor d'aquest tipus està compost per dues parts principals: el motor en si i el control de posició, que permet de manera fàcil posicionar el motor sense preocupar-nos del seu funcionament intern. Aquest posicionament es fa mitjançant el PWM (*Pulse Width Modulation*). Gràcies al microcontrolador, el qual integra una utilitat per generar el senyal PWM, es pot moure el servo simplement aplicant la senyal en intervals variables depenent de la posició on es vol deixar el motor (ex: 1ms – 0°, 2ms – 180°). Tot seguit es mostra una taula amb un resum de les característiques i una fotografia del servomotor utilitzat.

Característica	Descripció
Fabricant	Hitec
Model	HSR 8498HB
Força	7.4Kg/cm a 6V
Interfície	PWM i HMI



El servomotor utilitzat amb els accessoris inclosos

## 2.6. Alimentació

Perquè un dispositiu pugui ser autònom es requereix l'ús d'un sistema d'alimentació amb bateries. En el cas de la sonda un dels factors que ens feia més por eren les baixes temperatures, ja que la majoria de bateries convencionals (ex. Lithium-Ion) no garanteixen treballar per sota els -20°C i en aquell moment encara no s'havia provat l'efectivitat dels aïllants, cosa que ens feia pensar que les convencionals no anirien bé. Degut a això vam optar per un dels pocs tipus de bateries que suportaven temperatures de treball fins als -40°C, que eren les *Energizer Lithium e<sup>2</sup>*. Eren bateries en format molt comú, l'AA. Aquest format és un problema per diverses raons: donen poc voltatge per cel·la (1.7V en nou) i són molt voluminoses respecte altres bateries cosa que a més en fa créixer el pes global del sistema d'alimentació.



El sistema d'alimentació consta de 4 blocs, amb 3 d'ells referenciats allà mateix i un altre d'independent:

- **Bloc 1:** Ràdio – 12V (Sense regulador extern, inclòs al propi mòdul)
- **Bloc 2:** Servomotor – 6V (Sense regulador extern, inclòs dins el motor)
- **Bloc 3:** Principal (microcontrolador, sensors...) - 4.5V (Amb regulador de 3.3V fins a 0.8A)
- **Bloc 4:** Càmera – 4.5V (Sense regulador, inclòs dins la càmera, no referenciat al circuit general)

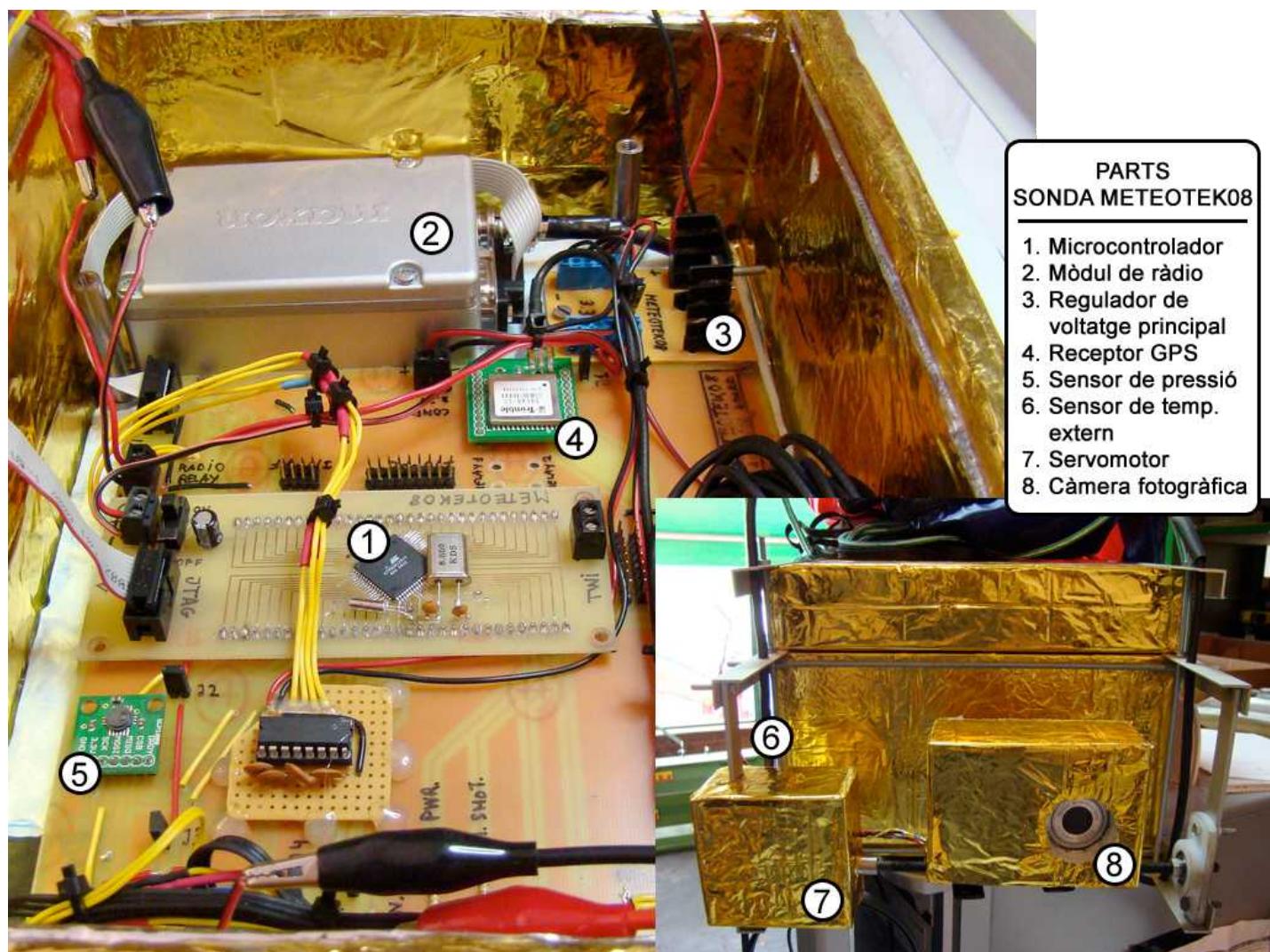
Degut al format de les piles van ser col·locades utilitzant portapiles i amb interruptors a cada bloc per facilitar la posta en marxa de tota la sonda. A continuació es pot veure la placa d'alimentacions.



Placa d'alimentacions amb els 4 blocs clarament identificats

## 3. Visió gràfica dels components

Un cop explicades totes les parts que componen la sonda creiem que és important veure com estan muntades a la sonda real, l'objecte que va volar a més de 30.000 metres. A la següent fotografia es poden observar la majoria de les parts exceptuant-ne algunes que queden amagades com els optoacopladors, el sensor intern de temperatura i les antenes. Tot i així s'han mostrat fotografies particulars d'aquestes altres parts en els apartats anteriors.



Fotografia on es mostra el muntatge intern i extern de la sonda Meteotek08

## 4. Programació del sistema

Acabada la introducció i detall de tots els components electrònics molt probablement us preguntareu com interactua tot això un cop muntat a un circuit electrònic. La clau està en la programació del microcontrolador amb les seqüències adequades per tal que tot es faci de manera ordenada i en el temps corresponent. Realment és un tema molt complex, i en el cas de la sonda inclou un petit sistema operatiu que gestiona diferents tasques. La majoria de les aportacions van ser fetes pel company Gerard Marull i en aquest capítol intentaré explicar de manera senzilla el sistema en conjunt amb alguns dels seus consells.

### 4.1. El llenguatge de programació C

Quan un es planteja programar un sistema ho ha de fer amb una sèrie d'instruccions o algun llenguatge que l'ordinador sigui capaç d'interpretar i executar, ja sigui directament o bé preprocessat. En el cas de la sonda s'ha utilitzat el llenguatge C, un dels majoritaris utilitzats en els microcontroladors. El llenguatge C va ser creat l'any 1969 per Ken Thompson i Dennis M. Ritchie als laboratoris Bell. Es considera de nivell mitjà, és a dir, no és com l'assemblador que és específic per a una única arquitectura i treballa directament amb registres i adreces de memòria però si que ofereix alguns matisos de baix nivell. És per aquest motiu que és possible

generar compilacions molt eficients i per tant és utilitzant àmpliament en la programació de sistemes amb microcontroladors on l'eficiència i rapidesa d'execució és molt apreciada. De fet, C és considerat un dels llenguatges de programació més elegants que existeix i no només s'utilitza en microcontroladors sinó que és utilitzat en moltíssims llocs, per exemple en el nucli del sistema operatiu Linux. Tot seguit es mostra un fragment d'exemple del llenguatge C.

```
/* Exemple de codi en C per a microcontroladors AVR */

/* Inclusió de les capçaleres de la llibreria */
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

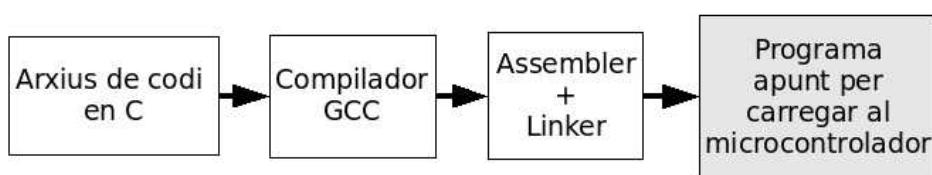
/* Funció principal */
int main(void) {

    /* Configurem el el pin PA0 com a sortida */
    DDRA|=(1<<PA0);
    PORTA|=(1<<PA0);

    /* Alternem l'estat del pin PA0 per fer una intermitència cada 1s */
    while(1) {
        PORTA&=~(1<<PA0);
        _delay_ms(1000);
        PORTA|=(1<<PA0);
        _delay_ms(1000);
    }
}
```

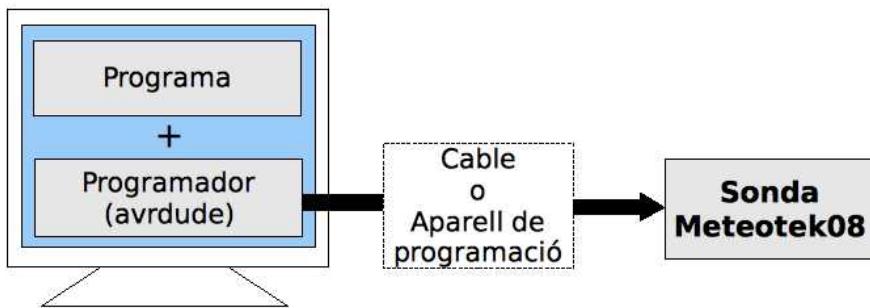
## 4.2. Programari i llibreries utilitzats

A més de la programació en si, és necessari disposar d'un conjunt d'eines per poder aplicar aquest codi escrit en C a un microcontrolador. En primer lloc una *llibreria de programació*, que inclou les funcions elementals d'E/S, funcions de tractament de cadenes, funcions matemàtiques, etc. En el nostre cas es tracta de la llibreria *avr-libc*, la qual també inclou els codis d'inicialització que són incorporats automàticament en el procés de compilació. Un cop es diposa de la llibreria, obligatòriament cal recórrer a un *compilador* que en resum el que fa es *traduir* el codi C a llenguatge màquina específic per als microcontroladors AVR amb l'ajuda de l'*assembler* i el *linker* entremig. En el projecte s'ha utilitzat el conjunt *GCC* i *binutils*.



*Esquema del procés de compilació*

Ja per acabar cal un programa per posar aquest codi compilat al microcontrolador anomenat *programador* que connectat a un aparell específic (en el nostre cas el JTAGICEmkII) permeti carregar el programa final.



*Procés de programació al microcontrolador*

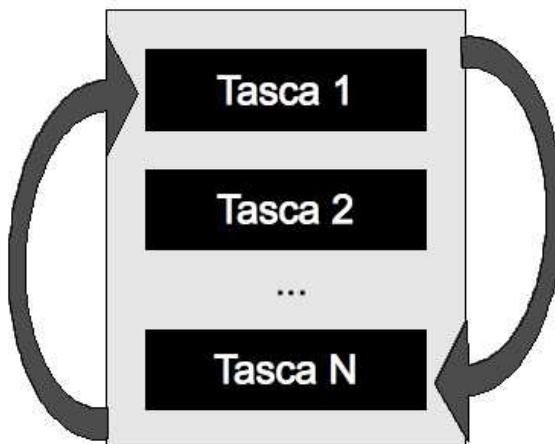
## 4.3. Estructura general del codi

En aquest treball com hem dit anteriorment pretén ser divulgatiu i no s'entraran en detalls tècnics sobre el codi que governa la sonda Meteotek08, sinó que s'explicarà de manera esquemàtica. Per aquelles persones interessades, poden obtenir el codi original accedint a l'annex adjunt corresponent al codi.

