

---

# Meteotek08

## Sonda Meteorológica

---



Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en la  
belleza y el maravilloso mundo del saber. *Albert Einstein*

# Agradecimientos

*Un agradecimiento personal al profesor Jordi Fanals, que desde un primer momento confió en esta idea y dio su apoyo a lo largo del todo el proyecto.*

Nos gustaría dar las gracias especialmente a la Digna Planas y a Jordi Toda, miembros del Servicio Meteorológico de Catalunya por la invitación a uno de sus lanzamientos y también por proporcionar globos para poder hacer pruebas. Otro agradecimiento especial lo querríamos dar a los miembros de la comunidad UKHAS (*United Kingdom High Altitude Society*) por proporcionar información útil y apoyo moral a lo largo del proyecto. Seguidamente, al centro de estudios IES Bisbal por la financiación de algunos componentes. Se merecen una mención especial los familiares, por proporcionar algunos materiales, puestos de trabajo y asistencia en el lanzamiento. También aquellas personas que, desinteresadamente, acogieron a la expedición cuando se necesitó alimentación para los portátiles el día del lanzamiento, sin ellos quizás no se podría haber acabado el proyecto. Finalmente a todos aquellos medios de comunicación que han dado su apoyo, como también muchas personas que de una manera u otro han aportado su grano de arena a este proyecto.

Gracias!

# Índice

---

## ● Introducción:

1. Orígenes del proyecto.....	7
2. Objetivos y procedimientos.....	7
3. Una introducción a la atmósfera terrestre.....	8
3.1. Troposfera.....	8
3.2. Estratosfera.....	8

## ● Capítulo 1: Estructura y materiales

1. Materiales utilizados.....	11
1.1. Aislantes térmicos.....	11
1.1.1. Porexpan.....	11
1.1.2. Espuma expansiva.....	12
1.1.3. Manta térmica.....	12
1.2. Estructura metálica de aluminio.....	13
1.3. Soporte giratorio.....	14
1.4. Sistema de nivelamiento y cuerdas.....	14
1.5. Soportes de antena.....	15
1.6. Paracaídas.....	16
1.7. Globos.....	16

## ● Capítulo 2: Electrónica y programación

1. Introducción general.....	19
2. Los componentes electrónicos.....	19
2.1. El microcontrolador.....	19
2.2. Sensores meteorológicos.....	20
2.2.1. Sensores de temperatura.....	20
2.2.2. Sensor de presión.....	21
2.3. Receptor GPS.....	21
2.3.1. Una pequeña introducción al sistema de posicionamiento GPS.....	21
2.3.2. El módulo utilizado.....	22
2.4. El radiotransmisor.....	23
2.5. Sistema de fotografía.....	25
2.5.1. Cámara fotográfica.....	25
2.5.2. Servomotor.....	26
2.6. Alimentación.....	27
3. Visión gráfica de los componentes.....	28
4. Programación del sistema.....	29
4.1. El lenguaje de programación C.....	29
4.2. Software y librerías utilizados.....	30
4.3. Estructura general del código.....	31
4.3.1. El sistema operativo MTKOS.....	31
4.3.2. Los controladores de periféricos.....	32
4.3.3. Las tareas de control.....	32

## ● Capítulo 3: Fases de pruebas

1. La necesidad de llevar a termino pruebas.....	35
2. Pruebas a baja temperatura.....	35
2.1. Por qué pruebas a baja temperatura?.....	35

2.2. Construcción de la cámara de frío.....	35
2.3. Hielo seco.....	37
2.4. Pruebas realizadas a baja temperatura .....	37
2.4.1. Pruebas de materiales: cuerdas, aluminio y aislantes .....	37
2.4.2. Prueba de componentes electrónicos básicos .....	38
2.4.3. Prueba del cut-down .....	38
2.4.4. Prueba final de radio, GPS y aislamiento de la caja de la sonda .....	39
<b>3. Pruebas de radio .....</b>	<b>39</b>
3.1. Para qué pruebas de radio?.....	39
3.2. Prueba de recepción.....	40
3.3. Prueba global de recepción.....	41
3.4. Pruebas de despegue controlado.....	42
<b>● Capítulo 4: Preparación del lanzamiento</b>	
<b>1. Un proceso largo y delicado.....</b>	<b>47</b>
<b>2. Elección del lugar de lanzamiento.....</b>	<b>47</b>
<b>3. Programas de simulación y Google Earth.....</b>	<b>48</b>
3.1. Qué es un programa de simulación?.....	48
3.2. Programas utilizados.....	48
3.2.1. Programas de simulación.....	49
3.2.2. Google Earth.....	49
<b>4. Permisos de AENA.....</b>	<b>49</b>
<b>5. Materiales.....</b>	<b>51</b>
<b>6. Expedición.....</b>	<b>51</b>
<b>● Capítulo 5: El lanzamiento</b>	
<b>1. Previos.....</b>	<b>55</b>
<b>2. Preparación de material.....</b>	<b>55</b>
<b>3. El viaje.....</b>	<b>55</b>
3.1. Desplazamiento a Bujaraloz.....	55
3.2. Preparación del montaje.....	56
3.3. El lanzamiento.....	57
3.4. Seguimiento.....	58
<b>● Capítulo 6: Resultados y conclusiones</b>	
<b>1. La obtención de datos.....</b>	<b>67</b>
<b>2. Posibles mejoras.....</b>	<b>68</b>
<b>3. Aparición en los medios de comunicación.....</b>	<b>68</b>
<b>4. Conclusiones globales.....</b>	<b>69</b>
<b>● Bibliografía</b>	
<b>1. Libros.....</b>	<b>71</b>
<b>2. Documentos y publicaciones.....</b>	<b>71</b>
<b>3. Páginas web.....</b>	<b>71</b>
<b>4. Otros.....</b>	<b>71</b>
<b>● Anexos</b>	
- Anexo 1: Análisis gráfico de datos	
- Anexo 2: Soporte digital (Código, hojas de especificaciones, fotografías, etc.)	



# Introducción

# 1. Orígenes del proyecto

Era el mes de febrero del año 2008 cuando nos encontrábamos cursando el crédito de Taller de Tecnología tras haber acabado todos los “trabajos de recerca”. Hacía meses que necesitábamos hacer algo diferente, algún proyecto que relacionara nuestras pasiones. Algunos integrantes del crédito éramos aficionados a los ordenadores y la electrónica, otros a la astronomía y la meteorología. Siempre nos había interesado todo este mundo y una de las cosas más fascinantes eran las de imágenes aéreas. Durante los últimos años se han obtenido imágenes de la tierra y de el espacio realmente impresionantes, un buen ejemplo son las obtenidas por astronautas desde la Estación Espacial Internacional o las del telescopio Hubble. Curiosamente, desde hace poco, grupos de forofos también se han propuesto poder obtener imágenes de este estilo pero obtenidas con aparatos creados por ellos mismos. Gracias a las tecnologías actuales como el GPS y las cámaras digitales es posible llevar a término proyectos de este estilo con presupuestos bajos. Estos artilugios caseros se denominan sondas estratosféricas. Los aparatos que incluyen dentro son muy diversos y en nuestro caso consistían en sensores meteorológicos y una cámara fotográfica, es por este motivo que lo denominamos sonda meteorológica. Tras ver unos cuántos aparatos de estos llevados a término en algunos países como los Estados Unidos o el Reino Unido, nos planteamos hacer algo parecido. Sabíamos que era una proyecto difícil de hacer, pero estábamos dispuestos a aportar tantas horas como hiciera falta, queríamos hacer un sueño realidad: visitar la estratosfera y ver la Tierra como probablemente nunca podremos hacerlo. Así es cómo nació el proyecto Meteotek08 en las aulas del IES Bisbal.

## 2. Objetivos y procedimiento

Como ya hemos dicho en el apartado anterior una de las cosas más interesantes era la obtención de imágenes puesto que visualmente son impactantes y quizás son la prueba directa e irrefutable que la sonda ha llegado realmente a la estratosfera. Aún así detrás de estas imágenes hay unos pasos a seguir que hace falta estructurar muy bien. En los siguientes puntos se muestra un resumen de los objetivos que nos marcamos al empezar el proyecto, puesto que hacía falta hacer un trabajo preciso y muy bien coordinado para intentar no descuidar ningún detalle

- **Fase previa**

Antes de proceder con el proyecto se aportaron ideas sobre qué se debía hacer, después se seleccionaron los materiales electrónicos y estructurales que compondrían la sonda, y finalmente se procedió a busca proveedores dónde poder comprar estos materiales.

- **Proceso de construcción**

- **Estructura**

La estructura es una parte dónde el objetivo principal es construir la caja. Además hace falta incluir aquí los aislamientos, el nivelamiento y distribución de pesos entre otras cosas.

- **Electrónica y programación**

Este apartado es uno de los más largos y más importantes del proyecto. Un objeto autónomo requiere llevar en su interior algún mecanismo automático que se encargue de gestionar todas las tareas: hacer fotografías, recoger datos, enviar registros vía radio, etc.

- **Sesiones de pruebas**

Un proyecto con parte práctica debe constar de una fase de pruebas, es decir, el intento de hacer trabajar la sonda en condiciones parecidas a las que se encontrará en realidad el día del lanzamiento. En el caso del proyecto Meteotek08 las pruebas hechas fueron básicamente tres:

- Pruebas a baja temperatura de los componentes electrónicos y materiales
- Pruebas de recepción de radio hechas en coche

- Despegue controlado de todo el montaje por comprobar la estabilidad del conjunto

- **Lanzamiento y resultados**

Una vez superados todos los procesos llega el momento más esperado, el lanzamiento. Hace falta seleccionar un lugar adecuado, pedir los permisos correspondientes y evidentemente estudiar gracias a simulaciones los días más favorables. Una vez realizado, se hace un análisis posterior de los datos obtenidos.

Es necesario remarcar que en este trabajo el objetivo es explicar de forma divulgativa las partes del proyecto y detallar los procedimientos seguidos, es por este motivo que algunos aspectos técnicos no se abordan en más profundidad. También nos gustaría hacer mención de la página web del proyecto (<http://www.teslabs.com/meteotek08>) dónde desde los inicios se fue informando de los procesos seguidos además de incluir documentación técnica y una gran colección de fotografías. Se recomienda visitar la página como complemento de este documento.

### 3. Una introducción a la atmósfera terrestre

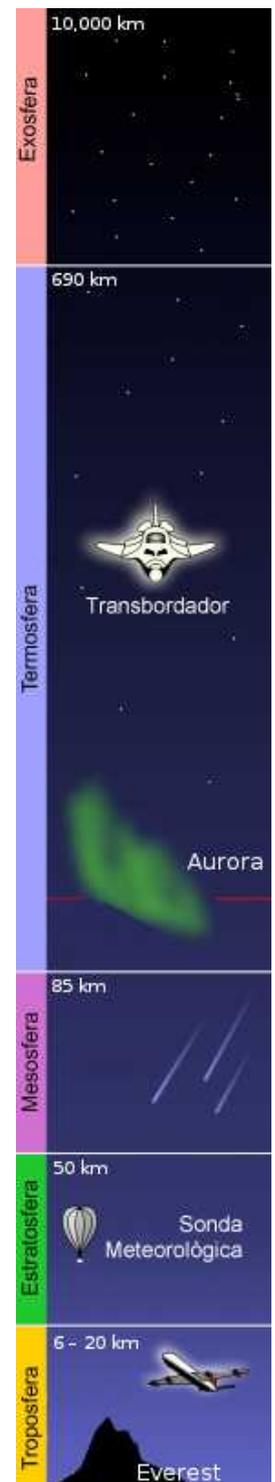
La atmósfera, es la capa gaseosa que rodea completamente la tierra hasta una altura mediana de unos 1000km, puesto que varía dependiente si estamos al ecuador o a los polos. Su composición mayoritaria es de 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y el resto de gases muy importantes, residuos en suspensión y como no el agua. La atmósfera, concentra el 85% de su masa a su capa más baja, la troposfera, que se extiende desde la superficie terrestre hasta aproximadamente los 20Km de altura. Por encima de esta se encuentra la estratosfera, la cual es mucho más extensa que la primera y logra los 50Km de altura e incluye la capa de ozono. He querido introducir estos datos puesto que la sonda atraviesa estas dos capas durante su vuelo, y tener una idea inicial creo que es importante. En la atmósfera existen otras capas como la mesosfera, la termosfera y exosfera, que podéis ver al gráfico de la derecha pero que no detallaremos, ya que la sonda no discurre por ellas durante su vuelo.

#### 3.1. Troposfera

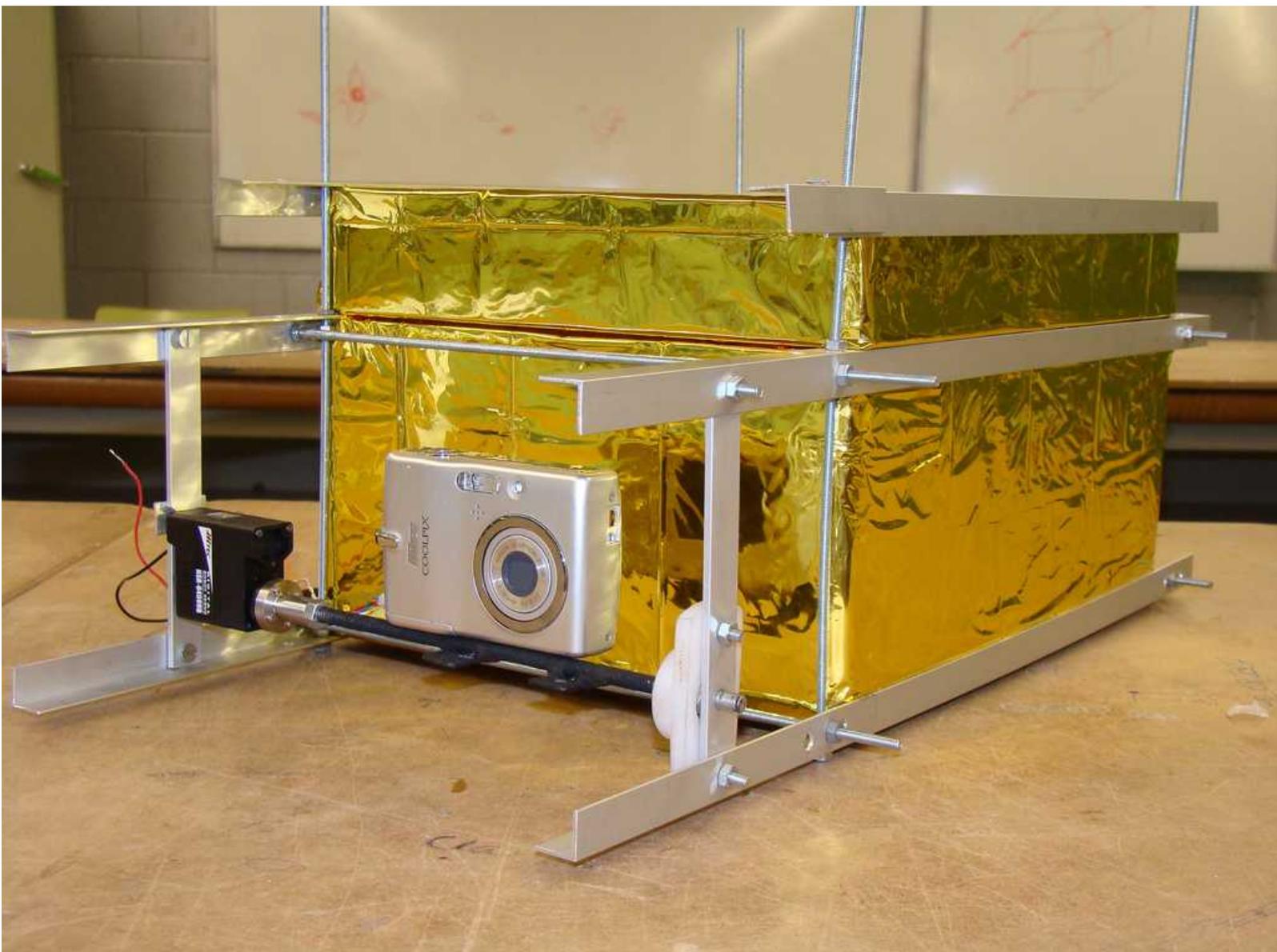
Tres cuartas partes de la masa de la atmósfera se encuentra en este ancho cinturón que forma la troposfera (del griego tropos: cambio), que puede llegar a tener hasta 20Km de altura en el ecuador. Se trata de la zona situada inmediatamente por encima de la superficie, y a la cual se llevan a término todos los procesos meteorológicos, es decir, el tiempo atmosférico. El calentamiento de la troposfera se produce gracias a la radiación de calor de la Tierra. Es por este motivo que se observa una clara disminución de la temperatura con la altura hasta llegar a valores próximos a los -60°C. El problema más grande de la troposfera lo encontramos en atravesar la tropopausa, que es la zona situada entre la troposfera y la estratosfera, y se trata de una capa de varios kilómetros entre las dos capas. Este intercambio de capas se lleva a término de forma bastante violenta y esto comporta la creación de violentas tormentas (denominadas *jetstream*, o corrientes de chorro) que pueden llegar a velocidades de hasta 600 Km/h según las épocas del año pero, en nuestro entorno no son tan frecuentes como en otros lugares, por ejemplo al Reino Unido.

#### 3.2. Estratosfera

La estratosfera (del griego stratos significa capa) se extiende desde la tropopausa hasta una altura de hasta 50 km. En su zona inferior, hay temperaturas de entre -50°C y -60°



C, en la zona superior sigue una capa con mayores temperaturas que llega a tener valores de hasta 15° C . Aún así nuestra altura máxima de vuelo suele ser de 30 – 33 Km y aun cuando la temperatura suba, no llegamos a valores positivos todavía, sino que nos quedamos con valores entre -15 y - 30° C. Cabe decir también que la presión atmosférica a esta altura es mínima y llega a valores próximos a los 6-10 hPa. Es importante mencionar también, que una vez pasada la tropopausa el viento es casi inexistente debido a la baja densidad del aire y de su temperatura, que imposibilita las corrientes convectivas.



# Capítulo 1

## Estructura y materiales

# 1. Materiales utilizados

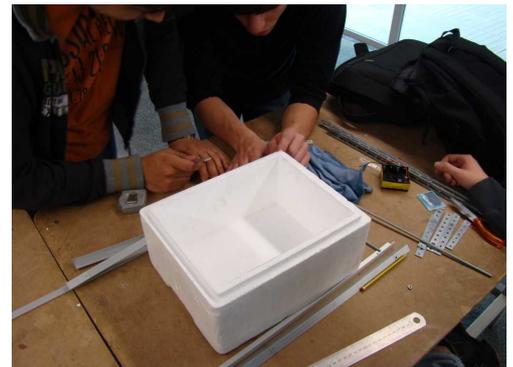
El número total de materiales diferentes utilizados ha sido muy elevado, puesto que debían tener poco peso, ser relativamente baratos pero a la vez de calidad, además de poder resistir las extremas condiciones de trabajo a las cuales debían ser sometidos durante el vuelo. La búsqueda de todos los materiales fue un proceso que se inició desde el primer momento y que se fue alargando durante gran parte del proyecto, ya que continuamente surgían nuevos imprevistos que nos obligaban a buscar varias soluciones.

