

CONSTRUCCIÓ D'UNA SONDA ESTRATOSFÈRICA “LOW COST”

Tutor: Íngrid Muñoz
Alumne: Guillem Tutsaus Alcaraz
Escola: Tecnos
Curs: 2n Batxillerat A
Terrassa, 26 de setembre de 2016



AGRAÏMENTS:

En tota creació, existeixen circumstàncies i, sobretot persones que resulten fonamentals en el desenvolupament d'aquest procés. En el meu cas, res del què he fet i escrit a continuació es podria haver dut a terme sense l'ajuda que, certes persones m'han transmès, durant tot aquest procés tant llarg. Vull agrair a la meva tutora, Íngrid Muñoz, el temps, el coneixement i la paciència abocades en mi, que han permès que finalment nasqués aquest projecte.

També m'agradaria dedicar unes paraules a professors i voluntaris que, de manera totalment desinteressada, m'han aportat una visió més professional de certs aspectes del treball. Aquest reconeixement doncs a Àngel Buch, Margarida Boada, Joshua Tristánchó, Fatiha Nejjari i Núria Salán.

Per últim, he de parlar d'aquells que comparteixen la vida, el dia a dia, les preocupacions i els somnis amb mi i que resulten tan necessaris per subsistir com per escriure. Per això, i de forma molt especial, dono les gràcies a Fina Alcaraz, per l'amor incondicional, a Roger Tutusaus, pel recordatori diari sobre la importància de creure en un mateix i a Mireia Tutusaus, pels nostres moments, tots.

A ells els dec l'haver arribat aquí i el voler anar més enllà.

«De vegades cal arribar el més alt possible
per adonar-te'n del petit que ets»
- Fèlix Baumgartner

ÍNDEX

Agraïments

1.	Introducció.....	3
2.	Objectius del treball.....	5
3.	Què són els <i>High Altitude Balloons</i> ?.....	6
4.	Material.....	9
4.1.	Placa Arduino.....	11
4.2.	Estació meteorològica.....	14
4.2.1.	Sensors.....	15
4.2.1.1.	Humitat.....	16
4.2.1.2.	Pressió atmosfèrica.....	20
4.2.1.3.	Temperatura.....	22
4.2.2.	Datalogger.....	24
4.3.	Localitzador GPS.....	26
4.4.	Rastrejador GPS.....	31
5.	Font d'alimentació.....	37
5.1.	Bateries Li-ion.....	38
5.2.	Piles de 9V alcalines.....	39
5.3.	Bateries Li-Po.....	40
6.	Càmera.....	42
6.1.	Càmeres Arduino.....	44
6.2.	Càmeres compactes.....	45
6.3.	Càmeres d'accio.....	46
6.4.	Telèfon mòbil.....	47
6.4.1.	Programació de la càmera amb MobileWebCam.....	48
7.	Caixa i aïllant tèrmic.....	49
8.	Pressupost.....	52
9.	Hardware.....	54
9.1.	Pin-out (Cablejat).....	55
10.	Software.....	60
11.	Preparatius pel llançament.....	60

11.1.	Proves del material.....	61
11.1.1.	Proves del GPS.....	62
11.1.2.	Proves del telèfon mòbil.....	67
11.2.	Predictió de la trajectòria.....	69
11.3.	Tràmits legals.....	72
12.	Resultat i conclusions.....	74
13.	Webgrafia.....	77

ANNEXOS

●	Annex I. Entrevista a Joshua Tristáncho.....	2
●	Annex II. Software de programació.....	8
○	DHT11.....	11
○	BMP180.....	14
○	DS18B20.....	16
○	Tot UNO.....	18
○	Tot NANO.....	22
●	Annex III. Documents oficials.....	29

1. INTRODUCCIÓ

El segle XXI, és una època on es considera relativament fàcil organitzar viatges a l'espai, de fet, ja existeixen algunes empreses privades que n'organitzen, com ara, SpaceX o Virgin Galactic. Tot i això, aquests viatges no són especialment barats. De fet, la tecnologia ha evolucionat tan ràpidament que fins i tot és més fàcil enviar una persona a l'espai que a la Fossa de les Marianes¹.

Des de ben petit, sempre m'havia apassionat el món de l'astronomia i el fet d'enviar objectes a l'espai. Sempre havia tingut aquest somni i desitjava portar-lo a terme un dia o altre. Per això, vaig decidir fer aquest treball de recerca, inspirat en un capítol del programa Quèquicom², en el qual, uns estudiants de la UPC de Castelldefels liderats pel Joshua Tristáncho, enviaven i posaven en òrbita un satèl·lit "low cost" per menys de 1.200 €. Aquest projecte, estava emmarcat dins un concurs destinat a encoratjar la creativitat, l'originalitat i la inventiva dels participants davant d'impossibilitats financeres, i també a estimular així la innovació dirigida a obtenir l'accés barat a l'espai.



Il·lustració 1: Joshua Tristáncho (al centre de la imatge amb una camisa de color blanc) envoltat de tot el seu equip. (Font: Google Imatges).

¹ Aquest és el punt més profund del planeta Terra. Localitzat quasi 11 km al fons del Pacífic nord-oest, al sud-est de les Illes Marianes i prop de Guam.

² El següent *link*, mostra la pàgina web de TV3 on s'hi pot trobar el programa complet del Quèquicom, al qual em refereixo. <http://www.ccma.cat/tv3/alacarta/quequicom/satellites-low-cost/video/3781650/>

En primeres instàncies, i després de tornar a veure el programa del Quèquicom, em van venir moltes ganes de fer un treball molt semblant al seu: el d'una sonda que arribava a la meitat de l'estratosfera, fins aproximadament uns 30 quilòmetres, després d'haver superat la capa d'ozó mitjançant un globus d'heli i a partir d'allà començar a orbitar al voltant del planeta Terra a una velocitat de mach³ 7, tot això captant dades contínuament i transmetent-les a temps real a un servidor web.

Vist que aquest projecte tenia unes clares limitacions per a un estudiant de 2n de Batxillerat, com ara l'existència d'un pressupost no gaire alt o la immensa feina i temps que aquest treball requeria per a una sola persona, ja que no posseïa un equip, em vaig desviar per una branca del treball la qual em permetés dur a terme un projecte relacionat amb el llançament de globus sonda a l'estratosfera (en anglès, *High Altitude Ballooning (HAB)*) però que fos el més assequible possible.

Tot això, ho duré a terme a partir dels coneixements que vaig anar adquirint durant tot el curs de 4t d'ESO, juntament amb una exhaustiva recerca d'informació, d'entrevistes a persones expertes en el tema i de l'ajuda dels meus professors i familiars.

³ Mach: és el quocient entre la velocitat d'un objecte en un medi determinat i la velocitat del so en aquell mateix medi. De manera que un objecte que es desplaça a mach 7, vol dir que es mou a una velocitat equivalent a set cops la velocitat del so.

2. OBJECTIUS DEL TREBALL

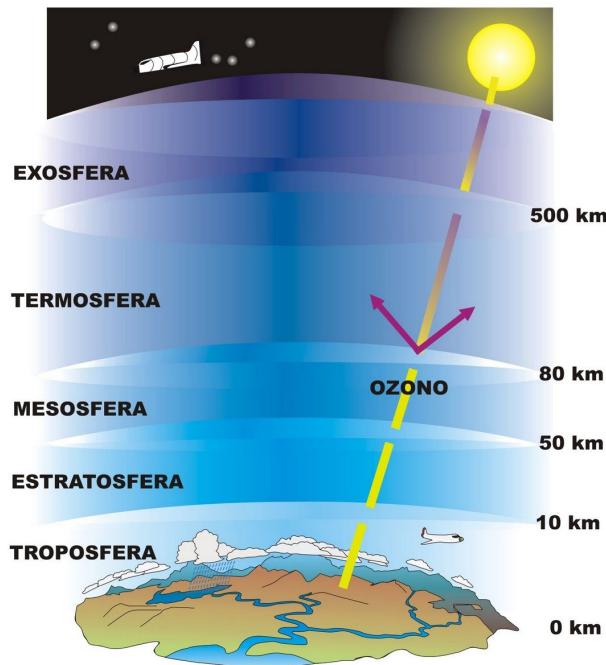
Objectiu general: Construcció d'una sonda meteorològica, equipada amb sensors de temperatura, humitat i pressió; així com d'una càmera, un localitzador i un rastrejador GPS, però tot de la manera més econòmica possible, si pot ser, per sota dels 300 €.

Objectius específics:

- Valoració de la dificultat de realitzar un projecte d'un globus sonda.
- Construcció d'una estació meteorològica, basada en una placa Arduino, que mesuri les variables atmosfèriques i les guardi totes dins una targeta SD, per després avaluar com varien en funció de l'altitud.
- Enviament de fotografies, realitzades per una càmera, a temps real.
- Construcció d'un sistema de localització amb Arduino, que enregistri constantment la posició de la sonda i guardi les diferents coordenades dins una altre targeta SD, per així posteriorment poder realitzar dibuixos 3D de la trajectòria del mòbil.
- Descripció de la preparació del llançament d'un globus sonda.
- Tramitació dels permisos legals per part d'ENAIRES i AENA sobre la realització d'un sondeig.

3. QUÈ SÓN ELS "HIGH ALTITUDE BALLOONS"?

Són globus no tripulats, generalment inflats amb heli o hidrogen, i rarament metà, que s'alliberen a la troposfera i arriben entre els 18 i els 37 quilòmetres d'altura travessant així, la troposfera, la capa d'ozó i gran part de l'estratosfera.



Il·lustració 2: Esquema bastant explicatiu de les diferents capes que conformen l'atmosfera terrestre, juntament amb les seves extensions reals. També cal contemplar que hi ha les diferents capes de transició, com ara, la tropopausa, l'estratopausa, etc. (Font: <http://edubook.vicensvives.com/>).

El tipus més comú de globus estratosfèric és el globus meteorològic, per la seva traducció a l'anglès "Weather balloons o Sounding balloons". Els globus estratosfèrics moderns generalment contenen equips electrònics, com transmissors de ràdio, càmeres o sistemes de navegació via satèl·lit (receptors GPS o GPRS) i tota mena de sensors (de temperatura, pressió, humitat, etc.). Tots aquests dispositius s'utilitzen per obtenir dades de l'entorn i també per dur a terme un seguiment de la seva trajectòria.



Il·lustració 3: Fotografia d'una sonda estratosfèrica en ple ascens. Es pot observar el globus circular a dalt de tot de la imatge, juntament amb el paracaigudes de color vermell i la caixa on hi ha tots els sensors i sistemes de comunicació, al peu de la imatge i de color blanc. (Font: <http://radiosondemuseum.org>).

Tot i que la finalitat d'aquests tipus de treballs (construcció de globus estratosfèrics) acostumen a ser de caràcter lúdic, per a gent aficionada que ho consideren un *hobby*. També hi ha altres exemples on aquest tipus de projectes s'han utilitzat per a finalitats més professionals, com per exemple, l'estudi de l'atmosfera i el clima d'un territori; per a finalitats comercials i turístiques, com ja fan algunes empreses; o fins i tot, per a batre rècords mundials. El 2012, el paracaigudista i saltador de base austríac Felix Baumgartner va aconseguir arribar als 39 quilòmetres d'altura i posteriorment llançar-se, aconseguint una velocitat de 1166 quilòmetres per hora, convertint-se així, en la primera persona en viatjar a una velocitat superior a la del so.



Il·lustració 4: Globus sonda, inflat amb heli (He) emprat per enlairar en Fèlix hores abans del seu enlairament. (Font: www.redbullstratos.com).



Il·lustració 5: Fèlix Baumgartner saltant des de 39 km d'altura i coronant-se així com la persona més ràpida del planeta. (Font: <https://image.redbull.com>).

4. MATERIAL

Per aconseguir dur a terme la construcció de la sonda estratosfèrica és necessari, i quasi obligatori, la compra de material. Tot i això, la gran majoria de materials que utilitzarem en aquest projecte seran components que s'acostumen a tenir per casa. Cal dir que, aquesta és una de les parts més importants, i una de les que ocupa més temps en aquest projecte.

Abans però de seleccionar els materials més adequats, cal tenir en compte alguns principis o condicionants físics rellevants, com ara, la **llei dels gasos ideals**.

Aquesta llei, esmentada per primer cop en un article de 1834 per l'enginyer de mines francès, Émile Clapeyron, estableix la relació entre pressió, volum, nombre de mols i temperatura d'un gas.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

On P equival a la pressió en atmosferes a la qual està sotmès el gas, V és el volum que aquest ocupa, calculat en litres (L), n al nombre de mols que aquest conté, R a la constant dels gasos ideals ($0.0821 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$) i T a la temperatura en que aquest gas es troba.

Aquesta llei tan coneguda en el món de la química, resulta també molt important alhora de construir sondes estratosfèriques, ja que, tot i que poden estar fabricades amb diferents tipus de materials, aquests cal que siguin el més lleugers possible.

Del contrari, el globus d'heli s'hauria d'inflar més del compte per aconseguir una **velocitat d'ascens òptima**⁴, fet que es traduiria en una durada de vol més curta, perquè mentre el globus puja, el gas al seu interior s'expandeix degut a la poca pressió que hi ha a l'exterior, com estableix la llei ja esmentada, de manera que al final, la sonda no aconseguiria arribar a l'altura desitjada degut a aquest heli extra que faria explotar el globus d'heli molt abans del desitjat.

Així doncs, és necessari trobar un equilibri entre aquests dos factors: el pes de la sonda, de manera que sigui el menor possible, i la quantitat d'heli amb que s'infla el globus, per evitar una durada de vol inferior a l'esperat.

⁴ En molts dels articles i documents que s'han llegit, la velocitat d'ascensió òptima per a una sonda estratosfèrica és de 5 m/s.

4.1. Placa Arduino

L'ordinador de vol és la part central de la sonda estratosfèrica. En aquest projecte serà essencial, ja que portarà incorporat els **sensors meteorològics** i el **localitzador GPS**. Aquesta tasca serà duta a terme per mitjà d'una placa d'Arduino Uno i una altra d'Arduino Nano, per a reduir el pes de la sonda. Aquestes dues plaques, han estat dissenyades per l'empresa Italiana Arduino, amb l'únic objectiu de facilitar el disseny i programació de circuits electrònics. El fet que sigui una plataforma lliure i extensible permet que es pugui utilitzar en una gran varietat de projectes relacionats amb l'electrònica, la domòtica i la robòtica.

També existeixen plaques modificades per ajustar-se a les diverses necessitats dels compradors, tot això, partint d'un preu bastant accessible per a tothom. Però també existeixen altres plaques similars, com la placa Raspberry Pi⁵.

Els motius principals que em van ajudar a decidir-me a l'hora d'utilitzar aquest tipus de plaques enlloc d'un altre tipus, van ser: la seva relació qualitat-preu, tenint en compte que les prestacions que m'aportava la placa escollida, eren elevades en relació al cost d'aquesta; la poca dificultat que suposava obtenir-ne una, ja que a la gran majoria de botigues d'electrònica de Terrassa en venen; i, finalment, pel coneixement i l'experiència prèvia que tinc al respecte, al ser aquesta la principal eina de treball a la classe de programació del curs de 4t d'ESO.

⁵ Aquest tipus de plaques utilitzen un processador ARM, enfocat per a projectes més complexos, tot i que també acostumen a ser substituïts per les plaques Arduino UNO en la construcció de sondes.

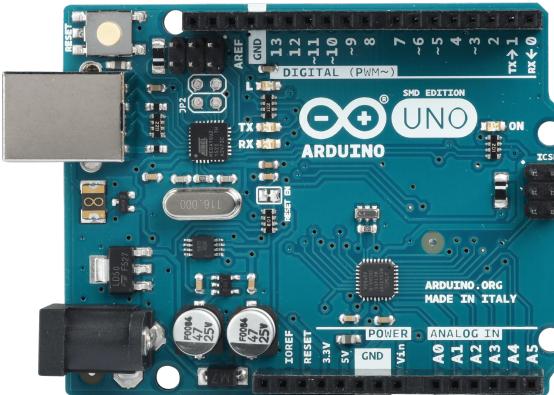
L'Arduino UNO, és una eina excel·lent per a aquest tipus de projectes, tot i això, hi ha algunes de les seves característiques que suposen un impediment a l'hora de dur a terme la construcció de la sonda com, per exemple, la seva limitada memòria (2 KB). El codi del programa que utilitza la sonda és bastant extens, aproximadament utilitza el 85% de la memòria interna total, del qual, la funció d'emmagatzematge SD en forma una bona part, això requereix una optimització del codi per així poder alliberar espai. Per això, és més recomanable utilitzar un Arduino Mega, ja que posseeix una memòria superior, duns 8 KB.