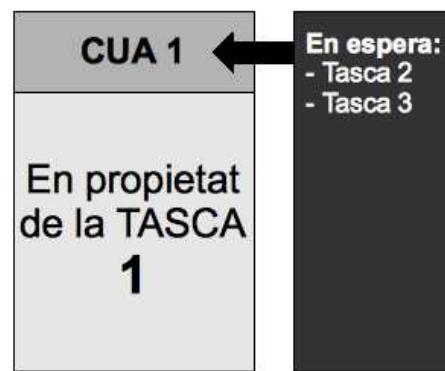
### 4.3.1. El sistema operatiu MTKOS

En una aplicació on es s'envien dades, es reben peticions, es llegeixen dades de sensors i es realitzen un munt més d'accions sol ser necessari alguna cosa que permeti gestionar la base de totes aquestes operacions d'una manera ordenada. En molts casos no és necessari i menys en entorns de microcontrolador on la memòria és molt limitada i utilitzar eines d'aquest tipus, anomenades sistemes operatius, no son viables. En el cas de la sonda però, era especialment útil pel tema de cues d'espera i per poder executar en paral·lel diverses aplicacions al *mateix temps*. Imagineu que us trobeu llegint les dades dels sensors i en aquell precís moment es rep una petició via ràdio (la qual interromp tot procés per ser processada) que demana enviar les dades dels sensors en aquell moment. En aquest cas entraríem en un conflicte ja que abans de fer la petició els sensors han quedat en una lectura intermitja i ara si ho intentéssim fer de nou fallaria, fent probablement que per a futures lectures fallés indefinidament. Aquest problema té solucions ràpides i que podrien funcionar, és cert, però si això passa en altres llocs i molt sovint cal plantejar-se buscar una solució eficaç i aplicable a tots aquests casos. Imagineu que teniu una tasca encarregada de desar les dades dels sensors contínuament a un lloc de la memòria, però que ho fa només si ningú l'està fent servir, en cas contrari s'espera que estigui lliure. En aquest cas, en rebre la petició, intentaríem també obtenir les dades d'aquest registre també esperant-nos que estés lliure (tingueu present que tot això es fa en mil·lèsimes de segon en la majoria de casos). Llavors noteu que seria un sistema que mai tindria cap conflicte com el descrit anteriorment. Això és el principi fonamental de les *cues*, també conegudes com a *semàfors*, *mutexes*, dependent del tipus i variants. En el cas de la sonda el sistema operatiu s'anomena MTKOS (*MeTeoteK Operating System*) i és molt elemental. Permet l'execució de diverses tasques en paral·lel (fa un intercanvi basat en prioritats cada cert temps gràcies a un Timer) i a més permet la creació de cues binàries (mutexes). A més, les tasques poden presentar diversos estats com per exemple el d'*execució*, que és el genèric, o el de *dormida*, que mentre no passi alguna cosa concreta (un event per exemple) no gasta temps de CPU.

## Execució alternada de tasques



## Cues d'espera



*Esquema elemental del sistema MTKOS: Les tasques corrent en paral·lel i les cues d'espera*

### 4.3.2. Els controladors de perifèrics

Un dels altres punts importants del codi són els controladors de perifèrics, és a dir, codi que controla dispositius com els sensors, la càmera... Aquests fragments o mòduls inclouen funcions que permeten realitzar accions amb els perifèrics, des d'inicialitzar-los fins a llegir dades. Això permet que des de diverses parts del codi es pugui interaccionar de manera molt còmode. Tot seguit es mostren els controladors existents en el codi de la sonda i la seva funció.

Nom del mòdul del controlador	Funció i detalls
Camera	Funcions per egnegar/parar càmera, disparar fotografies i a més, controlar el servo
Pressure	Control del sensor de pressió (inicialització i obtenció de dades)
Temperature	Control dels sensors de temperatura (inicialització i obtenció de dades)
Radio	Control de la ràdio (enviament de dades i recepció en buffer)
GPS	Control del GPS (inicialització i recepció en buffer)

### 4.3.3. Les tasques de control

Finalment, un cop es disposa d'un sistema operatiu que permet administrar d'una manera coherent les accions i una sèrie de controladors que permeten interaccionar amb els perifèrics només calen les tasques que realitzin alguna cosa, com per exemple una que envii dades via ràdio de posició per tal que la puguem anar seguint. Gràcies al MTKOS això és un procés molt més simple tot i que cal decidir quines són les necessitats de la sonda, què és el que ha de fer i com ho ha de fer. Molt sovint no és fàcil i no tot surt a la primera, ja que en el procés de programació sempre hi ha algun error i apareixen conflictes entre tasques.

En un resum les tasques existents a la sonda Meteotek08 que van ser operatives durant el vol són les descrites a continuació.

Tasca	Descripció i detalls
Funció <i>main</i>	No és ben bé una tasca, sinó que és el primer fragment de codi que s'executa i la seva funció és posar apunt el sistema operatiu MTKOS a més de crear les tasques i cues que posteriorment s'utilitzaran
<i>task_meteotek_init</i>	Tasca d'inicialització general. La seva funció és esperar que la resta de tasques iniciïn tots els perifèrics i es posin apunt. Fet això, envia una notificació amb un codi per identificar qualsevol anomalia i permet posar el sistema en pausa abans del llançament, en cas contrari passa automàticament al mode de vol, on tot fa el procés habitual. Un cop s'ha completat tot el procés aquesta tasca es para i no s'executa mai més. Un exemple del que es rep via ràdio a la realitat:  -- Meteotek -- Incialitzant tasques.... Incialitzacio finalitzada. Indicador d'estat: 000F Envieu la comanda de bloqueig per parar l'execucio
<i>task_camera_manager</i>	Tasca de control de la càmera. S'encarrega de fer les fotografies contínuament (amb un interval totalment ajustable) i de girar el servo quan s'ha fet un cert nombre de fotografies en un angle (també ajustable). En general la tasca està <i>adormida</i> entre fotografia i fotografia i es <i>desperta</i> en el moment de fer la fotografia o canviar de posició el servo.
<i>task_data_manager</i>	Tasca encarregada d'actualitzar contínuament les variables de l'entorn: posició, altura, sensors... Aquesta tasca sempre es troba activa i la seva missió és agafar qualsevol dada existent en el buffer del GPS. En cas de trobar un missatge complet l'interpreta i en el mateix moment llegeix els sensors per garantir que les dades atmosfèriques són aproximadament d'aquell moment.
<i>task_notifier</i>	És una tasca molt simple i l'únic que fa es enviar les dades ubicades al registre de dades generals via ràdio cada cert temps (també configurable). En general es troba <i>adormida</i> i es <i>desperta</i> quan s'ha d'enviar el missatge. Un exemple del missatge enviat on s'observen les dades d'entorn (posició, altura, pressió...):  \$MTKG,41 42.94737 N,000 13.75238 W,15235,049.4,085815,10,V, 11760,-48.5000,-12.0625,124*58
<i>task_petition_manager</i>	Aquesta tasca té una semblança a la <i>task_data_manager</i> ja que contínuament comprova el buffer de recepció de dades via ràdio i en cas de completar-se una petició l'interpreta, la processa i envia una resposta si s'ha processat correctament (a vegades més d'una, dependent del cas). Un exemple de petició és la del cutdown, enviada des del terra i que un cop processada per la sonda activaria el cutdown fent que la corda es tallés.  \$MTK,C*
<i>task_idle</i>	Tasca que s'executa quan no hi ha res més apunt per ser executat (no fa res)



# Capítol 3

# Fases de proves

# 1. La necessitat de dur a terme proves

En un projecte amb part pràctica, com és el cas, és necessari dur a terme un gran nombre de proves que intentin simular al màxim possible les condicions de treball reals del disseny realitzat. En el cas de la sonda Meteotek08, hi havia 3 blocs clars: les condicions de treball a baixa temperatura, la recepció de dades via ràdio i l'estabilitat del conjunt muntat. En el projecte es va intentar abordar aquests 3 blocs de la millor manera possible, primerament amb els components provats a la cambra de proves amb gel sec, la recepció de dades fent viatges amb cotxe i l'estabilitat del conjunt fent un vol captiu.

## 2. Proves a baixa temperatura

### 2.1. Per què proves a baixa temperatura?

La necessitat de dur a terme proves de baixa temperatura va venir motivada pel fet que durant el vol els components electrònics i materials de la sonda havien de resistir condicions de temperatura molt desfavorables podent assolir els -60°C en alguns moments, i per tant això implicava que components essencials com el servomotor, el microcontrolador, el filament de nicrom del cutdown o les cordes podrien resultar malmesos o alterant les seves propietats, portant la missió al fracàs.

Dur a terme proves a temperatures tant baixes no era fàcil ja que ni els millors congeladors industrials ens servien. A causa d'això l'única solució viable era fabricar nosaltres mateixos una *cambra de proves* amb plaques porexpan d'alta densitat juntament amb un circuit d'aire tancat i col·locar gel sec (CO<sub>2</sub> sòlid) al seu interior.

### 2.2. Construcció de la cambra de fred

Després d'algunes setmanes de discussió sobre el procés a seguir, es va decidir que primer de tot es construiria una cambra de proves a baixa temperatura per poder provar els components en condicions extremes. La cambra consistia en una caixa feta de material aïllant recoberta amb manta tèrmica i amb una sèrie de petits ventiladors per generar un circuit d'aire tancat. Introduint gel sec (CO<sub>2</sub> sòlid) a l'interior de la caixa s'aconseguirien temperatures per sota els -60°C

La construcció de la cambra de fred es va fer utilitzant planxes de porexpan d'alta densitat per assegurar un bon aïllament tèrmic. Aquestes planxes es van unir entre elles mitjançant silicona calenta i un cop finalitzada a unió de totes les parts es van sellar les juntes amb silicona freda (de color blanc).



Procés de construcció de la caixa amb porexpan d'alta densitat i el resultat al costat

Acabada l'estructura general es va procedir a aïllar interior i exteriorment la cambra amb manta tèrmica, la qual s'ha explicat en capítols anteriors. Aquesta es va encolar al porexpan amb cola blanca i se'n van fer dues capes per assegurar l'aïllament.



*Encolant la manta tèrmica i el resultat al costat*

Un cop acabada de sellar, es va fer la instal·lació dels 4 ventiladors d'ordinador per tal de crear un corrent d'aire fred a l'interior de la caixa que permetés homogeneïtzar la temperatura.



*Els 4 ventiladors instal·lats a l'interior de la cambra de proves*

Finalment es va construir una “gàbia” d'acer per contenir els gel sec al seu interior i evitar que quedés escampat per l'interior de la cambra en el moment de fer les proves.



*La gàbia metàl·lica i la cambra totalment acabada*

## 2.3. Gel sec

El gel sec o neu carbònica és CO<sub>2</sub> en estat sòlid i a -78°C. Rep aquest nom a causa que té l'aspecte de gel o neu, però quan s'evapora no passa per l'estat líquid i per tant no deixa residu moll, ja que es sublima directament passant de sòlid a gas, és per això que a les fotografies podreu observar una espècie de *boira blanca*. Cal remarcar que al ser un material a tant baixa temperatura s'ha de tenir especial cura en la seva manipulació, ja que podria provocar cremades a la pell.



*El moment de la manipulació del gel sec*

El gel es va encarregar a l'empresa navarresa *Mainorte* que ens el va subministrat en forma de pèlets i amb menys de 24 hores. En total es van utilitzar 10Kg de gel en les quatre proves de baixa temperatura que es van realitzar.



## 2.4. Proves realitzades a baixa temperatura

En total es van dur a terme fins a quatre proves per provar la resistència de diferents components de la sonda, tant els electrònics com els materials. Tot seguit s'explicarà cadascun d'ells juntament amb les seves fotografies.

### 2.4.1. Proves de materials: cordes, alumini i aïllants

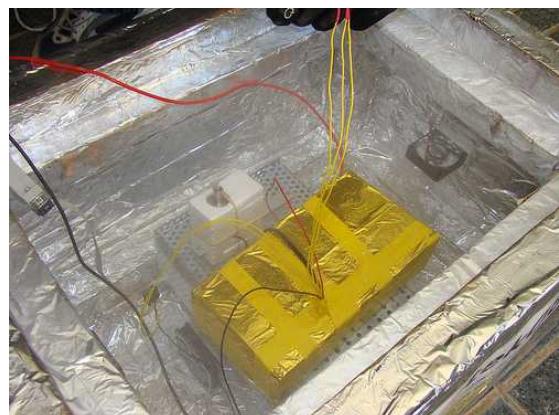
Les primeres proves que es van fer amb el gel sec va ser les de materials. Primerament es tenien 3 fils de niló trenat amb una tensió aplicada (aproximadament la del pes de la sonda) per comprovar si resistien correctament la baixa temperatura, el que es volia observar era si el material no quedava en mal estat, engrunat o presentés algun altre problema. Tot seguit es va muntar una petita estructura d'alumini amb porexpan recobert de manta tèrmica per comprovar dues coses, la primera era la resistència de l'aïllant amb manta a baixa temperatura i la segona era comprovar que les contraccions de l'estructura no podien afectar a la caixa. La prova va ser un èxit i tots els materials van aguantar de forma correcta sense patir el mínim nombre de desperfectes pel fred.