## 1.1. Aislantes térmicos

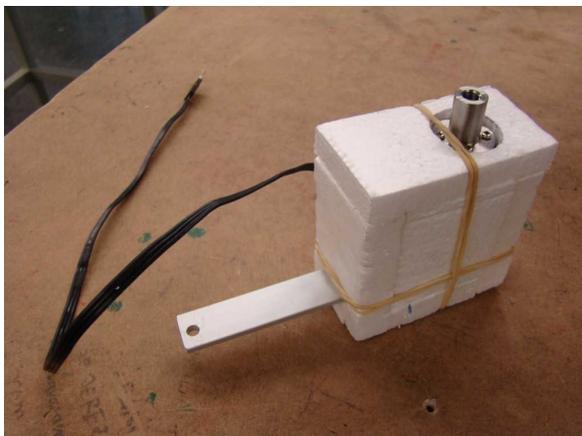
El problema del aislamiento fue nuestra primera prioridad desde el comienzo y esto comportó que fuera la tarea a la cual dedicáramos mayor número de horas y de pruebas. Esto es debido a que a la atmósfera las condiciones de presión y temperatura son muy duras, llegando a temperaturas cercanas a los  $-60^{\circ}\text{C}$  y a presiones muy bajas próximas a 0 Pa, y como es lógico esto podría comportar problemas. En el tema de la presión poca cosa se podía hacer, pues construir una caja presurizada era imposible por su elevado precio. Por suerte la mayoría de componentes pueden trabajar en estas condiciones. Con respecto a la temperatura sí que puede suponer un problema, algunos materiales electrónicos pueden tener comportamientos ligeramente diferentes dependiente de la temperatura y además, en la mayoría de ellos no se garantiza la operabilidad por debajo de los  $-40^{\circ}\text{C}$ .

### 1.1.1. Porexpan

El porexpan fue el elemento más utilizado para el aislamiento general de la caja de la sonda, esto es debido al alto grado de aislamiento térmico que nos puede suministrar con gruesos relativamente pequeños de material, como también su poco peso. Cabe mencionar que la caja que conforma la sonda no es más que una caja de congelados industriales, nos decantamos por esta opción puesto que ofrecían buena estanqueidad, cosa que favorecía un buen aislamiento. Finalmente, hace falta destacar su bajo coste. El porexpan también fue utilizado, entre otros elementos por el recubrimiento de la cámara y del servomotor.



*La caja utilizada*



*Fotografía con el servomotor y la cámara aislados utilizando varios tipos de porexpan*

### 1.1.2. Espuma expansiva

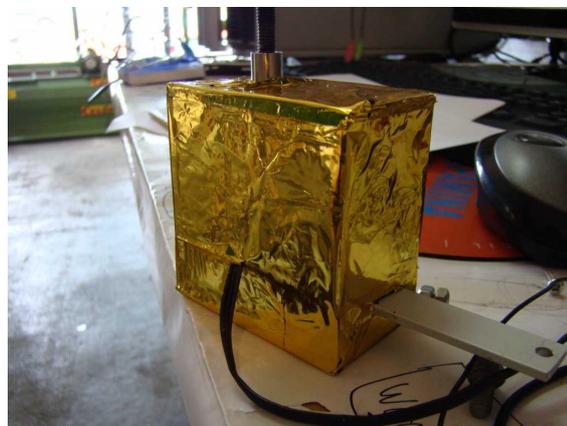
La opción de utilizar espuma expansiva surgió del hecho que necesitábamos un aislante para aquellos objetos no regulares y en los cuales por cuestión de diseño no se podía aislar adecuadamente con la aplicación directa de porexpan. El elemento en el cual se utilizó la espuma fue la cámara puesto que como hemos dicho tenía formas irregulares. Se debe reconocer que en este caso, más que como aislante se utilizó por obtener una forma rectangular que permitiera hacer más fácil el ensamblamiento a la estructura externa y además, ofrecía resistencia a los golpes en el momento de la caída.



Momento de la aplicación de la espuma expansiva y posterior resultado

### 1.1.3. Manta térmica

La manta térmica es el elemento aislante más visible de la sonda, puesto que era el que iba al exterior. Es un elemento utilizado en general para mantener el calor corporal de las personas accidentadas. Su funcionamiento es muy sencillo: Si lo que nos interesa es preservar un objeto lo más frío posible, pondremos a la cara exterior el color plateado, ya que refleja cualquier fuente luminosa haciendo que no se retenga calor a la superficie. Al contrario, si nos interesa mantener caliente o incluso calentar un objeto, poniendo la parte dorada fuera conseguimos que esta recoja el calor de las fuentes luminosas exteriores. En el caso de la sonda, interesaba ganar temperatura por mantener los componentes electrónicos a un rango de temperaturas óptimo, así, si se pone la parte dorada al exterior conseguimos recoger pequeña parte de la energía solar. En el caso de la caja de pruebas a bajas temperaturas, la cual se verá en capítulos posteriores, interesaba reflejar cualquier fuente calorífica exterior para mantener la temperatura interna lo más baja posible.



Ejemplos de aplicación de la manta térmica: la caja principal y el servomotor

## 1.2. Estructura metálica de aluminio

La estructura metálica externa a la caja de la sonda fue uno de los primeros elementos en los cuales se trabajó, puesto que era básica para la integridad de la sonda en el momento de su caída y posterior impacto contra el suelo, y además nos condicionaba la disposición de todos los elementos externos ya que estos debían ir dentro de esta para estar protegidos.



*Primer montaje de la estructura*

La estructura inicial no era la de la fotografía, si no que era hecha de hierro pero se oxidaba con facilidad y pesaban demasiado. El material con el que pensamos enseguida fue el aluminio, puesto que dispone de una capacidad de absorción de impactos elevada, y de un peso bajo, esencial por una sonda dónde el peso juega un papel muy importante. Se decidió usar escuadras largas que se ajustaron a los bordes de la caja y que sobresalían por un lado de esta, estos salientes sirvieron para fijar el servomotor y la cámara los cuales iban externos a la caja para permitir a la cámara tener varias orientaciones y obtener así fotografías del suelo y del cielo. A la vez esta estructura forma una especie de jaula integral que protege los elementos y disipa la energía de impacto. Las uniones entre las escuadras de aluminio se hicieron mediante varillas roscadas para facilitar así la sujeción de todos los elementos que debían dar tensión a la estructura y hacerla resistente. Para más seguridad las roscas fueron fijadas con un pegamento fijador industrial de roscas.



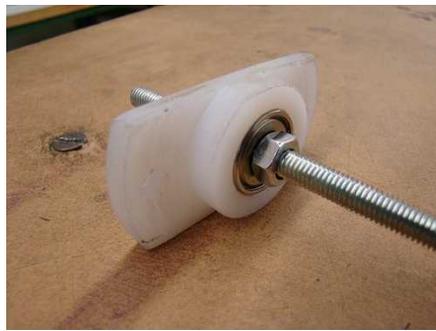
*Montaje con todos los elementos*

### 1.3. Soporte giratorio

El soporte giratorio todo y ser un elemento simple, es uno de los más importantes del proyecto puesto que su incorporación permitió la obtención de fotografías en diferentes ángulos pudiendo así tener fotografías del suelo, del horizonte y la atmósfera. Es necesario remarcar que la incorporación de este sistema orientable fue el hecho más innovador del proyecto, puesto que en muchos proyectos parecidos sólo disponen de una cámara estática y sólo pueden captar fotografías en horizontal

Los elementos principales de este sistema son:

- **El servomotor:** Era un motor controlado por el microcontrolador y era el encargado de hacer mover el apoyo de la cámara. Gracias a él se podían obtener giros en un rango de 180°.
- **El soporte:** Unía el servomotor con la estructura de aluminio permitiendo sostener a la cámara. Este soporte era hecho con 3 planchas de hierro soldadas a una varilla roscada, y se unía a la cámara mediante un tornillo y dos tensores de plástico.
- **El cojinete:** Permitía el giro del sistema con el mínimo rozamiento y era el punto de unión a la estructura de aluminio de la caja.



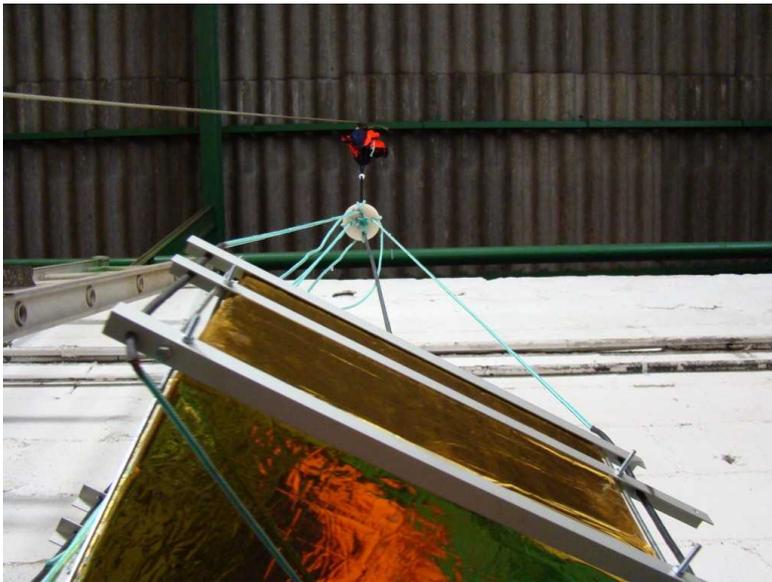
*El servomotor, el cojinete y el soporte respectivamente*

### 1.4. Sistema de nivelamiento y cuerdas

Una vez terminada la estructura de la caja surgió un nuevo reto, dar la máxima estabilidad posible a la caja para poder obtener unas imágenes lo más estables y niveladas posibles. Para hacerlo optamos por un sistema simple pero eficaz: una pieza circular de nilón que servía de unión entre el cable que subía hacia al paracaídas y el globo, además de los 4 cables que sujetaban cada uno de los lados de la caja. Con respecto a las cuerdas estas eran de nilón trenzado de 4mm para asegurar una resistencia muy elevada a la tracción y al frío. Además, en las partes con posibilidades de rozamiento con elementos de aluminio, las cuerdas se revistieron de funda retráctil para dar una capa extra de recubrimiento y evitar así cualquier posibilidad de rotura por fricción.



*Construcción del punto principal de unión*



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

## 1.5. Soportes de antena

La utilización de una antena direccional es básico para poder recibir los datos que envía la sonda vía radio, pero la antena por si sola no disponía de ninguna base dónde aguantarse, por esta razón fue necesario hacer un soporte. Primeramente lo hicimos fijo para las pruebas y a posteriori otro soporte móvil adaptado al vehículo de seguimiento durante el lanzamiento. Este último fue hecho el día antes del lanzamiento, y permitía el giro total en vertical y horizontal, cosa que fue especialmente útil.

Los soportes fueron hechos con barras de acero soldadas entre sí y pintados para prevenir el óxido.



Los dos soportes de antena, el fijo y el móvil

## 1.6. Paracaídas

El paracaídas era otra parte esencial de la sonda, puesto que debía permitir frenarla durante el descenso tras la explosión del globo, evitando que ésta quedara desintegrada en impactar a alta velocidad con el tierra. Al ser un elemento que requería una buena fiabilidad, se decidió comprarlo directamente a una empresa especializada denominada *The Rocket Man*, ubicada en los Estados Unidos. Esto también nos permitió saber la velocidad de descenso teórica de la sonda y no encontrarnos con sorpresas durante la caída. La siguiente tabla muestra algunas de las características del paracaídas utilizado.

Características	Descripción
Fabricante	The Rocket Man
Modelo	Standard low-porosity 6FT
Velocidad descenso (teórica)	5,4 m/s (con el peso de la sonda)
Materiales y otros	Tela rip-stop con obertura ajustable



*El paracaídas utilizado*

## 1.7. Globo

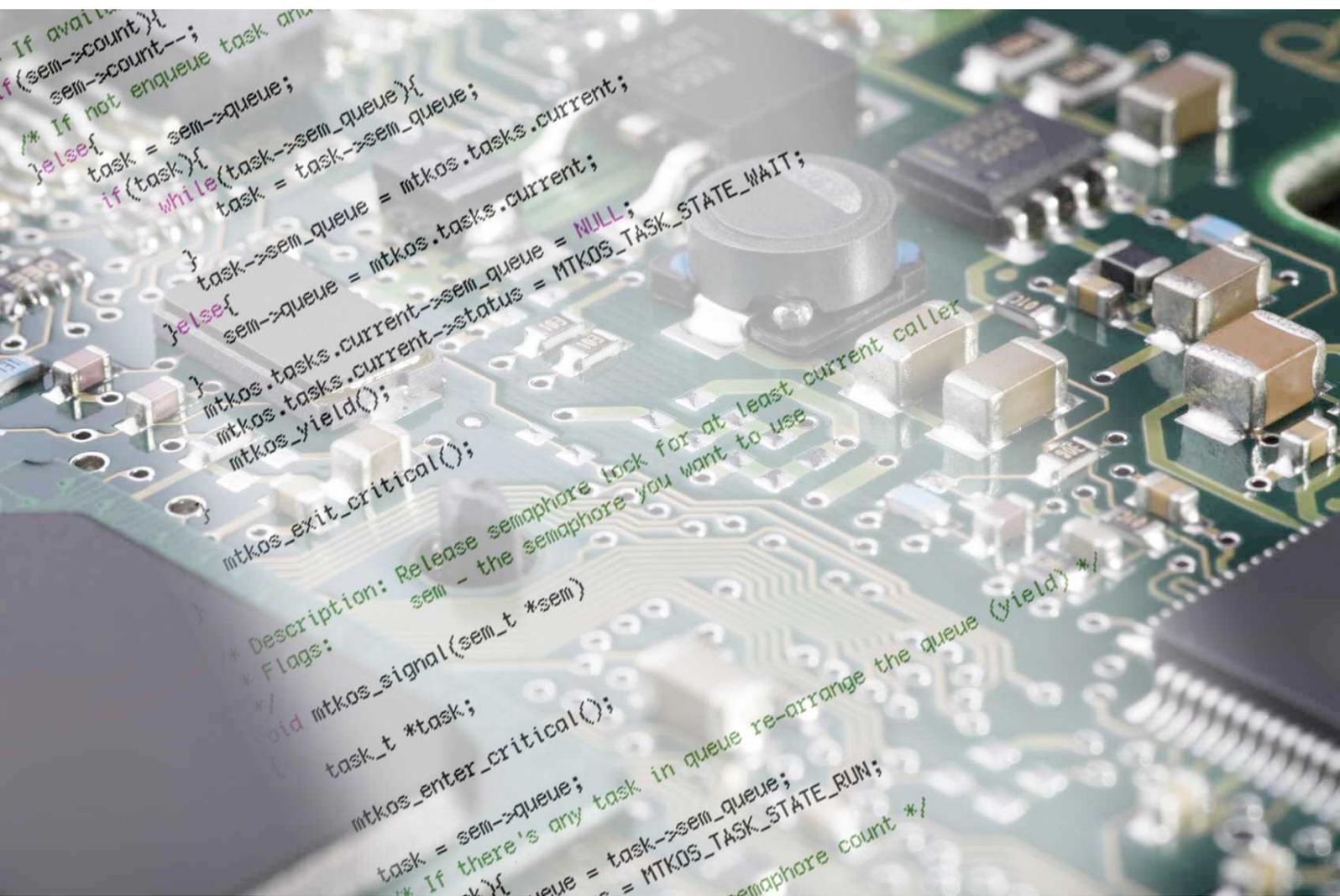
El globo es el elemento más importante de la sonda, puesto que este es el encargado de propulsarla durante su ascenso y hacerla llegar a la altura de explosión por encima de los 30.000 metros de altitud. El globo también fue comprado a una empresa especializada, puesto que es un elemento con usos muy específicos. Estos globos son calibrados y conociendo el peso que han de levantar podemos saber la altura de explosión y el volumen de hinchado necesarios por lograr las velocidades de ascenso deseadas. Además en el momento de la explosión el globo se fragmenta abriéndose como los pétalos de una flor con pequeñas tiras de látex para evitar que este se enmarañe o prive la apertura del paracaídas durante el descenso. La tabla siguiente muestra algunas de las características más importantes del modelo utilizado:



*El globo utilizado*

Características	Descripción
Fabricante	Kaymont
Modelo	KCI 1500
Color / Material	Blanco / Látex
Peso del globo	1500 g
Diámetro de salida	220 cm
Diámetro explosión	944 cm
Volumen de helio a la salida	6,5 m <sup>3</sup>





# Capítulo 2

# Electrónica y programación

# 1. Introducción general

Como cualquier se puede imaginar, un aparato de este tipo no funciona solo sino que detrás suyo tiene un complejo instrumental electrónico e informático que gobierna y dirige todas las operaciones. En el caso de la sonda este conjunto es bastante complejo y no entraremos a detalles profundos sobre este aspecto, sino que intentaremos dar una idea general y visual para ser claros y entendedores. Aún así, se incluye como anexo el código que hace funcionar la sonda para aquellas personas interesadas en verlo y quizás sacar algo. La sonda está compuesta por unos elementos principales, los cuales interactúan entre ellos gracias al circuito dónde están conectados y a la serie de instrucciones pre-programadas que tienen. Por ejemplo: al ponerse en marcha la sonda lo primero que se hace es inicializar todos los dispositivos como los sensores, la cámara... y una vez acabado se pone a hacer una serie de tareas que si no hay ninguna anomalía se repiten indefinidamente como son la lectura de datos, su envío... El siguiente diagrama de bloques muestra esta interconexión de los elementos:

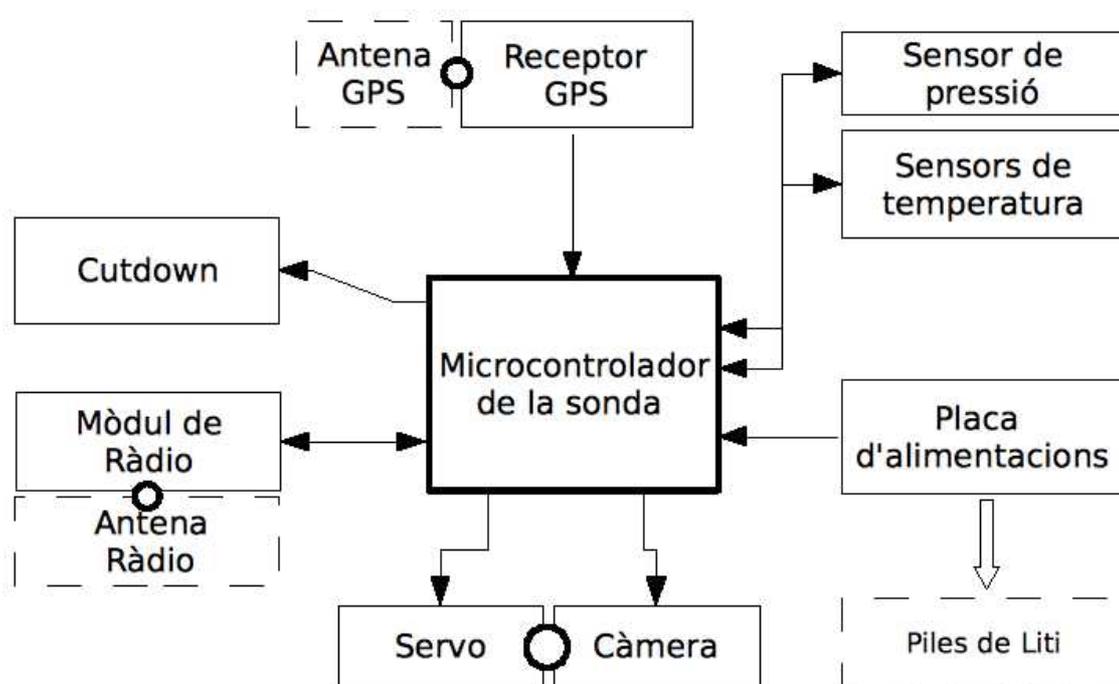


Diagrama de bloques con los componentes principales de la sonda Meteotek08.