A la taula següent es mostren les característiques més importants de la placa Arduino UNO i Arduino NANO:

Marca i model	Arduino Uno	Arduino Nano
Processador	ATmega328P	ATmega328
Entrades analògiques	6	8
Entrades digitals	14	14
Memòria SRAM	2 KB	2 KB
Tensió de subministrament	5V (+ convertidor a 3,3V)	5V
Tensió d'alimentació	7 a 12V (recomanada)	7 a 12V (recomanada)
Pes	25 grams	7 grams
Preu	15 €	7 €

Taula 1: Característiques més importants de les plaques Arduino Uno i Arduino Nano. Dins el preu, s'hi contempla tant el cost d'enviament, com el fet que són plaques no oficials (100% compatibles). (Elaboració pròpia, a partir de la pàgina arduino.cc)

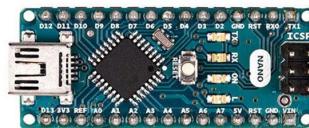
Una de les raons per les qual he decidit no utilitzar la placa Arduino Mega, tot i que posseeix unes bones característiques, és degut al seu elevat preu, el qual pot arribar fins als 40 €. Un altre dels motius principals és que ja disposava d'una placa Arduino Uno i Nano, fet que feia innecessari la compra d'una altra Arduino Mega i, per tant, abaratia el pressupost total del projecte.



Il·lustració 6: Placa Arduino Uno, bastant fidel a les seves dimensions originals. (Font: <https://www.arduino.cc>).



Il·lustració 7: Placa Arduino Mega, on es pot apreciar com aquest microcontrolador és més complex que l'Arduino Uno. No es troba a escala. (Font: <https://store.arduino.cc>).



Il·lustració 8: Placa Arduino Nano, té pràcticament les mateixes característiques que un Arduino Uno, tot i que la mida és més reduïda. (Font: <https://www.makerlab-electronics.com>).

4.2. Estació meteorològica

Una estació meteorològica és una instal·lació amb l'única finalitat de mesurar i enregistrar de manera periòdica les diferents variables meteorològiques, així com:

- La pressió atmosfèrica, utilitzant baròmetres, els quals són molt sensibles als diferents canvis de pressió en l'ambient.
- La temperatura, utilitzant termòmetres, que acostumen a enregistrar màximes i mínimes durant el dia.
- La humitat relativa, utilitzant un higròmetre, que mesura el contingut de vapor d'aigua en l'aire.

D'aquesta manera, el meu objectiu en aquest apartat del projecte, serà el de crear una petita estació meteorològica que simuli el comportament d'una de real i un cop recuperem la sonda, realitzar gràfiques amb les dades obtingudes durant tot el trajecte de vol. Tot això, es durà a terme utilitzant una placa d'Arduino Nano, un termòmetre, un baròmetre, un altímetre, un higròmetre i un mòdul SD on s'emmagatzemaran totes les dades obtingudes.



Il·lustració 9: Estació meteorològica de l'observatori Fabra, on es poden apreciar els diferents instruments de mesura. (Font: <https://mirantelcel.files.wordpress.com>).

4.2.1. Sensors

Un cop decidides les plaques Arduino a utilitzar, cal triar els diferents sensors que enregistraràn constantment les diferents variables atmosfèriques, amb la intenció d'avaluar-les i generar gràfiques i estadístiques amb elles; per així poder observar com van canviant a mesura que augmenta l'altura. Els sensors que utilitzarem seran: un sensor de temperatura interna, un altre d'altura relativa, un de pressió atmosfèrica, un altre d'humitat i finalment un de temperatura externa.

Però abans de decidir quin dels sensors comprar, cal comparar les seves característiques per veure quin pot ser més útil. Per tant, els següents tres apartats del treball, estaran dedicats a comparar els diferents sensors meteorològics, i les seves respectives característiques, per tal de trobar quin d'ells és el més adient per a aquest treball.

4.2.1.1. Humitat

La **humitat** és la quantitat de vapor d'aigua present a l'aire. El vapor d'aigua és l'estat gasós de l'aigua i és invisible per a l'ull humà.

Existeixen tres mesures diferents d'humitat: l'absoluta, la relativa i l'específica. La **humitat absoluta** és el contingut d'aigua present en l'aire expressat en $\frac{g}{m^3}$. La **humitat relativa**, expressada en percentatge, mesura la humitat absoluta actual pel que fa al màxim (el punt més alt) d'aquesta temperatura. La **humitat específica** és la relació entre la massa de vapor d'aigua i la massa total de la parcel·la humida.

Així doncs, després d'una petita introducció a aquest tipus de variable, cal escollir el sensor més adient per formar part de l'estació meteorològica de la sonda. El que ens interessa d'aquest component, és que sigui capaç d'enregistrar i mesurar la humitat relativa a l'interior de la sonda.

Un dels molts factors que cal tenir en compte a l'hora de triar quin component comprar, és la capacitat de suportar les condicions a les quals la sonda estarà sotmesa durant tot el trajecte de vol, com són per exemple: les baixes temperatures, les quals poden assolir fins als -60 °C (que són perfectament capaces d'alterar el correcte funcionament del sensor). També els contrastos d'humitat produïts a l'hora de travessar els núvols o les diferents capes de l'atmosfera (que poden crear curtcircuits)... També cal que el sensor sigui de bona qualitat, de manera que no tingui problemes per suportar el corrent que se li subministra sense fer-se malbé. I finalment, també cal que sigui el més econòmic possible. Aquestes són algunes de les característiques que es tindran en compte alhora d'escollir un sensor o un altre.

Sensor	Fabricant
AM2301	Aosong Electronics
DHT11	D-Robotics UK
DHT22	Aosong Electronics
SHT10	Keyes

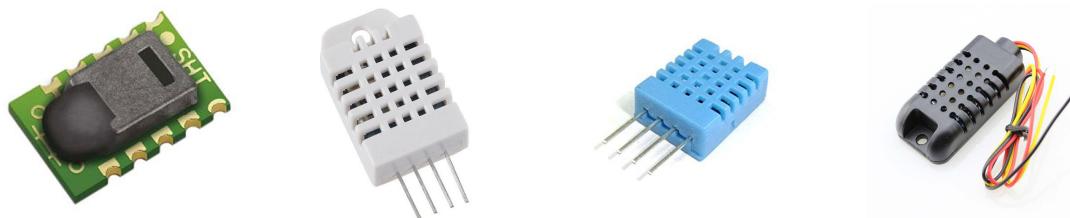
Taula 2: Diferents sensors de temperatura i humitat, amb els seus respectius fabricants (a la dreta de la taula). Tots ells són completament compatibles amb la plataforma Arduino. (Elaboració pròpia, a partir dels respectius *Datasheets*⁶).

Tots aquests sensors, a part d'enregistrar la humitat, també són capaços d'enregistrar la temperatura, però ara cal comparar-los per veure quin d'ells és el més adient pel nostre projecte. Les taules següents mostren, i posen en comparació, les diferents característiques de cada un dels sensors.

⁶ És un document de text que resumeix el rendiment i altres característiques tècniques d'un producte, màquina, sensor, etc.

Sensor	SHT10	DHT22	DHT11	AM2301
Rang de mesura (T)	-40 a +120 °C	-40 a +80 °C	0 a +50 °C	-40 a +80 °C
Resolució (T)	0,01 ⁷ °C	0,1 °C	1 °C	0,1 °C
Precisió (T)	±0,5 °C	±0,5 °C	±2 °C	±0,3 °C
Temps de resposta (T)	17 s	6 s	2 s	7 s
Rang de mesura (H)	0 a 100%	0 a 100%	20 a 90%	0 a 100%
Resolució (H)	0,05%	0,1%	1%	0,1%
Presició (H)	±4,5%	±1%	±5%	±3%
Temps de resposta (H)	10 s	6 s	2 s	6 s
Preu	14,50 €	9,70 €	2,50 €	5,84 €

Taula 3: Cal remarcar que els preus que apareixen dins la taula corresponen al preu unitari on també s'hi contempla el cost d'enviament. També cal aclarir, que les lletres H i T dins la taula fan referència tant a humitat com a temperatura respectivament. (Elaboració pròpia, a partir dels *Datasheets* de cada un dels sensors).



Il·lustració 10: D'esquerra a dreta: SHT10, DHT22, DHT11, AM2301. (Elaboració pròpria).

⁷ El fet de posseir una resolució tan alta, de fins a 0,05%, fa que a l'hora de processar les dades, trigui considerablement més que la majoria de sensors. Això explicaria la raó per la qual és tant precís, però triga fins a 10 segons en enviar la resposta.

Tant el DHT11 com el DHT22, són els dos sensors que ofereixen més avantatges a l'hora de seleccionar-ne algun dels quatre possibles. Primer de tot, perquè el SHT10 és un sensor molt precís, però en canvi, triga molt temps en enviar una resposta, a més, també és extremadament car. L'altre component, l'AM2301 també és un sensor que triga massa temps en enviar les dades enregistrades; això pot semblar un problema absurd, però a l'hora de fer el programa, pot desembocar en múltiples problemes.

El sensor DHT11, encara que és molt menys precís que el DHT22, no és tant car; el temps de resposta també és més alt que el DHT11, cosa que en dificulta la programació; i finalment, com que és un component que ja havia utilitzat a les classes de programació, no fa falta una despresa extra de diners comprant-ne un de nou. Per això s'ha triat el **sensor d'humitat i temperatura DHT11**.

4.2.1.2. Pressió atmosfèrica

La pressió atmosfèrica és una altra variable interessant de mesurar, ja que mitjançant la llei baromètrica⁸ es pot obtenir l'altitud aproximada. Als 30 km d'altura, la pressió atmosfèrica és del 0,1%⁹ en relació al nivell del mar, és a dir, de l'ordre de 0,098 atm¹⁰, de manera que cal triar un sensor que sigui capaç de mesurar valors molt propers a aquests.

Els tres tipus de sensors més adients per a aquest tipus de treball són el BMP180, el BMP280 i el MS5611. A la següent taula es poden apreciar les característiques més importants de cada un d'ells.

Sensor	BMP180	BMP280	MS5611
Fabricant	Bosch	Bosch	TE Connectivity
Voltatge de subministrament	3,3 V	3,3 V	5 V
Rang de mesura	300 a 1.100 hPa	300 a 1.200 hPa	10 a 1.200 hPa
Resolució	0,01 hPa	0,016 hPa	0,018 hPa
Precisió	±0,12 hPa	±0,12 hPa	±1,5 hPa
Temps resposta	17 ms ¹¹	0,56 ms	0,5 a 8 ms
Preu	3,80 €	13,50 €	~15 €

Taula 4: Comparació entre els diversos sensors BMP180, BMP280 i MS5611. A tots els preus, s'hi contempla el cost d'enviament i el fet de ser preus del dia 30/08/2017, per tant aquests preus sempre són orientatius. (Elaboració pròpria, a partir del Datasheets dels diversos sensors).

⁸ Aquesta llei, descriu matemàticament el repartiment de les diferent molècules d'aire contingudes verticalment en l'atmosfera terrestre i, per tant, la variació de la pressió en funció de l'altitud.

⁹ Dades obtingudes a partir d'un article de la Viquipèdia que tracta la llei baromètrica, llei que descriu com va canviant la pressió en funció de l'altura. https://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_barom%C3%A8trica

¹⁰ Anomenada atmosfera, equivalent a la pressió que exerceix l'atmosfera terrestre al nivell del mar.

¹¹ En el mode d'alta resolució (0,01 hPa).



Il·lustració 11: D'esquerra a dreta: BMP180, BMP280, MS5611. (Elaboració pròpria).

El millor sensor de pressió és el MS5611, ja que és capaç de mesurar pressures més baixes que la resta de sensors. Un altre cop, però, el seu alt preu, fa que l'opció triada hagi estat el **sensor de pressió BMP180**.

Aquest sensor, al mesurar la pressió entre 300 i 1.100 hPa, deixarà de funcionar durant una estona, aproximadament a partir dels 9-10 km d'altura, ja que als 30 km d'altura, la pressió atmosfèrica és d'aproximadament 100 hPa. Això, no suposarà cap problema ja que, a part d'enregistrar la pressió, el BMP180 també té un termòmetre incorporat que calibra la pressió. Gràcies a aquestes dues dades es pot calcular l'**altitud**.

4.2.1.3 Temperatura

La **temperatura** és una de les variables més importants durant un vol d'aquestes característiques, sobretot per la variació interessant que es produeix a la tropopausa¹² i l'estratosfera, on la temperatura no disminueix (com s'esperaria a la troposfera i al seu gradient tèrmic), sinó que es manté constant i després augmenta.

Així doncs, he decidit mesurar dues temperatures diferents. La **temperatura exterior**, que és la més interessant de totes dues, ja que presentarà uns canvis més pronunciats i la **temperatura interior**, on els canvis seran més suaus degut a les diferents capes d'aïllant tèrmic.

Per mesurar la temperatura exterior, caldrà un sensor que sigui capaç de suportar temperatures extremes, de fins a -60 °C, però malauradament, no hi ha gaires sensors compatibles amb Arduino que siguin capaços de suportar aquestes temperatures. Per aquest motiu el sensor triat ha estat el **sensor submergible DS18B20**, que té unes prestacions molt bones.

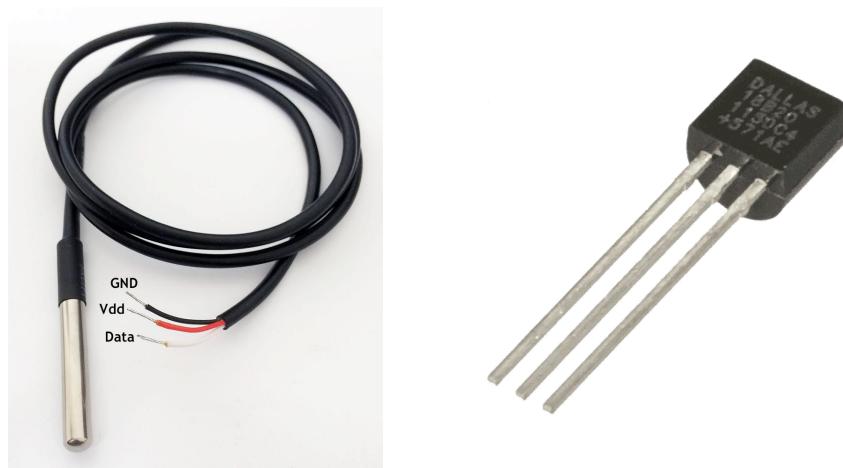
A continuació es mostren les característiques més importants del sensor DS18B20:

Fabricant	Dallas Semiconductor
Model	DS18B20 (submergible)
Rang de mesura	-55 °C a +125 °C
Resolució	De 9 a 12 bits ¹³
Precisió	±0,5 °C (de -10 °C a +85 °C)
Preu	4,50 €

Taula 5: Característiques més importants del sensor DS18B20. El preu contempla el cost d'enviament. (Elaboració pròpia, amb la *Datasheet* del sensor Dallas Semiconductor).

¹² Capa situada als 12 km d'altura i que marca el límit entre la troposfera i l'estratosfera. En aquesta capa, la temperatura es manté constant i un cop sobrepassada la capa, aquesta pateix un augment lineal que va des dels -60 °C fins als 0 °C.

¹³ Correspondrà a augmentos de 0,5°C; 0,25°C; 0,125°C i 0,0625°C respectivament. Una mesura amb una resolució molt alta trigarà molt més temps en ser processada.



Il·lustració 12: Sensor DS18B20 submersible a l'esquerra de la imatge amb els seus respectius *pinouts* i el sensor Dallas DS18B20 a la dreta de la imatge.

A l'hora de triar el sensor de temperatura interna, no cal ser tant primmirat, ja que aquest no cal que suporti unes temperatures tant extremes ni que estigui aïllat ni cablejat, ja que estarà dins la caixa de la sonda i no estarà sotmès a unes condicions tant dures. Això permet més flexibilitat a l'hora de poder triar-ne un, ja que existeixen més marques que fabriquin sensors compatibles amb l'Arduino i a un preu assequible.

S'estima que la temperatura interior mínima pot arribar a -15 °C. Per tant, hi ha diversos sensors que poden ser útils, però com que el sensor BMP180 seleccionat perquè enregistri la pressió atmosfèrica també és capaç d'enregistrar la temperatura, es pot fer servir també per enregistrar la temperatura i, per tant, estalviar sense comprar cap altre sensor.

4.2.2 Datalogger

Aquesta paraula anglesa molt utilitzada en el món de la informàtica, amb traducció directa “enregistrador de dades”, és una paraula que s'utilitza per a denominar qualsevol dispositiu que recull diverses dades i les emmagatzema dins un disc de memòria per a després analitzar-ne el contingut.

En general aquests dispositius són petits, amb bateria, portàtils i equipats amb un microprocessador, memòria interna per a l'emmagatzematge de dades i sensors. Alguns enregistradors de dades interactuen amb una computadora personal i utilitzen programari per activar l'enregistrament de dades i visualitzar i analitzar les dades recopilades; mentre que d'altres, tenen un dispositiu d'interfície local (teclat, LCD) i es poden utilitzar com a dispositiu independent.

El dispositiu d'enregistrament de dades compatible amb Arduino que s'utilitzarà serà el mòdul SD Socket, que juntament amb una targeta SD de 8 GB, aniran guardant les diferents variables de temperatura, humitat relativa, pressió i altitud.