*Introducció del gel sec i de les cordes després d'haver passat la prova de fred*

#### **2.4.2. Prova de components electrònics bàsics**

La segona prova es va fer per tal de comprovar la reacció d'alguns components electrònics bàsics que utilitzava la sonda: el servo i els sensors de temperatura. A fora de la caixa hi anava un dels sensors de temperatura i el servo amb el seu aïllament. La prova es va realitzar amb èxit tot i que la temperatura a dins de la caixa de porexpan va baixar força més del que haguéssim volgut. D'altra banda això va permetre comprovar que les piles i tots els components elegits aguantaven bé les baixes temperatures. A més, amb el sensor de temperatura exterior vam corroborar l'efectivitat de la cambra de proves ja que a dins la temperatura es mantenia estable durant molta estona sense pràcticament influències de la calor exterior.



*La caixa petita per provar els components i el servomotor al costat*

Malauradament en aquestes proves no vam poder provar la càmera fotogràfica ja que encara no disposàvem d'ella, tot i això en el llançament final no va tenir cap problema.

#### **2.4.3. Prova del cut-down**

La tercera prova es va fer per comprovar si els sistema de *cutdown* amb fil de nicrom funcionava a baixa temperatura. De fet, el principal interès era veure que el fil es posava incandescent i tallava la corda tot i estar a baixes temperatures. Per fer la prova es va utilitzar un fil de niló trenat de la primera prova al qual se li va enrotllar un fil de nicrom de  $2-3\Omega$  de resistència en el qual es connectava un grup de piles de liti donant un voltatge de 6V. Amb això aconseguíem que el fil es posés incandescent amb pocs segons i talles el fil de niló tot fonent-lo. El sistema va funcionar correctament i va tallar el fil de niló com un ganivet.



*La corda després d'haver-se tallat*

#### 2.4.4. Prova final de ràdio, GPS i aïllament de la caixa de la sonda

Finalment en el segon dia de proves es va provar la ràdio, el GPS i el microcontrolador principal a baixes temperatures. Per fer-ho es van introduir els elements descrits dins la caixa de porexpan real, la utilitzada durant el vol. El primer que ens va sobtar va ser que es va necessitar prop d'una hora per aconseguir que la temperatura dins de la caixa on hi havia els components passés a ser negativa. L'experiment va durar prop de 2 hores per assegurar l'aïllament durant tot el vol. Tots els components van funcionar correctament i la recepció de dades va ser continuada i sense complicacions.



*La caixa real dins la cambra de proves i el muntatge fet al garatge*

## 3. Proves de ràdio

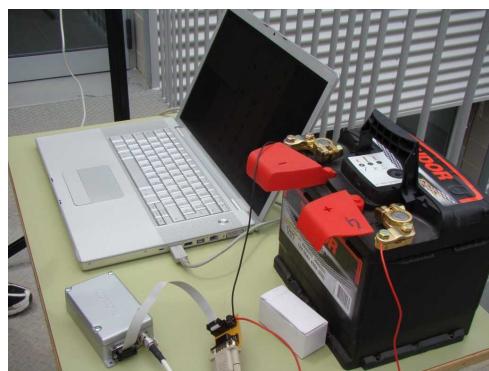
### 3.1. Per què proves de ràdio?

Les proves de ràdio potser es podrien haver obviat si confiàvem en que la ràdio que vam comprar no tindria cap problema, però la veritat és que poder veure com es reben o envien dades reals a una certa distància dona confiança i a més, pots veure com els sensors recullen dades reals del lloc on està la sonda: pots veure els punts que marca el GPS, l'altitud on es troba, la variació de pressió en pujar una muntanya, etc. La sonda en un principi estava programada per funcionar de manera autònoma, és a dir, ella sola recollia i enviava dades cada cert temps fent que la nostra única feina fos fer un seguiment i un ànalisi immediat de les dades, evitant haver de tenir una persona pendent del seu control. Tot i això, la sonda podia rebre algunes ordres des del terra, com per exemple el tall de la corda mitjançant el cutdown, parar certs dispositius, reiniciar tot el sistema, etc. És per totes aquestes coses que vam decidir fer algunes proves que es detallaran tot seguit.

En total es van realitzar 4 proves de ràdio durant el desenvolupament de la sonda per anar analitzant com reaccionaven les evolucions i millores que s'hi anaven introduint.

### 3.2. Prova de recepció

La primera prova de ràdio es va fer el dia 28 de maig del 2008, i es va tractar d'una prova a curta distància i a no més de 4 km de l'estació de recepció. L'estació de recepció estava ubicada a l'institut i constava d'un dels mòduls de ràdio connectat a l'antena direccional i a un portàtil, tot amb bateries. La seva única missió era rebre dades. Pel que fa a l'emissor el vam muntar al meu cotxe, gràcies al qual vam poder alimentar la ràdio mitjançant el connector de 12V del mateix cotxe. En aquest cas un microcontrolador era l'encarregat d'enviar contínuament el text "meteotek08", a través de l'altre mòdul de ràdio.



*L'estació de recepció amb el portàtil i el mòdul de ràdio*

Els llocs clau per on vam passar i aturar van ser els següents:

- Punts prop de Castell d'Empordà
- L'ermita de l'Esperança (Cruïlles)
- Població de Monells
- Població de Corçà

La màxima distància de separació entre l'emissor i el receptor va ser de 4,04 km. Tots els punts van tenir una comunicació satisfactòria (mentre ens dirigíem als llocs hi havia algunes pèrdues, probablement perquè l'antena de la base no estava encara ben orientada o bé perquè vam passar per punts enfonsats i amb *mala visibilitat*).



*Mapa de la situació de la base de recepció i els diferents punts de parada.*

### 3.3. Prova global de recepció

Les proves van consistir en col·locar la sonda a un cotxe que es movia de forma continuada (simulant d'alguna manera el moviment en vol) i en rebre les dades enviades per aquesta des del cotxe a una base de recepció. Els integrants que estaven a la base de recepció no veien mai el cotxe, però sabien en tot moment on era gràcies a les dades que es rebien del GPS de la sonda (exceptuant alguns moments on no es rebien dades per culpa de l'orografia del terreny). La sonda a més d'enviar posició també enviava temperatures (interior i exterior), pressió, hora i altura, entre altres dades secundàries com el nombre de fotografies tirades per la càmera, posició del servo, etc. Cal afegir també que en aquestes proves ja teníem bidireccionalitat i per tant ens podíem comunicar amb la sonda i enviar-li peticions des de la base de recepció.



*Alguns dels membres col·laborant el dia de les proves fetes a l'estiu controlant des de l'estació de recepció*

El recorregut escollit per dur a terme les proves va ser la carretera que va del poble de Corçà fins al Santuari dels Àngels, ubicat al massís de les Gavarres.

Es van fer parades al llarg del recorregut a:

- Poble de Corçà
- Poble de Monells
- Veïnat de Millàs
- Poble de Madremanya
- Santuari dels Àngels
- Camí situat al darrere del Santuari dels Àngels

La distància màxima des de la base de recepció al cotxe que portava la sonda en el seu interior va ser de 9.88km en línia recta.

Les proves es van fer a finals de juliol (abans dels problemes amb el mòdul de ràdio) i es van repetir a principis de febrer de 2009 un cop arreglada la ràdio per comprovar que amb tot aquest temps de parada, els components seguissin funcionant correctament, a més de provar les últimes millors introduïdes.

El següent mapa, corresponent a les proves fetes a l'estiu, mostra el recorregut dut a terme pel cotxe amb la posició de la base de recepció i les diverses parades durant el trajecte. Els punts de parada verds signifiquen que la recepció era correcta, i en els vermellos, no es rebien dades.



### 3.4. Proves d'enlairament controlat

Aquestes proves es van fer el 22 de febrer, 6 dies abans del llançament, i les vam creure necessàries per comprovar l'estabilitat de la sonda un cop muntada al globus, així com per fer-nos una breu il·lusió de com seria el dia del llançament.

Per dur a terme la prova, es van utilitzar dos globus d'heli petits, els quals van ser subministrats pel SMC (Servei Meteorològic de Catalunya), i bombones d'heli per inflar els globus a més de material secundari com cordes i eines pel muntatge. Cal remarcar, però que el vol es va fer de forma captiva, és a dir, la sonda estava lligada amb una corda per evitar que sortís volant. Tot i això, la sonda funcionava amb bateries. El vol va durar prop de 1 hora a una altura aproximada de 40 metres respecte el terra. Durant tot aquest temps la sonda va funcionar de forma autònoma com si estigués en el vol definitiu, ja que anava enviant dades de tots els seus sensors a terra mitjançant la comunicació radio, i a més anava enregistrant fotografies del seu entorn amb la càmera, la qual s'anava orientant en les 3 posicions: terra, horitzó i cel.



*Preparació del muntatge: inflant el globus i lligant les cordes*

La prova va ser tot un èxit i ens va donar unes fortes esperances d'èxit de cares al llançament, que s'havia de

produir només 6 dies després. Definitivament, s'acostava el dia que tant havíem esperat!



*La sonda enlairada*



*Fotografies fetes per la pròpia sonda: La plana de l'Empordà i el poble de Corçà*



# Capítol 4

# Preparació del llançament

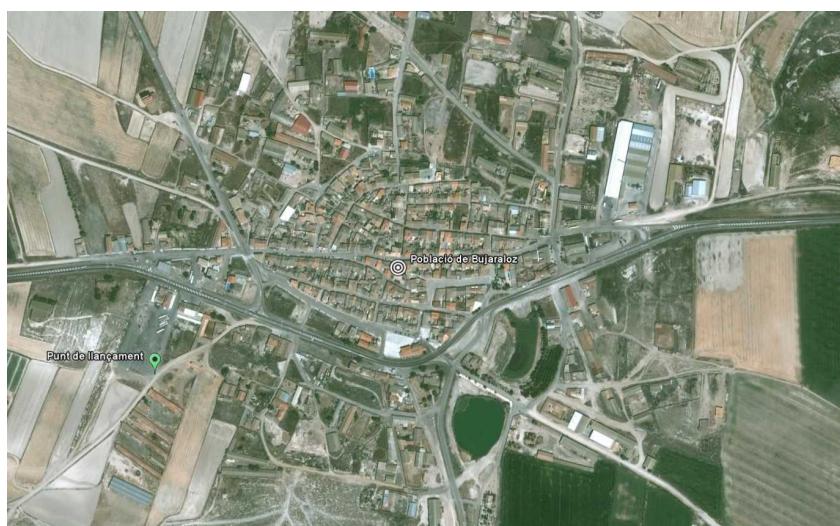
## 1. Un procés llarg i delicat

La planificació de tot el llançament ha estat un dels processos de la sonda que ha calgut estudiar més bé, ja que elegir una bona ubicació i un dia amb bones condicions meteorològiques era crucial per l'èxit de la missió. A més del problema d'elegir un punt de llançament, també calia demanar els permisos corresponents a AENA, i per tant estàvem supeditats a les seves restriccions de zona i horaris. Per altra banda s'havia de tenir en compte com hauria de ser l'expedició del llançament i fer una extensa llista de material per no deixar-nos cap mena de component o eina per molt insignificant que pogués semblar.

## 2. Elecció del lloc de llançament

Des dels inicis del projecte havíem estat pensant diferents ubicacions pel llançament. En un primer moment havíem pensat de llançar-la prop de casa i a una distància relativament propera al mar, com la plana de l'Empordà, però quan vam tenir accés als programes de simulacions (els quals descriurem més endavant) vam veure que era del tot impossible realitzar un llançament a tanta altura sense que la sonda acabés al mar, ja que la circulació natural dels vents té tendència a dirigir-la cap al mar on la recuperació seria del tot impossible. Veient que una ubicació prop de casa no era viable vam pensar en la plana de Lleida i durant diversos dies es van anar fent simulacions. Finalment es va desestimar tal possibilitat ja que si bé la majoria de vegades no ens queia al mar podia caure amb facilitat en zones densament poblades de l'àrea metropolitana de Barcelona. Finalment i com a última opció, es va decidir buscar àrees més allunyades i es va estendre la recerca fora de Catalunya. Després de diverses deliberacions i dies d'estudi es va optar per fer el llançament a la comarca dels Monegros, a l'Aragó, ja que és una de les zones amb menys densitat de població de tot el país on hi ha grans extensions de terreny àrid sense vegetació on la recuperació un cop hagués aterrat la sonda podia ser més fàcil. L'únic inconvenient que presentava aquesta àrea eren les comunicacions per moure'nos per la zona durant el seguiment, ja que les carreteres no hi abunden, la majoria son secundàries i sovint en mal estat.