Acto seguido se detallará cada uno de estos componentes así como también una explicación entendedora del tema de programación.

## 2. Los componentes electrónicos

### 2.1. El microcontrolador

Los microcontroladores son pequeños dispositivos electrónicos que ofrecen las tres partes esenciales de un ordenador integradas en un solo chip: procesador, memoria y unidad de entradas/salidas. Además, pueden incluir otras utilidades como temporizadores (Timers), implementación de buses como la *USART* o *SPI* además de otras muchas opciones que variarán en función del campo de aplicación del microcontrolador, el

cual puede ser muy variado. Los microcontroladores son utilizados en muchísimos lugares actualmente, desde los más potentes a los teléfonos móviles hasta los más simples como el de la sonda Meteotek08. Todo y ser simple, es la parte esencial de la sonda *Meteotek08* y se podría calificar como su “cerebro”. El microcontrolador es el encargado de ejecutar la serie de secuencias pre-programadas y por lo tanto es quien lleva a término la mayoría de tareas o bien da órdenes a componentes secundarios porque realicen otras ordenes. El microcontrolador utilizado es de uso general y pertenece a una serie denominada *AVR* fabricada por la empresa Atmel. Concretamente es un *Atmega1281*, del cual acto seguido se muestra una fotografía y una tabla de características.



Fotografía del microcontrolador utilizado por la sonda *Meteotek08*.

Característica	Descripción
Fabricante	Atmel
Modelo	Atmega1281
Arquitectura	RISC, 8-bits
Memorias	- SRAM: 8KB - Flash: 128KB - EEPROM: 4KB
E/S	54 podes funcionar com a E/S d'ús general a més de poder activar altres funcions específiques
Algunas utilidades incluidas e utilizadas	- Timers de 8 i 16 bits - Canals de PWM ( <i>Pulse With Modulation</i> ) (8 i 16 bits) - Controlador SPI ( <i>Serial Peripheral Interface</i> ) - Controlador USART ( <i>Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter</i> )
Programación y depuración	- JTAG ( <i>Join Test Action Group</i> ): Facilidad para programar el xip y depurar el código, entre otras funciones.

## 2.2. Sensores meteorológicos

### 2.2.1. Sensores de temperatura

Una de las variables meteorológicas más importantes y quizás la más visual o común es la temperatura, por eso es por lo que la sonda debía incluir sensores de temperatura. Además, como se ha hablado a la introducción se producen variaciones curiosas de la temperatura. Uno podría pensar que en alejarnos del tierra la temperatura continúa bajando de la manera que lo hace a los primeros momentos, pero cuando nos encontramos en la estratosfera se observa que vuelve a subir y en altitudes más altas de las logradas por la sonda incluso vuelve a ser positiva. La elección de un sensor no fue fácil, puesto que el rango de temperaturas a medir era muy amplio. Además, encontrar sensores que midieran temperaturas cerca de los  $-60^{\circ}\text{C}$  no es fácil y sus precios suelen ser elevados. El sensor



El sensor *DS18B10*

escogido fue un DS18B20, fabricado por *Maxim-Dallas Semiconductores*. Es un sensor con límite inferior de medida a los  $-55^{\circ}\text{C}$  y con resolución de hasta 12 bits. Como se puede observar es un rango de medida demasiado justo, pero otras opciones tenían precios demasiado elevados y fueron descartadas. Curiosamente pero, tanto en las pruebas de caja de frío como en el vuelo hay registros inferiores a los  $-55^{\circ}\text{C}$  los cuales son interpretados directamente de los datos recibidos del sensor, que numéricamente lo hace posible aun cuando en la hoja de especificaciones no detalla que esto pueda pasar. Acto seguido se muestra una mesa con el resumen de características.

Característica	Descripción
Fabricante	Maxim
Modelo	DS18B20
Rango de temperaturas	$-55^{\circ}\text{C}$ a $+125^{\circ}\text{C}$
Resolución	Seleccionable: 9,10,11 i 12 bits
Precisión	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (des de $-10^{\circ}\text{C}$ a $+85^{\circ}\text{C}$ )

Hace falta remarcar que en la sonda se incluían dos sensores de temperatura: uno al exterior y el otro al interior. El exterior era el principal y más importante, el otro fue utilizado por comprobar que la temperatura de trabajo de todo el sistema electrónico era óptima, y además, ha servido para comprobar que en futuras misiones se pueden optimizar temas de aislamiento y selección de baterías puesto que las condiciones no son tan extremas como nos habíamos planteado.

### 2.2.2. Sensor de presión

Una de las otras variables más importantes y conocidas es la presión atmosférica. La presión atmosférica presenta una variación también lo suficiente curiosa, puesto que es de decrecimiento exponencial, no es lineal como un se podría pensar. Esta variación exponencial es debida a la formación natural de la atmósfera. En nuestro caso el sensor utilizado también fue de tipo digital y fabricado por la empresa *VTI Technologies* y el modelo es el *SCP1000*. Cabe aclarar que comportó algunos conflictos con la tarjeta SD puesto que utilizaban el mismo buzo (SPI). Aun cuando se utilizaban selectores por utilizar el buzo nunca menguaron los problemas cosa que hizo que durante el vuelo se desactivara la tarjeta para evitar problemas que ya habíamos tenido durante las fases de prueba. Acto seguido se muestra una tabla con el resumen de características.



*El sensor SCP1000*

Característica	Descripción
Fabricante	VTI Technologies
Modelo	SCP1000
Rang0 de temperaturas	30kPa a 120kPa
Resolución	Máximo 17 bits

## 2.3. Receptor GPS

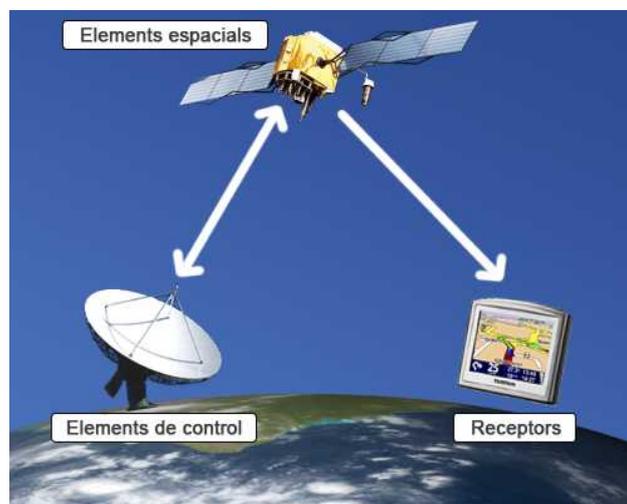
### 2.3.1. Una pequeña introducción al sistema de posicionamiento GPS

El sistema GPS (*Global Positioning System*) es un sistema que te permite saber en todo momento tu posición sobre la Tierra y se basa en el principio de la triangulación. Su precisión ha mejorado mucho en los últimos

años, y actualmente se han conseguido crear dispositivos con precisiones inferiores a pocos centímetros, aun cuando los más comunes utilizados por los ciudadanos suelen estar alrededor de los 3 metros. El sistema GPS fue desarrollado por los EE.UU inicialmente sólo para uso militar. El objetivo era muy claro: conseguir un sistema que permitiera determinar la posición de los soldados con dispositivos relativamente económicos y que no emitieran ningún tipo de ola de radio por tal de no ser interceptados por el enemigo. El GPS pero, no se diseñó de la nada sino que tiene unos predecesores como son los proyectos *Transit*, *Timation* y *System 621b*. El sistema está compuesto por una red de 24 satélites y unas cuantas estaciones de control ubicadas a la tierra. Los satélites están distribuidos de tal manera que como mínimo podamos ver 4 desde cualquier lugar de la tierra y son los encargados de emitir continuamente una serie de olas de radio gracias a las cuales los receptores pueden determinar su posición sobre la tierra. Estas olas de radio tienen una estructura determinada que el receptor conoce y por lo tanto es capaz de interpretar. Los datos que podemos encontrar son los siguientes:

- Parámetros orbitales del satélite
- Información del tiempo (horario) y el estado del reloj del satélite
- Modelo para corregir errores del reloj del satélite
- Modelo para corregir los errores causados por la ionosfera y troposfera
- Información sobre el estado de salud del satélite
- Almanaque (estado de los otros satélites)

Gracias a todo éste conjunto de datos un receptor será capaz de determinar su posición sobre la tierra. Es importante remarcar que los satélites incluyen 4 relojes atómicos, unos relojes altamente precisos y muy costosos, que son necesarios por no perder precisión.



*Un esquema simple del sistema GPS: Los elementos espaciales (satélites), los de control (estaciones) y las aplicaciones de usuario cómo pueden ser los navegadores.*

### 2.3.2. El módulo utilizado

Actualmente la tecnología GPS se ha extendido muchísimo y tiene un amplio campo de aplicaciones. Es por este motivo que existe una amplia banda de receptores y escoger un no fue fácil. La mayoría funcionan de manera parecida y las características, tamaños o consumo eran parecidos. Aún así, hay un punto que es muy importante: su altura máxima de funcionamiento. La mayoría de receptores dejan de reportar posición a partir de los 18.000m de altura o bien para velocidades mayores



*Trimble Copernicus*

que los 515m/s debido a una serie de restricciones impuestas a los fabricantes. Cómo podéis ver, nuestra sonda lograría alturas superiores a los 30.000m y si perdiáramos la posición podría haber supuesto un fracaso de la misión. Por eso es por lo que costó encontrar un módulo apto para el proyecto, que finalmente fue el *Trimble Copernicus*, el cual activando una opción denominada *AIR MODE* permitía el posicionamiento hasta los 50.000m. Acto seguido se muestra una tabla con sus características principales.

Característica	Descripción
Fabricante	Trimble
Modelo	Copernicus
Tiempo de <i>cold-start</i>	39s (Primera posición válida en ponerse en marcha sin datos anteriores de satélites)
Consumo medio	28.5mA a 3.3V
Formatos de salida	NMEA, TSIP i TAIP

Finalmente, hace falta hacer mención de la antena, sin la cual el módulo no podría recibir correctamente las señales GPS. En nuestro caso se utilizó una antena magnética, mostrada a la siguiente fotografía.



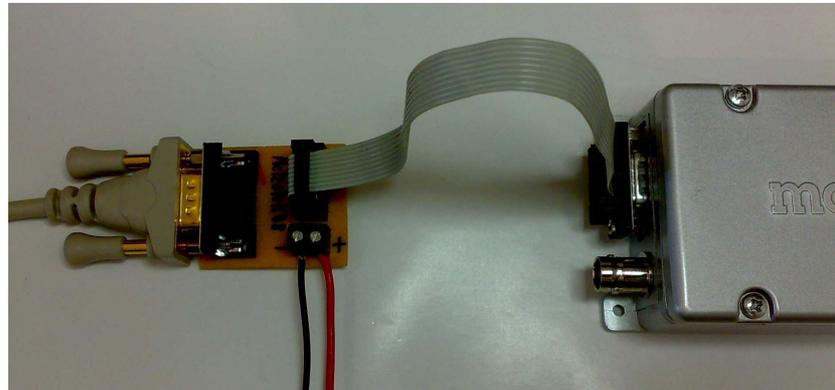
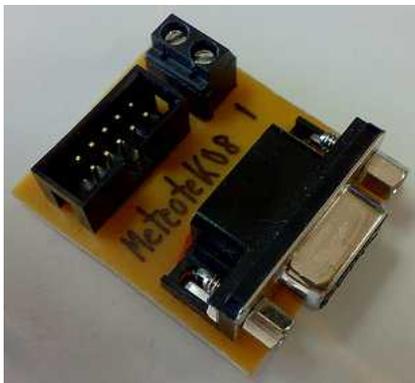
*Antena GPS utilizada*

## 2.4. El radiotransmisor

Se debe reconocer que el tema de radiocomunicaciones no era nuestra especialidad, puesto que es un campo difícil de tratar con nuestros conocimientos. Por este motivo fue uno de los aspectos a los que acudimos a varias personas para pedir consejos como los miembros del *UKHAS* y finalmente a una tienda especializada. Teníamos claras nuestras necesidades: un sistema por enviar/recibir datos de poco caudal a una distancia máxima de 30.000m de cielo a tierra. Además, también sabíamos las posibilidades del microcontrolador, quien sería el encargado de utilizar el módulo de radio para enviar los datos correspondientes. Tras algunas discusiones, precios y opciones seleccionamos el conjunto *MAXON SD-125* con el módem serie *MAX-II*. Eran unos dispositivos fabricados por la empresa *MAXON*, y ofrecían las características que se muestran a la tabla siguiente:

Característica	Descripción
Fabricante	MAXON
Modelo	SD-125 con módem MAX-II
Potencia	Configurable: 1W y 5W
Frecuencias - Canales	440-470Mhz (16 Canales)
Tipo de modulación	FFSK
Interficie	RS232; baudrates: 1200, 2400, 4800 y 9600

Las antenas utilizadas fueron una direccional (*yagi*) para la base de recepción y una otra de omnidireccional en la sonda. Finalmente, también cabe mencionar las placas adaptadores que se tuvieron que construir para poder conectar los módulos directamente al ordenador a través del puerto serie común. Se muestran fotografías de todo el conjunto a continuación.



*Placa adaptadora y montaje del módulo en la placa, la alimentación y el cable de ordenador*



*Antena direccional utilizada en la base de recepción*

## 2.5. Sistema de fotografía

### 2.5.1. Cámara fotográfica

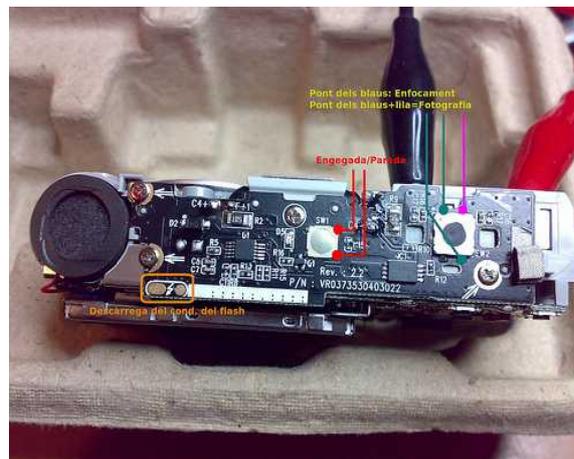
Desde el inicio del trabajo siempre se ha dicho que una de nuestras pasiones era obtener imágenes de la tierra, especialmente a estas alturas por el hecho que puedes observar la curvatura de la tierra, el azul de la atmósfera y la negrura del espacio. Para hacer esto nos hacía falta una cámara fotográfica que además, pudiéramos controlar nosotros. Otro aspecto a tener en cuenta era la inclusión de un estabilizador de imagen en el momento de hacer la fotografía. Por suerte hoy en día una cámara digital convencional es muy económica y ofrece una calidad lo suficiente buena. Tras leer unos cuantos comentarios, nos decantamos por la marca *Nikon*, concretamente por el modelo *Coolpix L10*. Tenía una relación calidad-precio muy buena. A pesar de esto, en el intento de modificación de la cámara para poderla controlar nosotros se nos rompió, cosa que nos hizo cambiar a una nueva cámara, la *Coolpix L15*. La nueva ofrecía algunas características más que la hacían mejor al anterior.



Probablemente el gran interés es como hacer estas modificaciones para poder disparar la cámara en el momento deseado. Es un mecanismo muy simple de concepto: consiste en hacer lo que harías con las manos (pulsar el disparador) mediante un circuito electrónico.

- **Primer paso: desmontar e identificar las teclas de hacer fotografía y poner en marcha/parar**

Es un proceso simple, sólo hace falta observar dónde están ubicados respecto la carcasa exterior y además, tener claro como están hechas por dentro las teclas o botones. Una vez hecho se pueden hacer pruebas haciendo pequeños puentes con cables conductores (con cierta precaución) por ver rápidamente como está todo distribuido.



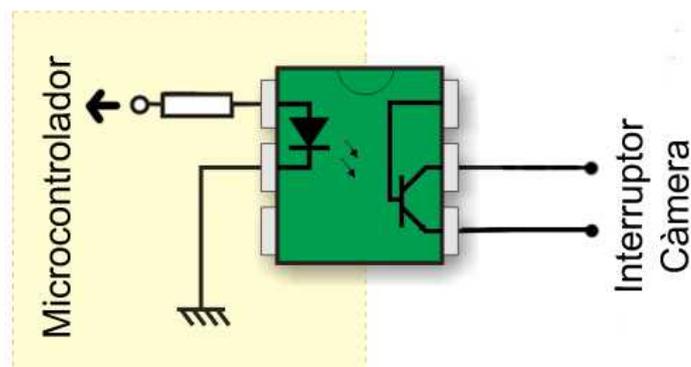
- **Segundo paso: colocar hilos a los puntos dónde hay las teclas**

Tras haber identificado qué hace cada punto, podemos proceder a soldar cables que salgan al exterior, cosa que permitirá un posterior control sin tocar la cámara y desde el exterior.