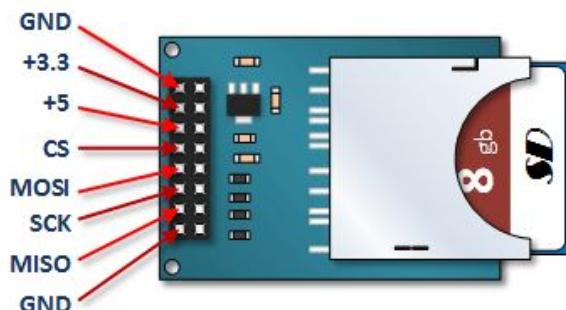
Dins la targeta SD s'hi crearan quatre documents de text diferents (.txt). Tres d'ells contindran les variables de temperatura interior, exterior i altitud per separat i així després resultarà més fàcil copiar-les i realitzar gràfiques. L'últim document, i el més pesat de tots, contindrà totes les variables ja esmentades, juntament amb la humitat i pressió. Els quatre documents junts són capaços de generar $5,4 \frac{KB}{min}$, de manera que, matemàticament, tenim espai suficient per enregistrar fins a un màxim de 1029 dies.



Il·lustració 13: Tots els components necessaris per a la construcció d'un *Datalogger* per Arduino: la targeta SD de 8 GB a l'esquerra de la imatge i el mòdul SD Socket a la dreta, on es pot apreciar la ranura de color platejat on s'introduceix la targeta SD. (Font: <https://www.sandisk.es/content>).

Sensor	Module SD Socket
Fabricant	SanDisk
Memòria Flaix ¹⁴	256 kB
Memòria interna	8 GB
Dimensions	32,00 mm/24,00 mm/2 mm
Temperatura de funcionament	-30 °C a +70 °C
Preu	1,50 €

Taula 6: Algunes de les característiques més importants del mòdul SD Socket. (Elaboració pròpia, a partir de la seva fitxa tècnica).



Il·lustració 14: Dibuix de les connexions de cadascun dels pins del mòdul. (Font: <https://www.google.cat>).

¹⁴ Permet la lectura i escriptura de múltiples posicions de memòria en la mateixa operació. Gràcies a això, la tecnologia flash, mitjançant impulsos elèctrics, permet velocitats de funcionament superiors.

4.3 Localitzador GPS

És la part més important de tot el treball: la resta del projecte no té sentit si no es recupera la sonda. Per aquest motiu, és necessari triar un mètode senzill, eficaç, però sobretot barat (perquè hi ha certs mètodes que no ho són gaire) per recuperar la sonda, juntament amb la resta de parts.

Primer de tot cal introduir el concepte de GPS, part de la seva història i el seu funcionament. La paraula GPS, és un acrònim que prové de l'anglès, el qual significa Global Positioning System o Sistema de Posicionament Global en català. Aquest sistema ens permetrà localitzar la sonda en tot moment i fer-ne un seguiment.

El GPS va ser creat i utilitzat pel Departament de Defensa dels Estats Units en el context de la Guerra Freda i en aplicacions militars. Però als anys 80, aquesta tecnologia es va posar a disposició de la població civil.

Actualment, està formada per 24 satèl·lits americans (Navstar), tot i que també hi ha altres sistemes espacials, com: Rússia (Glonass), Europa (Galileo), Japó (Beidou) o Xina (QZSS), els quals estan distribuïts per l'espai d'una manera específica per la qual, sempre n'hi ha com a mínim quatre dins el camp de visió de qualsevol persona a la Terra.

Aquests satèl·lits orbiten al voltant de la Terra amb una freqüència de dues voltes al dia. Per localitzar un punt en l'espai, aquests satèl·lits utilitzen un mètode matemàtic i geomètric molt senzill anomenat trilateració. Aquest mètode és comunament confós per la triangulació, degut a les seves similituds, però en comptes d'utilitzar angles, aquest mètode utilitza distàncies per localitzar punts dins l'espai.

Cada satèl·lit de la constel·lació GPS envia senyals periòdicament, juntament amb el temps respectiu. Aquests són rebuts per dispositius GPS, com per exemple un mòbil, que calculen la distància entre el dispositiu i cada satèl·lit, basant-se en el retard entre el temps en que s'envia el senyal i el moment en què es rep. Els senyals viatgen a la velocitat de la llum, però tot i això, existeix un retard perquè els satèl·lits es troben a una altitud de desenes de milers de quilòmetres sobre la terra.

Una vegada que un dispositiu GPS té distàncies d'almenys tres satèl·lits, pot realitzar els càlculs de trilateració. La trilateració funciona de manera similar a l'hora d'identificar la posició d'una persona en un mapa: sabent la distància precisa des de tres punts de referència diferents i utilitzant un parell de compassos. Quan els tres cercles centrats en cadascun dels punts de referència es superposen, la ubicació donada el radi de cada cercle és la distància que separa cada marca.

A la versió GPS, els càlculs es realitzen en tres dimensions amb un conjunt imaginari de brúixoles 3D, de manera que la ubicació és on es superposen tres esferes de radi donades per la distància a cada un dels tres satèl·lits. Si el dispositiu GPS pot veure un quart satèl·lit, llavors les mesures es poden verificar en doble.

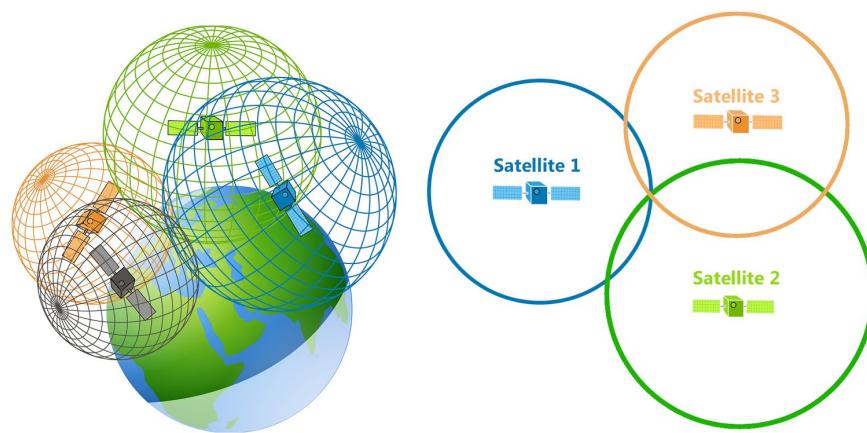
El procés de càlcul s'efectua molt ràpidament, permetent que el dispositiu GPS identifiqui la seva ubicació, altitud (si és en un avió), velocitat i direcció.



Il·lustració 15: Imatge d'un satèl·lit americà en ple desacoblament. (Font: <http://www.tripvivid.com>).



Il·lustració 16: Satèl·lit de l'IFT capaç de rebre senyal des de qualsevol punt del planeta. (Font: <http://www.vanguardia.com.mx>).



Il·lustració 17: Dibuix explicatiu del mètode de localització via satèl·lit. (Font: <http://gisgeography.com>).

El govern americà, per evitar que aquesta tecnologia s'utilitzés en míssils balístics intercontinentals, va establir un acord anomenat «**Límit COCOM**»; aquest permet desactivar el GPS en dos casos:

- Si el mòbil es desplaça a una velocitat superior als 1000 nusos (1900 km/h).
- Si el mòbil es troba a una altitud superior als 60.000 peus (18 km).

En funció d'això, existeixen dos tipus diferents de GPS, els OR i els AND.

Els dispositius del tipus OR, es desactiven si qualsevol de les dues premisses anteriors es compleixen. En aquest cas, el protocol d'anul·lació del GPS s'activaria i la comunicació deixaria de funcionar. En canvi, els del tipus AND, es desactiven quan les dues premisses es compleixen alhora.

Així doncs és indispensable utilitzar un GPS del tipus **AND** ja que el nostre satèl·lit no superarà els 1900 km/h, però si que sobrepassarà els 18 km d'altitud. El GPS cal que sigui directament compatible amb la plataforma Arduino, per tal de facilitar-ne la programació.

No hi ha gaires repetidors de GPS amb limitació AND i compatibles amb Arduino, només n'he trobat tres, que són els següents:

Sensor	Adafruit Ultimate GPS Breakout	u-blox MAX-M8C	Copernicus II
Marca	Adafruit	u-blox	Trimble
Botiga	Adafruit	HAB Supplies	Sparkfun
Altitud màxima	50 km	50 km (en mode de vol)	50 km (en mode de vol)
Temp. de funcionament	-40 a +85 °C	-40 a +85 °C	-40 a +85 °C
Porta antena?	Sí, i se'n pot col·locar una altra	Sí	No
Preu	39,95 USD (~33 €)	23,99 GBP (~30 €)	74,95 USD (~63 €)

Taula 7: Comparació dels tres localitzadors GPS més utilitzats en el llançament de sondes meteorològiques. S'ha tingut en compte el canvi en euros del 06/09/2017. Per tant, aquests preus han de servir únicament com a referència. (Font: Elaboració pròpia, a partir de la fitxa tècnica de cada GPS).



Il·lustració 18: D'esquerra a dreta: Adafruit Ultimate GPS Breakout, u-blox MAX-M8C, Copernicus II.

L'opció triada finalment, ha estat la del Adafruit Ultimate GPS Breakout, ja que és un component que s'utilitza molt en el llançament de globus sonda i també perquè és el GPS que ofereix més tutorials de com programar-lo correctament amb Arduino.

4.4 Rastrejador GPS

Els **rastrejadors GPS** són dispositius que funcionen amb una targeta SIM¹⁵, de manera que en trucar al telèfon que tingui aquesta targeta, s'enviarà un SMS de resposta automàticament amb la posició del rastrejador. També es pot programar per enviar un SMS cada cert temps o fins i tot, quan el mòbil assoleixi una determinada velocitat. Com que els satèl·lits també són repetidors de senyals de telefonia, el rastrejador no hauria d'experimentar cap dificultat a l'hora d'establir comunicació amb el telèfon mòbil especialitzat en rebre els missatges SMS.

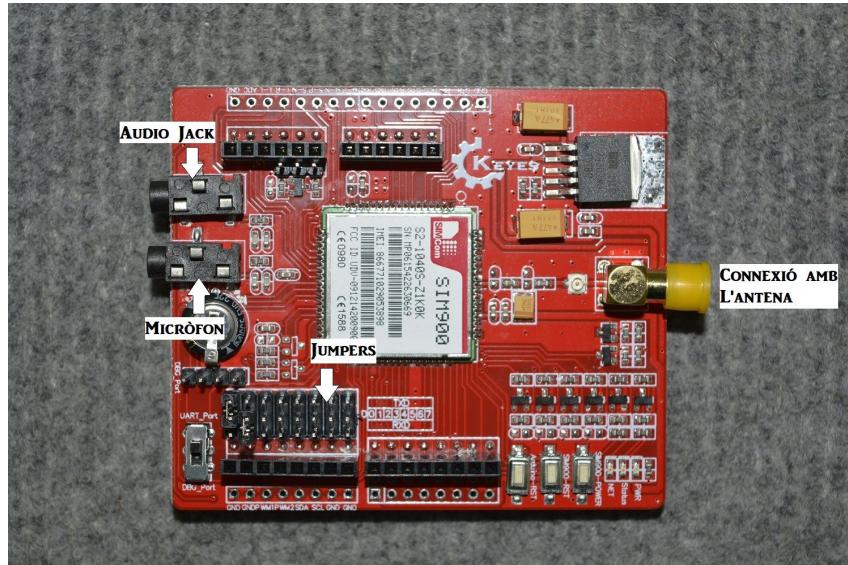
De fet, l'únic objectiu en aquesta part del projecte, era la de crear un programa capaç de rebre trucades perdudes des d'un mòbil en concret i llavors enviar un missatge SMS a aquell mateix número amb les coordenades del lloc on es troba la sonda.

La primera opció que vaig triar, va ser el mòdul **GSM¹⁶-GPRS Sim900**. Aquest és un dispositiu programable amb Arduino que duu a terme les mateixes funcions de comunicació (però no pas de localització) que un telèfon mòbil. Té la capacitat d'actuar com a intermediari en trucades des de qualsevol punt de l'estat (sempre i quan la targeta SIM ho permeti), també pot enviar missatges SMS i, fins i tot, es pot programar per trucar automàticament a certs números.

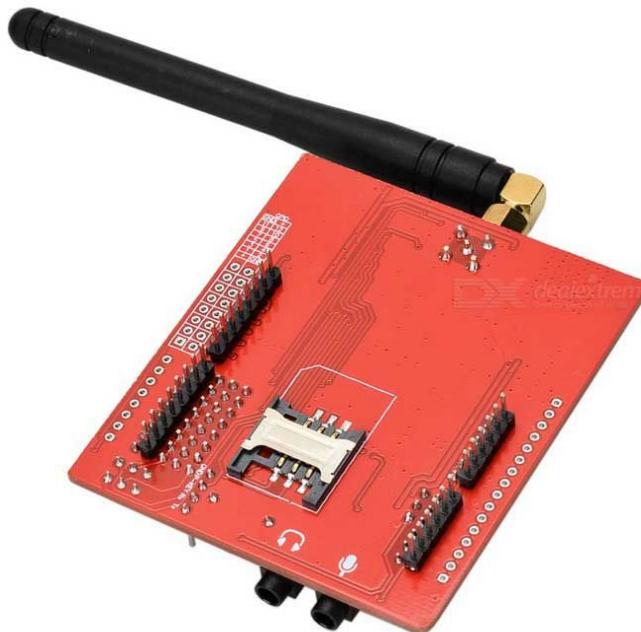
Aquest protocol de comunicació, és el més utilitzat per la gran majoria de telèfons mòbils. Consisteix en un grup xarxes de ràdio distribuïdes, que s'organitzen en diferents cel·les. Aquestes cel·les, utilitzen un seguit d'ordres anomenades, *AT commands* (o commandaments AT en català).

¹⁵ **Subscriber Identity Module** o en català, Mòdul d'Identitat de Subscriptor.

¹⁶ GSM o per la seva traducció a l'anglès, *Global System for Mobile Communication*. Com el propi nom indica, és un sistema de comunicació global utilitzat per a transmetre tant missatges de veu, com dades. La gran majoria de telèfons mòbils, usen aquest tipus de comunicació.



Il·lustració 19: mòdul GSM-GPRS Sim900 fabricat per l'empresa *Shenzhen Keyes Robot*. Al centre de la placa es pot apreciar la targeta Sim900, amb els diversos pins, l'audio Jack i el micròfon a dalt-esquerra del mòdul. (Elaboració pròpia).



Il·lustració 20: Part de sota del mòdul GSM-GPRS Sim900 des d'on es pot apreciar el solc per on s'introduceix la targeta SIM del mòbil.

Sens dubte, aquest és el dispositiu que més dificultats m'ha presentat a l'hora de programar-lo, degut als múltiples aspectes tècnics que engloba, com són per exemple:

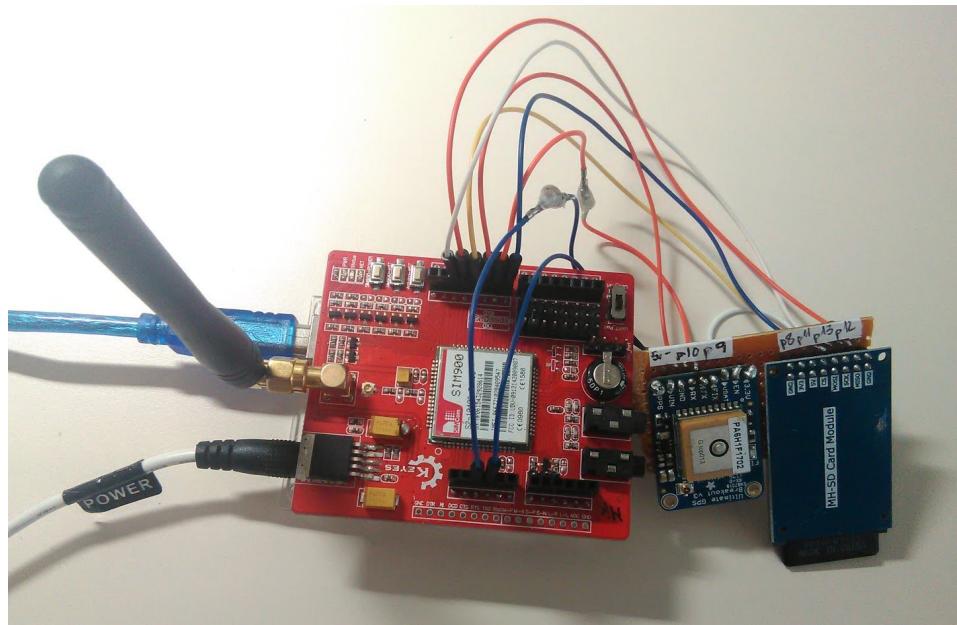
- La gran falta de documentació sobre la correcta programació del GSM, ja que al ser un producte exportat des de Taiwan, la gran majoria de documents i vídeos eren en idiomes inintel·ligibles per a mi.
- La necessitat de ser alimentat utilitzant un carregador AC que subministrés 12 volts a una corrent de 2 ampers, cosa que no sabia degut a la falta d'informació, la qual cosa va fer que accidentalment "fregís" una placa d'Arduino.
- El fet que la targeta SIM calia que tingués la contrasenya desactivada, ja que si no era així, el dispositiu no podia accedir ni a la informació, ni a la xarxa del telèfon mòbil.
- La mala col·locació dels *jumpers*¹⁷ que, en un principi van crear certa confusió, ja que estaven col·locats en les posicions 0 i 1, però per aquest projecte els necessitava en les posicions 6 i 7.
- La necessitat de disposar d'una tarifa mòbil amb missatges SMS, ja que no totes les tarifes en disposen, on els SMS fossin el més econòmics possible, ja que els missatges d'SMS acostumen a costar uns 0,20 € cadascun.
- La ja esmentada necessitat de disposar de tots els contactes capaços de contactar amb el meu GSM guardats dins la targeta SIM i localitzats entre la posició 1 a 3 d'aquesta, ja que el GSM disposa d'una certa memòria per poder guardar els números de telèfon.