Un cop acotada la zona calia decidir el punt de llançament exacte, ja que en els permisos d'AENA (els quals també es descriuràn en detall més endavant) obligaven a donar una ubicació exacta. Després d'analitzar els diversos pobles de la zona, vam decantar-nos pel poble de Bujaraloz, ja que és un dels pobles més ben comunicats de la zona al situar-se al costat de l'autopista, i per tant era de ràpid accés. Com a punt exacte de llançament es va optar per un pàrquing de camions ja que es necessitava un lloc ampli i sense entebancs als voltants. Cal remarcar que la cerca del lloc de llançament es va fer íntegrament a través del programa Google Earth i en cap cas ens vam desplaçar allà fins el dia del llançament.



*Fotografia aèria de la població de Bujaraloz amb el punt de llançament*

### 3. Programes de simulació i Google Earth

Com ja hem dit abans els programes de simulació són essencials per dur a terme el llançament, ja que sense ells no es pot analitzar de manera ràpida i fiable la direcció dels vents a les diferents altures, i no es pot acotar una zona de llançament. Tot seguit es procedirà a fer una breu introducció als simuladors d'aquest tipus.

#### 3.1. Què és un programa de simulació?

Un programa de simulació no és res més que un programa informàtic que utilitzant dades d'algún model intenta predir la reacció futura d'un esdeveniment. En el nostre cas a partir de atmosfèriques presents i indicant nosaltres un seguit de dades com la ubicació, dia, hora i velocitats d'ascens i descens previstes, ens dóna un ànalisi d'un llançament. El simulador és capaç de traçar el recorregut en un format anomenat KML que permet visualitzar posteriorment la trajectòria 3D teòrica que tindria un globus sonda si es llancés aquell dia a aquella hora i lloc. A més, permet obtenir les dades en format numèric que també poden ser útils.

#### 3.2. Programes utilitzats

Aquests programes per mostrar els recorreguts en 3D es basen en el programa Google Earth, ja que a partir d'un conjunt de dades numèriques (posició bàsicament) ben organitzades permet de manera molt simple obtenir resultats excel·lents.

##### 3.2.1. Programes de simulació

El programa que vam utilitzar nosaltres es troba de forma lliure a internet i ha estat desenvolupat per la *Universitat de Wyoming* als Estats Units. Aquest programa a més de donar-nos el recorregut en 3D ens podia donar totes les dades atmosfèriques teòriques per a diverses altituds, coneixent així temperatures i direccions del vent previstes. A la xarxa es poden trobar altres programes similars però la majoria d'ells només tenen dades dels Estats Units o del Regne Unit, que són els llocs on es desenvolupen més projectes d'aquest tipus.

##### 6 hour balloon trajectory forecast valid 12Z 04 May 2009

###### Initial Position

40.50 degrees north, 0.16 degrees west, 823 meters.

###### 60,000 feet - Ascent

40.25 degrees north, 0.12 degrees east, 18288 meters.  
19.5 nautical miles, 139 degrees true from the initial position.

###### Burst Point

40.25 degrees north, 0.28 degrees east, 30000 meters.  
24.9 nautical miles, 126 degrees true from the initial position.

###### Impact

40.10 degrees north, 0.45 degrees east, 823 meters.  
36.7 nautical miles, 130 degrees true from the initial position.

Time	Lat	Lon	Height m	DME	VOR	U m/s	V m/s	W m/s	P hPa	T C	RH %
00:00:00	40.496	-0.158	823	0.0	0	-0.5	-1.4	4.5	928	24	27
00:00:05	40.496	-0.158	849	0.0	186	0.1	-2.0	4.5	925	17	47
00:00:57	40.495	-0.158	1082	0.1	173	0.5	-2.1	4.5	900	15	50
00:02:45	40.493	-0.157	1562	0.2	161	1.5	-2.4	4.5	850	11	62
00:04:37	40.490	-0.154	2064	0.4	150	2.8	-2.4	4.4	800	6	78
00:06:36	40.488	-0.149	2589	0.7	138	4.5	-2.2	4.4	750	2	90
00:08:41	40.484	-0.142	3141	1.0	132	5.2	-4.0	4.4	700	-2	80
00:10:53	40.478	-0.134	3728	1.5	134	4.5	-6.2	4.4	650	-5	57
00:13:15	40.469	-0.127	4353	2.1	138	4.0	-8.0	4.4	600	-8	23
00:15:46	40.458	-0.119	5023	2.9	142	4.8	-8.0	4.4	550	-12	19
00:18:29	40.447	-0.111	5743	3.6	144	3.7	-7.4	4.4	500	-18	25
00:21:24	40.435	-0.105	6521	4.4	147	1.7	-7.6	4.5	450	-24	34
00:24:34	40.421	-0.104	7368	5.1	151	0.1	-8.6	4.5	400	-31	38

Resultat del simulador en format numèric

### 3.2.2. Google Earth

El programa Google Earth ha estat un dels millors aliats durant tot el projecte ja que gràcies a la seva facilitat d'ús i excel·lent topografia ens permetia en tot moment saber com era la zona on miràvem podent saber la vegetació, orografia, cursos fluvials, mapes de carreteres i comunicacions, amb un llarg etcètera, a més de poder treballar directament sobre el terreny fent càlculs de distàncies i recorreguts en 3D. El programa ha estat utilitzat per l'elecció del punt de llançament, el seguiment de les simulacions, de les condicions meteorològiques, i fins i tot fer el seguiment de posició durant el vol.



*El programa Google Earth mostrant simulacions de diversos dies sobreposades*

## 4. Permisos d'AENA

Per dur a terme qualsevol activitat a l'espai aeri s'ha de demanar una sèrie de permisos que hauran de ser gestionats per AENA, ja que és l'organisme que en té les competències.

El tema dels permisos ens havia preocupat des d'un primer moment, ja que les úniques referències que en teníem eren de companys del Regne Unit que ens havien informat que s'havien de demanar permisos a les autoritats del control aeri, però com és lògic això funciona diferent a cada país. El problema que ens podíem trobar aquí a Espanya era que els projectes d'aquest tipus no son gaire usuals (si no tenim en compte els dels respectius serveis de meteorologia que tenen permisos especials) i ens podríem trobar amb la possibilitat que ens deneguessin el llançament. Nosaltres, però, ens vam posar en contacte amb AENA a principis del mes de gener del present any, ja que preveiem unes tramitacions llargues. En menys d'una setmana ens van remetre via correu electrònic una sèrie de formularis que vam haver de complimentar degudament amb dades com el tipus d'activitat, ubicació, motiu, radi d'accio, etc. Sortosament el formulari semblava contemplar els sondejos meteorològics. Tot seguit es mostra una imatge amb l'aspecte del formulari.



 <b>Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea</b>	 <b>MINISTERIO DE FOMENTO</b>
<b>SOLICITUD DE ACTIVIDAD AÉREA CIVIL RELATIVA A OTROS USOS DEL ESPACIO AÉREO</b>	
<b>REF. (Compaña):</b> ..... <b>FECHA:</b> ..... <b>REF. AENA (Si es repetición):</b> .....	
<b>1. Naturaleza de la actividad:</b> <input type="checkbox"/> Láser / Focos. <input type="checkbox"/> Fuegos Artificiales. <input type="checkbox"/> Actividades Glaciar. <input type="checkbox"/> Sondeos Meteorológicos. <input type="checkbox"/> Reserva Espacio Aéreo por Acontecimiento Público. Giro fotográfico: <input type="checkbox"/> Publicidad. <input type="checkbox"/> Periodística. <input type="checkbox"/> Fotografía.  <input type="checkbox"/> Otros: .....	
<b>2. Organizador:</b> Dirección: ..... Teléfono: ..... <b>Móvil:</b> ..... Fax: ..... <b>e-mail:</b> .....	
<b>3. Representante autorizado:</b> Dirección: ..... Teléfono: ..... <b>Móvil:</b> ..... Fax: ..... <b>e-mail:</b> .....	
<b>4. Declaración de autorización:</b> <small>Por la presente designo y autorizo a _____ a que realice las acciones necesarias para el cumplimiento de este formulario de solicitud de permiso, y coordinar de la actividad serviciosa e inspección, poniendo al autorizado, la información suplementaria necesaria.</small> Firma del organizador  Lugar y Fecha: .....	
<b>A. Fechas de la actividad:</b> Fechas: ..... Horarios: ..... (indicar si es hora local o UTC) Duración (Expresado en Horas / Minutos): .....	
<b>B. Zona de trabajo de la actividad:</b> <b>Provincia, Municipio:</b> ..... Sistema de Referencia: <input type="checkbox"/> ED-50 <input type="checkbox"/> WGS-84  <b>D. A. Circulo, Origen:</b> Coordenadas geográficas: Latitud: .....° .....' ....." Longitud: .....° .....' ....." Km / Nm: ..... <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> E  <b>D. B. Polígono / Trayectoria:</b> Listado de Coordenadas geográficas de los puntos que lo definen: Latitud: .....° .....' ....." Longitud: .....° .....' ....."  <b>C. Fuegos Artificiales:</b> Latitud: .....° .....' ....." Longitud: .....° .....' ....." Altura / Altura sobre terreno: ..... m. <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> E  <b>D. Láser / Foco:</b> Coordenadas geográficas: Latitud: .....° .....' ....." Longitud: .....° .....' ....." Altura Máxima: ..... m. Km / Nm: ..... <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> E Barido horizontal del haz (Entre 0º y 360º): ..... ° = ..... ° Barido vertical del haz (Entre la horizontal 0º y 90º): ..... ° = ..... °  <b>E. Otras datos:</b> <small>Se adjuntará mapa de la zona afectada por la actividad representado en Mapa Aeroportuario (AIP España, OpenStreet, Mapa de Google Earth etc.), indicando el sentido del viento (N/S/E/W).</small>	
<b>7. Certificado de conformidad del organizador:</b> <small>Cartilla que:</small> 1. El documento contenido en esta formulación, así como la documentación adjunta, es real, verídica y correcta. 2. Los datos contenidos en la documentación están acordados con la actividad propuesta. 3. El personal y/o medios materiales utilizados para llevar a cabo la actividad cumplen con los requisitos establecidos por la Dirección General de Aviación Civil.	
Firma del organizador	Firma del representante
<small>Firma Este formulario debe ser firmado por el organizador o por el representante debidamente autorizado en caso de tenerse delegación o apoderado correspondiente.</small>	
<b>Remitir a:</b> AENA Dirección de Operaciones ATM / CAT Oficina Coordinación Operativa del Espacio Aéreo Ctra. de la Sierra de Luera de Tena, 14 Madrid 28027 Tel.: 91 321 33 24 / Secretaría: 91 321 33 38 Fax: 91 321 33 25 E-mail: cop@aena.es	

## *El formulari de petició dels permisos*

Un cop complimentats els formularis es van enviar a al “Departament de Coordinació Operativa de l’Espai Aeri - COP” amb seu a Madrid i ens van garantir resposta en un plaç de 15 dies si no hi havia cap anomalía. Durant la següent setmana vam rebre un parell de trucades des d’AENA, per una part va ser del control de tràfic aeri de Barcelona que ens va demanar en què consistia el projecte i què contindria exactament la caixa. A més se’ns va adjuntar un mapa fet per un funcionari on s’explicava detalladament per on passava el passadís del pont aeri entre Barcelona i Madrid. Per sort en la nostra elecció del lloc de llançament el corredor passava mes al sud i no es veia afectat, tot i que evidentment, els avions en serien notificats gràcies a la publicació d’un NOTAM (*Notice To Airmen*). Per altra banda també vam rebre una trucada des de Madrid per corroborar que les dades enviades fossin les correctes i se’ns va dir que el permís havia estat concedit. Va ser un moment d’alleugeriment per a tots nosaltres, ara ja sabíem que podíem fer un llançament amb garanties de no provocar cap perill. A més ens van indicar que mitja hora abans del llançament hauríem de notificar-lo fent una trucada a la torre de control de Saragossa la qual ens podia demorar el llançament per qüestions de tràfic.