- **Tercer paso: utilizar optoacopladores o transistores para hacer las fotografías**

El principio del interruptor electrónico se debe al transistor, y de hecho, un optoacoplador no es más que un caso especial de éste. Consta de dos partes: un LED infrarrojo y un fototransistor, el cual se activa en incidir a su base esta luz. Esto permito hacer dos cosas: de interruptor y de aislante. El primero no es más complicado que el funcionamiento de un transistor común y el segundo se debe al ser una activación no controlando la corriente de base (cosa que requeriría tener la base y por lo tanto todo el transistor al circuito dónde se está aplicando) sino que se hace incidir luz infrarroja, la cual puede ser generada por otro circuito totalmente independiente. Nos decantamos por esta opción básicamente por esto: cualquier problema electrónico que afectara a la cámara no intervendría en nada al circuito principal de la sonda. Acto seguido se muestra un esquema conceptual del montaje:



### 2.5.2. Servomotor

Nuestra idea de poder hacer fotografías fue más allá y nos propusimos poder hacer fotografías en varios ángulos. Pensamos que sería bonito poder obtener fotografías orientadas al suelo para ver en detalle la orografía del terreno, el horizonte e incluso el cielo. Para hacer esto teníamos dos opciones: montar un par de cámaras o bien hacer que la cámara fuera móvil. La primera era inviable, aun cuando lo habíamos visto en otros proyectos, la segunda parecía interesante puesto que al disponer de una estructura externa de aluminio, acoplar un pequeño motor que hiciera girar la cámara no sería demasiado complicado. Así fue y la opción escogida fue la colocación de un servomotor. Un motor de este tipo está compuesto por dos partes principales: el motor en sí y el control de posición, que permite de manera fácil posicionar el motor sin preocuparnos de su funcionamiento interno. Este posicionamiento se hace mediante el PWM (*Pulse Width Modulation*). Gracias al microcontrolador, el cual integra una utilidad para generar la señal PWM, se puede mover el servo simplemente aplicando la señal en intervalos variables dependiente de la posición dónde se quiere dejar el motor (ex: 1ms – 0°, 2ms – 180°). Acto seguido se muestra una tabla con un resumen de las características y una fotografía del servomotor utilizado.

Característica	Descripción
Fabricante	Hitec
Modelo	HSR 8498HB
Fuerza	7.4Kg/cm a 6V
Interficie	PWM i HMI



*El servomotor utilizado con los accesorios incluidos*

## 2.6. Alimentación

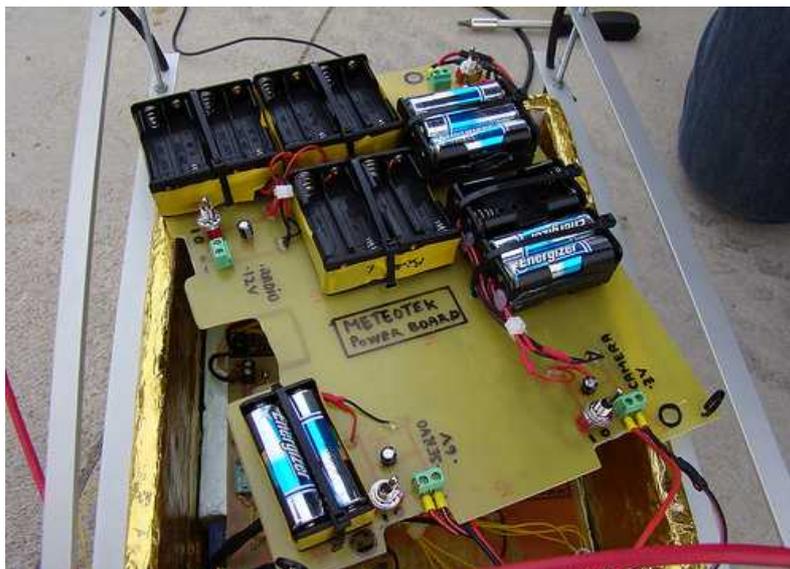
Para que un dispositivo pueda ser autónomo se requiere el uso de un sistema de alimentación con baterías. En el caso de la sonda uno de los factores que nos hacía más miedo eran las bajas temperaturas, puesto que la mayoría de baterías convencionales (ej. *Lithium-Ion*) no garantizan trabajar por debajo los  $-20^{\circ}\text{C}$  y en aquel momento todavía no se había probado la efectividad de los aislantes, cosa que nos hacía pensar que las convencionales no irían bien. Debido a esto optamos por uno de los pocos tipos de baterías que soportaban temperaturas de trabajo hasta los  $-40^{\circ}\text{C}$ , que eran las *Energizer Lithium e2*. Eran baterías en formato muy común, el AA. Este formato es un problema por varias razones: dan poco voltaje por celda (1.7V en nuevas) y son muy voluminosas respecto otras baterías cosa que además hace crecer el peso global del sistema de alimentación.



El sistema de alimentación consta de 4 bloques, con 3 de ellos referenciados allí mismo y otro de independiente:

- **Bloque 1:** Radio – 12V (Sin regulador externo, incluido al propio módulo)
- **Bloque 2:** Servomotor – 6V (Sin regulador externo, incluido dentro el motor)
- **Bloque 3:** Principal (microcontrolador, sensores...) - 4.5V (Con regulador de 3.3V hasta 0.8A)
- **Bloque 4:** Cámara – 4.5V (Sin regulador, incluido dentro la cámara, no referenciado al circuito general)

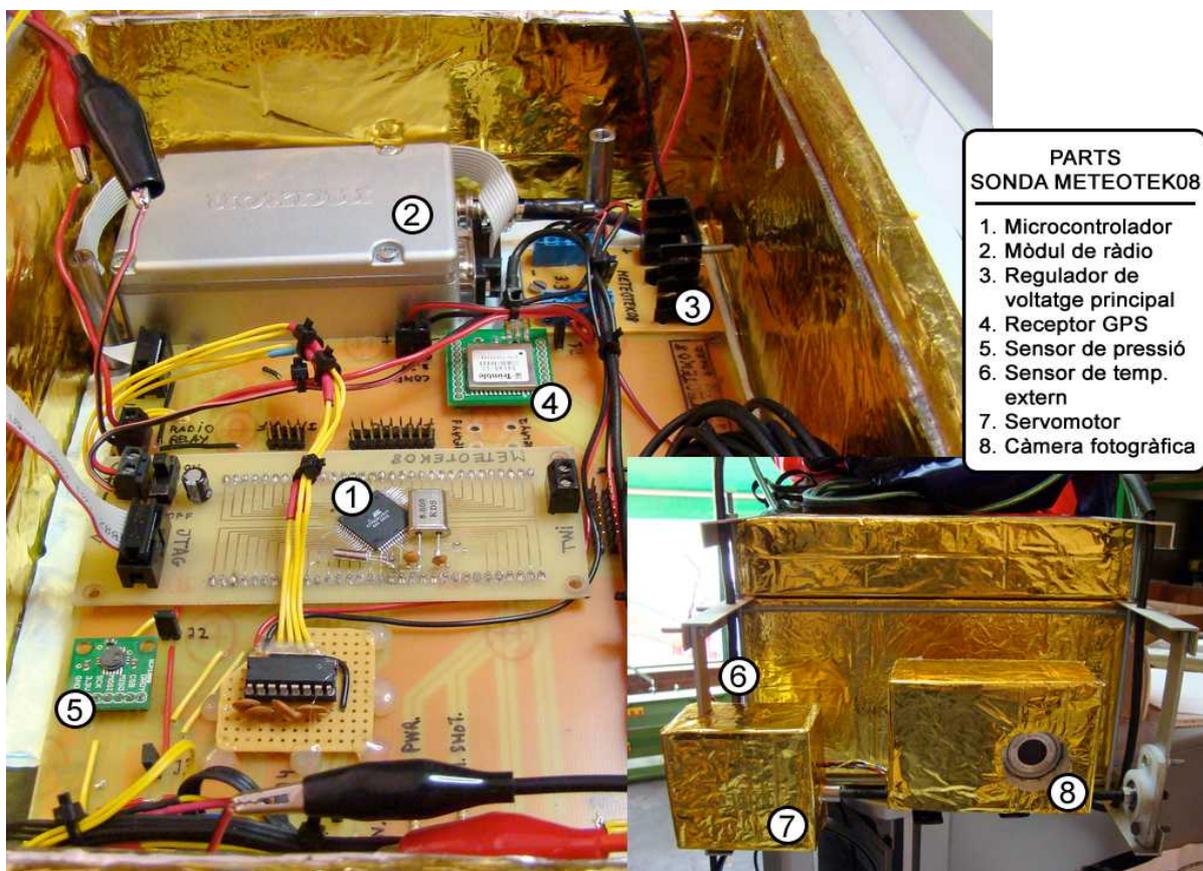
Debido al formato de las pilas éstas fueron colocadas utilizando portapilas y con interruptores en cada bloque para facilitar la puesta en marcha de toda la sonda. A continuación se puede ver la placa de alimentaciones.



Placa de alimentaciones con los 4 bloques bien diferenciados

### 3. Visión gráfica de los componentes

Una vez explicadas todas las partes que componen la sonda creemos que es importante ver cómo están montadas en la sonda real, el objeto que voló a más de 30.000 metros. En la siguiente fotografía se pueden observar la mayoría de las partes exceptuando algunas que quedan escondidas como los optoacopladores, el sensor interno de temperatura y las antenas. Aún así se han mostrado fotografías particulares de estas otras partes en los apartados anteriores.



Fotografía dónde se muestra el montaje interno y externo de la sonda Meteotek08

## 4. Programación del sistema

Acabada la introducción y detalle de todos los componentes electrónicos muy probablemente os preguntaréis como interactúa todo esto una vez montado a un circuito electrónico. La clave está en la programación del microcontrolador con las secuencias adecuadas para que todo se haga de manera ordenada y en el momento correspondiente. Realmente es un tema muy complejo, y en el caso de la sonda incluye un pequeño sistema operativo que gestiona diferentes tareas. En este capítulo intentaré explicar de manera sencilla el sistema en conjunto.

### 4.1. El lenguaje de programación C

Cuando uno se plantea programar un sistema lo debe hacer con una serie de instrucciones o algún lenguaje que el ordenador sea capaz de interpretar y ejecutar, ya sea directamente o bien preprocesado. En el caso de la sonda se ha utilizado el lenguaje C, uno de los mayormente utilizados en los microcontroladores. El lenguaje C fue creado el año 1969 por *Ken Thompson* y *Dennis M. Ritchie* en los laboratorios *Bello*. Se considera de nivel mediano, es decir, no es como el ensamblador que es específico para una única arquitectura y trabajas directamente con registros y direcciones de memoria pero sí que ofrece algunos matices de bajo nivel. Es por este motivo que es posible generar compilaciones muy eficientes y por lo tanto es utilizando ampliamente en la programación de sistemas con microcontroladores dónde la eficiencia y rapidez de ejecución es muy apreciada. De hecho, C es considerado uno de los lenguajes de programación más elegantes que existe y no sólo se utiliza en microcontroladores sino que es utilizado en muchísimos lugares, por ejemplo en el núcleo del sistema operativo *Linux*. Acto seguido se muestra un fragmento de ejemplo del lenguaje 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);