¹⁷ Elements que permeten tancar un circuit elèctric unint dos *pins* dels seus extrems.

- I l'última de totes i la més important, tracta d'un problema de bateria i de com es podia aconseguir fer funcionar de manera autònoma durant quasi quatre hores un dispositiu que requeria una tensió de 12 V a un corrent de 2 amp, juntament amb el GPS i el mòdul SD i que aquest fos el més lleuger possible.

Tot i les dificultats, un cop acabat de programar, calia complementar el sistema de comunicació GSM afegint-li el Ultimate Adafruit GPS Breakout el qual és capaç de localitzar-se en tot moment.

Després d'aconseguir-lo programar perquè enviés un missatge SMS cada cop que el dispositiu rebia una trucada perduda, vaig intentar canviar el contingut del missatge SMS per les variables de latitud i longitud necessàries per a localitzar el dispositiu proporcionades pel GPS.



Il·lustració 21: Connexions del GSM-GPRS Sim900, el GPS i el mòdul SD amb l'Arduino, que formarien el sistema de localització de la sonda. (Elaboració pròpria).

El problema queia en el fet que, cada un dels dispositius funcionava amb una tensió i corrent diferents, fet que aturava el GPS un cop connectat i endollat a la corrent degut a raons que es desconeixen, tot i haver realitzat múltiples canvis i proves tant en la part del programa (software), com en la del cablejat (hardware).

El sistema de comunicació GSM-GPRS, al ser un mòdul, dificulta la connexió amb el GPS, ja que és necessari utilitzar els pins mapejats del mòdul per connectar el GPS amb l'Arduino. Al ser un problema que no podia solucionar de cap manera, ja que es tractava d'un problema físic i no pas de programació o de connexions, em vaig veure obligat a pensar en altres maneres de localitzar la sonda.

Això em va portar a pensar en altres tipus de rastrejadors, en concret, amb el rastrejador **TK-102**, un model de l'any 2014 amb exactament les mateixes funcions que el GSM-GPRS Sim900, però que a més, incorporava un GPS per complementar els missatges amb les coodenades del dispositiu.

Rastrejador	TK-102
Dimensions	64mm/46mm/17mm
Pes	50 grams
Banda de freqüència	850/900/1800/1900 Mhz
Precisió del GPS	~ 10 metres
Temperatura de funcionament	- 20 °C a 45 °C
Bateria	fins a 6 hores d'autonomia
Preu	~ 20 €

Taula 8: Algunes de les característiques més importants del rastrejador TK-102 de l'empresa GPS Tracker, empresa que opera principalment als Estats Units amb seu a l'estat d'Alabama. (Elaboració pròpria, a partir del manual d'instruccions del dispositiu).



Il·lustració 22: Comparació del rastrejador TK-102 (a l'esquerra de la imatge) en relació a una placa d'Arduino UNO. (Elaboració pròpria).

Una altra possible opció, és la d'utilitzar un Smartphone antic o de segona mà amb GPS incorporat, però com que només posseeixo una única tarjeta SIM per a enviar missatges SMS, ja que no disposo d'una tarifa de mòbil extra, cal considerar quina de les dues opcions és millor per a les meves necessitats.



Il·lustració 23: Telèfon mòbil Samsung Galaxy Trend utilitzat posteriorment en la realització de fotografies i no pas com a sistema de posicionament alternatiu. (Font: <http://www.jumpymovil.com>).

5. FONT D'ALIMENTACIÓ

L'ordinador de vol, juntament amb tota la resta de components necessiten una font d'alimentació. Per això, cal un aparell que sigui capaç de subministrar electricitat ininterrompidament als diferents sensors i components de la sonda durant un llarg període de temps (aproximadament unes tres hores).

Per començar, s'ha de tenir en compte que la placa d'Arduino funciona amb 5V. Això no vol dir que la font d'alimentació hagi de subministrar 5V, sinó que ha d'estar entre 7 i 12V, ja que sempre es perd una mica de tensió. Tot i que la placa incorpora un regulador de voltatge, la tensió sobrant escalfa la placa, per tant, tensions superiors als 12V serien perjudicials.

Existeixen una gran varietat d'opcions a l'hora d'alimentar un dispositiu, però no totes són adequades per les condicions de vol. Per això, en distingim tres de diferents:

- **Bateries Li-ion** o ió de liti.
- **Piles alcalines** de 9V.
- **Bateries Li-Po** o bateries d'ió liti en polímer.

5.1 Bateries Li-ion

La **bateria d'ió liti o Li-ion** és un tipus de bateria recarregable en la qual els ions de liti es mouen des de l'elèctrode negatiu fins a l'elèctrode positiu durant la descàrrega i al revés durant la càrrega. Poseeixen una bona relació energia-pes, tot i que aquesta no és tan com la de les bateries d'ió liti en polímer.



Il·lustració 24: Dos exemples diferents de piles d'ió liti recarregables. (Font: <https://shop.pimoroni.com>).

5.2 Piles alcalines de 9V

Les **piles alcalines de 9V** són la pitjor opció. Són piles amb una capacitat energètica molt baixa, com a màxim de 550 mAh, capacitat insuficient per a la durada del vol. A més, són un tipus de piles que no suporten gaire bé el fred, cosa que fa que es descarreguin amb més facilitat. Finalment, cal afegir que no són piles especialment barates, degut a que el seu preu pot escalar fins als 7 €/unitat.



Il·lustració 25: Pila Alcalina de 9V Duracell, empresa especialitzada en la fabricació d'aquest tipus de piles, entre d'altres des dels anys 40. (Font: listado.mercadolibre.com)

5.3 Bateries Li-Po

Les **bateries d'ió liti en polímer**, o en anglès *lithium polymer battery (Li-po)*, també són una opció a tenir en compte degut a la seva lleugeresa (inferior a les bateries d'ió liti) i a la seva resistència a les baixes temperatures, acostumen a ser utilitzades en avions de radiocontrol. També és un tipus de bateries que triguen molt de temps a descarregar-se, i són el mateix tipus de bateries amb les que acostumen a estar fets els **carregadors externs per a mòbil**. Per totes aquestes evidències, és el mètode d'alimentació que finalment s'ha decidit utilitzar durant el vol.

Aquest tipus de bateries ofereixen una tensió de 3,7 V, però es poden posar en sèrie incrementant-ne així el voltatge. Relatiu al corrent elèctric, aquestes bateries poden oferir fins a 2000mAh, corrent suficient per a les tres hores de vol. Altres exemples de bateries d'ió liti en polímer són les bateries dels drons, les quals han de ser molt lleugeres i contenir la màxima quantitat d'energia. Tot i això, aquest tipus de bateries cal tractar-les correctament, perquè si se'n fa un mal ús, poden arribar a explotar.



Il·lustració 26: Bateria de dron (a l'esquerra), juntament amb un carregador de bateria extern (a la dreta), tot i que al cap i a la fi, totes dues bateries, estan fetes amb els mateixos materials. (Font: <http://www.dronelab.es/>)



Il·lustració 27: Bateria Li-Po malmesa després d'explotar degut a una sobrecarrega. (Font: <http://fpv.tv>)

6. CÀMERA

Realitzar fotografies o gravacions des de l'aire, com per exemple, un *time lapse*, és una de les parts més emocionants del vol d'una sonda estratosfèrica. Els resultats que se n'obtenen poden ser espectaculars i, fins i tot si l'altura és prou gran (fins als 30 km), es pot observar la curvatura de la Terra des d'un punt de vista privilegiat; tot això, sempre i quan es duguin a terme de la millor manera i utilitzant un bon material.

Existeixen molts mètodes per realitzar fotografies i gravacions des de la sonda. Aquests en són alguns exemples:

- **Càmeres Arduino.**
- **Càmeres compactes Canon.**
- **Càmeres d'accio** (com ara les GoPro).
- **Telèfons mòbils.**

Les **càmeres reflex** no les hem contemplat com a opció pel nostre treball degut al seu elevat preu, però principalment a causa del seu pes (cal tenir en compte que el pes de la sonda ha de ser el menor possible).



Il·lustració 28: Fotografia realitzada per una sonda estratosfèrica utilitzant una càmera GoPro a aproximadament 30 km d'altura per sobre del nivell del mar, des d'on es pot observar l'horitzó i la curvatura de la Terra. (Font: <http://www.google.cat>).

6.1 Càmeres Arduino

La plataforma Arduino es pot utilitzar per a infinitat de projectes. Fins i tot, també es pot utilitzar per a realitzar fotografies gràcies als múltiples mòduls compatibles amb la placa que hi ha actualment al mercat.

Naturalment, aquestes càmeres no tenen una gran qualitat d'imatge, també ofereixen poques opcions a l'hora de programar-les i és molt difícil fer-les funcionar correctament sense cap problema. No obstant, són el tipus de càmeres més barates de totes.



Il·lustració 29: Càmera Arduino OV7670. (Font: <http://www.elecfreaks.com>).

6.2 Càmeres compactes

Considerar les càmeres compactes una opció, no és una decisió tan descabellada com pot semblar, ja que són un tipus de càmeres molt fàcils d'aconseguir (la gran majoria de gent en té a casa) i sinó, tampoc és tan difícil comprar-ne una degut al seu preu, cada cop més econòmic, que acostuma a oscil·lar entre els 100 € i els 200 €.

Els inconvenients que presenta aquest mètode, però, són:

- L'absència d'un intervalòmetre, que, com el propi nom indica, consisteix en un dispositiu programable aliè a la pròpia càmera, capaç de realitzar fotografies cada cert temps. De manera que caldria muntar algun dispositiu capaç de prémer el botó de disparar cada X segons.
- No totes les càmeres compactes són capaces de fer una gravació contínua de quasi quatre hores, ja que moltes d'elles ja venen programades de fàbrica perquè gravin durant aproximadament uns trenta minuts.



Il·lustració 30: Càmera compacta SONY de 14,1 MegaPixels.
(Font: <http://www.sony.es>).

6.3 Càmeres d'accio

Les **càmeres d'accio**, a part d'utilitzar-se per a gravar i realitzar vídeos d'esports aquàtics, extrems o d'aventures, també es poden utilitzar amb un munt d'altres finalitats.

Gràcies a la seva resistència contra la humitat, ja que aquest tipus de càmeres acostumen a estar recobertes amb una carcassa generalment de plàstic que les aïlla de l'exterior, també per la seva gran resistència, tant a les altes temperatures com les baixes i els canvis de pressions, aquesta és una opció important que cal tenir en compte.

Però, com qualsevol dels altres mètodes ja esmentats, aquest també comporta alguns punts crítics a tenir en compte, com són:

- La poca autonomia de la bateria, la qual acostuma a trigar un 70 minuts en exhaurir-se¹⁸ (en mode de gravació i a una resolució de 1920*1080).
- Una altra raó important, és el tema de la capacitat que tenen algunes càmeres d'accio a l'hora de realitzar gravacions en alta qualitat: se'ls pot exhaurir la memòria abans d'assolir l'altura esperada, cosa que faria que la tarjeta microSD es sobreescrivís, perdent així part de la gravació.
- L'últim aspecte important a tenir en compte, és el risc que suposaria el fet de perdre la càmera i no recuperar-la, perdent així tant la càmera (que no és especialment barata) com la gravació de l'ascens de la sonda.

Les càmeres d'accio més populars actualment són les **GoPro**, que són el tipus de càmeres més utilitzades en aquest tipus de projectes.

¹⁸ Dada general i orientativa obtinguda a partir de diferents càmeres d'accio.



Il·lustració 31: Fotografia presa des d'una sonda estratosfèrica equipada amb una GoPro, des de 30 km d'altura. (Font: <https://i.ytimg.com>).

6.4 Telèfon mòbil

L'opció triada per a realitzar fotografies de l'ascens de la sonda, finalment ha estat la mateixa **càmera del telèfon mòbil**.

A part de ser molt més lleuger que una càmera compacta, aquest dispositiu també és capaç de realitzar fotografies (*time lapse*), o gravacions, i transmetre-les per Internet a temps real. Tot això, es pot dur a terme gràcies a una aplicació anomenada **MobileWebCam** (disponible a Play Store de manera gratuïta¹⁹). Aquesta aplicació, entre moltes de les opcions disponibles, s'escull pel fet de poder enviar fotografies tant a Dropbox, com al correu electrònic (sempre que hi hagi cobertura) o, fins i tot, a la pròpia targeta microSD externa.

¹⁹ A part d'aquesta aplicació, també n'existeixen d'altres similar per iPhone, com Free Wi-fi Camera (gratuïta) o iCam (4,99€).

6.4.1 Programació de la càmera amb MobileWebCam

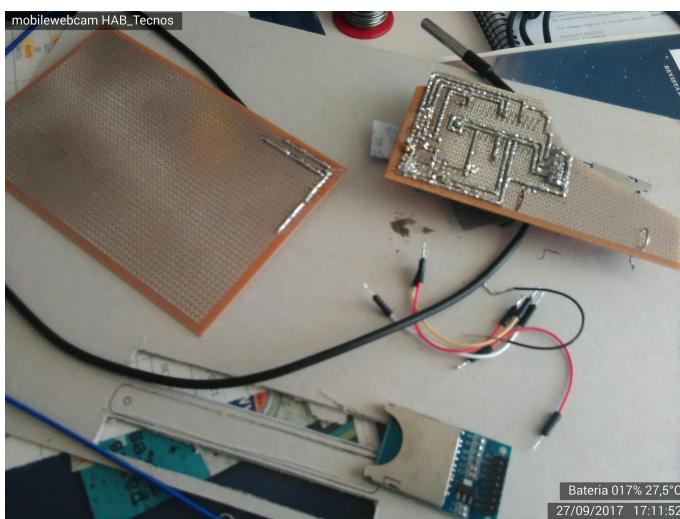
L'aplicació té una gran quantitat d'opcions (s'hi pot accedir amb el botó **Configure** de la pantalla inicial). Les més importants i les que interessen pel vol són les següents:

Per desar les fotos a la targeta SD (Upload → SDCard):

- Seleccionar **Store pictures** per desar les fotografies.
- Si es volen enviar totes les fotografies cada cop per separat o un paquet ple d'imatges cada X fotografies que es facin, cal anar a **Skip Pictures** i introduïr cada quantes fotos es vol que es faci l'enviament. Per defecte, és **1** (s'envien totes).
- A **Directory** es pot seleccionar la carpeta on es desaran les fotografies.

Altres opcions disponibles:

- Per seleccionar l'interval de temps entre dues fotografies, cal anar a **Activity** → **Refresh Time**.
- Per definir les mides de les fotografies, cal anar a **Picture** → **Picture Size** → **Custom**, i després a **Pictures** → **Custom Picture Size**. Un cop allà, es pot definir l'amplada a **Width** i l'alçada a **Height**. Per exemple, es poden prendre fotografies de 1280x720.



Il·lustració 32: Fotografia realitzada mitjançant l'aplicació MobileWebCam. Tan a dalt a l'esquerra com a baix a la dreta de la imatge, es poden observar diferents estats com el nivell de bateria del mòbil, la temperatura, el dia, etc. (Elaboració pròpia).

7. CAIXA I AÏLLANT TÈRMIC

Una altra part completament necessària a l'hora de realitzar una sonda, consisteix en escollir una caixa que contingui tots els components durant la durada de vol, capaç de suportar les dures condicions de l'estratosfera i on tots els components tinguin cabuda de manera còmoda, segura i lògica.

Per això, la millor opció i la més raonable que s'ha escollit és una caixa de *porexpan*. Aquest tipus de material és molt lleuger, capaç de suportar tan les altes com les baixes temperatures sense problema i, a més de ser un material molt resistent, també resulta realment senzill de manipular.

Degut a les baixes temperatures que s'hauran de suportar, l'ús d'una caixa de *porexpan* per aïllar els components electrònics i les bateries de l'exterior, resulta insuficient. Per tant, és necessari l'ús d'una, o més, capes d'aïllant tèrmic per així assegurar que, a l'interior de la sonda, la temperatura és la correcta i la més suau possible (aproximadament de -15 °C).

De manera que per aconseguir-ho, recobrirem la caixa amb una pel·lícula de manta tèrmica (que es pot trobar a botigues, com ara Decathlon). Es tracta d'una bona opció que no hauria de tenir un cost gens elevat.



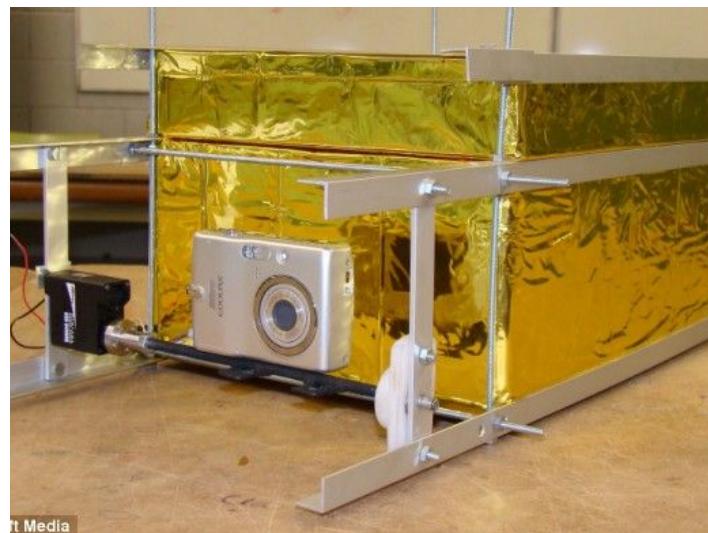
Il·lustració 33: Caixa de porexpan que es va aconseguir de l'hospital Parc Taulí de Sabadell. (Elaboració pròpia).