*La resposta enviada per AENA, amb una còpia visible del NOTAM*

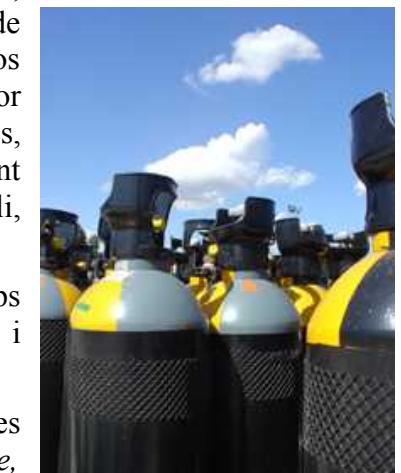
## 5. Materials

La llista de materials a preparar per dur a terme el llançament és força extensa, ja que no es pot passar res per alt. A més ens havíem de desplaçar centenars de quilometres per dur-lo a terme i no podíem cometre l'error de deixar-nos material bàsic per a l'execució del llançament, seguiment i posterior recuperació. Entre la llarga llista s'inclouen cordes, soldador, una caixa d'eines, etc. Però per dur a terme el llançament també calien altres elements realment essencials i que calia encarregar amb dies d'antelació com les bombones d'heli, el paracaigudes, els globus de làtex, les piles de liti.

Els globus, el paracaigudes i les piles de liti, ja els teníem des de feia temps amb previsió que triguessin a arribar ja que eren elements primordials i majoritàriament havien de comprar-se fora del país.

L'heli es va encarregar una setmana abans i es van demanar 2 bombones grosses d'heli comú. L'empresa subministradora va ser *Abelló Linde*, especialitzada en el subministrament de gasos industrials. A sota hi ha la taula de característiques de la bombona utilitzada.

Característica	Descripció
Tipus	Heli de Globus
Presentació	Bombona d'acer
Volum de gas	9.1m <sup>3</sup>
Pes total plena	70kg



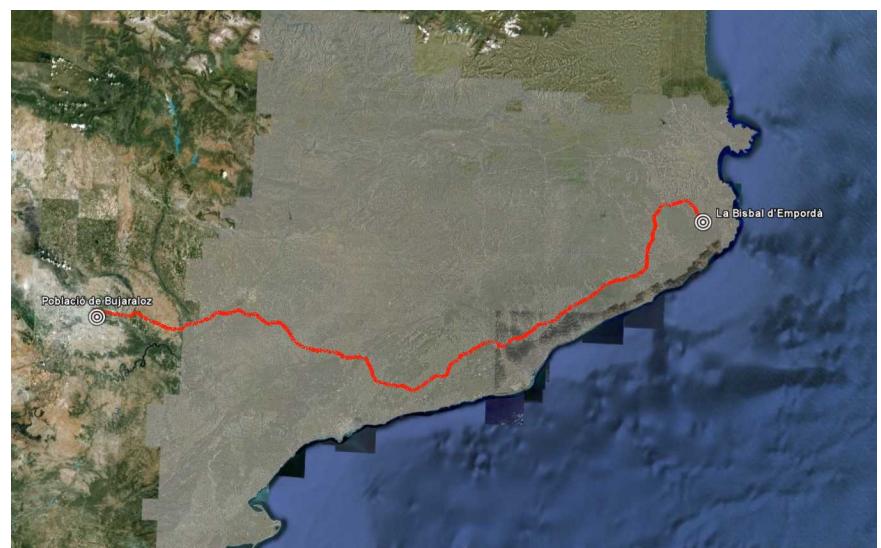
Bombones d'heli



## 6. Expedició

Planificar l'expedició també va ser un repte força complicat ja que s'havien de distribuir els membres components de l'expedició i tot l'abundant material en només 2 cotxes. El que sí que es va tenir clar des d'un primer moment és que un mínim de 2 cotxes eren necessaris ja que calia un tipus monovolum per utilitzar-lo d'estació mòbil de recepció de dades i un tot terreny per si calgués entrar a zones complicades durant la recuperació. Cada cotxe a més havia de portar un equip GPS per saber on era en tot moment i facilitar el seguiment de la sonda. A més el dia abans del llançament un cop es tenien les simulacions en 3D s'havien de planificar les possibles rutes de seguiment per trobar la que s'acostés més al recorregut previst de la sonda.

També s'havien de planejar molt bé els horaris de sortida i previstos d'arribada, ja que disposàvem d'una franja horària força estreta per fer el llançament i no ens podíem demorar més del previst.



Ruta seguida amb el cotxe des de Corçà fins a Bujaraloz



# Capítol 5

# El llançament

# 1. Previs

Després de superar un gran nombre de problemes d'estabilitat, vam reunir-nos per decidir quan es faria el llançament. Era difícil prendre la decisió, ja que els últims problemes ens feien pensar que alguna cosa podria fallar durant el vol definitiu i després d'un any de preparació no volíem que res anés malament. Primerament vam pensar en el cap de setmana del 20 al 22 de febrer, però els vents ens ho van impedir. Els permisos d'AENA acabaven el dia 1 de març, així que durant la següent setmana havíem de llençar-la o bé s'allargaria tot altra vegada. Seguint les simulacions basades en el programa de la *Universitat de Wyoming*, tot semblava que a finals de setmana les previsions eren òptimes, el moviment es feia en direcció nord-est des del punt de llançament i es movia aproximadament uns 40km. Fins 48h abans no vam prendre la decisió final, ja que volíem obtenir simulacions al màxim de precises. El dijous 26 al migdia vam acordar definitivament la data del llançament: el 28 de febrer entre 8 i 9 del matí. Els nervis començaven a aparèixer aquest cop, després de tant temps preparant i provant s'acostava el dia definitiu... Durant les classes del dijous i divendres al matí pensàvem tot sovint en la sonda, com aniria tot, si fallaria alguna cosa... Finalment el divendres al matí no vam poder resistir les ganes d'anar a Corçà per acabar els preparatius. Es van fer algunes últimes modificacions al firmware i tot semblava funcionar bé, excepte una cosa: la targeta SD. Curiosament tant amb el firmware vell com amb el nou fallava intermitentment... Faltaven menys de 12h per fer el llançament i alguna solució havia d'aparèixer... Va ser una decisió difícil, però sense pensar-ho més temps vam decidir que volariem sense SD, és a dir no tindriem registre local i les dades recollides serien únicament les rebudes via ràdio. Era arriscat fer això, ja que podíem perdre informació en cas de tallar-se la recepció, però millor menys informació i estabilitat que no una fallada del sistema per culpa de la SD. Com podreu veure més endavant no va anar gens malament al fi i al cap.

# 2. Preparació del material

Com ja hem remarcat anteriorment era d'una vital importància no deixar-nos cap mena de materials que ens pogués fer servei durant l'execució del llançament. Per aquesta raó durant tota la tarda del dia 27 de febrer vam estar encaixant un munt de material, a més de fer les preparacions finals a la sonda (muntatge de les cordes, el cut-down, preparar les bombones d'heli, collar correctament tots els components, etc. També es va revisar que els ordinadors portessin tota la cartografia de *Google Earth* guardada en memòria i les bateries ben endollades fins pocs minuts abans de marxar.

La mateixa tarda del dia 27 es va muntar la taula de fusta que havia d'anar a dins del cotxe de seguiment per tal de poder treballar-hi amb els portàtils i tenir el mòdul de ràdio i altres connexions totalment subjectes a la taula. La ràdio i els mòduls de connexió es van fixar a la taula mitjançant silicona calenta i la taula alhora estava fixada als seient davanters del cotxe amb cordes.

Un altre dels invents que es van haver de fer durant la tarda va ser el suport d'antena mòbil que es va incloure a la baca del cotxe. Aquest suport havia de permetre orientar l'antena en totes direccions per possibilitar la recepció de les dades que enviava la sonda durant el seu vol.

Després de tot un dia, a les 10 del vespre, es va deixar tot preparat per carregar-ho posteriorment als cotxes. La sortida es va programar per a les 2 de la nit i hem de reconèixer que vam dormir molt poc, per no dir gens!

# 3. El viatge

## 3.1. Desplaçament a Bujaraloz

Després d'haver calmat durant poques hores els nervis, a la 1 de la nit, es van anar a recollir els diversos membres de l'expedició, formada per 8 persones.

Quan el rellotge marcava la 1:30 de la nit tots els membres de l'expedició van ser recollits i ens vam dirigir al poble veí de Corçà on teníem tot el material preparat. La càrrega de tots els components va durar aproximadament mitja hora, i es va intentar fer un repartiment entre els 2 cotxes. El més voluminos de tot eren sens dubte les bombones d'heli, les quals es van repartir una a cada cotxe. La resta de materials es van anar posant un mica aquí i allà segons les capacitats de càrrega de cada vehicle. Cada cotxe portava 4 persones i estaven comunicats en tot moment gràcies a uns *walkies*.

A les 2:10 de la nit els motors es van posar en marxa i l'expedició va posar rumb cap al poble de Bujaraloz. El viatge va resultar molt tranquil, ja que exceptuant el tram inicial de Corçà a Girona per enllaçar amb l'autopista, la resta es va fer íntegrament per autopista, que a aquelles hores es trobava totalment buida de tràfic. L'única incidència destacable va ser causada per la meteorologia, ja que vam trobar boira molt densa durant gran part de la plana de Lleida, amb visibilitats de només 25 metres en alguns trams, i això ens va fer allargar la durada del trajecte al haver de circular amb més precaució. Un cop passada la població de Fraga la boira va desaparèixer i la resta del trajecte va transcorrer en total normalitat.

A les 6:10 del matí vam arribar al nostre destí, Bujaraloz. Tot i que no teníem el punt de llançament introduït al GPS, no ens va costar de trobar. Un cop arribats al pàrquing de camions o punt de llançament, vam descobrir gratament que estava totalment il·luminat cosa que ens facilitava molt la àrdua feina dels muntatges previs al llançament els quals descriurem tot seguit.



Pausa a l'autopista durant el trajecte d'anada

### 3.2. Preparació del muntatge

El primer que es va fer en arribar va ser treure una bombona d'heli i començar a inflar el globus, ja que és el procés més lent de tots amb un temps de més d'una hora per inflar-lo correctament.

Paral·lelament a tot això es portava a terme el procés de muntatge de les piles a la sonda, és un procés delicat ja que s'han de col·locar molt bé sense equivocar-se. Un cop col·locades també s'han de corroborar els voltatges i collar la placa d'alimentació a la resta de l'estructura de la caixa per evitar moviments i mals contactes durant el vol.

Un cop inflat el globus, es va de fer la prova del *free-lift*, que consisteix en lligar-hi una ampolla d'aigua de 5L i mirar si és capaç d'aixecar-la amb lleugeresa. Això és fa per assegurar-nos que el globus podrà aixecar de sobres el pes de la sonda (3.4Kg) i li sobrarà força de propulsió per obtenir una velocitat d'ascens òptima (270m/min).

Corrobora la capacitat d'aixecament del globus es va procedir a muntar la resta de components situats entre la sonda i el globus. Així es van muntar juntament amb les cordes de subjecció el cut-down, que és l'element que va més proper al globus, i sota d'ell el paracaigudes que alhora es subjecta mitjançant un mosquetó de seguretat a l'estructura de de cordes i anivellament de la caixa vista en capítols anteriors.

Un cop dut a terme el muntatge es va haver de fer la trucada a la torre de control de Saragossa per rebre la



Membres inflant el globus i altres muntant les piles

confirmació de llançament. Des de la torre ens van dir que no hi havia cap mena de problema per dur a terme el llançament i que a partir d'aquell moment podíem procedir a fer-ho dins l'hora fixada.

Quan ja es té el muntatge acabat, s'engeguen els interruptors d'alimentació de la caixa i es fa una primera prova ja amb els ordinadors apunt dins els cotxes. Si és satisfactoria, es para i es prepara el sellat mitjançant cinta americana. Un cop apunt s'engeguen ja de manera definitiva tots els components de la sonda i es posa tot el sistema a treballar. En total es va tenir la sonda així uns 15 minuts mentre es recollien tots els materials i es posaven els cotxes apunt. Tot i que sabíem que inicialment tots els components funcionaven correctament, això no assegurava res, ja que un cop estigués tot en moviment i lliure de les nostres mans ningú la podria tocar ni reiniciar.

En acostar-se el moment del llançament els nervis començaven a deixar-se notar a l'ambient...



*Posada en marxa de l'estació de recepció*

### 3.3. El llançament

A les 9:10:20 hora local, va arribar el moment culminant, el llançament. Va ser un moment especial que de molt segur recordarem durant la resta de la nostra vida. El cùmul de sensacions que sentíem en aquell moment és indescriptible. Per una part els nervis eren molt elevats i per l'altra teníem l'eufòria d'arribar al moment més important del projecte, però alhora teníem un intens temor de no tornar-la a veure mai més. Després d'uns segons de dilacions, i de tenir els motors dels cotxes engegats i preparats per la persecució que havia de tenir lloc tot seguit, va començar el compte enrere: 10,9,8,7.....els nombres anaven sonant i els nervis pujant.....6,5,4,3,2,1, ARA! Les nostres mans tremoloses van deixar de subjectar la sonda i aquesta va sortir disparada cap al cel. No vam tenir temps de quedar-nos mirant com pujava, ja que en menys de 10 segons ja havíem pujat al cotxe de seguiment i havíem iniciat la nostra persecució. El segon cotxe o "cotxe de suport" es va quedar uns segons més per fer unes fotografies, però de seguida ens va atrapar.