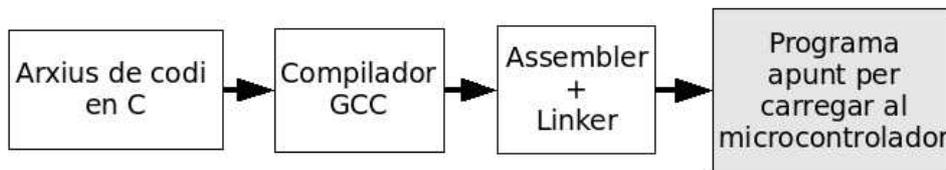
    /* Alternem l'estat del pin PA0 per fer una intermitència cada 1s */
    while(1) {
        PORTA&=~(1<<PA0);
        _delay_ms(1000);
        PORTA |= (1<<PA0);
        _delay_ms(1000);
    }
}

```

### 4.2. Software y librerías utilizados

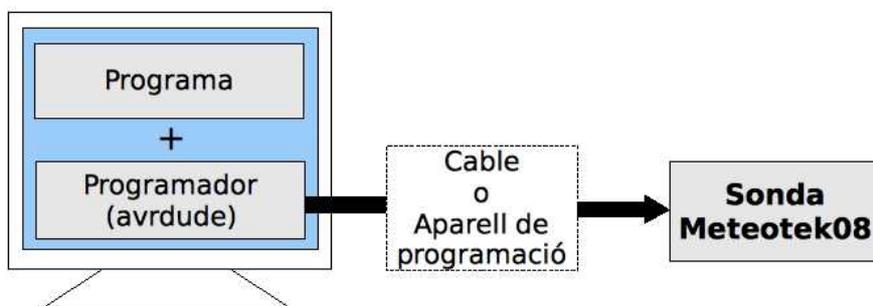
Además de la programación en sí, es necesario disponer de un conjunto de herramientas para poder aplicar este código escrito en C a un microcontrolador. En primer lugar una librería de programación, que incluye las funciones elementales de *E/S*, funciones de tratamiento de cadenas, funciones matemáticas, etc. En nuestro caso se trata de la librería *avr-libc*, la cual también incluye los códigos de inicialización que son incorporados automáticamente en el proceso de compilación. Una vez se dispone de la librería,

obligatoriamente hace falta recurrir a un compilador que en resumen el que hace se traducir el *código C* a lenguaje máquina específico para los microcontroladores *AVR* con la ayuda de la *assembler* y el *linker* enmedio. En el proyecto se ha utilizado el conjunto *GCC* y *binutils*.



#### Esquema del proceso de compilación

Ya para acabar hace falta un programa para poner este código compilado al microcontrolador denominado programador que conectado a un aparato específico (*en nuestro caso el JTAGICEmkII*) permita cargar el programa final.



#### Proceso de programación del microcontrolador

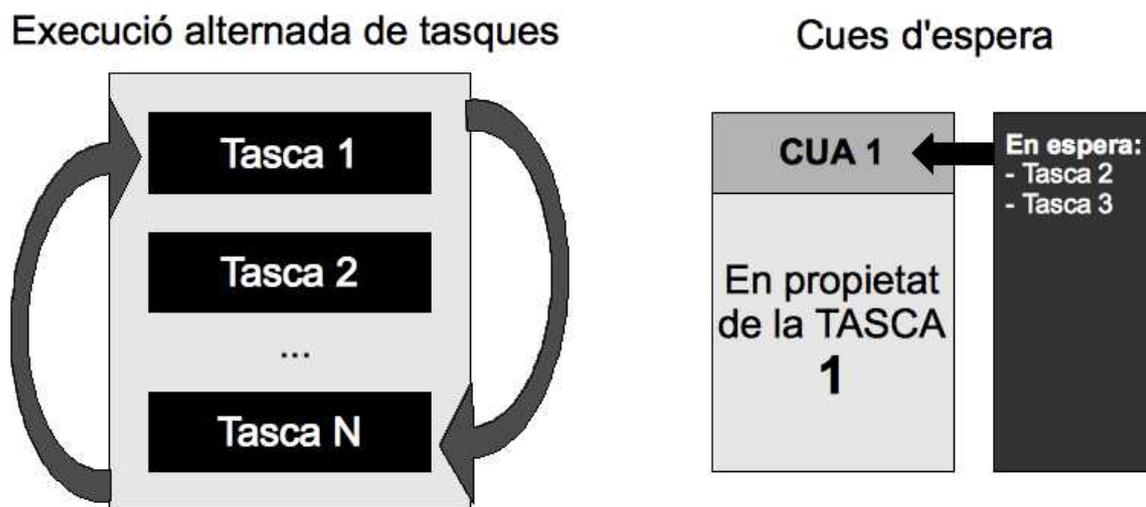
### 4.3. Estructura general del código

En este trabajo como hemos dicho anteriormente, pretende ser divulgativo y no se entrarán en detalles técnicos sobre el código que gobierna la sonda *Meteotek08*, sino que se explicará de manera esquemática. Para aquellas personas interesadas, pueden obtener el código original accediendo al anexo adjunto correspondiente al código.

#### 4.3.1. El sistema operativo MTKOS

En una aplicación donde se envían datos, se reciben peticiones, se leen datos de sensores y se realizan un montón más de acciones suele ser necesario algo que permita gestionar la base de todas estas operaciones de una manera ordenada. En muchos casos no es necesario y menos en entornos de microcontrolador donde la memoria es muy limitada y utilizar herramientas de este tipo, denominadas sistemas operativos, no son viables. En el caso de la sonda pero, era especialmente útil para el tema de colas de espera y por poder ejecutar en paralelo diversas aplicaciones al mismo tiempo. Imagináis que os encontráis leyendo los datos de los sensores y en aquel preciso momento se recibe una petición vía radio (la cual interrumpe todo proceso para ser procesada) que pide enviar los datos de los sensores en aquel momento. En este caso entraríamos en un conflicto, puesto que antes de hacer la petición los sensores han quedado en una lectura intermedia y ahora si lo intentáramos hacer de nuevo fallaría, haciendo probablemente que para futuras lecturas fallara indefinidamente. Este problema tiene soluciones rápidas y que podrían funcionar, es cierto, pero si esto pasa en otros lugares y muy a menudo hace falta plantearse buscar una solución eficaz y aplicable a todos estos casos. Imagináis que tenéis una tarea encargada de guardar los datos de los sensores continuamente en un lugar de la memoria, pero que lo hace sólo si nadie lo está usando, de lo contrario se espera que esté libre. En

este caso, al recibir la petición, intentaríamos también obtener los datos de este registro también esperándonos que estuviera libre (tened presente que todo esto se hace en milésimas de segundo en la mayoría de casos). Entonces notáis que sería un sistema que nunca tendría ningún conflicto como el descrito anteriormente. Esto es el principio fundamental de las colas, también conocidas como *semáforos*, *mutexes*, dependiendo del tipo y variantes. En el caso de la sonda el sistema operativo se denomina *MTKOS* (*MeTeoteK Operating System*) y es muy elemental. Permite la ejecución de varias tareas en paralelo (hace un intercambio basado en prioridades cada cierto tiempo gracias a un *Timer*) y además permite la creación de colas binarias (*mutexes*). Además, las tareas pueden presentar varios estados como por ejemplo el de ejecución, que es el genérico, o el de dormida, que mientras no pase algo concreto (un *event* por ejemplo) no gasta tiempo de *CPU*.



*Esquema elemental del sistema MTKOS: Las tareas corriendo en paralelo y las colas de espera*

#### 4.3.2. Los controladores de periféricos

Uno de los otros puntos importantes del código son los controladores de periféricos, es decir, código que controla dispositivos como los sensores, la cámara... Estos fragmentos o módulos incluyen funciones que permiten realizar acciones con los periféricos, desde inicializarlos hasta leer datos. Esto permite que desde varias partes del código se pueda interactuar de manera muy cómoda. Acto seguido se muestran los controladores existentes en el código de la sonda y su función.

Nombre del módulo del controlador	Función y detalles
Camera	Funciones para encender/parar la cámara, disparar fotografías y además, controlar el servo
Pressure	Control del sensor de presión (inicialitzación y obtención de datos)
Temperature	Control de los sensores de temperatura (inicialitzación y obtención de datos)
Radio	Control de la radio (envío de datos y recepción en buffer)
GPS	Control del GPS (inicialitzación y recepción en buffer)

### 4.3.3. Las tareas de control

Finalmente, una vez se dispone de un sistema operativo que permite administrar de una manera coherente las acciones y una serie de controladores que permiten interaccionar con los periféricos sólo son necesarias las tareas que realicen algo, como por ejemplo una que envíe datos vía radio de posición para que la podamos ir siguiendo. Gracias al *MTKOS* esto es un proceso muy simple aun cuando hace falta decidir cuales son las necesidades de la sonda, qué es lo que debe hacer y como lo debe hacer. Muy a menudo no es fácil y no todo sale a la primera, puesto que en el proceso de programación siempre hay algún error y aparecen conflictos entre tareas. En resumen las tareas existentes a la sonda *Meteotek08* que fueron operativas durante el vuelo son las descritas a continuación.

Tarea	Descripción y detalles
Función <i>main</i>	No es muy bien una tarea, sino que es el primer fragmento de código que se ejecuta y su función es poner apunto el sistema operativo <i>MTKOS</i> además de crear las tareas y colas que posteriormente se utilizarán
<i>task_meteotek_init</i>	Tarea de inicialitzación general. Su función es esperar que el resto de tareas inicien todos los periféricos y se pongan apunto. Hecho esto, envía una notificación con un código para identificar cualquier anomalía y permite poner el sistema en pausa antes del lanzamiento, de lo contrario pasa automáticamente al modo de vuelo, donde todo hace el proceso habitual. Una vez se ha completado todo el proceso esta tarea se para y no se ejecuta nunca jamás. Un ejemplo de lo que se recibe vía radio en la realidad:  <pre>-- Meteotek -- Inicialitzant tasques.... Inicialitzacio finalitzada. Indicador d'estat: 000F Envieu la comanda de bloqueig per parar l'execucio</pre>
<i>task_camera_manager</i>	Se encarga de hacer las fotografías continuamente (con un intervalo totalmente ajustable) y de girar el servo cuando se ha hecho un cierto número de fotografías en un ángulo (también ajustable). En general la tarea está <i>adormecida</i> entre fotografía y fotografía y se <i>despierta</i> en el momento de hacer la fotografía o cambiar de posición el servo.
<i>task_data_manager</i>	Tarea encargada de actualizar continuamente las variables del entorno: posición, altura, sensores... Esta tarea siempre se encuentra activa y su misión es coger cualquier dato existente en el buffer del GPS. En caso de encontrar un mensaje completo lo interpreta y en el mismo momento lee los sensores para garantizar que los datos atmosféricos son aproximadamente de aquel momento.
<i>task_notifier</i>	Es una tarea muy simple y lo único que hace es enviar los datos ubicados en el registro de datos generales vía radio cada cierto tiempo (también configurable). En general se encuentra <i>adormecida</i> y se <i>despierta</i> cuando se tiene que enviar el mensaje. Un ejemplo del mensaje enviado dónde se observan los datos de entorno (posición, altura, presión...):  <pre>\$MTKG,41 42.94737 N,000 13.75238 W,15235,049.4,085815,10,V, 11760,-48.5000,-12.0625,124*58</pre>
<i>task_petition_manager</i>	Esta tarea tiene un parecido a la <i>task_data_manager</i> puesto que continuamente comprueba el buffer de recepción de datos vía radio y en caso de completarse

	<p>una petición lo interpreta, la procesa y envía una respuesta si se ha procesado correctamente (a veces más de una, dependiente del caso). Un ejemplo de petición es la del cutdown, enviada desde el tierra y que una vez procesada por la sonda activaría el cutdown haciendo que la cuerda se cortara.</p> <p>\$MTK , C*</p>
<i>task_idle</i>	Tarea que se ejecuta cuando no hay nada más apunte por ser ejecutado (no hace nada)



## Capítulo 3

# Fases de pruebas

# 1. La necesidad de llevar a término pruebas

En un proyecto con parte práctica, como es el caso, es necesario llevar a término un gran número de pruebas que intenten simular al máximo posible las condiciones de trabajo reales del diseño realizado. En el caso de la sonda Meteotek08, había 3 bloques claros: las condiciones de trabajo a baja temperatura, la recepción de datos vía radio y la estabilidad del conjunto montado. En el proyecto se intentó abordar estos 3 bloques de la mejor manera posible, primeramente con los componentes probados en la caja de pruebas con hielo seco, la recepción de datos haciendo viajes en coche y la estabilidad del conjunto haciendo un vuelo cautivo.

## 2. Pruebas a baja temperatura

### 2.1. Por qué pruebas a baja temperatura?

La necesidad de llevar a término pruebas de baja temperatura vino motivada por el hecho que durante el vuelo los componentes electrónicos y materiales de la sonda debían resistir condiciones de temperatura muy desfavorables pudiendo llegar a los  $-60^{\circ}\text{C}$  en algunos momentos, y por lo tanto esto implicaba que componentes esenciales como el servomotor, el microcontrolador, el filamento de nicromo del cutover o las cuerdas podrían resultar maltrechos o alteradas sus propiedades, trayendo la misión al fracaso. Llevar a término pruebas a temperaturas tan bajas no era fácil puesto que ni los mejores congeladores industriales nos servían. Por ésta causa la única solución viable era fabricar nosotros mismos una caja de pruebas con placas de porexpan de alta densidad junto con un circuito de aire cerrado y colocar hielo sieco ( $\text{CO}_2$  sólido) en su interior.

### 2.2. Construcción de la cámara de frío

Tras algunas semanas de discusión sobre el proceso a seguir, se decidió que antes de nada se construiría una caja de pruebas a baja temperatura para poder probar los componentes en condiciones extremas. La cámara consistía en una caja hecha de material aislante recubierta con manta térmica y con una serie de pequeños ventiladores para generar un circuito de aire cerrado. Introduciendo hielo sientto ( $\text{CO}_2$  sólido) en el interior de la caja se conseguirían temperaturas por debajo de los  $-60^{\circ}\text{C}$  La construcción de la caja de frío se hizo utilizando planchas de porexpan de alta densidad para asegurar un buen aislamiento térmico. Estas planchas se unieron entre ellas mediante silicona caliente y una vez finalizada a unión de todas las partes se sellaron las juntas con silicona fría (de color blanco).



*Proceso de construcción de la caja con porexpan de alta densidad y el resultado al lado*

Acabada la estructura general se procedió a aislar interior y exteriormente la caja con manta térmica, la cual

se ha explicado en capítulos anteriores. Esta se encoló al porexpan con cola blanca y se hicieron dos capas para asegurar el aislamiento.



*Encolando la manta térmica y el resultado al lado*

Una vez acabada de sellar, se hizo la instalación de los 4 ventiladores de ordenador para crear una corriente de aire frío en el interior de la caja que permitiera homogeneizar la temperatura.



*Los 4 ventiladores instalados en el interior de la caja de pruebas*

Finalmente se construyó una “jaula” de acero para contener los hielo sientos en su interior y evitar que quedara desperdigado por el interior de la caja en el momento de hacer las pruebas.



*La jaula metálica y la caja totalmente acabada*

## 2.3. Hielo seco

El hielo seco o nieve carbónica es  $\text{CO}_2$  en estado sólido y a  $-78^\circ\text{C}$ . Recibe este nombre a causa que tiene el aspecto de hielo o nieve, pero cuando se evapora no pasa por el estado líquido y por lo tanto no deja residuo líquido, puesto que se sublima directamente pasando de sólido a gas, por eso es por lo que en las fotografías podréis observar una especie de niebla blanca. Hace falta remarcar que al ser un material a tan baja temperatura se debe tener especial cuidado en su manipulación, puesto que podría provocar quemaduras en la piel.



*El momento de la manipulación del hielo seco*

El hielo se encargó a la empresa navarra *Mainorte* que nos lo suministró en forma de granulado y con menos de 24 horas. En total se utilizaron 10Kg de hielo en las cuatro pruebas de baja temperatura que se realizaron.



## 2.4. Pruebas realizadas a baja temperatura

En total se llevaron a término hasta cuatro pruebas para probar la resistencia de diferentes componentes de la sonda, tanto los electrónicos como los materiales. Acto seguido se explicará cada uno de ellos junto con sus fotografías.

### 2.4.1. Pruebas de materiales: cuerdas, aluminio y aislantes

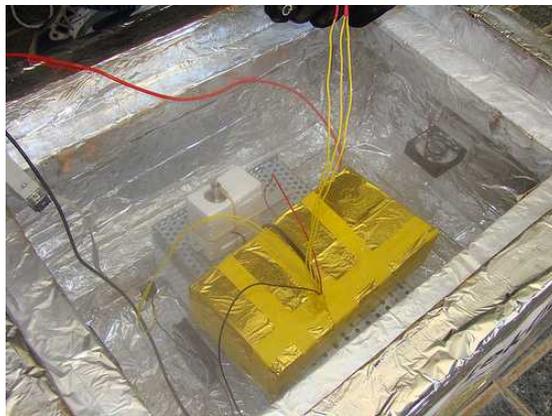
Las primeras pruebas que se hicieron con el hielo seco fueron las de materiales. Primeramente se tenían 3 hilos de nilón trenzado con una tensión aplicada (aproximadamente la del peso de la sonda) para comprobar si resistían correctamente la baja temperatura, lo que se quería observar era si el material no quedaba en mal estado, resquebrajado o presentara algún otro problema. Acto seguido se montó una pequeña estructura de aluminio con porexpan recubierto de manta térmica para comprobar dos cosas, la primera era la resistencia del aislante con manta a baja temperatura y la segunda era comprobar que las contracciones de la estructura no podían afectar a la caja. La prueba fue un éxito y todos los materiales aguantaron de forma correcta sin sufrir el mínimo número de desperfectos por el frío.



*Introducción del hielo seco e imagen de las cuerdas tras haber pasado la prueba de frío*

#### **2.4.2. Prueba de componentes electrónicos básicos**

La segunda prueba se hizo para comprobar la reacción de algunos componentes electrónicos básicos que utiliza la sonda: el servo y los sensores de temperatura. Afuera de la caja iba uno de los sensores de temperatura y el servo con su aislamiento. La prueba se realizó con éxito aun cuando la temperatura de dentro de la caja de porexpan bajó bastante más de lo que hubiéramos querido. Por otro lado esto permitió comprobar que las pilas y todos los componentes elegidos aguantaban bien las bajas temperaturas. Además, con el sensor de temperatura exterior corroboramos la efectividad de la caja de pruebas puesto que adentro la temperatura se mantenía estable durante mucho rato sin prácticamente influencias del calor exterior.



*La caja pequeña para probar los componentes electrónicos y el servomotor al lado*

Desgraciadamente en estas pruebas no pudimos probar la cámara fotográfica puesto que todavía no disponíamos de ella, aún así en el lanzamiento final no tuvo ningún problema.

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

La tercera prueba se hizo para comprobar si el sistema de cut-down con hilo de nicromo funcionaba a baja temperatura. De hecho, el principal interés era ver que el hilo se ponía incandescente y cortaba la cuerda todo y el hecho de estar a bajas temperaturas. Para hacer la prueba se utilizó un hilo de nilón trenzado de la primera prueba al cual se le enrolló un hilo de nicrom de 2-3 $\Omega$  de resistencia en el cual se conectaba un grupo de pilas de litio dando un voltaje de 6V. Con esto conseguíamos que el hilo se pusiera incandescente con pocos segundos y cortara el hilo de nilón todo fundiéndolo. El sistema funcionó correctamente y cortó el hilo de

nilón como una guillotina.



*La cuerda tras haberse cortado*

#### 2.4.4. Prueba final de radio, GPS y aislamiento de la caja de la sonda

Finalmente en el segundo día de pruebas se probó la radio, el GPS y el microcontrolador principal a bajas temperaturas. Para hacerlo se introdujeron los elementos descritos dentro la caja de porexpan real, la utilizada durante el vuelo. Lo primero que nos llamó la atención fue que se necesitó cerca de una hora para conseguir que la temperatura dedentro de la caja dónde habían los componentes llegara a ser negativa. El experimento duró cerca de 2 horas para asegurar el aislamiento durante todo el vuelo. Todos los componentes funcionaron correctamente y la recepción de datos fue continuada y sin complicaciones.



*La caja real dentro de la caja de pruebas y el montaje hecho en el garaje*

## 3. Pruebas de radio

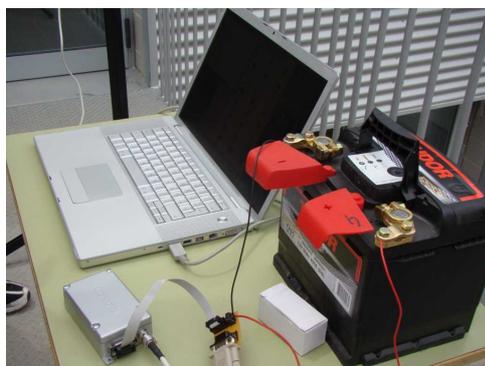