Il·lustració 34: Caixa de porexpan amb el forat per la càmera tapat amb una làmina gruixuda de plàstic que l'aïlla de l'exterior. (Elaboració pròpia).



Il·lustració 35: Caixa de porexpan un cop recoberta amb l'aïllant tèrmic utilitzant cola blanca. (Elaboració pròpia).



Il·lustració 36: Caixa i aïllant tèrmic d'una altra sonda estratosfèrica. (Font: Barcroft Media).

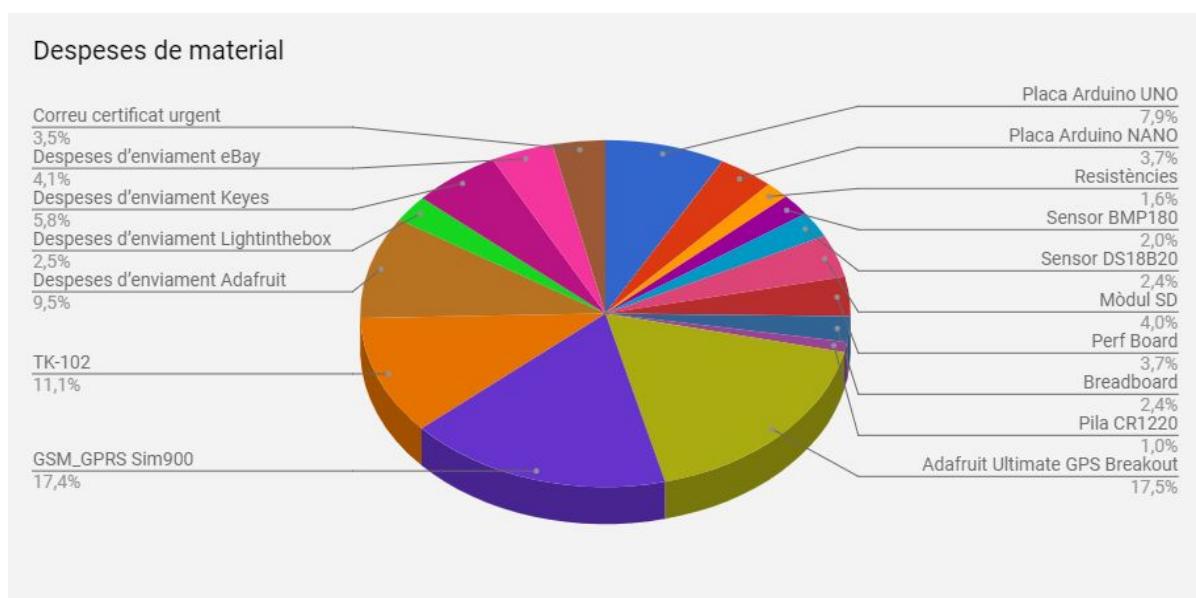
8. PRESSUPOST

Part de l'objectiu d'aquest treball era la construcció de la sonda de la manera més econòmica possible (*low cost*), on les despeses totals del pressupost fossin de, com a màxim, uns 300 €. A continuació s'exposa la relació de materials o components utilitzats en aquest treball amb el corresponent preu i lloc d'aquisició.

Component	Botiga	Preu
Placa Arduino UNO	TR CE	15 €
Placa Arduino NANO	TR CE	7 €
Resistències	TR CE	3 €
Sensor DHT11*	-	0 €
Sensor BMP180	eBay	3,80 €
Sensor DS18B20	eBay	4,50 €
Mòdul SD	eBay	2 × 3,75 €
Targeta SD*	-	2 × 0 €
Perf Board	TR CE	6,95 €
Breadboard	TR CE	4,50 €
Pila CR1220	Novasonda	1,80 €
Bateria externa de mòbil*	-	0 €
Adafruit Ultimate GPS Breakout	Adafruit	33,14 €
GSM_GPRS Sim900	Keyes	32,95 €
TK-102	Lightinthebox	21,00 €
Telèfon mòbil*	-	0 €
Cables*	-	0 €
Caixa de porexpan*	-	0 €
Manta tèrmica*	-	0 €

Fil*	-	0 €
Despeses d'enviament Adafruit		18,00 €
Despeses d'enviament Lightinthebox		4,70 €
Despeses d'enviament Keyes		11,00 €
Despeses d'enviament eBay		7,80 €
Correu certificat urgent (sol·licitud de llançament)	Correos	6,59 €
TOTAL		189,25 €

Taula 9: Pressupost total dels components utilitzats en aquest projecte. Tots els noms dels components marcats amb un asterisc (*), són components que s'han reutilitzat d'un projecte anterior o bé ja els tenia, per tant, el seu cost equival a 0 €. (Elaboració pròpria).

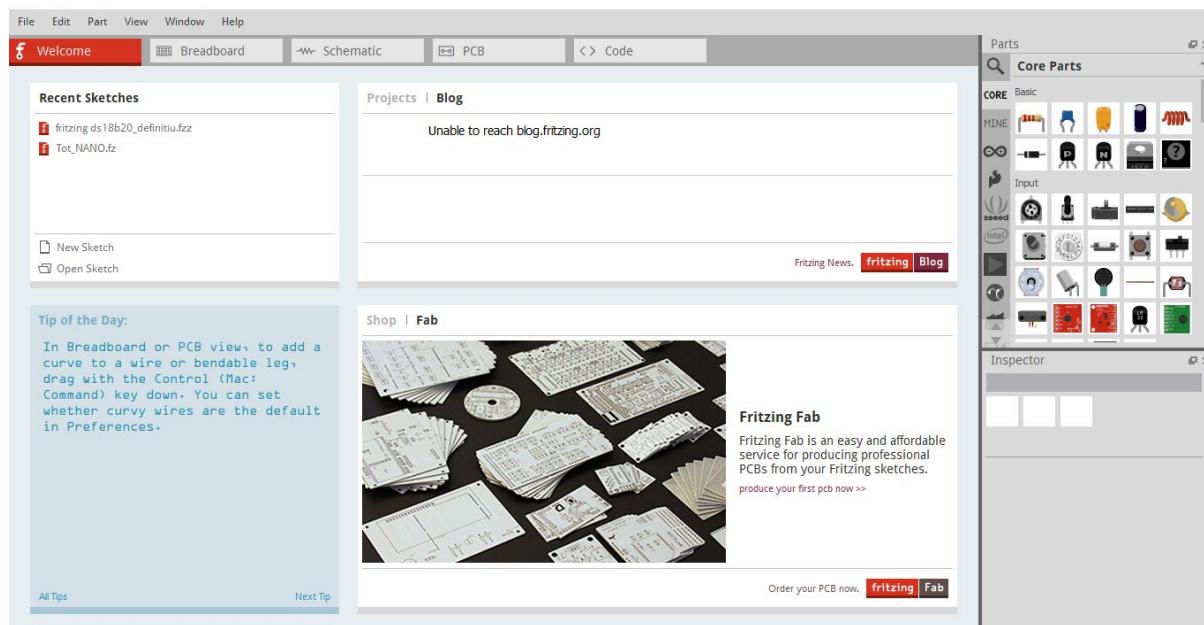


Il·lustració 37: Aquest gràfic circular mostra la quantitat de diners en percentatge que s'ha invertit en cada component del projecte. (Elaboració pròpria).

9. HARDWARE

El *hardware*, o traduït al català maquinari d'un projecte, és el conjunt de totes les parts físiques que el formen. En el cas de la sonda, el *hardware* correpon a tots els sensors, plaques Arduino, el GPS i el TK-102, entre d'altres. Cal no confondre aquest concepte amb el de *software*, o programari en català, que, com el propi nom indica, correspon a tota la programació involucrada en fer funcionar i donar ordres al *hardware* per tal que funcioni com es desitja.

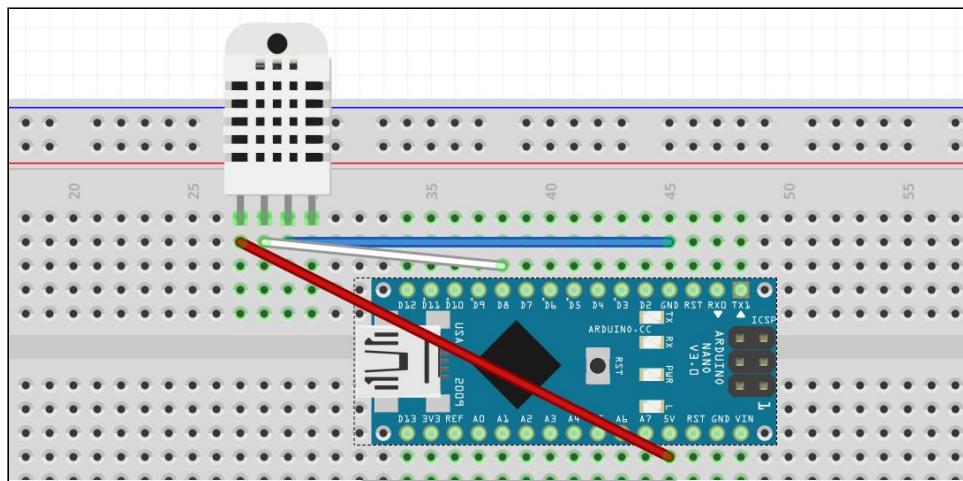
Així doncs, en aquest apartat es mostraran imatges explicatives, i bastant esquemàtiques, utilitzant l'aplicació Fritzing, on s'il·lustraran les correctes connexions dels diferents components amb les plaques d'Arduino, per així agilitzar les connexions i fer més fàcil la comprensió dels esquemes elèctrics del *hardware*.



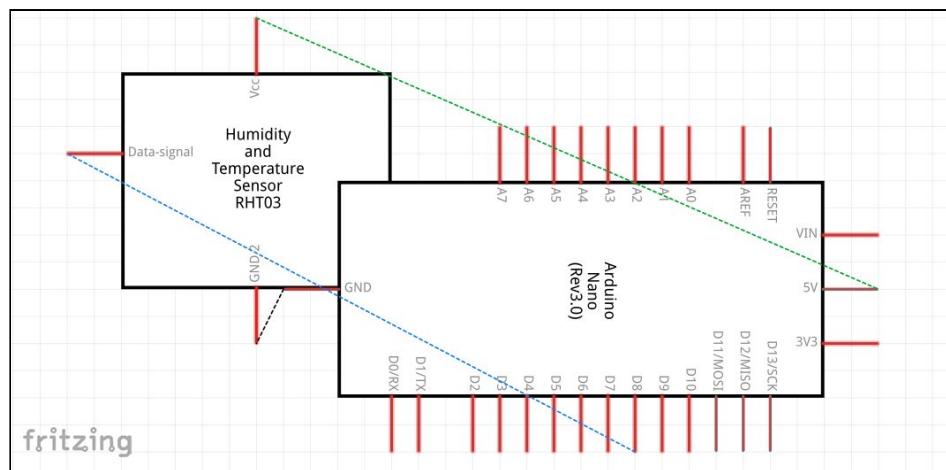
Il·lustració 38: Pàgina principal de l'aplicació Fritzing. (Elaboració pròpia).

9.1. *Pin-out* (Cablejat)

- **DHT11:**

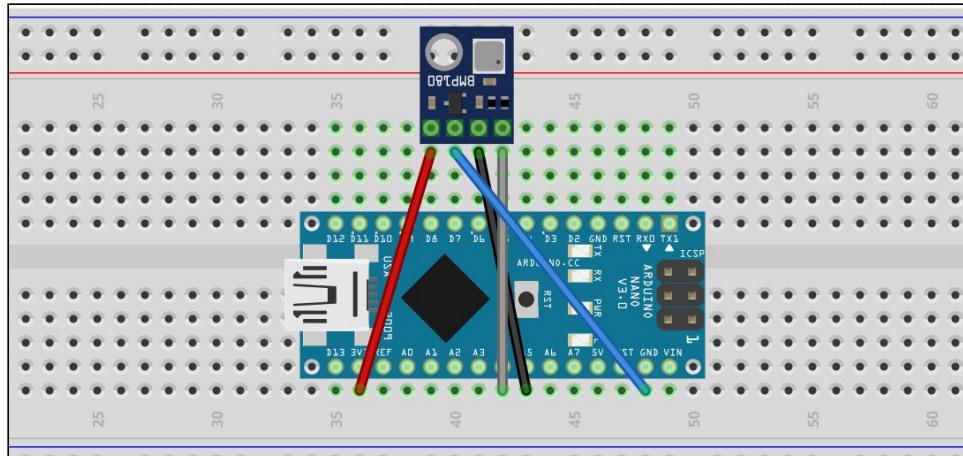


Il·lustració 39: *Pin-out* del detector de temperatura i humitat DHT22, ja que la pròpia aplicació no contempla el DHT11. Tot i això, les connexions de tots dos sensors, són exactament les mateixes. (Elaboració pròpria, utilitzant Fritzing).

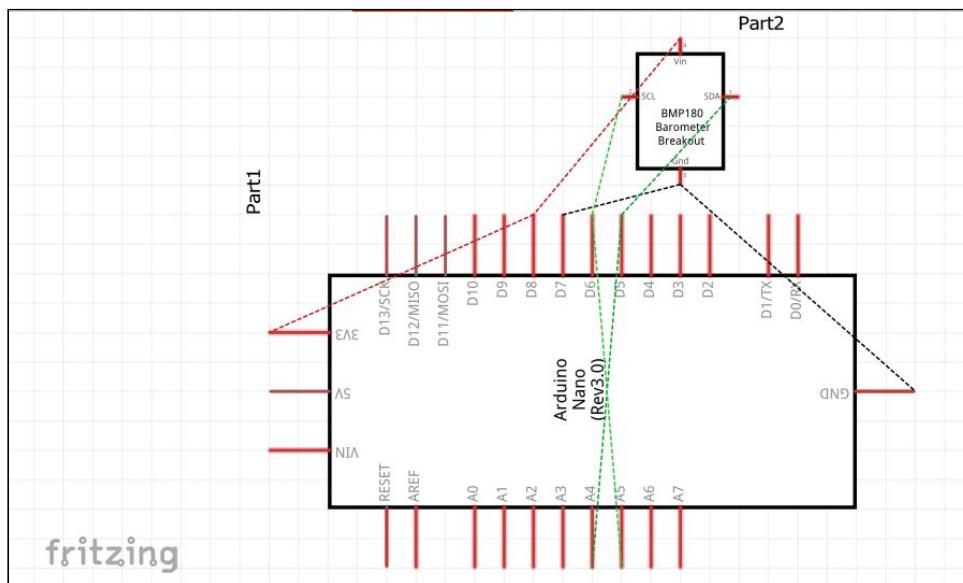


II-Il·lustració 40: Representació esquemàtica de les connexions del sensor DHT11. (Elaboració pròpria).

- **BMP180:**

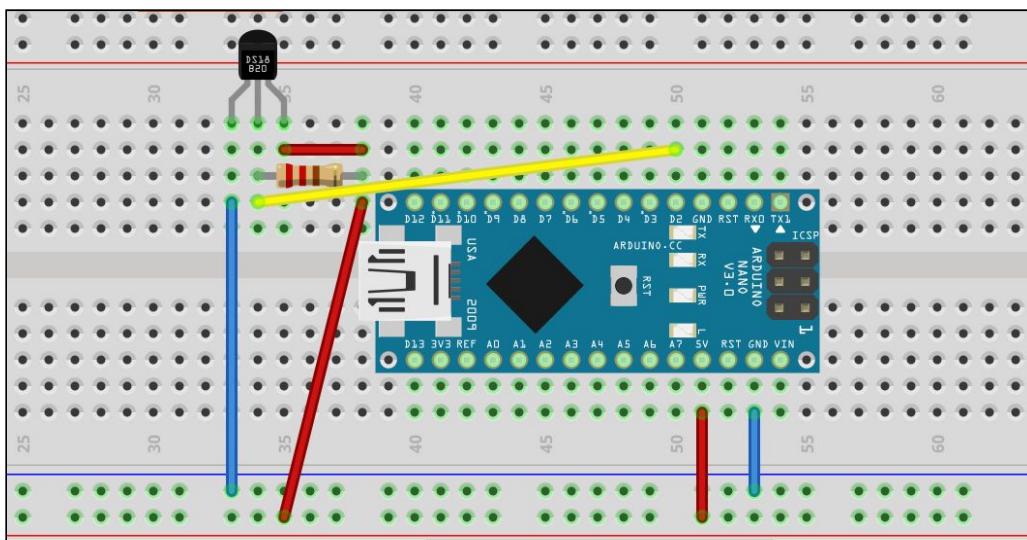


Il·lustració 41: Pin-out del sensor de pressió, altitud i temperatura BMP180. (Elaboració pròpria).