*Moment del llançament i pocs segons després dins el cotxe de recepció apunt per començar el seguiment*

### 3.4. Seguiment

Mentre sortíem del pàrquing de camions, anàvem observant pel sostre solar del vehicle de seguiment com la sonda pujava i pujava, però amb pocs segons en vam perdre el rastre visual. Alhora anàvem rebent les dades als portàtils i en feiem el seguiment. La sonda va sortir direcció Nord-oest i vam prendre la direcció Oest per la carretera N-II, però després de pocs centenars de metres vam veure que seguia més cap al Nord, i per tant vam decidir fer un canvi de sentit per tornar-nos a dirigir al poble de Bujaraloz i des d'allà agafar la carretera que portava al poble de La Almonda. En aquest capítol s'aniran adjuntant mapes amb els punts on vam passar juntament amb la ruta real que seguia la sonda perquè pugueu fer-vos una millor idea d'aquest seguiment, hem de reconèixer que ja ens hauria agradat poder tenir això el dia del llançament i no només simples mapes. Vam tenir la sort que la sonda seguia una direcció paral·lela a la carretera, tot i que en aquells moments la teníem per davant nostre i no podíem perdre temps, ja que en tot moment ens interessava estar el més propers a ella per poder rebre millor les dades i per poder fer decisions ràpides en cas que canviés de direcció.

*Durant els primers minuts els nervis eren tant alts que tendien a l'infinit més ràpidament que una exponencial! Tot i això, semblava que tot anava bé: els sensors marcaven els valors previstos, el GPS reportava posicions vàlides, el nombre de fotos incrementava correctament...*



Fotografia feta pocs instants després del llançament



Visualització del seguiment i trajectòria de la sonda

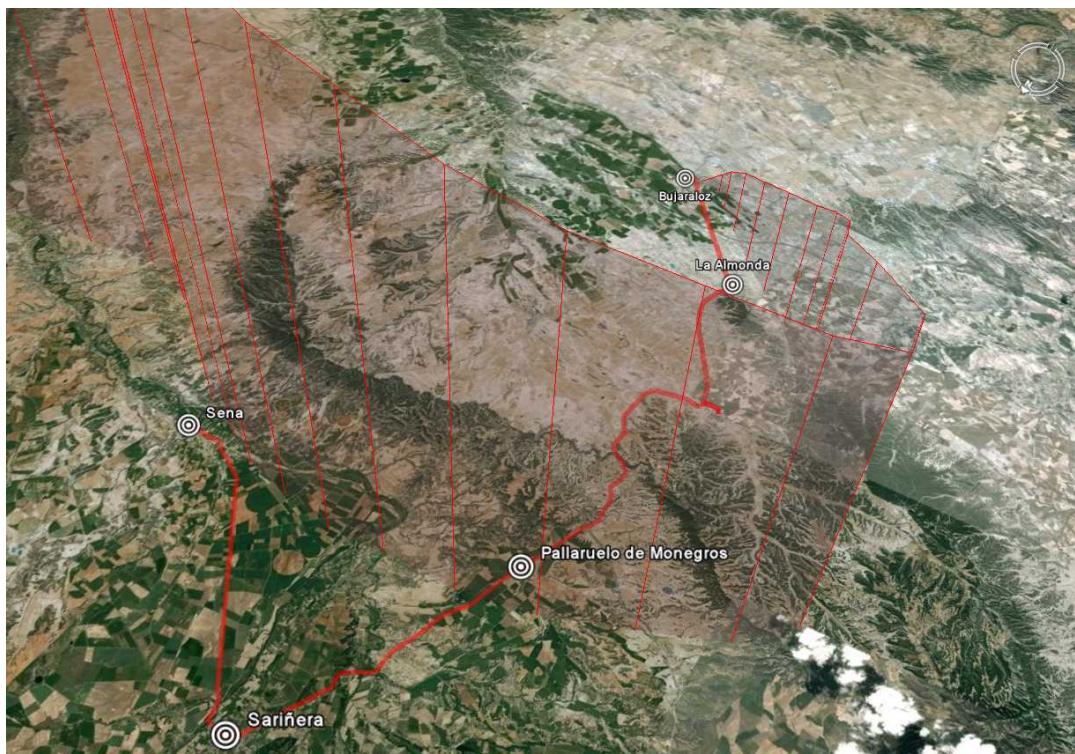
El nostre trajecte va seguir fins la població de Castejón de Monegros on en veure que ens havíem avançat a la sonda vam decidir fer una parada de pocs minuts per orientar l'antena i relaxar-nos una mica. En aquell

moment la sonda havia sobrepassat la barrera psicològica dels 10.000 metres i tots ens vam calmar i vam començar a pensar que ara ja res podia fallar.



*Moment de pausa*

Un cop vam tornar a tenir la sonda més propera, vam seguir el nostre trajecte fins a Pallaruelo de Monegros, ja que tot i que ens havíem hagut de separar força del recorregut de la sonda, teníem la confiança que si la sonda anava seguint com fins ara el recorregut previst amb les simulacions, aquesta havia de fer un canvi brusc de direcció cap a l'Est a una altura aproximada de 12.000-13.000 metres. Un cop vam veure que això passava, sabíem que ens havíem de dirigir cap al poble de Sena, però dissotradament ara la carretera no seguia el recorregut de la sonda i la nostra única opció era seguir cap al Nord fins al poble de Sariñera i un cop allà dirigir-nos direcció Sud-est cap a Sena. Era un trajecte força més llarg que el que havia de fer la sonda i no podíem perdre temps. Arribats a Sariñera ens vam perdre momentàniament, però gràcies als navegadors portàtils la reorientació va ser molt ràpida i de seguida ens dirigíem cap a Sena.



*Visualització del seguiment i trajectòria de la sonda*

Pel que fa a la sonda, en aquest recorregut, no vam tenir cap problema de recepció, exceptuant alguns paquets que a causa de la orografia o de males orientacions de l'antena es perdien, però tot eren incidències momentànies.

En arribar al poble de Sena ens tornàvem a trobar per davant de la sonda i vam decidir esperar-la altre cop, en aquells moments ja la teníem a més de 20.000 metres i tot seguia perfecte. Malauradament, però ja portàvem més d'una hora treballant amb els portàtils i les bateries començaven a acostar-se a la zona vermella.... Però per sort teníem el d'emergència.

Quan la sonda va tornar a ser prop nostre, vam reemprendre la marxa direcció Est cap a Villanueva de Siguena.

Poc després de passar el poble les bateries dels portàtils van arribar a nivells crítics (per sota del 5 %) i vam passar al de reserva, però la sorpresa va ser gran: el Google Earth no funcionava! Podíem rebre dades però no interpretar les posicions ja que el Google Earth es negava a treballar en mode offline. Els nervis tornaven a aparèixer... Com que érem vora el poble de Ontiñena, vam prendre una decisió ràpida: anar a una casa per demanar un endoll i poder connectar el portàtil que tenia els mapes. Sortosament la primera casa que vam trobar ens va acollir sense problemes (un fort agraiament des d'aquí). Gràcies a això vam poder continuar, això sí, estàtics per tenir corrent i per culpa d'això es van perdre les dades des de 27.450m a 28.357m.

Un cop tornada la “normalitat” vam observar que la sonda havia superat la cota dels 30.000m, i poc després, concretament als 30.677m es va produir l’explosió del globus, fent ja el pròxim registre als 30.483m. Va ser un moment de gran alegria però crític: No podíem anar al lloc de caiguda perquè necessitavem alimentació. El descens era ràpid, especialment als primers metres degut a la baixa densitat atmosfèrica.

Com que anàvem amb 2 cotxes, “el cotxe de suport” el vam enviar a la zona on seguint les simulacions i dades que teníem d'abans del l'inici de la caiguda preveiem que podria caure la sonda. Això era aproximadament unes zones agrícoles entre els pobles de Oso de Cinca i Albalate de Cinca que per carretera eren aproximadament a uns 15km. Cal dir que la comunicació per mòbil amb el “cotxe de suport” va ser gairebé de forma continuada i se'ls va rectificar la zona on havien d'anar un parell de vegades, ja que a mesura que la sonda seguia el seu descens podíem aproximar millor el punt de caiguda. L'última posició que se'ls va notificar va ser situar-se a la carretera A-1239 i a uns 3 km del poble d'Albalate de Cinca direcció Esplús. Allí els vam dir que si tenien sort haurien de veure la sonda caure per la zona. Per desgràcia però els últims registres rebuts corresponien a altures de 881m i 679 metres d'altura, 410m sobre la superfície ja que la zona estava a uns 260 metres sobre el nivell del mar. Les posicions d'aquestes altures donaven una zona molt propera a on era el “cotxe de suport”, aproximadament a 1km però malauradament no la van veure caure.

Ara ja sabíem que havia caigut i que tocava anar-la a buscar. La sorpresa va ser que la zona tenia un nombre força elevat d'estanys i ríos ja que era terra de regadiu. Vam arribar a pensar que podria haver caigut en algun d'aquests llocs... però confiàvem en la poca probabilitat de que això passés.

Després d'agrir infinitament a la família que ens va donar corrent, vam enfilar rumb cap al poble d'Albalate de Cinca a 15 minuts amb cotxe per trobar-nos amb el “cotxe de suport” i iniciar la recerca. En arribar al poble, no vam saber trobar a la primera la carretera A-1239 i vam donar un parell de voltes a una rotonda. Allí, una patrulla de la Guardia Civil ens va ficar l'ull a sobre i ens va començar a seguir. Nosaltres preveient aquest seguiment, vam parar el cotxe al boral d'un carrer i la patrulla se'ns va posar al costat. Acte seguit van baixar a mirar què portàvem al cotxe, i és que clar, en aquest pobles on tothom es coneix, un cotxe forani amb una antena de metre al teulat i una taula amb ordinadors a les places del darrere podria fer pensar qualsevol cosa. Segons ens van confessar ells mateixos pocs minuts abans ja havien vist un altre cotxe amb matrícula de Girona amb una actitud sospitosa (parats a un camí observant amb binocles) i al veure'ns a nosaltres ja van sospitar del tot. Per sort per nosaltres tot i que inicialment semblava que la cosa no acabaria bé, (ja que ens van demanar els papers del cotxe i tota la documentació dels que anàvem dins....) un cop els vam dir el que estàvem fent, els vam ensenyar les fotografies del llançament i els permisos d'AENA, s'ho van agafar molt millor i van acabar dient-nos que si ens calia ens ajudarien, nosaltres els vam respondre que de moment no calia i per sort ens van deixar marxar sense més preàmbuls.



*Visualització del seguiment i trajectòria amb el punt de parada per part de la Guàrdia Civil*

Alliberats de la Guardia Civil, vam dirigir-nos a uns 5km del poble per la carretera A-1239, però com que no teníem bateria als portàtils no podíem consultar ni les ultimes dades rebudes ni la cartografia i l'única solució viable va tornar a ser parar a demanar corrent. En aquest cas vam parar a una finca on hi havia un taller mecànic i tampoc ens van posar cap problema en deixar-nos corrent. A més, ens va orientar una mica de què ens trobaríem a la zona i quins camins seguir un cop els havíem mostrat amb la cartografia la zona on creíem que havia caigut la sonda. La primera zona que vam acotar per buscar tenia una àrea aproximada de 1.5km<sup>2</sup> (rectangle vermell del mapa), ja que sabíem que la sonda havia passat més o menys per sobre la zona on ens trobàvem i per tant havia travessat la carretera en direcció cap al Nord. Com que encara no teníem els portàtil carregats vam deixar el cotxe de seguiment a la finca carregant bateries i amb el de suport ens vam dirigir a un camp de tir que hi havia a uns 500 metres de la finca des d'on es tenia una excel·lent vista de la petita vall situada tot darrere i on previsiblement creíem que havia caigut la sonda, però per més que vam buscar i remirar amb binocles i sense no vam veure cap mena d'objecte que pogués ser la nostra sonda, només el verd de l'herba i els camps.



*Mapa de la finca que ens va oferir ajuda i primera zona prevista de caiguda*

Seguidament i un pel desanimats vam tornar a la finca on restava el cotxe de seguiment i la resta de l'expedició. L'última solució era calcular a ull i mitjançant les dades de les ultimes 2 recepcions una àrea més concreta de recerca. Com que de les dades de les 2 ultimes recepcions a 881m i 679m en sabíem també posició i l'hora exacta de recepció entre elles, vam poder calcular de forma estimada la velocitat vertical de caiguda i la horitzontal, i sabent a l'altura on es troava respecte el terra vam acotar una àrea més concreta, aquesta comprenia la zona que anava entre el camí de la part baixa d'aquella petita vall vista des del camp de tir, a la part més alta dels turons del darrere de la vall on hi havia una mica més de vegetació (veure el rectangle groc del mapa).