### 3.1. Por qué pruebas de radio?

Las pruebas de radio quizás se podrían haber obviado si confiáramos en que la radio que compramos no tendría ningún problema, pero la verdad es que poder ver como se reciben o envían datos reales a una cierta distancia proporciona confianza y además, puedes ver como los sensores recogen datos reales del lugar dónde está la sonda: puedes ver los puntos que marca el GPS, la altitud dónde se encuentra, la variación de presión al subir una montaña, etc. La sonda en un principio estaba programada para funcionar de manera autónoma, es decir, ella sola recogía y enviaba datos cada cierto tiempo haciendo que nuestro único trabajo fuera hacer un seguimiento y un análisis inmediato de los datos, evitando tener una persona pendiente de su

control. Aún así, la sonda podía recibir algunas órdenes desde el suelo, como por ejemplo el corte de la cuerda mediante el cut-down, parar ciertos dispositivos, reiniciar todo el sistema, etc. Es por todas estas cosas que decidimos hacer algunas pruebas que se detallarán acto seguido. En total se realizaron 4 pruebas de radio durante el desarrollo de la sonda para ir analizando cómo reaccionaban las evoluciones y mejoras que se iban introduciendo.

### 3.2. Prueba de recepción

La primera prueba de radio se hizo el día 28 de mayo del 2008, y se trató de una prueba a corta distancia y a no más de 4 km de la estación de recepción. La estación de recepción estaba ubicada en el instituto y constaba de uno de los módulos de radio conectado a la antena direccional y a un portátil, todo con baterías. Su única misión era recibir datos. El emisor lo montamos en mi coche, gracias al cual pudimos alimentar la radio mediante el conector de 12V del mismo coche. En este caso un microcontrolador era el encargado de enviar continuamente el texto “meteotek08”, a través del otro módulo de radio.



*La estación de recepción con el portátil y el módulo de radio*

Los lugares clave por dónde pasamos y paramos fueron los siguientes:

- Puntos cerca de Castell d’Empordà
- La ermita de la Esperança (Cruïlles)
- Población de Monells
- Población de Corçà



*Mapa de la situación de la base de recepción y de los diferentes puntos de parada.*

La máxima distancia de separación entre el emisor y el receptor fue de 4,04 km. Todos los puntos tuvieron una comunicación satisfactoria (mientras nos dirigíamos a los lugares había algunas pérdidas, probablemente porque la antena de la base no estaba todavía bien orientada o bien porque pasamos por puntos hundidos y con mala recepción).

### 3.3. Prueba global de recepción

Las pruebas consistieron en colocar la sonda en un coche que se movía de forma continuada (simulando de alguna manera el movimiento en vuelo) y en recibir los datos enviados por esta desde el coche a una base de recepción. Los integrantes que estaban en la base de recepción no veían nunca el coche, pero sabían en todo momento dónde era gracias a los datos que se recibían del GPS de la sonda (exceptuando algunos momentos dónde no se recibían datos por culpa de la orografía del terreno). La sonda además de enviar posición también enviaba temperaturas (interior y exterior), presión, hora y altura, entre otros datos secundarios como el número de fotografías hechas por la cámara, posición del servo, etc. Hace falta añadir también que en estas pruebas ya teníamos bidireccionalidad y por lo tanto nos podíamos comunicar con la sonda y enviarle peticiones desde la base de recepción.



*Algunos de los miembros colaborando el día de las pruebas hechas en verano controlando desde la estación de recepción*

El recorrido escogido para llevar a término las pruebas fue la carretera que va del pueblo de Corçà hasta el Santuario dels Àngels, ubicado en el macizo de les Gavarres.

Se hicieron paradas a lo largo del recorrido en:

- Pueblo de Corçà
- Pueblo de Monells
- Vecindario de Millàs
- Pueblo de Madremanya
- Santuario dels Àngels
- Camino situado tras el Santuario dels Àngels

La distancia máxima desde la base de recepción al coche que llevaba la sonda fue de 9.88km en línea recta.

Las pruebas se hicieron a finales de julio (antes de los problemas con el módulo de radio) y se repitieron a principios de febrero de 2009 una vez arreglada la radio para comprobar que con todo este tiempo de parada,

los componentes siguieran funcionando correctamente, además se probaron las últimas mejoras introducidas. El siguiente mapa, correspondiente a las pruebas hechas en verano, muestra el recorrido llevado a término por el coche con la posición de la base de recepción y las diversas paradas durante el trayecto. Los puntos de parada verdes significan que la recepción era correcta, y en los rojos, no se recibían datos.



### 3.4. Pruebas de despegue controlado

Estas pruebas se hicieron el 22 de febrero, 6 días antes del lanzamiento, y las creímos necesarias para comprobar la estabilidad de la sonda una vez montada al globo, así como para hacernos una breve idea de como sería el día del lanzamiento. Para llevar a término la prueba, se utilizaron dos globos de helio pequeños, los cuales fueron suministrados por el SMC (*Servicio Meteorológico de Catalunya*), y bombonas de helio para hinchar los globos además de material secundario como cuerdas y herramientas para el montaje. Hace falta remarcar, pero que el vuelo se hizo de forma cautiva, es decir, la sonda estaba atada con una cuerda para evitar que saliera volando. Aún así, la sonda funcionaba con baterías. El vuelo duró cerca de 1 hora a una altura aproximada de 40 metros respecto al suelo. Durante todo este tiempo la sonda funcionó de forma autónoma como si estuviera en el vuelo definitivo, puesto que iba enviando datos de todos sus sensores a tierra mediante la comunicación radio, y además iba realizando fotografías de su entorno con la cámara, la cual se iba orientando en las 3 posiciones: suelo, horizonte y cielo.



*Preparación del montaje: hinchando el globo y atando las cuerdas*

La prueba fue todo un éxito y nos dio unas fuertes esperanzas de éxito de caras al lanzamiento, que se debía producir sólo 6 días después. Definitivamente, se acercaba el día que tanto habíamos esperado!



*La sonda elevándose*



*Fotografías hechas por la propia sonda: La llanura de l'Empordà y el pueblo de Corçà*



## Capítulo 4

# Preparación del lanzamiento

# 1. Un proceso largo y delicado

La planificación de todo el lanzamiento ha sido uno de los procesos de la sonda que ha hecho falta estudiar más bien, puesto que elegir una buena ubicación y un día con buenas condiciones meteorológicas era crucial para el éxito de la misión. Además del problema de elegir un punto de lanzamiento, también hacía falta pedir los permisos correspondientes a AENA, y por lo tanto estábamos supeditados a sus restricciones de zona y horarios. Por otra parte se debía tener en cuenta cómo debería ser la expedición del lanzamiento y hacer una extensa lista de material para no dejarnos ningún tipo de componente o herramienta por muy insignificante que pudiera parecer.

# 2. Elección del lugar de lanzamiento

Desde los inicios del proyecto habíamos sido pensando diferentes ubicaciones para el lanzamiento. En un primer momento habíamos pensado de lanzar la sonda cerca de casa y a una distancia relativamente próxima al mar, como la llanura de l'Empordà, pero cuando tuvimos acceso a los programas de simulaciones (los cuales describiremos más adelante) vimos que era del todo imposible realizar un lanzamiento a tanta altura sin que la sonda acabara al mar, puesto que la circulación natural de los vientos tiene tendencia a dirigirla de cabeza al mar donde la recuperación sería del todo imposible. Viendo que una ubicación cerca de casa no era viable pensamos en la llanura de Lleida y durante varios días se fueron haciendo simulaciones. Finalmente se desestimó tal posibilidad puesto que si bien la mayoría a veces no nos caía al mar podía caer con facilidad en zonas densamente pobladas del área metropolitana de Barcelona. Finalmente y como última opción, se decidió buscar áreas más alejadas y se extendió la búsqueda fuera de Catalunya. Tras varias deliberaciones y días de estudio se optó por hacer el lanzamiento en la comarca de los Monegros, en Aragón, puesto que es una de las zonas con menos densidad de población de todo el país donde hay grandes extensiones de terreno árido sin vegetación donde la recuperación una vez hubiera aterrizado la sonda podía ser más fácil. El único inconveniente que presentaba esta área eran las comunicaciones para movernos por la zona durante el seguimiento, puesto que las carreteras no abundan, la mayoría son secundarias y a menudo en mal estado. Una vez acotada la zona hacía falta decidir el punto de lanzamiento exacto, puesto que en los permisos de AENA (los cuales también se describirán en detalle más adelante) obligaban a dar una ubicación exacta. Tras analizar los diversos pueblos de la zona, nos decantamos por el pueblo de Bujaraloz, puesto que es uno de los pueblos más bien comunicados de la zona al situarse junto a la autopista, y por lo tanto era de rápido acceso. Como punto exacto de lanzamiento se optó por un parking de camiones ya que se necesitaba un lugar amplio y sin estorbos en los alrededores. Quiero remarcar que la búsqueda del lugar de lanzamiento se hizo íntegramente a través del programa Google Earth y en ningún caso nos desplazamos allí hasta el día del lanzamiento.



*Fotografía aérea de la población de Bujaraloz con el punto de lanzamiento*

## 3. Programas de simulación y Google Earth

Como ya hemos dicho antes los programas de simulación son esenciales para llevar a término el lanzamiento, puesto que sin ellos no se puede analizar de manera rápida y fiable la dirección de los vientos a las diferentes alturas, y no se puede acotar una zona de lanzamiento. Acto seguido se procederá a hacer una breve introducción a los simuladores de este tipo.

### 3.1. Qué es un programa de simulación?

Un programa de simulación no es nada más que un programa informático que utilizando datos de algún modelo intenta predecir la reacción futura de un acontecimiento. En nuestro caso a partir de modelos atmosféricos presentes e indicando nosotros un séquito de datos como la ubicación, día, hora y velocidades de ascenso y descenso previstas, nos da un análisis de un lanzamiento. El simulador es capaz de trazar el recorrido en un formato denominado *KML* que permite visualizar posteriormente la trayectoria 3D teórica que tendría un globo sonda si se lanzara aquel día a aquella hora y lugar. Además, permite obtener los datos en formato numérico que también pueden ser útiles.

### 3.2. Programas utilizados

Estos programas por mostrar los recorridos en 3D se basan en el programa Google Earth, puesto que a partir de un conjunto de datos numéricos (posición básicamente) bien organizadas permite de manera muy simple obtener resultados excelentes.

#### 3.2.1. Programas de simulación

El programa que utilizamos nosotros se encuentra de forma libre en internet y ha sido desarrollado por la *Universidad de Wyoming* de los Estados Unidos. Este programa además de darnos el recorrido en 3D nos podía dar todos los datos atmosféricos teóricos para varias altitudes, conociendo así temperaturas y direcciones del viento previstas. En la red se pueden encontrar otros programas similares pero la mayoría de ellos sólo tienen datos de los Estados Unidos o del Reino Unido, que son los lugares dónde se desarrollan más proyectos de este tipo.

#### 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 NM	VOR tru	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

*Resultado del simulador en formato numérico*

### 3.2.2. Google Earth

El programa Google Earth ha sido uno de los mejores aliados durante todo el proyecto puesto que gracias a su facilidad de uso y excelente topografía nos permitía en todo momento saber cómo era la zona donde mirábamos pudiendo saber la vegetación, orografía, cursos fluviales, mapas de carreteras y comunicaciones, con un largo etcétera, además de poder trabajar directamente sobre el terreno haciendo cálculos de distancias y recorridos en 3D. El programa ha sido utilizado para la elección del punto de lanzamiento, el seguimiento de las simulaciones, de las condiciones meteorológicas, e incluso hacer el seguimiento de posición durante el vuelo.



*El programa Google Earth mostrando simulaciones de varios días sobrepuestas*

## 4. Permisos de AENA

Para llevar a término cualquier actividad en el espacio aéreo se debe pedir una serie de permisos que tendrán que ser gestionados por AENA, puesto que es el organismo que tiene las competencias. El tema de los permisos nos había preocupado desde un primer momento, puesto que las únicas referencias que teníamos eran de compañeros del Reino Unido que nos habían informado que se debían pedir permisos a las autoridades del control aéreo, pero como es lógico esto funciona diferente en cada país. El problema que nos podíamos encontrar aquí en España era que los proyectos de este tipo no son demasiado usuales (si no tenemos en cuenta los de los respectivos servicios de meteorología que tienen permisos especiales) y nos podríamos encontrar con la posibilidad que nos denegaran el lanzamiento. Nosotros, pero, nos pusimos en contacto con AENA a principios del mes de enero del presente año, ya que preveíamos unas tramitaciones largas. En menos de una semana nos remitieron vía correo electrónico una serie de formularios que cumplimentar debidamente con datos como el tipo de actividad, ubicación, motivo, radio de acción, etc. Por suerte el formulario contemplaba los sondeos meteorológicos. Acto seguido se muestra una imagen con el aspecto del formulario.





## 5. Materiales

La lista de materiales a preparar para llevar a término el lanzamiento es fuerza extensa, puesto que no se puede pasar nada por alto. Además nos debíamos desplazar centenares de kilómetros para llevarlo a término y no podíamos cometer el error de dejarnos material básico para la ejecución del lanzamiento, seguimiento y posterior recuperación. Entre la larga lista se incluían cuerdas, soldadores, una caja de herramientas, etc. Pero para llevar a término el lanzamiento también hacían falta otros elementos realmente esenciales y que hacía falta encargarse con días de antelación como las bombones de helio, el paracaídas, los globos de látex o las pilas de litio.

Los globos, el paracaídas y las pilas de litio, ya los teníamos desde hacía tiempo con previsión que tardarían en llegar puesto que eran elementos primordiales y mayoritariamente debían comprarse fuera del país.

El helio se encargó una semana antes y se pidieron 2 bombones grandes de helio común. La empresa suministradora fue *Abelló Linde*, especializada en el suministro de gases industriales. Debajo hay la tabla de características de la bombona utilizada.



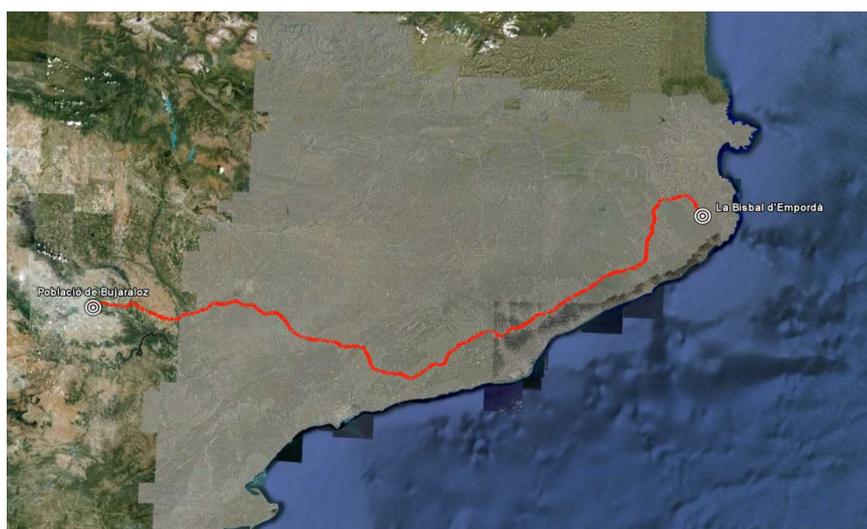
*Bombones d'heli*

Característica	Descripción
Tipo	Helio de Globo
Presentación	Bombona de acero
Volumen de gas	9.1m <sup>3</sup>
Peso total llena	70kg



## 6. Expedición

Planificar la expedición también fue un reto bastante complicado puesto que se debían distribuir los miembros componentes de la expedición y todo el abundante material en sólo 2 coches. Lo que sí que se tuvo claro desde un primer momento era que un mínimo de 2 coches eran necesarios puesto que hacía falta un tipo monovolumen para utilizarlo de estación móvil de recepción de datos y un todo terreno por si hiciera falta entrar en zonas complicadas durante la recuperación. Cada coche además debía traer un equipo GPS para saber dónde era en todo momento y facilitar el seguimiento de la sonda. Además el día antes del lanzamiento una vez se tenían las simulaciones en 3D se debían planificar las posibles rutas de seguimiento para encontrar la que se acercara más al recorrido previsto de la sonda. También se debían planear muy bien los horarios de salida y previstos de llegada, puesto que disponíamos de una franja horaria bastante estrecha para hacer el lanzamiento y no nos podíamos demorar más del previsto.



*Ruta seguida con el coche des de Corçà hasta Bujaraloz*

Además el día antes del lanzamiento una vez se tenían las simulaciones en 3D se debían planificar las posibles rutas de seguimiento para encontrar la que se acercara más al recorrido previsto de la sonda. También se debían planear muy bien los horarios de salida y previstos de llegada, puesto que disponíamos de una franja horaria bastante estrecha para hacer el lanzamiento y no nos podíamos demorar más del previsto.