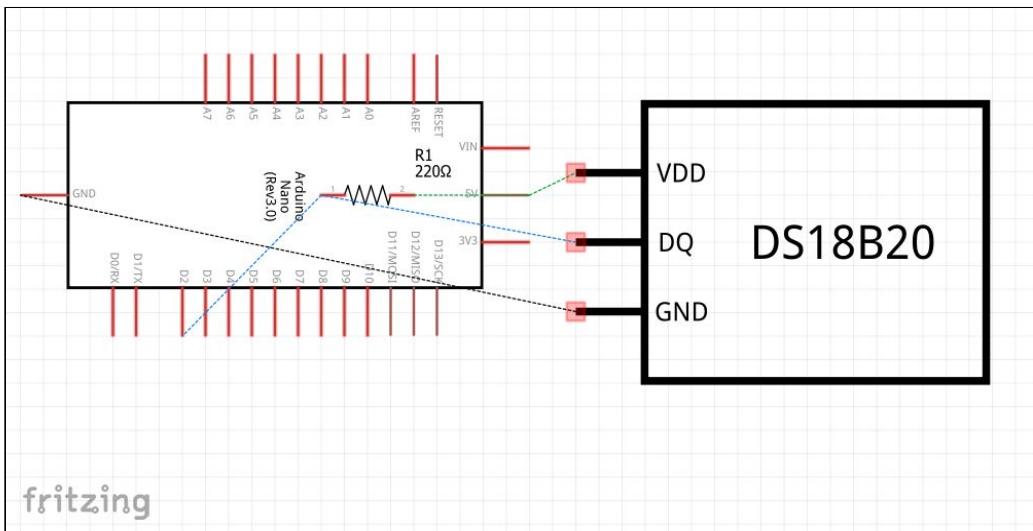


Il·lustració 42: Representació esquemàtica de les connexions del sensor BMP180. (Elaboració pròpria).

- **DS18B20 (waterpoof):**

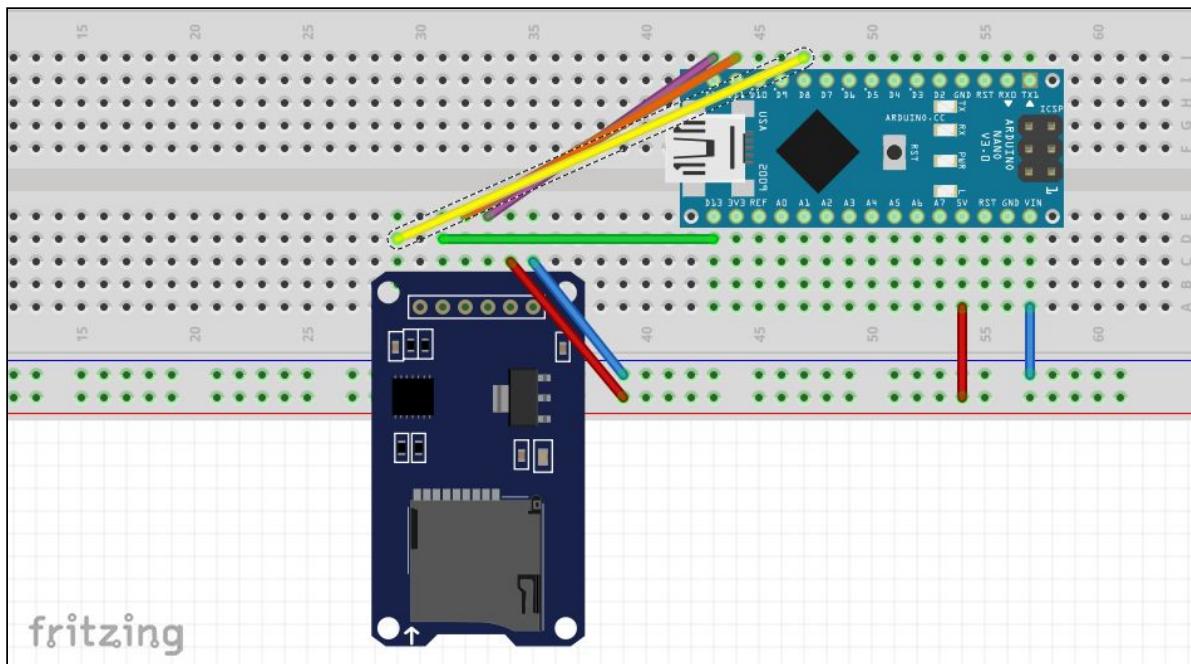


Il·lustració 43: Pin-out del sensor de pressió, altitud i temperatura DS18B20 (waterpoof). Tot i que a la representació la resistència sigui de 220Ω , cal que siguin de 4700Ω . (Elaboració pròpria).



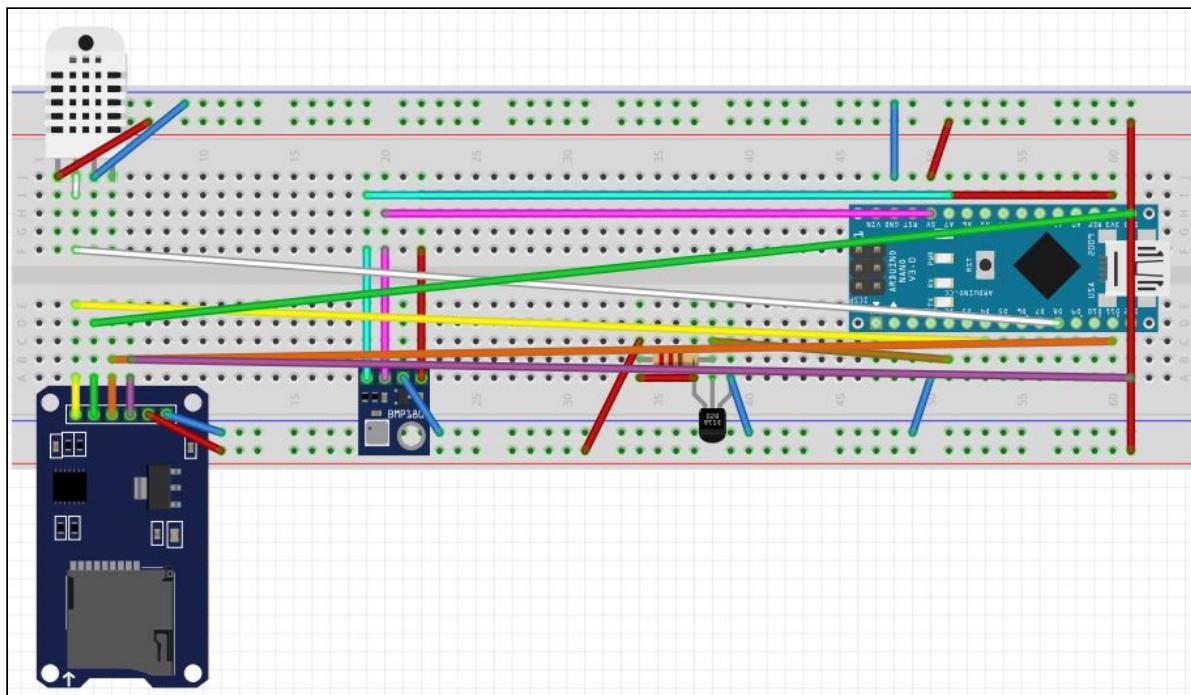
Il·lustració 44: Representació esquemàtica de les connexions del sensor DS18B20. (Elaboració pròpria).

- **Mòdul SD:**

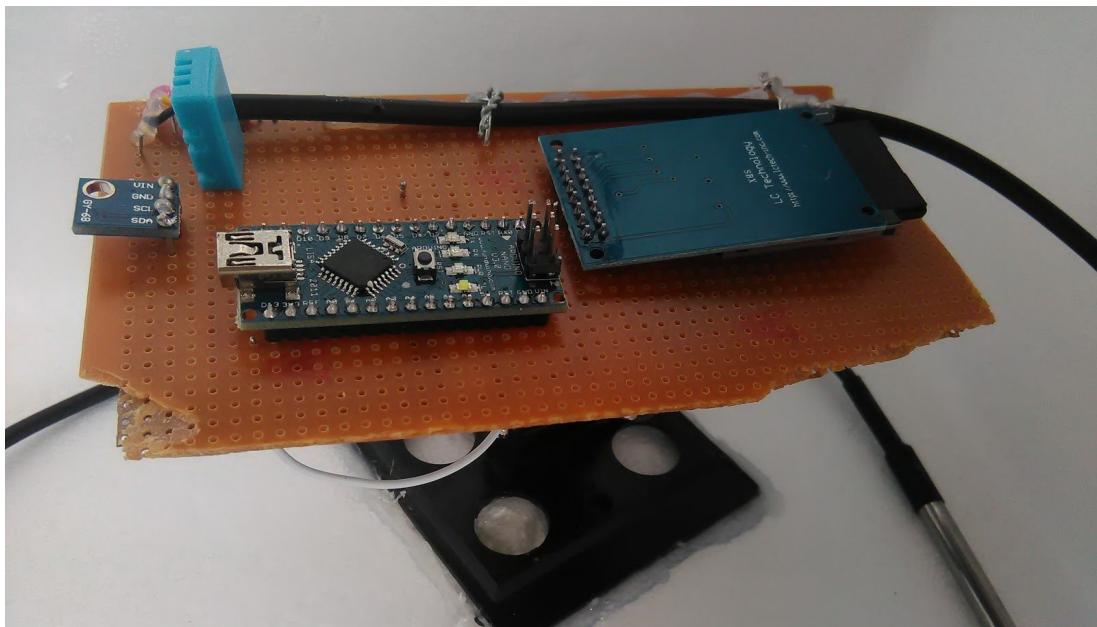


Il·lustració 45: *Pin-out* del Mòdul microSD. Tot i que a la representació a partir de Fritzing l'esquema de connexions correspongui al d'un mòdul microSD, això no influeix en les connexions, ja que aquestes són les mateixes. (Elaboració pròpia).

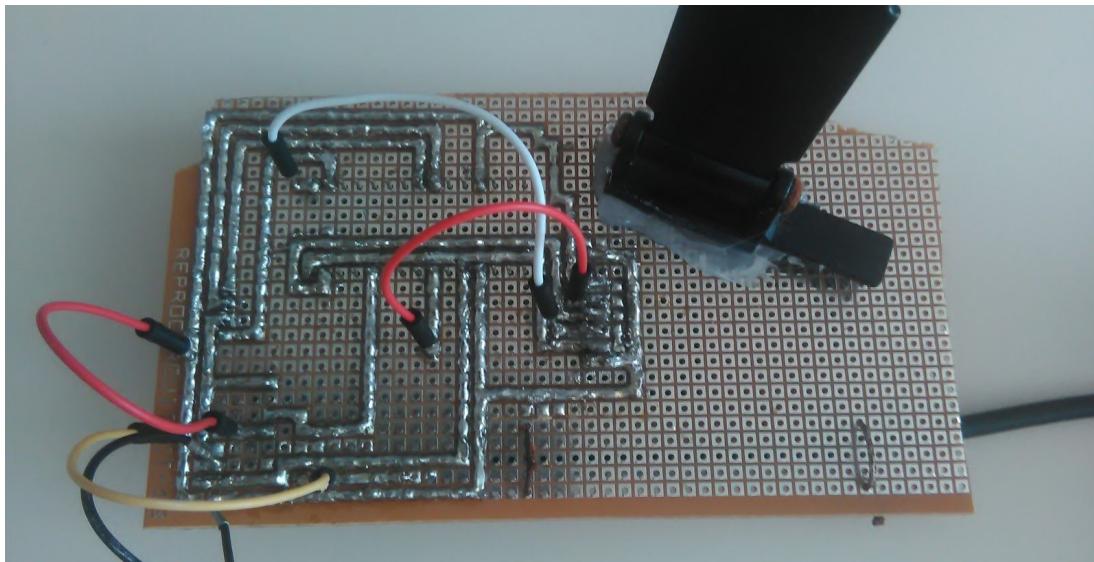
- **Totalitat de l'estació meteorològica:**



Il·lustració 46: Representació de les connexions de tots els components que formaran l'estació meteorològica de la sonda. També s'hi han afegit els *pin-out* del mòdul microSD, ja que aquest serà el dispositiu que emmagatzemarà totes les variables registrades pels sensors. (Elaboració pròpria).



Il·lustració 47: Resultat final de la construcció de l'estació meteorològica. (Elaboració pròpria).



Il·lustració 48: Part inferior de l'estació meteorològica, on es poden observar les soldadures dels diferents components amb la placa d'Arduino. (Elaboració pròpria).

10. SOFTWARE

Aquest apartat, és la part del treball que tracta la programació, la part “tova” (o en anglès *soft*) de la sonda, és a dir tot allò que no és físic sinó digital (programari). Sens dubte, aquesta és la part que requereix més dedicació i esforç, per la seva dificultat.

Degut a la gran extensió del codi dissenyat i posteriorment programat, aquest s'adjunta a l'**Annex II. Software de programació** d'aquest mateix document.

11. PREPARATIUS DEL LLANÇAMENT

Aquesta es podria considerar com l'última de les fases necessàries que cal superar per a realitzar un llançament de globus sonda d'una manera correcta i legal.

La realització de múltiples proves per comprovar el comportament dels diferents sensors en ambients poc habituals, la prediccio de vol de la trajectòria el dia del llançament, i el correcte compliment de tota la part burocràtica (documents i permisos) del treball, són a grans trets, les parts més importants a tenir en compte.

11.1 Proves del material

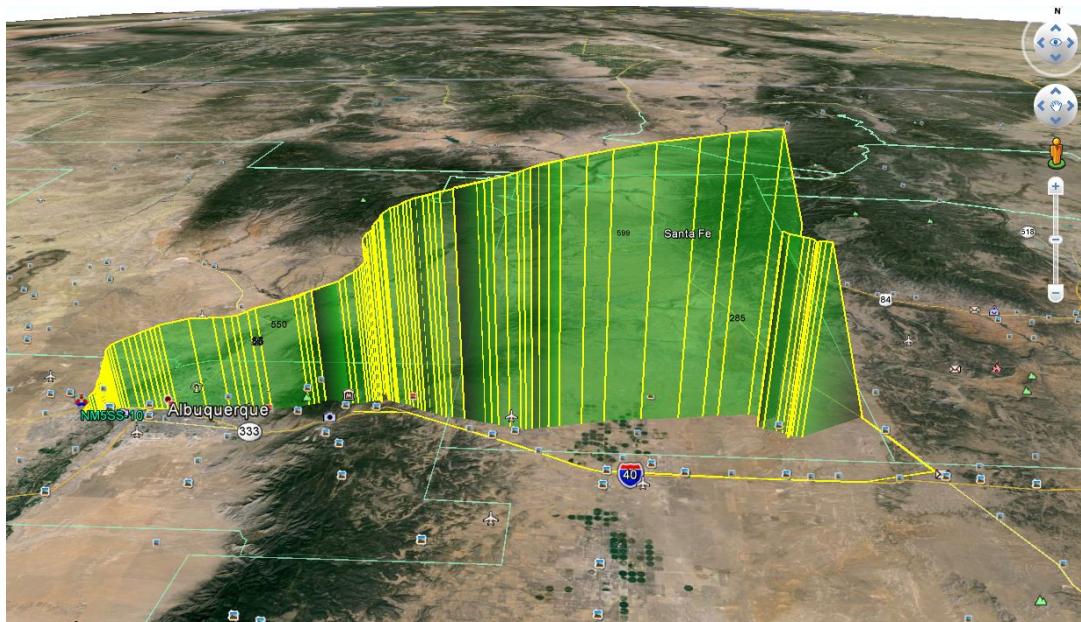
Un cop muntada la sonda, cal comprovar que aquesta és capaç de suportar les condicions amb les quals es pot trobar durant el trajecte de vol. Aquestes proves, caldria que s'ajustessin el màxim possible a les condicions reals. Per tant, en aquest apartat es comprovarà, principalment, que:

- El GPS doni la posició correcta i emmagatzemi les coordenades al mòdul SD, sense que el document es faci malbé, per així poder realitzar gràfiques posteriorment.
- Els sensors, tot i les condicions extremes, siguin capaços d'aportar mesures el més exactes possibles.
- El telèfon mòbil prengui fotografies automàticament, i posteriorment les pengi a Internet i les guardi dins una targeta microSD.
- Les bateries no es malmetin, degut a la temperatura ni a la humitat, i comprovar també que les targetes SD tinguin espai suficient per a emmagatzemar tota la informació sense que se sobreescrigui.

11.1.1. Proves del GPS

Aquesta prova consistirà en deixar el GPS connectat a l'Arduino UNO i a un mòdul SD mentre aquests components estaran alimentats amb un carregador de bateria de mòbil externa.

El programa, anirà recollint les diverses frases NMEA²⁰ del pròpi GPS i anirà creant així dos documents de text (.txt) diferents, on en un d'ells hi haurà les diverses frases NMEA (sense modificar-les) amb les múltiples dades que aquest dispositiu ens aporta, com seria: l'hora, la latitud, la longitud, la velocitat en nusos i la quantitat de satèl·lits que hi ha connectats al GPS, entre d'altres. I a l'altre document es guardaran únicament les variables de longitud, latitud i altura mesurades pel GPS. Aquest últim document, es pot guardar en un format especial (.kml), que després, mitjançant l'eina de *Google Earth* o *GPS Visualizer*, es podran realitzar dibuixos 3D de la trajectòria del mòbil amb un error despreciable.