Després d'agrainar-los el suport i dedicació mostrada a la bona gent d'aquell taller mecànic, vam prosseguir el nostre camí per acostar-nos més a la zona i cercar la sonda. La ruta que vam seguir (veure el mapa), va ser seguir uns 400 metres per la carretera direcció Nord-est i després agafar un camí a mà esquerra que resseguia un canal de regadiu, així durant aproximadament 1km fins trobar el següent camí a l'esquerra, que era el que havíem vist anteriorment des del camp de tir i que passava per la part baixa de la vall. Vam prosseguir per aquell camí anant molt a poc a poc i mirant per totes bandes des de dins dels 2 cotxes però no veiem res més que arbustos i arbres fruiters. Vam trobar un parell de pagesos als quals inicialment vam estranyar, però en preguntar-los, per mala sort no havien vist caure cap objecte. La nostra cerca va procedir a través del camí i quan ja havíem travessat la zona acotada inicialment vam decidir pujar per un camí a mà dreta que portava a la part alta d'un turó. Allí vam tornar a observar sense èxit. Però vam tenir la ocurrència d'aprofitar l'altura del lloc per tornar a connectar la radio a veure si encara rebíem alguna senyal, però no hi confiàvem... De cop els crits i l'alegria van envair l'habitacle del cotxe, rebíem senyal! Aparentement pel valor dels comptadors de fotografies fetes la sonda s'havia reiniciat a causa de l'impacte i havia tornat a començar la seqüència de treball. En un tres i no res, ens dirigíem tots plegats cap al punt de recepció. En concret era la part alta d'un petit camí que enllaçava al camí de la part baixa de la vall per on havíem passat, anteriorment, el qual havíem vist però pel que no havíem decidit pujar.



Mapa amb la nova àrea de recerca amb els punts d'observació i el punt on vam tornar a rebre dades

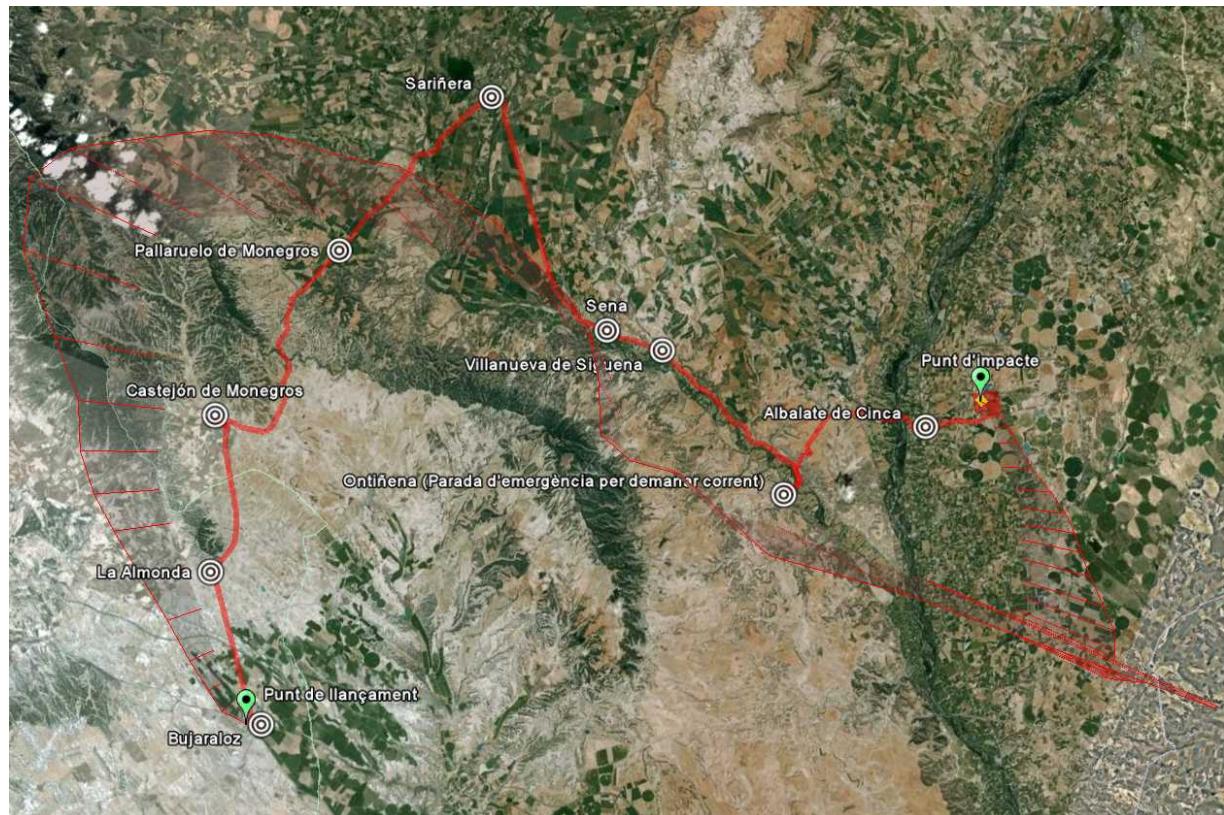
Un cop situats en el petit camí vam anar transitant-hi encara més lentament i a a l'inici no veiem res de res, però... de cop els crits d'eufòria van tornar a envair-nos, i abans que el tutor pogués posar el fre de mà tots

nosaltres ja érem fora del cotxe. Havíem trobat la sonda! Havia caigut al costat del marge dret del camí, sobre uns matolls. En menys de 10 segons ja l'havíem recollit i començat a examinar. La sonda es troava aparentment intacta, només tenia una petita deformació a l'estructura d'alumini a causa de l'impacte. Però els nervis no s'esvaïen encara enmig de la eufòria, ja que encara no sabíem si les fotografies s'havien fet, ja que vam trobar la càmera apagada i no se n'havia donat l'ordre de parada. Ràpidament i sota molts nervis vam treure la SD de la càmera per posar-la a l'ordinador, acte seguit, tot van ser salts i crits d'alegria, la càmera havia funcionat i les fotografies havien sortit molt bé, ara sí que podíem afirmar que la missió havia estat tot un èxit. Quin moment! Simplement inoblidable! La nostra sonda Meteotek08 havia aconseguit la seva fita i amb uns resultats més que notoris, per fi els nervis s'esvaïen, després de més de 3 hores i mitja des del llançament i un any de treball.

Una estona després del retrobament, quan ja havíem començat a desar-ho tot, ens va venir a veure un pastor, aquell home ens volia explicar alguna cosa. Segons ens va dir, la sonda l'havia trobat ell a uns 60 metres d'on la vam trobar nosaltres, això era una mica més amunt del turo, quasi a la part més alta. Segons va relatar, la va haver de moure ja que les cabres es van espantar per la seva presència i els sorolls que feia (el servo es continuava movent), per això va decidir posar-la al camí on va pensar que seria més visible per qui la busqués i lluny de la vista de les cabres, així que no ens queda més remei que enviar un nou agraïment.

Després d'una xerrada amb aquell home al qual li vam explicar què era allò que havia trobat i per a què servia, vam acabar de recollir i reorganitzar el material, creieu que el desordre era la nota dominant dins dels cotxes. Recollit el material només tocava el viatge de retorn a casa, ara ja totalment relaxats i gaudint ara si, del paisatge que ens rodejava del qual fins aquell moment no n'havíem fet massa cas.

La sonda va ser llançada a les 9:10:20 AM (local) i va aterrjar a les 11:20:00 AM (local), 2 hores i 10 minuts després del seu enlairament. Va ser trobada al cap de 1 hora i 27 minuts després de l'aterratge, en concret va ser a les 12:47:00 AM (local), per tant podem dir que va ser una recerca força ràpida tot i les interrupcions descrites. Pel que fa al recorregut per carretera va ser de 88.6km des de Bujaraloz fins al punt d'impacte.

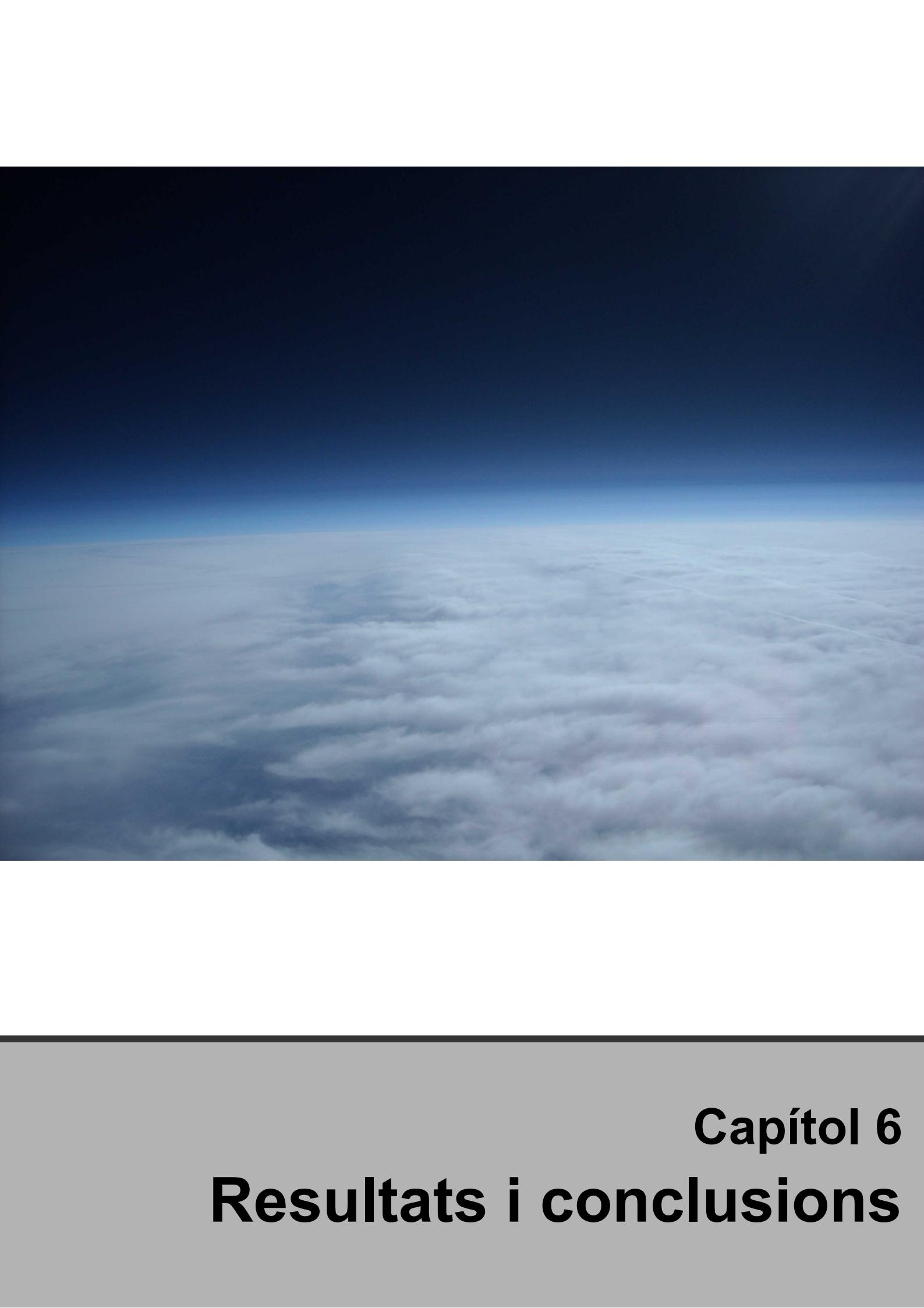


*Mapa final: el recorregut fet per la sonda i el recorregut de seguiment amb els punts de les poblacions per on vam passar*



Algunes fotografies: Moments abans d'aterrar feta per la sonda, el lloc de trobada, fotografia de grup després d'haver confirmat l'èxit de la missió i una de les millors fotografies del la terra fetes per la sonda.

Accedint a l'Annex 1 o bé a l'àlbum digital (<http://www.flickr.com/meteotek08>) podreu trobar una col·lecció completa de fotografies amb detalls d'altures i alguns comentaris.