## Capítulo 5

# El lanzamiento

# 1. Previos

Tras superar un gran número de problemas de estabilidad, nos reunimos para decidir cuando se haría el lanzamiento. Era difícil tomar la decisión, puesto que los últimos problemas nos hacían pensar que algo podría fallar durante el vuelo definitivo y después de un año de preparación no queríamos que nada fuera mal. Primeramente pensamos en el fin de semana del 20 al 22 de febrero, pero los vientos nos lo impidieron. Los permisos de AENA acababan el día 1 de marzo, por lo tanto durante la siguiente semana debíamos tirarla o bien se alargaría todo otra vez. Siguiendo las simulaciones basadas en el programa de la *Universidad de Wyoming*, parecía que a finales de semana las previsiones eran óptimas, el movimiento se hacía en dirección nordeste desde el punto de lanzamiento y se movía aproximadamente unos 40km. Hasta 48h antes no tomamos la decisión final, puesto que queríamos obtener simulaciones el máximo de precisas posible. El jueves 26 a mediodía acordamos definitivamente la fecha del lanzamiento: el 28 de febrero entre 8 y 9 de la mañana. Los nervios empezaban a aparecer, tras tanto tiempo preparando y probando se acercaba el día definitivo... Durante las clases del jueves y viernes por la mañana pensábamos todo a menudo en la sonda, como iría todo, si fallaría algo... Finalmente el viernes por la mañana no pudimos resistir las ganas de ir a Corça para acabar los preparativos. Se hicieron algunas últimas modificaciones al firmware y todo parecía funcionar bien, excepto una cosa: la tarjeta SD. Curiosamente tanto con el firmware viejo como con el nuevo fallaba intermitentemente... Faltaban menos de 12h para el lanzamiento y alguna solución había de aparecer... fue una decisión difícil, pero sin pensarlo más tiempo decidimos que volaríamos sin SD, es decir no tendríamos registro local y los datos recogidos serían únicamente los recibidos vía radio. Era arriesgado hacer esto, puesto que podíamos perder información en caso de cortarse la recepción, pero mejor menos información y estabilidad que no un fallo del sistema por culpa de la SD. Cómo podréis ver más adelante no fue nada mal.

## 2. Preparación del material

Como ya hemos remarcado anteriormente era de una vital importancia no dejarnos la menor clase de material que nos pudiera hacer servicio durante la ejecución del lanzamiento. Por esta razón durante toda la tarde del día 27 de febrero estuvimos encajando un montón de material, además de hacer las preparaciones finales a la sonda (montaje de las cuerdas, el cut-down, preparar las bombones de helio, asegurar correctamente todos los componentes, etc. También se revisó que los ordenadores trajeran toda la cartografía de Google Earth guardada en memoria y las baterías bien cargadas hasta pocos minutos antes de partir. La misma tarde del día 27 se montó la mesa de madera que debía ir adentro del coche de seguimiento con tal de poder trabajar con los portátiles y tener el módulo de radio y otras conexiones totalmente sujetas a la mesa. La radio y los módulos de conexión se fijaron a la mesa mediante silicona caliente y la mesa a la vez estaba fijada a los asientos delanteros del coche con cuerdas. Otro de los inventos que se hicieron durante la tarde fue el soporte de antena móvil que se incluyó en la baka del coche. Este soporte debía permitir orientar la antena en todas direcciones para posibilitar la recepción de los datos que enviaba la sonda durante su vuelo. Tras todo un día de faena, a las 10 de la noche, se dejó todo preparado para cargarlo posteriormente a los coches. La salida se programó para las 2 de la noche y debemos reconocer que dormimos muy poco, por no decir nada!

## 3. El viaje

### 3.1. Desplazamiento a Bujaraloz

Tras haber calmado durante pocas horas los nervios, a la 1 de la noche, se fueron a recoger los diversos miembros de la expedición, formada por 8 personas. Cuando el reloj marcaba la 1:30 de la noche todos los miembros de la expedición fueron recogidos y nos dirigimos al pueblo vecino de Corça donde teníamos todo el material preparado. La carga de todos los componentes duró aproximadamente media hora, y se intentó

hacer un reparto entre los 2 coches. Lo más voluminoso de todo eran sin duda las bombones de helio, las cuales se repartieron una en cada coche. El resto de materiales se fueron poniendo un poco aquí y allí según las capacidades de carga de cada vehículo.

Cada coche traía 4 personas y estaban comunicados en todo momento gracias a unos *walkies*. A las 2:10 de la noche los motores se pusieron en marcha y la expedición puso rumbo hacia al pueblo de Bujaraloz. El viaje resultó muy tranquilo, puesto que exceptuando el tramo inicial de Corçà en Girona para enlazar con la autopista, el resto se hizo íntegramente por autopista, que a aquellas horas se encontraba totalmente vacía de tráfico. La única incidencia destacable fue causada por la meteorología, ya que encontramos niebla muy densa durante gran parte de la llanura de Lleida, con visibilidades de sólo 25 metros en algunos tramos, y esto nos hizo alargar la duración del trayecto al circular con más precaución. Una vez pasada la población de Fraga la niebla desapareció y el resto del trayecto transcurrió con total normalidad. A las 6:10 de la mañana llegamos a nuestro destino, Bujaraloz. A pesar que no teníamos el punto de lanzamiento introducido al GPS, no nos costó de encontrar. Una vez llegados al parking de camiones o punto de lanzamiento, descubrimos gratamente que estaba totalmente iluminado cosa que nos facilitaba mucho el arduo trabajo de los montajes previos al lanzamiento los cuales describiremos acto seguido.



*Pausa en la autopista durante el trayecto de ida*

### 3.2. Preparación del montaje

Lo primero que se hizo al llegar fue sacar una bombona de helio y empezar a hinchar el globo, puesto que es el proceso más lento de todos con un tiempo de más de una hora para hincharlo correctamente. Paralelamente a todo esto se llevaba a cabo el proceso de montaje de las pilas en la sonda, es un proceso delicado ya que se deben colocar muy bien sin equivocarse. Una vez colocadas también se deben corroborar los voltajes y atar la placa de alimentación al resto de la estructura de la caja para evitar movimientos y malos contactos durante el vuelo. Una vez hinchado el globo, se debe hacer la prueba del *free-lift*, que consiste en atar una botella de agua de 5L y mirar si es capaz de levantar todo el montaje con ligereza. Esto se hace para asegurarnos que el globo podrá levantar de sobra el peso de la sonda y le sobrará fuerza de propulsión para obtener una velocidad de ascenso óptima (270m/min). Corroborada la capacidad de levantamiento del globo se procedió a montar el resto de componentes situados entre la sonda y el globo. Así se montaron junto con las cuerdas de sujeción el cut-down, que es el elemento que va más próximo al globo, y debajo de él el paracaídas que a la vez se sujeta mediante un mosquetón de seguridad a la estructura de cuerdas y nivelamiento de la caja. Una vez llevado a término el montaje se hizo la llamada a la torre de control de Zaragoza para recibir la confirmación de lanzamiento. Desde la torre nos dijeron que no había el menor problema para llevar a término el lanzamiento y que a partir de aquel momento podíamos proceder a hacerlo dentro de la hora fijada.



*Miembros hinchando el globo y otros colocando las pilas*

Una vez llevada a término el montaje se hizo la llamada a la torre de control de Zaragoza para recibir la confirmación de lanzamiento. Desde la torre nos dijeron que no había el menor problema para llevar a término el lanzamiento y que a partir de aquel momento podíamos proceder a hacerlo dentro de la hora fijada.

Cuando ya se tiene el montaje acabado, se ponen en marcha los interruptores de alimentación de la caja y se hace una primera prueba ya con los ordenadores apunto dentro los coches. Si es satisfactoria, se para y se prepara el sellado de la caja mediante cinta americana. Una vez apunto se ponen en marcha ya de manera definitiva todos los componentes de la sonda y se pone todo el sistema a trabajar. En total se tuvo la sonda así unos 15 minutos mientras se recogían todos los materiales y se ponían los coches apunto. Aun cuando sabíamos que inicialmente todos los componentes funcionaban correctamente, esto no aseguraba nada, puesto que una vez estuviera todo en movimiento y libre de nuestras manos nadie la podría tocar ni reiniciar.

En acercarse el momento del lanzamiento los nervios empezaban a dejarse notar al ambiente....



*Puesta en marcha de la estación de recepción*

### 3.3. El lanzamiento

A las 9:10:20 hora local, llegó el momento culminante, el lanzamiento. Fue un momento especial que de muy seguro recordaremos durante el resto de nuestra vida. El cúmulo de sensaciones que sentíamos en aquel momento es indescriptible. Por una parte los nervios eran muy elevados y por la otra teníamos la euforia de llegar al momento más importante del proyecto, pero a la vez teníamos un intenso temor de no volverla a ver nunca jamás. Tras unos segundos de dilaciones, y de tener los motores de los coches puestos y preparados por la persecución que debía tener lugar, empezó la cuenta atrás: 10,9,8,7.....los números iban sonando y los nervios subiendo.....6,5,4,3,2,1, AHORA! Nuestras manos temblorosas dejaron de sujetar la sonda y esta salió disparada de cabeza al cielo. No tuvimos tiempo de quedarnos mirando cómo subía, puesto que en menos de 10 según ya habíamos subido al coche de seguimiento y habíamos iniciado nuestra persecución. El segundo coche o coche “de apoyo” se quedó unos segundos más para hacer unas fotografías, pero enseguida nos alcanzó.



*Momento del lanzamiento y segundos después ya dentro el coche de recepción para empezar el seguimiento*

### 3.4. Seguimiento

Mientras salíamos del parking de camiones, íbamos observando por el techo solar del vehículo de seguimiento como la sonda subía y subía, pero con pocos según perdimos el rastro visual. A la vez íbamos recibiendo los datos a los portátiles y hacíamos el seguimiento. La sonda salió dirección Noroeste y tomamos la dirección Oeste por la carretera N-II, pero tras pocos centenares de metros vimos que seguía más hacia al Norte, y por lo tanto decidimos hacer un cambio de sentido para volver a dirigirnos al pueblo de Bujaraloz y desde allí coger la carretera que traía al pueblo de La Almonda. En este capítulo se irán adjuntando mapas con los puntos dónde pasamos junto con la ruta real que seguía la sonda porque podáis haceros una mejor idea de este seguimiento, debemos reconocer que nos habría gustado poder tener esto el día del lanzamiento y no sólo simples mapas. Tuvimos la suerte que la sonda seguía una dirección paralela a la carretera, aun cuando en aquellos momentos la teníamos por delante nuestro y no podíamos perder tiempo, puesto que en todo momento nos interesaba estar lo más próximos a ella para poder recibir mejor los datos y poder tomar decisiones rápidas en caso de que cambiara de dirección repentinamente.

Durante los primeros minutos los nervios eran tan altos que tendían al infinito más rápidamente que una exponencial! Aún así, parecía que todo iba bien: los sensores marcaban los valores previstos, el GPS reportaba posiciones válidas, el número de fotos se incrementaban correctamente...



*Fotografía hecha pocos instantes después del lanzamiento*



*Visualización del seguimiento y trayectoria de la sonda*

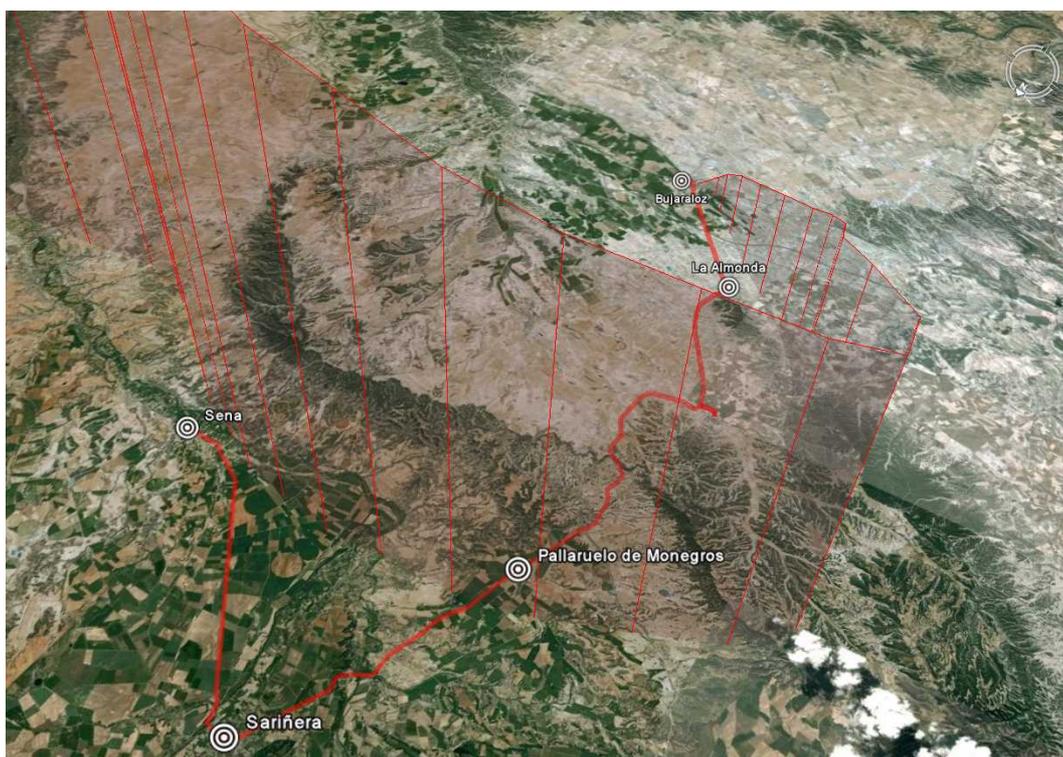
Nuestro trayecto siguió hasta la población de Castejón de Monegros dónde al ver que nos habíamos

adelantado a la sonda decidimos hacer una parada de pocos minutos para orientar la antena y relajarnos un poco. En aquel momento la sonda había sobrepasado la barrera psicológica de los 10.000 metros y todos nos calmamos y empezamos a pensar que ahora ya nada podía fallar.



*Momento de pausa*

Una vez volvimos a tener la sonda más próxima, seguimos nuestro trayecto hacia Pallaruelo de Monegros, a pesar que nos habíamos tenido que separar bastante del recorrido de la sonda, teníamos la confianza que si ésta iba siguiendo como hasta aquel momento el recorrido previsto en las simulaciones, ésta debía hacer un cambio brusco de dirección hacia el Este a una altura aproximada de 12.000-13.000 metros. Una vez vimos que esto pasaba, sabíamos que nos debíamos dirigir rápidamente hacia el pueblo de Sena, pero desgraciadamente ahora la carretera no seguía el recorrido de la sonda y nuestra única opción era seguir hacia el Norte hasta el pueblo de Sariñera y una vez allí dirigirnos dirección Sudeste hacia Sena. Era un trayecto bastante más largo que el que debía hacer la sonda y no podíamos perder tiempo. Llegados A Sariñera nos perdimos momentáneamente, pero gracias a los navegadores portátiles la reorientación fue muy rápida y enseguida nos dirigíamos hacia Sena.



*Visualización del seguimiento y trayectoria de la sonda*

Con respecto a la sonda, en este recorrido, no tuvimos ningún problema de recepción, exceptuando algunos paquetes que debido a la orografía o de malas orientaciones de la antena se perdían, pero todo eran incidencias momentáneas. Al llegar al pueblo de Sena nos volvíamos a encontrar por delante de la sonda y decidimos esperarla otra vez, en aquellos momentos ya la teníamos a más de 20.000 metros y todo seguía perfecto. Desgraciadamente, pero ya llevábamos más de una hora trabajando con los portátiles y las baterías empezaban a acercarse a la zona roja.... Pero por suerte teníamos el portátil de emergencia.

Cuando la sonda volvió a acercarse, nos pusimos en marcha nuevamente dirección Este hacia Villanueva de Sigüenza. Al poco de pasar el pueblo las baterías de los portátiles llegaron a niveles críticos (por debajo del 5 %) y pasamos al de reserva, pero la sorpresa fue grande: el Google Earth no funcionaba! Podíamos recibir datos pero no interpretar las posiciones puesto que el Google Earth se negaba a trabajar en modo offline. Los nervios volvían a aparecer... Como que nos encontrábamos cerca del pueblo de Ontiñena, tomamos una decisión rápida: ir a una casa para pedir un enchufe y poder conectar el portátil que tenía los mapas. Por suerte la primera casa que encontramos nos acogió sin problemas (un fuerte agradecimiento desde aquí) . Gracias a esto pudimos continuar, esto sí, estáticos para poder tener corriente y por culpa de esto se perdieron los datos desde 27.450m a 28.357m.

Una vez recuperada la “normalidad” observamos que la sonda había superado la cota de los 30.000m, y poco después, concretamente a los 30.677m se produjo la explosión del globo, haciendo ya el próximo registro a los 30.483m. fue un momento de gran alegría pero crítico: No podíamos ir al lugar de caída porque necesitábamos alimentación. El descenso era rápido, especialmente en los primeros metros debido a la baja densidad atmosférica.

Como que íbamos con 2 coches, “el coche de apoyo” lo enviamos a la zona donde siguiendo las simulaciones y datos que teníamos de antes del inicio de la caída preveíamos que podría caer la sonda. Esto era aproximadamente unas zonas agrícolas entre los pueblos de Oso de Cinca y Albalate de Cinca que por carretera eran aproximadamente a unos 15km. La comunicación por móvil con “el coche de apoyo” fue casi de forma continuada y se los rectificó la zona dónde debían dirigirse un par a veces, puesto que a medida que la sonda seguía su descenso podíamos aproximar mejor el punto de caída. La última posición que se les notificó fue situarse a la carretera A-1239 y a unos 3 km del pueblo de Albalate de Cinca dirección Esplús. Allí les dijimos que si tenían suerte deberán ver la sonda caer por la zona. Por desgracia pero los últimos registros recibidos correspondían a alturas de 881m y 679 metros de altura, 410m sobre la superficie puesto que la zona estaba a unos 260 metros sobre el nivel del mar. Las posiciones de estas alturas daban una zona muy próxima de donde se encontraba “el coche de apoyo”, aproximadamente a 1km pero desgraciadamente no la vieron caer.

Ahora ya sabíamos que había caído y que tocaba ir a buscarla. La sorpresa fue que la zona tenía un número bastante elevado de estanques y sequias puesto que era tierra de regadío. Llegamos a pensar que podría haber caído en alguno de estos lugares... pero confiábamos en la poca probabilidad de que esto ocurriera. Tras agradecer infinitamente a la familia que nos dio corriente, pusimos rumbo hacia el pueblo de Albalate de Cinca a 15 minutos en coche para encontrarnos con “el coche de apoyo” e iniciar la búsqueda. Al llegar al pueblo, no supimos encontrar a la primera la carretera A-1239 y dimos un par de vueltas a una rotonda. Allí, una patrulla de la Guardia Civil nos avistó y nos empezó a seguir. Nosotros previendo este seguimiento, paramos el coche en el arcén de una calle y la patrulla se nos puso al lado. Acto seguido bajaron a mirar qué traíamos en el coche. Claro está que, en estos pueblos donde todo el mundo se conoce, un coche foráneo con una antena de metro en el tejado y una mesa con ordenadores a las plazas traseras podría hacer pensar cualquier cosa. Según nos confesaron ellos mismos pocos minutos antes ya habían visto otro coche con matrícula de Girona con una actitud sospechosa (parados a un camino observando con prismáticos) y al vernos a nosotros ya sospecharon del todo. Por suerte para nosotros aun cuando inicialmente parecía que la cosa no acabaría bien, (puesto que nos pidieron los papeles del coche y toda la documentación de los que íbamos dentro....) una vez les dijimos lo que estábamos haciendo, les enseñamos las fotografías del lanzamiento y los permisos de AENA, se lo cogieron mucho mejor y acabaron diciéndonos que si nos hacía falta nos ayudarían en la búsqueda, nosotros les respondimos que por el momento no hacía falta y por suerte nos dejaron marchar sin más preámbulos.



*Visualización del seguimiento y trayectoria con el punto de parada por parte de la Guardia Civil*