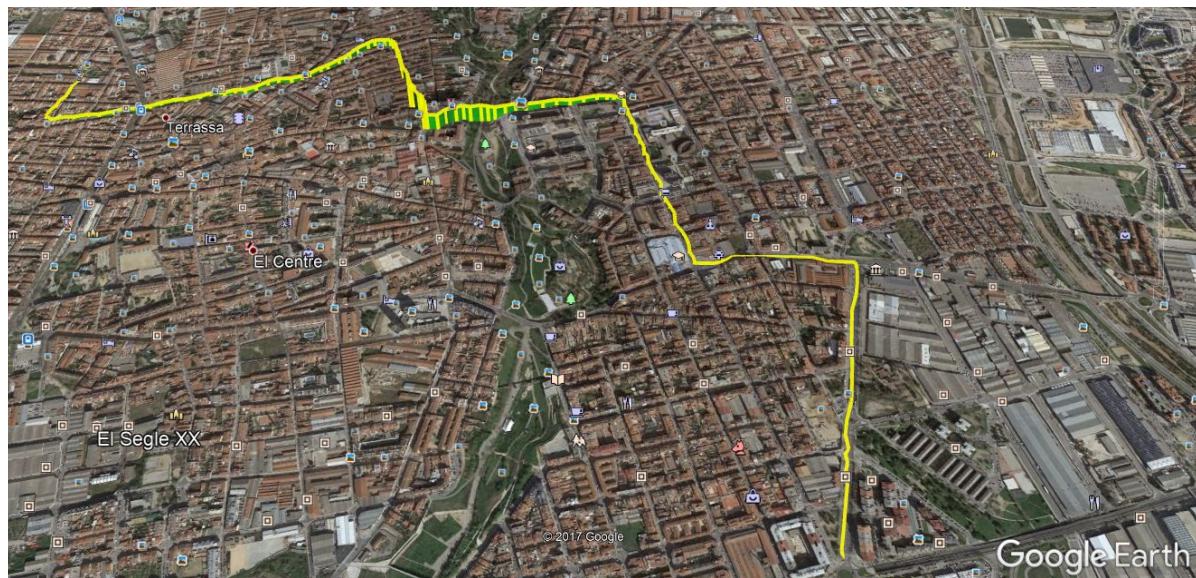
Il·lustració 49: Representació 3D de la trajectòria d'una sonda estratosfèrica dins l'estat de Nou Mèxic (EE.UU.) mitjançant l'aplicació *Google Earth*, usant un fitxer KML amb les diferents coordenades enregistrades. En aquesta mateixa il·lustració es pot observar el punt de màxima altitud i el punt d'atterratge. (Font: www.google.es)

²⁰ NMEA o National Marine Electronics Association, és una entitat originària dels Estats Units d'Amèrica amb l'objectiu de millorar la comunicació entre els diferents dispositius electrònics de la Marina.

Prova 1:

Inici de la prova	Diumenge 10/09/2017 19:21:36 UTC
Primer senyal GPS (connexió)	30 segons
Retard entre lectures	~ 6 segons
Itinerari	Domicili particular - Parc Vallès
Final de la prova	Diumenge 10/09/2017 19:40:41 UTC
Valoració de la prova	La valoració global d'aquesta prova ha estat bona, ja que tot i ser la primera prova duta a terme en condicions normals, no hi ha hagut cap problema significatiu que hagi impedit que es realitzi.

Taula 10: Representació esquemàtica de les dades més rellevants de la primera prova. (Elaboració pròpia).

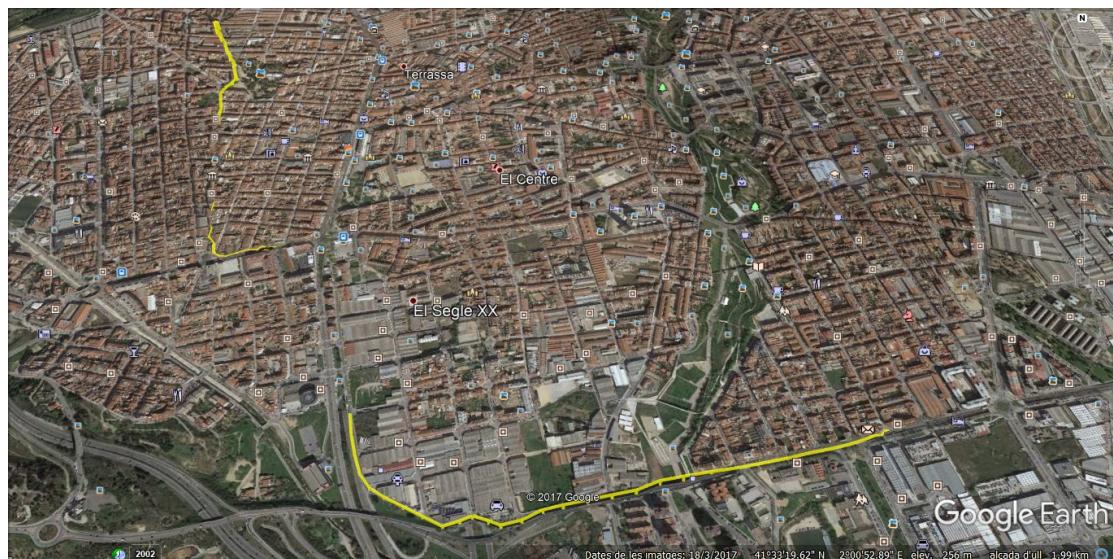
Resultat final:

Il·lustració 50: Representació 3D del trajecte realitzat amb cotxe, des de casa meva, fins al Parc Vallès de Terrassa a partir de les dades recollides pel propi GPS, i posteriorment emmagatzemades a la tarjeta SD. Al centre de la imatge, es pot observar el Parc de Vallparadís. (Elaboració pròpia, a partir de l'eina de Google Earth Pro).

Prova 2:

Inici de la prova	Dilluns 11/09/2017 11:23:19 UTC
Primer senyal GPS (connexió)	30 segons
Retard entre lectures	~ 8 segons
Itinerari	Parc Vallès - Domicili particular
Final de la prova	Dilluns 11/09/2017 11:39:53 UTC
Valoració de la prova	La valoració global d'aquesta prova no ha estat tan bona com la de la primera de totes. El retard entre lectures (8 seg.), el temps en rebre la primera senyal (30 seg.), i la circulació per carrers amb poca visibilitat de l'espai, deuen haver fet que el GPS experimentés alguns problemes a l'hora d'establir comunicació, ja que les lectures aportades no són gaire acurades i, per això, hi ha parts de la representació 3D, on no es mostra l'itinerari.

Taula 11: Representació esquemàtica de les dades més rellevants de la segona prova. (Elaboració pròpia).

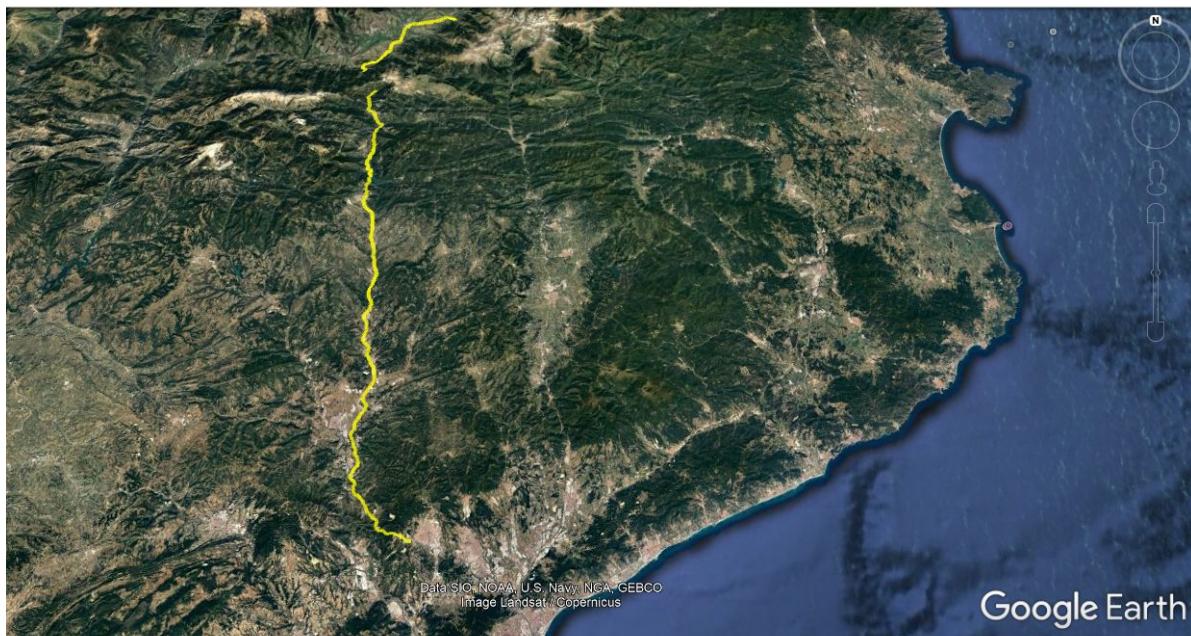
Resultat final:

Il·lustració 51: Representació 3D del trajecte realitzat amb cotxe, des del Parc Vallès, fins a casa meva. Com es pot observar, hi ha una part de la trajectòria que no està representada dins el mapa, això es deu a una pèrdua de la senyal amb el GPS durant un cert període de temps. (Elaboració pròpia, a partir de l'eina de *Google Earth Pro*).

Prova 3:

Inici de la prova	Dimarts 12/09/2017 17:26:23
Primer senyal GPS (connexió)	2 minuts
Retard entre lectures	~ 4 segons
Itinerari	Terrassa - Cerdanya Francesa
Final de la prova	Dimarts 12/09/2017 19:18:49
Valoració de la prova	Aquesta última prova, és la millor de totes les anteriors, perquè tot i trigar aproximadament 2 minuts en establir contacte amb el GPS, després les lectures es fan cada 4 segons, fet que fa que la trajectòria del mòbil sigui molt més definida.

Taula 12: Representació esquemàtica de les dades més rellevants de la segona prova. (Elaboració pròpia).

Resultat final:

Il·lustració 52: Representació 3D del trajecte realitzat amb cotxe, des de Terrassa, fins a Err (població situada a la frontera entre Catalunya i França). Com es pot observar a la part superior de la imatge, hi ha una part de la trajectòria que no està representada dins el mapa, aquell segment, correspon al Túnel del Cadí (túnel que travessa la serra de Moixeró i comunica les comarques del Berguedà, amb la conca del riu Segre).



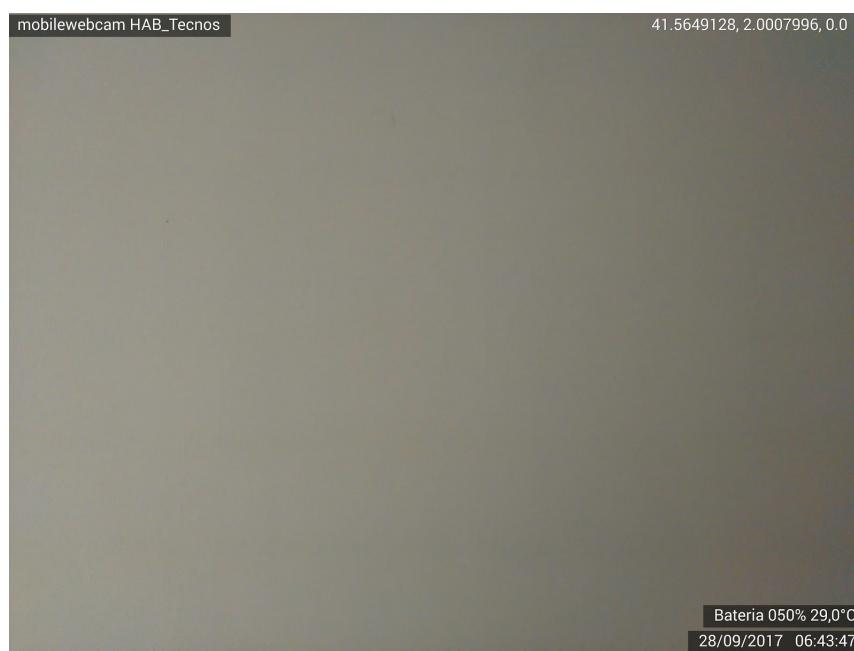
Il·lustració 53: Autopista de Montserrat (C-16), direcció a Castellbell i el Vilar vista amb *Google Street View*, juntament amb la representació de la trajectòria del cotxe en direcció a Err (dreta). (Elaboració pròpia).

11.1.2 Proves del telèfon mòbil

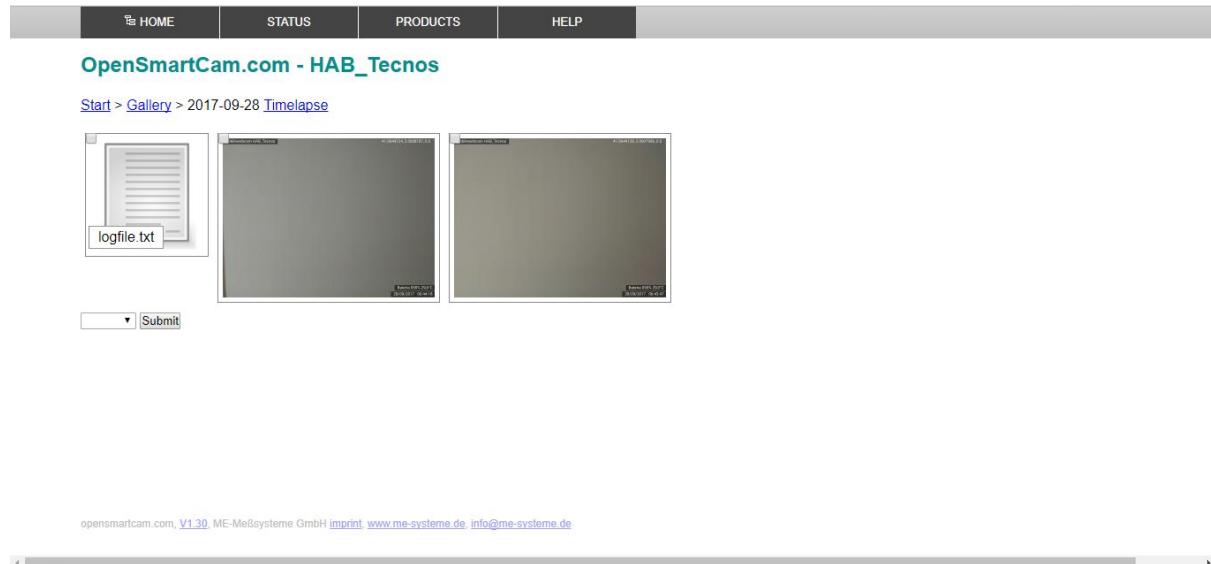
Aquesta última prova servirà per comprovar si telèfon mòbil és capaç de realitzar fotografies cada cert temps (programable), i que aquestes es puguin penjar a Internet.

En aquesta prova es desarà una sola fotografia feta per la càmera cada 30 segons i s'enviarà a la tarjeta microSD del telèfon, paral·lelament, també es penjarà a un servidor web gratuït anomenat *OpenSmartCam*. A aquesta fotografia se l'hi afegirà les coordenades detectades pel propi dispositiu, juntament amb la temperatura exterior, nivell de bateria del telèfon mòbil, dia i hora de la prova.

Les fotografia realitzada i posteriorment guardada a la tarjeta microSD del telèfon és aquesta:



Il·lustració 54: Fotografia realitzada mentre s'enfocava a una paret, el dia 28/09/2017 (com la pròpia imatge indica). A dalt-esquerra de la imatge es pot apreciar el títol del fitxer que es pot editar. A dalt a la dreta, s'hi poden veure les coordenades del mòbi el dia de la prova. I a la part inferior de la pantalla s'hi pot veure el nivell de bateria, la temperatura exterior, el dia i l'hora. (Elaboració pròpria).



Il·lustració 55: Plana web d'OpenSmartCam, on es poden veure les fotografies enviades pel telèfon. (Elaboració pròpia).