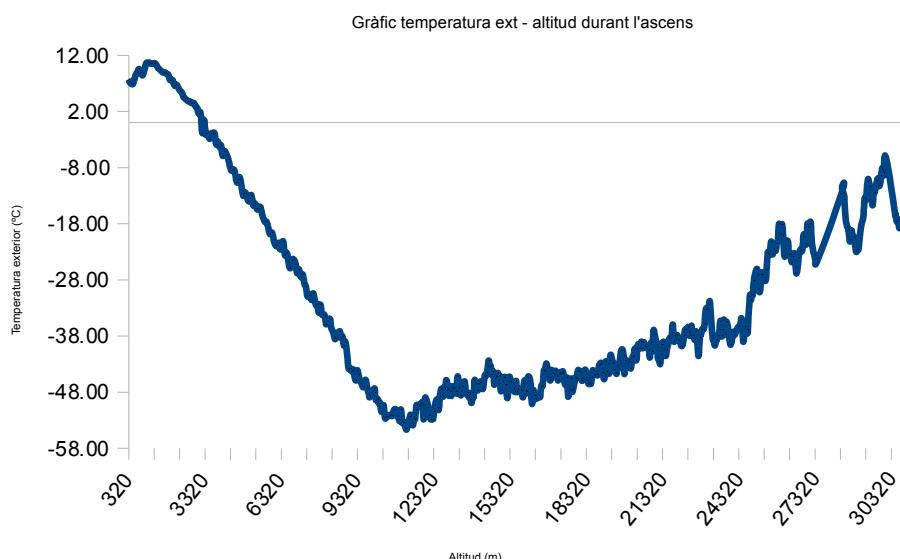
# **Capítol 6**

# **Resultats i conclusions**

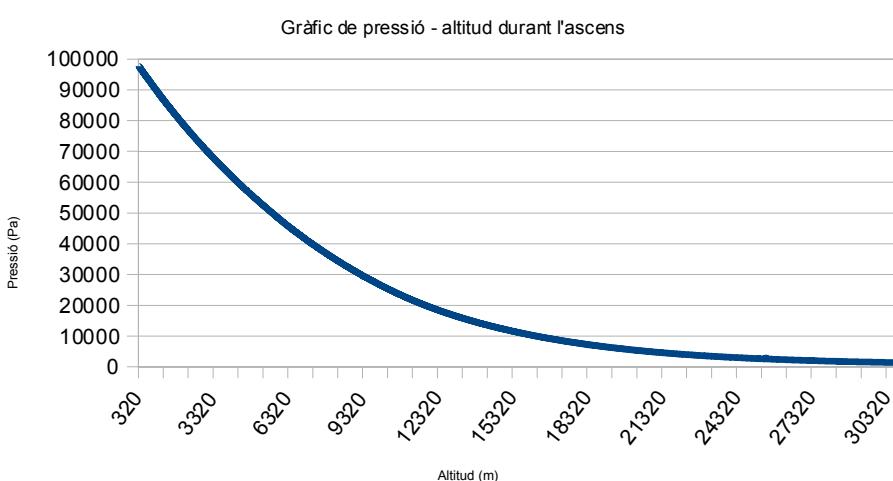
# 1. El recull de dades

Com s'ha introduït a l'inici del treball, la sonda Meteotek08 incloïa en el seu interior diversos sensors atmosfèrics i un mòdul GPS gràcies als quals es podien registrar les condicions de l'entorn. En un principi la idea era registrar aquestes dades en una targeta SD a l'interior per recollir-la en el moment de la recuperació, però com s'ha explicat en el capítol anterior, el dia abans del llançament va comportar alguns problemes així que les dades recollides són únicament les rebudes via ràdio, cosa que implica que alguns paquets es van perdre i de fet, hi ha un tram d'aproximadament 3 minuts on no hi són per culpa del problema amb les bateries dels portàtils receptors. Realment hauríem desitjat incorporar un sistema millor, però finalment ho vam haver de fer així. Tot i això, l'objectiu d'aquesta sonda no era fer un estudi complet i precís de les condicions atmosfèriques en detall sinó que l'objectiu es fer-ne una interpretació qualitativa i veure si segueixen aproximadament uns criteris preestablerts.

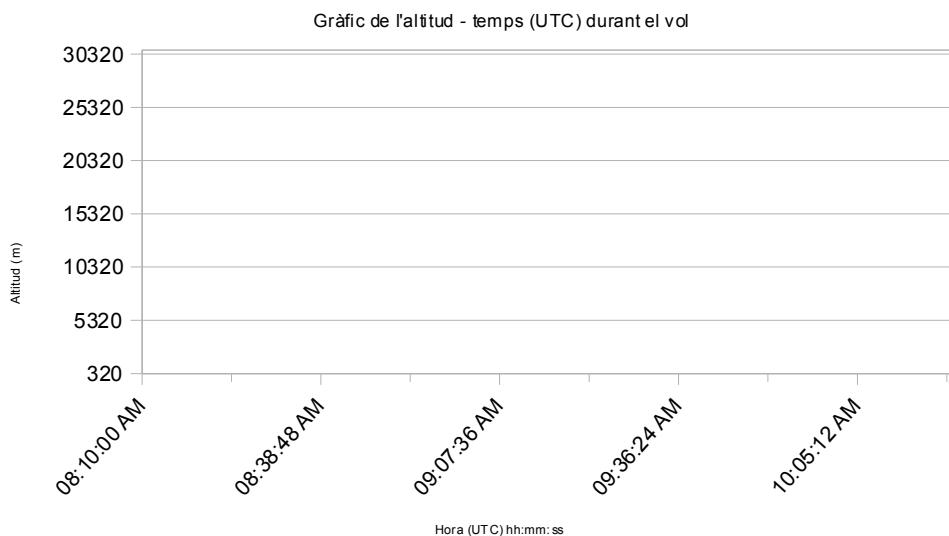
El primer gràfic més important potser és el de la temperatura, que en el capítol d'introducció es feia menció de la pujada en avançar a l'estratosfera. En el nostre cas es va complir l'esperat, i la temperatura comença a pujar a partir dels 12.000m aproximadament després d'haver arribar prop dels -55°C. En el moment de l'explosió és d'uns -18°C, força més alta.



Pel que fa a la pressió es pot veure de forma molt clara el seu decreixement exponencial, un resultat que també s'esperava.



Ja per acabar una de les altres gràfiques importants és l'evolució de l'altitud al llarg del vol, on s'observa un ascens constant i una caiguda lliure, popular problema de física.



A més d'aquestes petites gràfiques, hem adjuntat un annex amb moltes més d'elles per aquelles persones interessades en algun detall més concret o per veure més dades.

## 2. Possibles millores

Hem de reconèixer que la sonda meteorològica Meteotek08 és *infinitament* millorable. Primerament un dels factors que s'hauria de millorar és el seu pes. La versió actual pesa molt degut bàsicament al tamany que té i al sistema d'alimentació. Si en una pròxima versió s'introduïssin bateries de Lithium-Ion recarregables podríem reduir moltíssim el pes, així com l'espai ocupat per aquestes. En segon lloc es podria posar el circuit electrònic, ja que és fet per nosaltres amb mètodes de revelat casolà (això sí, dissenyat amb ordinador). Si es fes a fàbrica podríem tenir-lo de millor qualitat i més compacte. També seria interessant utilitzar càmeres de la mateixa qualitat amb menor tamany i consum, així com la possibilitat de filmar vídeos. Per acabar, convindria utilitzar un microcontrolador més potent per poder capturar un major flux de dades i llavors ens podríem plantejar fer ànalisis seriosos sobre condicions atmosfèriques, cosa que ara no permet passar d'estudis qualitatius. Aquestes millores en tot cas serien introduïdes en noves versions de la sonda, potser la Meteotek2010, qui sap!

## 3. Aparició en els medis de premsa

Un cop fet el llançament vam procedir a publicar els resultats a la nostra pàgina web així com el recull de fotografies a l'àlbum. Ja que tots som fidels seguidors de l'espai d'*El Temps* de TV3 vam decidir enviar-los un recull de fotos i ens les van publicar, així com al *Diari de Girona*. Ens va fer especial il·lusió sortir en algun medi local després de tant esforç ja que d'alguna manera se'n reconeixia el nostre treball. A més, ens van publicar un petit article a *Sparkfun*, la botiga on s'han comprat molts components de la sonda. Gràcies a això, un periodista anglès (James Nye) va llegir la notícia i va decidir entrevistar-nos per enviar la notícia a alguns diaris. El fet és que al cap de pocs dies vam aparèixer al diari anglès *Daily Telegraph*, un dels més llegits. Això va provocar un increment enorme de les nostres visites a l'àlbum de fotografies i a la web, fent a més que la notícia apareixés a molts medis internacionals i que finalment la notícia també tingués ressò aquí. Realment va ser un fet curiós perquè no és cap projecte innovador, ja existeixen altres sondes meteorològiques. Actualment la pàgina de fotografies ja ha rebut més de 3 milions de visites des que es va obrir.

*Alguns dels diaris on va aparèixer la notícia*

## 4. Conclusions globals

Ha estat un treball molt llarg i amb un munt de vivències i anècdotes. Va començar com un projecte sense un destí massa clar però al llarg dels mesos la il·lusió es va mantenir i les coses a pesar de les dificultats es van anar solucionant. Alguns dels membres han aportat els seus coneixements en electrònica i programació, sense els quals tot això segurament no hauria estat possible. Altres han aportat el seu esforç en gestionar accions, buscar solucions a problemes i han estat sempre apunt encara que fos un cap de setmana al matí. Segurament ha estat tota aquesta il·lusió reunida que ha permès superar totes les dificultats i aconseguir fer el somni realitat. Hem de reconèixer que sovint apareixien desil·lusions degut a què alguna cosa no anava bé, costava trobar materials adequats o bé que una sessió de proves s'hagués de cancel·lar per algun error imprevist. En especial va ser el mòdul de ràdio, el qual es va fer malbé l'estiu passat quan hauríem llençat la sonda, però per culpa d'això es va haver de cancel·lar el llançament fins al passat febrer. A pesar de tot, aquests tipus de problemes apareixen en qualsevol projecte, res es pensa, es realitza i funciona a la primera sinó que calen moltes hores d'esforços i correccions per aconseguir un resultat satisfactori. En aquest treball s'ha apreciat molt aquest fet, així com també s'ha vist la realització d'un projecte sencer, des dels seus inicis a la seva fi, una cosa molt positiva i que no s'ensenya a cap escola ni universitat.

Quan vam veure les imatges obtingudes segurament vam viure un dels moments més feliços de les nostres vides, era un dels nostres somnis. Segurament se'n confirma aquest esperit que té l'home de conquerir o estar en qualsevol lloc desconegut. També cal dir que abans de tot això es van viure moments de nerviosisme molt intensos, que també seran difícils de tornar a igualar. Des d'aquí ens agradaria donar un impuls a tots aquells joves amb esperit creatiu, que no es privin ni deixin de creure mai en les seves idees o projectes, fins i tot la idea més estranya o sonada pot esdevenir un èxit, i fer realitat un somni és per una persona el millor sentiment que mai li podran donar.

---

# BIBLIOGRAFIA

## 1. Llibres

SCHILD'T, Herbert. *Programación en C, Cuarta edición*. Madrid: McGraw Hill, 2001

SCHERZ, Paul. *Practical Electronics for Inventors, Second Edition*. Estats Units: McGraw Hill, 2007

## 2. Documents i publicacions

ATMEL, "AVR130: Setup and Use the AVR Timers"

TECHSISA, "Using optocouplers"

Camera Repair Blog, "Disassembling Nikon Coolpix L10" (<http://camerarepair.blogspot.com>)

Camera Repair Blog, "Camera Flash Capacitor" (<http://camerarepair.blogspot.com>)

MAXON, "SD-125 Radio Data Modem Service Manual"

AVR-LIBC, "avr-libc Reference Manual 1.6.4"

CAMERA, Dean. "Using the EEPROM memory in AVR-GCC"

MAXIM, "APPLICATION NOTE 162: Interfacing the DS18X20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment "

O'FLYNN, Collin, "Using AVR-GDB and AvaRICE Together"

**Fulles d'especificacions:** Accediu al suport digital adjunt al treball

## 3. Pàgines web

<http://www.ukhas.org.uk>

<http://www.natrium42.com/halo/flight2/>

<http://moo.pl/~tygrys/balloon/>

<http://www.kd7lmo.net/cutdown.html>

<http://www.sparkfun.com/>

<http://www.the-rocketman.com>

<http://electrons.psychogenic.com>

<http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ee476>

<http://lists.nongnu.org/mailman/listinfo/avr-gcc-list>

<http://www.atmel.com/avr>

<http://www.avrfreaks.net>

<http://www.makezine.com/blog>

<http://www.nongnu.org/avr-libc>

<http://www.opencircuits.com>

<http://www.wikipedia.org>

## 4. Altres

Simulador de llançament: [http://weather.uwyo.edu/polar/balloon\\_traj.html](http://weather.uwyo.edu/polar/balloon_traj.html)