Liberados de la Guardia Civil, nos dirigimos a unos 5km del pueblo por la carretera A-1239, pero como no teníamos batería en los portátiles, no podíamos consultar ni los últimos datos recibidos ni la cartografía y la única solución viable volvió a ser parar a pedir corriente. En este caso paramos a una finca dónde había un taller mecánico y tampoco nos pusieron ningún problema en dejarnos corriente. Además, nos orientaron sobre lo que nos encontraríamos en la zona y qué caminos seguir, una vez les habíamos mostrado con la cartografía la zona donde creíamos que había caído la sonda. La primera zona que acotamos para buscar tenía una área aproximada de 1.5km<sup>2</sup> (rectángulo rojo del mapa), puesto que sabíamos que la sonda había pasado más o menos por sobre la zona dónde nos encontrábamos y por lo tanto había atravesado la carretera en dirección Norte. Como que todavía no teníamos los portátiles cargados dejamos el coche de seguimiento a la finca cargando baterías y con el de apoyo nos dirigimos a un campo de tiro que había a unos 500 metros de la finca desde dónde se tenía una excelente vista del pequeño valle situado detrás y dónde previsiblemente creíamos que había caído la sonda, pero por más que buscamos y remiramos con prismáticos y sin, no vimos el menor asomo de objeto que pudiera ser nuestra sonda, sólo el verde de la hierba y los campos.



*Mapa de la finca en la que nos ofrecieron ayuda y primera zona prevista de caída (rojo)*

Seguidamente y un poco desanimados volvimos a la finca donde estaba el coche de seguimiento y el resto de la expedición. La última solución era calcular a ojo y mediante los datos de las últimas 2 recepciones una área más concreta de búsqueda. Como que de los datos de las 2 últimas recepciones eran a 881m y 679m sabíamos también posición y la hora exacta de recepción entre ellas, pudimos calcular de forma estimada la velocidad vertical de caída y la horizontal, y a sabiendas de a la altura dónde se encontraba respecto al suelo fuimos acotando una área más concreta, esta comprendía la zona que iba entre el camino de la parte baja de aquel pequeño valle visto desde el campo de tiro, a la parte más alta de los cerros traseros del valle dónde había algo más de vegetación (ver el rectángulo amarillo del mapa).

Tras agradecerles el apoyo y dedicación mostrada a la buena gente de aquel taller mecánico, proseguimos nuestro camino para acercarnos más a la zona y buscar la sonda. La ruta que seguimos (ver el mapa), fue seguir unos 400 metros por la carretera dirección Noreste y luego coger un camino a mano izquierda que reseguía un canal de regadío, así durante aproximadamente 1km hasta encontrar el siguiente camino a la izquierda, que era el que habíamos visto anteriormente desde el campo de tiro y que pasaba por la parte baja del valle. Proseguimos por aquel camino yendo muy despacio y mirando por todos lados desde dentro de los 2 coches pero no vimos nada más que arbustos y árboles frutales. Encontramos un par de labradores a los cuales inicialmente extrañamos, pero en preguntarles, por mala suerte no habían visto caer ningún objeto. Nuestra búsqueda prosiguió a través del camino y cuando ya habíamos atravesado la zona acotada inicialmente decidimos subir por un camino a mano derecha que traía a lo alto de un cerro. Allí volvimos a observar sin éxito. Pero tuvimos la ocurrencia de aprovechar la altura del lugar para volver a conectar la radio a ver si todavía recibíamos alguna señal, pero no confiábamos en recibirla... De golpe los gritos y la alegría invadieron el habitáculo del coche, recibíamos señal! Aparentemente por el valor de los contadores de fotografías hechas la sonda se había reiniciado debido al impacto y había vuelto a empezar la secuencia de trabajo. En un santiamén, nos dirigíamos todos hacia el punto de recepción. En concreto era la parte alta de un pequeño camino que enlazaba al camino de la parte baja del valle por dónde habíamos pasado, anteriormente, el cual habíamos visto pero por el que no habíamos decidido subir.



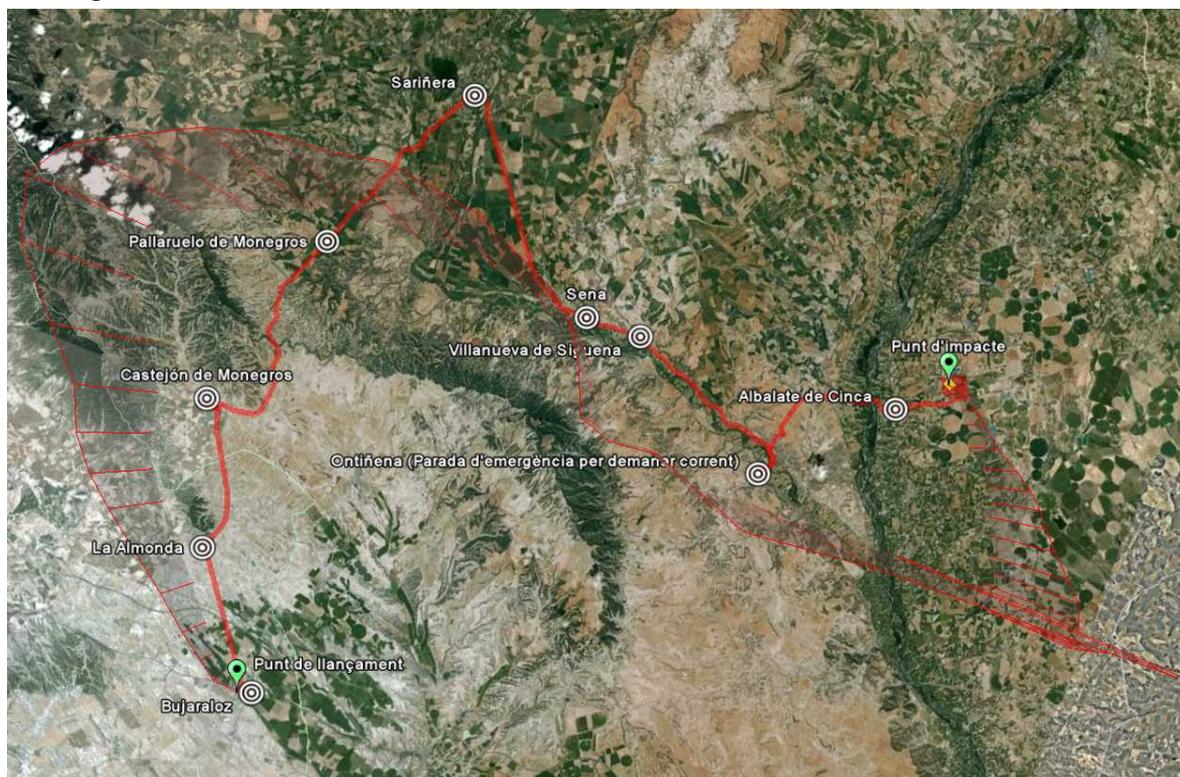
Mapa con la nueva área de recerca con los puntos de observación y el punto dónde volvimos a recibir datos

Una vez situados en el pequeño camino fuimos transitando todavía más lentamente y a al inicio no veíamos

nada de nada, pero... de sopetón los gritos de euforia volvieron a invadirnos, y antes de que el tutor pudiera poner el freno de mano todos nosotros ya éramos fuera del coche. Habíamos encontrado la sonda! Había caído junto al margen derecho del camino, sobre unos matorrales. En menos de 10 segundos ya la habíamos recogido y empezado a examinar. La sonda se encontraba aparentemente intacta, sólo tenía una pequeña deformación en la estructura de aluminio debido al impacto. Pero los nervios no se desvanecían todavía en medio de la euforia, puesto que todavía no sabíamos si las fotografías se habían hecho, ya que encontramos la cámara apagada y no se había dado el orden de parada. Rápidamente y bajo muchos nervios sacamos la SD de la cámara para ponerla al ordenador, acto seguido, todo fueron saltos y gritos de alegría, la cámara había funcionado y las fotografías habían salido muy bien, ahora sí que podíamos afirmar que la misión había sido todo un éxito. Qué momento! Simplemente inolvidable! Nuestra sonda Meteotek08 había conseguido su hito y con unos resultados más que notorios, al fin los nervios se desvanecían, tras más de 3 horas y media desde el lanzamiento y un año de trabajo.

Un buen rato después, cuando ya habíamos empezado a recogerlo todo, nos vino a ver un pastor; aquel hombre nos quería explicar algo. Según nos dijo, la sonda la había encontrado él a unos 60 metros de dónde la encontramos nosotros, esto era algo más arriba del cerro, casi a la parte más alta. Según relató, la movió ya que su rebaño de cabras se asustó por su presencia y los ruidos que hacía (el servo se continuaba moviendo) y no le quería transitar ladera abajo, por esto decidió ponerla al camino dónde pensó que sería más visible para quien la buscara y lejos de la vista de las cabras; no nos queda más remedio que enviar un nuevo agradecimiento a aquel buen hombre. Tras una charla con aquel hombre al cual le explicamos qué era aquello que había encontrado y para qué servía, acabamos de recoger y reorganizar el material, creed que el desorden era la nota dominante dentro de los coches. Recogido el material sólo tocaba el viaje de regreso a casa, ahora ya totalmente relajados y disfrutando ahora sí, del paisaje que nos rodeaba del cual hasta aquel momento no habíamos hecho demasiado caso.

La sonda fue lanzada a las 9:10:20 AM (local) y aterrizó a las 11:20:00 AM (local), 2 horas y 10 minutos desde su despegue. Fue encontrada al cabo de 1 hora y 27 minutos tras el aterrizaje, en concreto fue a las 12:47:00 AM (local), por lo tanto podemos decir que fue una búsqueda bastante rápida todo y las interrupciones descritas. Con respecto al recorrido por carretera fue de 88.6km desde Bujaraloz hasta el punto de impacto.



Mapa final: el recorrido hecho por la sonda y el recorrido de seguimiento hecho con el coche



*Algunas fotografías: Momentos antes de aterrizar hecha por la sonda, el lugar de encuentro, fotografía de grupo tras haber confirmado el éxito de la misión y una de las mejores fotografías de la tierra hechas por la sonda.*

*Accediendo al Anexo 2 o bien al álbum digital (<http://www.flickr.com/meteotek08>) podrán encontrar una colección completa de fotografías con detalles de alturas y algunos comentarios.*

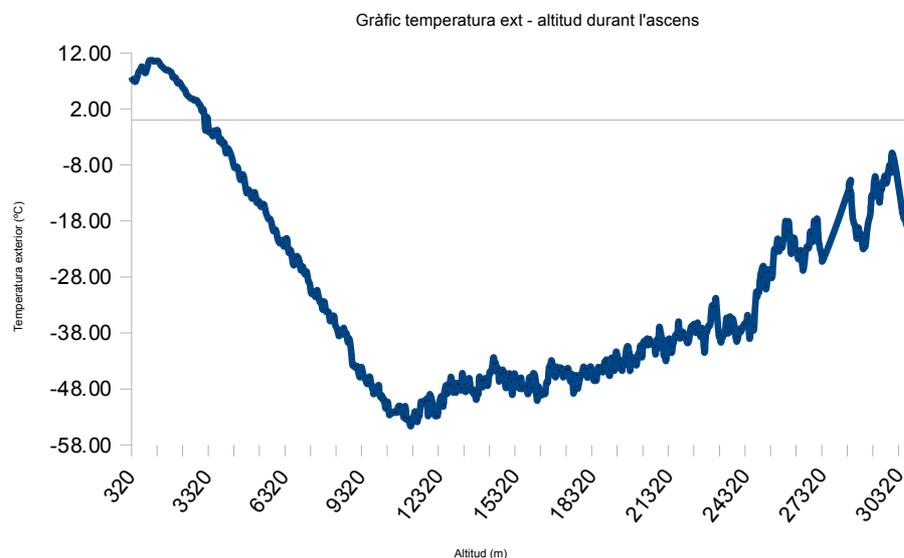


# Capítulo 6

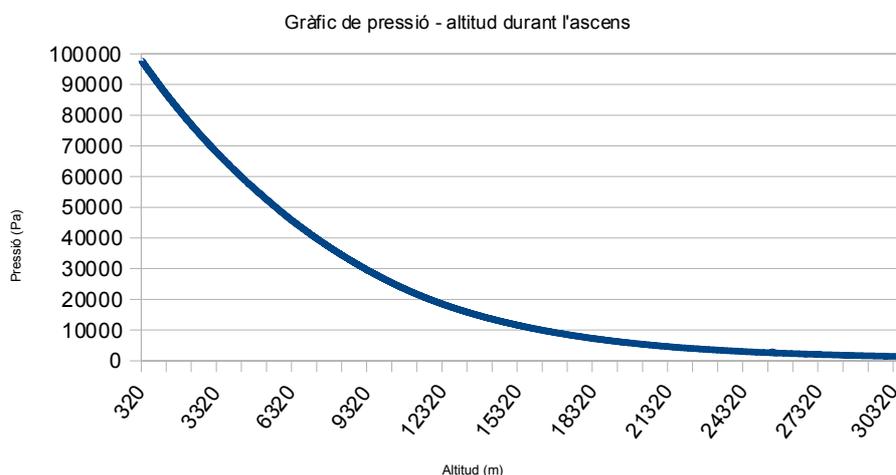
## Resultados y conclusiones

# 1. La recopilación de datos

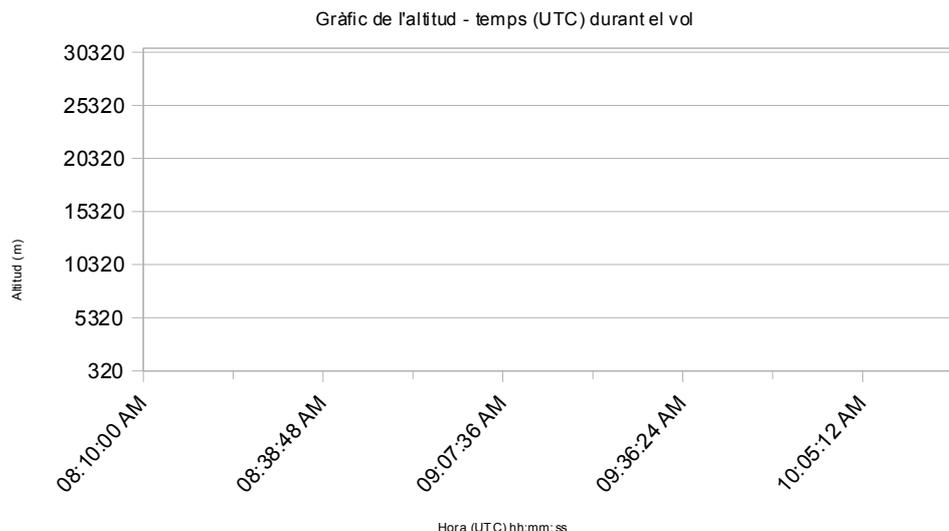
Tal como se ha introducido en el inicio del trabajo, la sonda Meteotek08 incluía diversos sensores atmosféricos y un módulo GPS gracias a los cuales se podían registrar las condiciones del entorno. En un principio la idea era registrar estos datos en una tarjeta SD en el interior para luego recogerla en el momento de la recuperación, pero como se ha explicado en el capítulo anterior, el día antes del lanzamiento comportó algunos problemas, por lo tanto, los datos recogidos son únicamente los recibidos vía radio, cosa que implica que algunos paquetes se perdieron y de hecho, hay un tramo de aproximadamente 3 minutos dónde no tenemos datos por culpa del problema con las baterías de los portátiles receptores. Realmente habríamos deseado incorporar un sistema mejor, pero finalmente lo hicimos así. Aún así, el objetivo de esta sonda no era hacer un estudio completo y preciso de las condiciones atmosféricas en detalle sino que el objetivo era hacer una interpretación cualitativa y ver se seguían aproximadamente unos criterios preestablecidos. El primer gráfico más importante quizás es el de la temperatura, que en el capítulo de introducción se hacía mención de la subida al adelantar a la estratosfera. En nuestro caso se cumplió lo esperado, y la temperatura empezó a subir a partir de los 12.000m aproximadamente tras haber llegado cerca de los  $-55^{\circ}\text{C}$ . En el momento de la explosión era de unos  $-18^{\circ}\text{C}$ .



Con respecto a la presión se puede ver de forma muy clara su decrecimiento exponencial, un resultado que también se esperaba.



Ya para acabar una de las otras gráficas importantes, la evolución de la altitud a lo largo del vuelo, donde se observa un ascenso constante y una caída libre, popular problema de física.



Además de estas pequeñas gráficas, hemos adjuntado un anexo con muchas más de ellas para aquellas personas interesadas en algún detalle más concreto o para ver más datos.

## 2. Posibles mejoras

Debemos reconocer que la sonda meteorológica Meteotek08 es infinitamente mejorable. Primeramente uno de los factores que se debería mejorar es su peso. La versión actual tiene un peso elevado debido básicamente al tamaño que tiene y al sistema de alimentación. Si en una próxima versión se introdujeran baterías de *Lithium-Ion* recargables podríamos reducir muchísimo el peso, así como el espacio ocupado por estas. En segundo lugar se podría poner el circuito electrónico, puesto que es hecho por nosotros con métodos de revelado casero (esto sí, diseñado con ordenador). De hacerse a fábrica podríamos tenerlo de mejor calidad y más compacto. También sería interesante utilizar cámaras de la misma calidad con menor tamaño y consumo, así como la posibilidad de filmar vídeos. Para terminar, convendría utilizar un microcontrolador más potente para poder capturar un mayor flujo de datos y entonces nos podríamos plantear hacer análisis serios sobre las condiciones atmosféricas, ya que por ahora no podemos pasar de estudios cualitativos. Estas mejoras en todo caso serían introducidas en nuevas versiones de la sonda, quizás la Meteotek2010, quien sabe!

## 3. Aparición en los medios de comunicación

Una vez realizado el lanzamiento procedimos a publicar los resultados en nuestra página web así como el recopilatorio de fotografías en el álbum. Puesto que todos somos fieles seguidores del espacio “*el temps*” de *TV3* decidimos enviarles un resumen de fotos y nos las publicaron, así como en el *Diario de Girona*. Nos hizo especial ilusión salir en algún medio local tras tanto esfuerzo puesto ya que de alguna manera se nos reconocía nuestro trabajo. Además, nos publicaron un pequeño artículo en Sparkfun, la tienda dónde se han comprado muchos componentes de la sonda. Gracias a esto, un periodista inglés (James Nye) leyó la noticia y decidió entrevistarnos para enviar la noticia a algunos diarios. El hecho es que al cabo de pocos días aparecimos en el diario inglés *Daily Telegraph*, uno de los más leídos. Esto provocó un incremento enorme de nuestras visitas al álbum de fotografías y en la web, haciendo además que la noticia apareciera en muchos medios internacionales y que finalmente la noticia también llegara a aquí. Realmente fue un hecho curioso ya que no se trata de ningún proyecto innovador, ya existen otras sondas meteorológicas en otros países. Actualmente la página de fotografías ya ha recibido más de 3 millones de visitas desde que se abrió.

**Alumnos de l'Institut de la Bisbal llancen una sonda meteorològica a 30.000 metres d'altura**

L'artefacte, fabricat per els mateixos, va permetre aconseguir unes imatges fotogràfiques de l'atmosfera

**GIRONA | LAURA FANALS** La fira de la Festa de la sonda meteorològica de la Bisbal, que es va celebrar el 28 de febrer, va ser el punt d'inici d'una sonda meteorològica a 30.000 metres d'altura. L'artefacte, fabricat per els mateixos, va permetre aconseguir unes imatges fotogràfiques de l'atmosfera.

Una sonda meteorològica que es pot enviar fins a 30.000 metres d'altura, fent fotografies i recollint dades de les condicions atmosfèriques. Aquest és el projecte que han dut a terme un grup d'estudiants de la Bisbal d'Empordà, que va culminar el 28 de febrer amb el seu llançament a la Bisbal (Girona). A partir d'aquí, la sonda va enviar, durant 2 hores, dades de temperatura, humitat, velocitat del vent i altres dades meteorològiques.

El projecte va ser ideat i desenvolupat pels estudiants de l'Institut de la Bisbal d'Empordà, que va culminar el 28 de febrer amb el seu llançament a la Bisbal (Girona). A partir d'aquí, la sonda va enviar, durant 2 hores, dades de temperatura, humitat, velocitat del vent i altres dades meteorològiques.

**Teens capture images of space with £56 camera and balloon**

Photographers armed with only a £56 camera and a latex balloon have managed to take stunning photos of space from 20 miles above Earth.

Using a camera bought on Amazon for just £56, a group of teenagers from the UK managed to capture stunning photos of space from 20 miles above Earth. The photos show a view of the Earth from space, including the horizon and the curvature of the planet.

The group, led by 15-year-old George, used a camera bought on Amazon for just £56. They attached the camera to a string and a balloon, and launched it from their school. The camera captured stunning photos of space from 20 miles above Earth.

**Foto della Terra con la Nasa ma con palloncino e digitale**

L'esperienza, durata 10 giorni, è stata svolta in un'area di prova. Con una fotocamera da pochi euro, lanciata in volo, hanno scattato immagini della Terra da una quota di 20 mila metri.

Una sonda fotografica da sessanta euro, attaccata ad un palloncino di lattice, quattro generatori solari collegati tra loro e un sistema di controllo a distanza, hanno permesso di scattare foto della Terra da una quota di 20 mila metri. L'operazione è durata 10 giorni e si è svolta in un'area di prova.

Il risultato è stato sorprendente. La sonda è riuscita a scattare foto della Terra da una quota di 20 mila metri. Le immagini mostrano la curvatura della Terra e il cielo blu scuro.

Algunas de los diarios donde apareció la noticia

# 4. Conclusiones globales

Ha sido un trabajo muy largo y con un montón de vivencias y anécdotas. Empezó como un proyecto sin un destino demasiado claro pero a lo largo de los meses la ilusión se mantuvo y las cosas a pesar de las dificultades se fueron solucionando. Algunos de los miembros han aportado sus conocimientos en electrónica y programación, sin los cuales todo esto seguramente no habría sido posible. Otros han aportado su esfuerzo al gestionar acciones, buscar soluciones a problemas y han estado siempre a punto, aunque fuera un fin de semana por la mañana. Seguramente ha sido toda esta ilusión reunida la que ha permitido superar todas las dificultades y conseguir hacer el sueño realidad. Debemos reconocer que a menudo parecían desilusiones debido a qué algo no iba bien, costaba encontrar materiales adecuados o bien una sesión de pruebas se debía cancelar por algún error imprevisto. En especial fue el módulo de radio, el cual se averió durante el verano pasado cuando habríamos querido tirar la sonda, por culpa de esto se canceló el lanzamiento hasta el pasado febrero. A pesar de todo, estos tipos de problemas aparecen en cualquier proyecto, nada se piensa, se realiza y funciona a la primera sino que son necesarias muchas horas de esfuerzos y correcciones para conseguir un resultado satisfactorio. En este trabajo se ha apreciado mucho este hecho, así como también se ha visto la realización de un proyecto entero, desde sus inicios a su fin, una cosa muy positiva y que no se enseña en ninguna escuela ni universidad.

Cuando vimos las imágenes obtenidas seguramente vivimos uno de los momentos más felices de nuestras vidas, era uno de nuestras sueños. Seguramente se nos confirma este espíritu que tiene el hombre de conquistar o estar en cualquier lugar desconocido. También hace falta decir que antes de todo esto, se vivieron momentos de nerviosismo muy intensos, que también serán difíciles de volver a igualar. Desde aquí nos gustaría dar un impulso a todos aquellos jóvenes con espíritu creativo, que no se priven ni dejen de creer nunca en sus ideas o proyectos, incluso la idea más extraña o sonada puede acontecer un éxito, y deben creer que hacer realidad un sueño es para una persona el mejor regalo que nunca se le podrán otorgar.

---

# BIBLIOGRAFÍA

## 1. Libros

SCHILDT, Herbert. *Programación en C, Cuarta edición*. Madrid: McGraw Hill, 2001

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

## 2. Documentos y publicaciones

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”

**Hojas de especificaciones:** Acceded al soporte digital del trabajo

## 3. Páginas 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://electronics.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. Otros

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