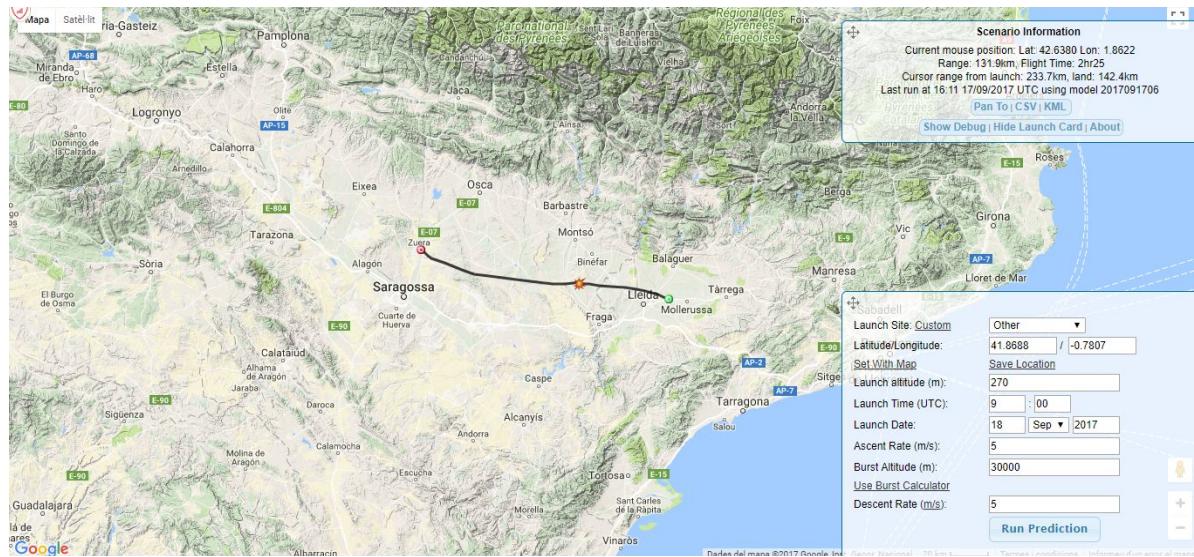
11.2 Predicció de la trajectòria

A part de comprovar que tots els components que conformen tant el sistema de comunicació, com l'estació meteorològica i el GPS funcionin, aquest punt també és important i imprescindible en la preparació del llançament. Consisteix en una predicció acurada de la trajectòria de vol descrita per la sonda el dia del llançament, ja que és possiblement una de les dades més importants a l'hora de demanar el permís a ENAIRE i AENA per llançar un globus sonda.

Encara que pugui semblar quasi impossible descriure la trajectòria de la sonda el dia del llançament, degut a la immensa quantitat de variables que hi intervenen, tampoc és una feina gaire difícil de realitzar.

A Internet s'hi poden trobar diverses pàgines especialitzades en el càcul d'aquest tipus de trajectòries, basant-se en un seguit de dades que són omplertes per l'usuari. Es té coneixement d'aquestes pàgines en el fòrum “balloonchallenge.org”, que és una pàgina web especialitzada en el llançament de globus sonda i que proporciona consells i il·lustracions molt explicatives de com cal construir un globus sonda correctament. La pàgina web que s'utilitzarà per predir la trajectòria de vol és “predict.habhub.org”.

Les següents imatges, mostren la pàgina web amb les prediccions corresponents als dies que es tenia previst realitzar el sondeig.



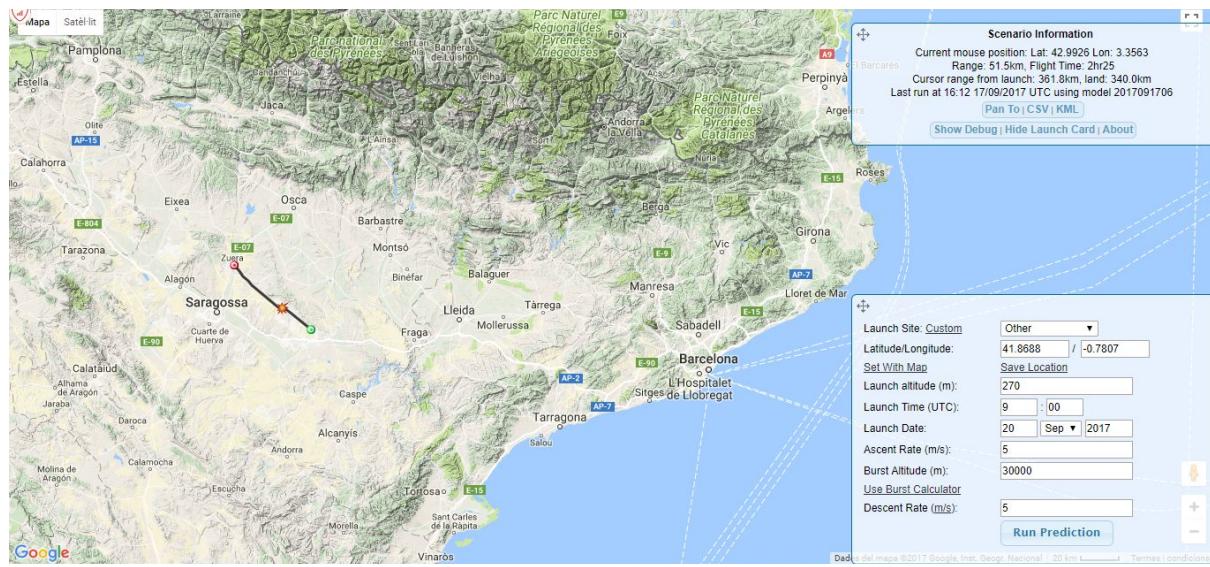
Il·lustració 56: Predicció de vol del dia 18/09/2017. (Elaboració pròpia, a partir de la pàgina web “predict.habhub.org”).

Estimació sobre la trajectòria de la sonda (tot utilitzant dades reals, obtingudes un cop acabada la construcció de la sonda) on es mostra la trajectòria que hauria realitzat si s'hagués llançat el dia 18/09/2017.



Il·lustració 57: Predicció de vol del dia 19/09/2017. (Elaboració pròpia a partir de la pàgina web “predict.habhub.org”).

Segons la pàgina, la sonda cauria a prop de Tortosa, després d'haver assolit una altura màxima de 29830 metres i recórrer una distància total de 131,7 km. Com que la sonda hauria caigut prop de la costa, i allà la densitat de població és major que a l'interior de Catalunya, aquest no es un bon dia per dur a terme el llançament de la sonda ja que pot caure a casa d'algú o crear desperfectes.



Il·lustració 58: Predicció de vol del dia 20/09/2017 (Elaboració pròpria a partir de la pàgina web "predict.habhub.org").

Últim dia sol·licitat pel llançament de la sonda. Aquesta imatge ofereix unes condicions de vol ideals per a la seguretat del llançament, ja que a part de desplaçar-se uns escassos 50 km, la sonda cau prop del desert dels Monegros, una zona d'Espanya poc habitada i que fa menys probable els accidents.

11.3 Tràmits legals

Degut al meu desconeixement en el procediment necessari per aconseguir el permís per realitzar el llançament d'una sonda estratosfèrica, el primer pas va ser demanar a diversos ex-companys de la meva germana, que actualment estan cursant la carrera d'enginyeria en vehicles espacials, consell i ajuda sobre amb qui calia posar-se en contacte per sol·licitar un permís de reserva d'espai aeri i quin era el procediment a seguir.

Malauradament, cap d'ells em va saber respondre la pregunta, fet que em va obligar a cercar a Internet on, finalment, vaig aconseguir trobar un número de telèfon²¹ que, segons l'escriptor de l'article²², corresponia al departament encarregat d'aquests tipus d'afers dins l'estat Espanyol. L'entitat pública, amb la qual vaig posar-me en contacte posteriorment, rep el nom de "Departamento de Coordinación Operativa del Espacio Aéreo (COP)".

Després de trucar al departament anteriorment esmentat i explicar el projecte que pretenia dur a terme, em van demanar el meu nom i correu electrònic, per poder-me enviar així un correu amb el formulari que calia omplir, necessari per demanar una sol·licitud de reserva d'espai aeri. El document original de sol·licitud està escanejat a l'**Annex III. Documents oficials**, degut a la seva extensió.

Un cop omplert el formulari, com que el temps jugava en contra, vaig haver d'enviar la còpia del document original per correu administratiu urgent a Madrid i esperar la resposta.

²¹ El número que facilitava l'autor de l'article era el 913213139.

²² "Permisos de AENA y reserva del espacio aéreo" 30/08/2011 Autor: Juanjo García
<http://www.cienciactiva.com.es/permisos-de-aena-y-reserva-del-espacio-aereo/?i=2>

Al cap d'una setmana, sense rebre cap resposta, vaig decidir trucar a ENAIRE²³, preguntant per la meva sol·licitud. El coordinador que portava la meva sol·licitud, em va explicar que, per part d'ENAIRE, no hi havia hagut cap tipus de problema a l'hora d'acceptar la meva sol·licitud. L'únic que faltava era esperar que, per part d'AENA²⁴, també se'm concedís el permís.

Finalment, al cap d'una setmana i mitja, el dia 15/09/2017 a les 11 del matí, vaig rebre un correu compartit, conjuntament amb ENAIRE, DSA i DSANA (entitats involucrades en la coordinació de l'espai aeri), entre d'altres, per part d'AENA. En aquest correu, bàsicament se m'informava que la meva sol·licitud finalment havia sigut acceptada; a més, també se m'adjuntava un document (NOTAM) on hi havia totes les indicacions per a dur a terme l'activitat de la manera més correcta i segura possible.

A l'**Annex III. Documents oficials** de la pàgina 29, hi ha un apartat dedicat exclusivament als documents i permisos necessaris que vaig haver d'omplir per a sol·licitar el permís.

²³ Empresa pública que s'encarrega de la gestió del tràfic aeri a Espanya. És el quart proveïdor de navegació aèria a Europa per volum de trànsit aeri, amb aproximadament dos milions de vols a l'any.

²⁴ És una empresa pública espanyola que gestiona els aeroports i heliports d'interès general a Espanya. En total, opera a 46 aeroports i 2 heliports a Espanya.

12. RESULTATS I CONCLUSIONS

L'objectiu d'aquest treball de recerca era la construcció d'una sonda meteorològica capaç d'establir comunicació amb un telèfon mòbil, el qual pugui enviar a temps real les coordenades rebudes pel GPS, per així poder localitzar la sonda en tot moment.

A part del sistema de localització, també s'hi va voler afegir una càmera que enregistrés en tot moment l'ascens de la sonda i realitzés fotografies (*time lapse*), o bé gravacions. Així, durant l'ascens s'intentaria obtenir fotografies enviades en directe per Internet de la curvatura de la Terra.

A part del sistema de localització i d'enregistrament, aquest aparell també havia d'implementar una petita estació meteorològica compacta i completament autònoma desenvolupada amb l'únic objectiu d'enregistrar les diferents variables atmosfèriques, com ara la temperatura, tant interior com exterior de la sonda, la humitat interna de la càpsula, l'altitud i la pressió atmosfèrica. Totes aquestes dades havien de ser guardades dins d'una targeta SD de manera que quan recuperéssim la sonda, es poguessin realitzar gràfiques i observar com canvien les diferents variables en funció de l'altitud. Tot aquest projecte calia intentar dur-lo a terme de la manera més econòmica possible, si podia ser, per sota dels 300 €.

Tot i que s'ha afrontat múltiples dificultats a l'hora de realitzar el treball, al final gran part dels objectius proposats en primeres instàncies s'han complert. En són un exemple:

- La creació d'una petita estació meteorològica, tot utilitzant la plataforma Arduino.
- La creació d'un sistema capaç de realitzar fotografies a partir d'un telèfon mòbil i posteriorment guardar-les dins una targeta SD.

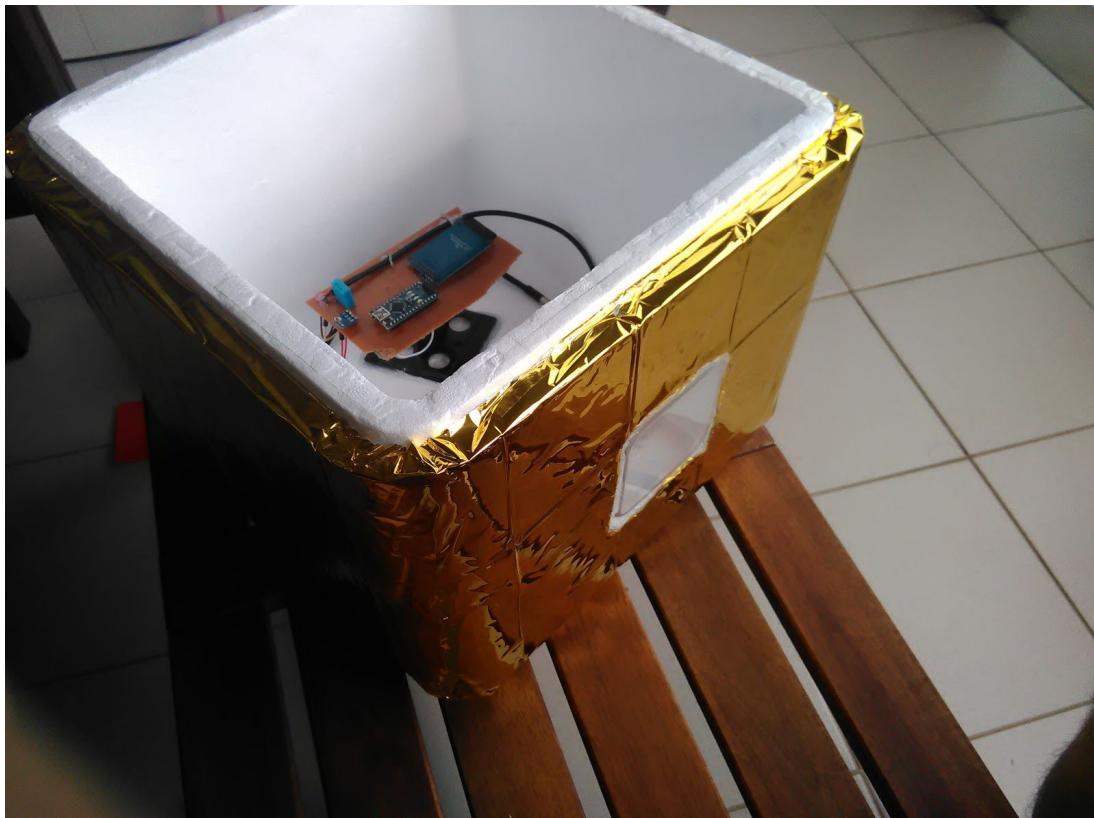
- La realització d'un sistema de posicionament capaç de recollir les diferents coordenades facilitades a partir d'un GPS i emmagatzemar-les dins una targeta SD per així, posteriorment poder generar dibuixos 3D de la trajectòria.
- L'admissió de la sol·licitud de reserva d'espai aeri per poder realitzar el llançament de la sonda.
- El compliment del pressupost plantejat. Tot el projecte s'ha dut a terme per **189,25 €**, per tant menys dels $\frac{2}{3}$ del pressupost màxim plantejat inicialment (300 €).

Per altre banda, els objectius que, per la dificultat tècnica que requerien o per la manca de temps no s'han pogut realitzar, són:

- La creació d'un sistema de rastrejament, fet únicament a partir de components i mòduls compatibles amb la plataforma Arduino (GSM-GPRS Sim900 i Adafruit GPS). Que degut a múltiples motius²⁵ no es va poder realitzar. Fet que va obligar a buscar altres maneres de localitzar la sonda.
- El llançament de la sonda. Ja que, encara que per part d'ENAIRES i AENA s'acceptés la sol·licitud del llançament, aquest avís va arribar massa tard i finalment no es va poder realitzar.. Va ser ell dia 15 de setembre quan vaig rebre el vist-i-plau per part de totes dues entitats sobre la realització del llançament. En aquest moment ja em va ser impossible comprar totes les parts perquè arribessin abans dels dies 18, 19 i 20. Així finalment vaig decidir no realitzar el llançament i avisar així als aeroports de la meva decisió.

²⁵ Raons i motius més ben explicat a l'apartat **4.4 Rastrejadors GPS** de la pàgina 31.

Des del meu punt de vista i personalment, aquest ha sigut un treball que ha requerit molta feina, dedicació, investigació i treball prèvi. És un treball dur i complicat, que es basa en la constància i en la tossudesa d'un mateix. A part d'això i paral·lelament, aquest també pot ser un treball molt interessant i enriquidor per un mateix, degut a la quantitat d'informació un va adquirint durant el desenvolupament del treball. Trobo que qualsevol persona que li interessi el més mínim aquest tema, hauria de participar, com a mínim una cop, en la creació d'un d'aquests.



Il·lustració 58: Resultat final de la construcció de la sonda, tot i que hi manca el rastrejador GPS TK-102, les bateries de mòbil externes, l'aïllant de l'interior i la càmera de telèfon mòbil.

13. WEBGRAFIA

Pàgines Web o articles:

- Balloon challenge. *High Altitude Balloon Overview*. Febrer del 2011.
<https://balloonchallenge.org/tutorials>
- HAB Supplies. Predict habhub. Desembre del 2012.
http://predict.habhub.org/#!/uuid=eddf44e7c685248f9209edb53bf4842cf5b73_dac
- Schneider, Adam. GPS Visualizer. “*Do-It-Yourself Mapping*”. Octubre 2002.
<https://www.google.es/search?q=gps+visualizer&oq=gps&aqs=chrome.5.69i60l2j69i57j69i60j35i39l2.3343j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- E. Pacheco, Luis. StratoCat. “*¿Por que vuela un globo?*”. 24 Novembre 2016 04:03:25pm.
<http://stratocat.com.ar/artics/globos1.htm>
- Baddeley, Glenn. GPS. “*NMEA Sentence information*”. 20 Juny 2001.
<http://aprs.gids.nl/nmea/>
- Diafaan Communication Center. “*Send SMS commands in text mode*”. Gener 2009.
<https://www.diafaan.com/sms-tutorials/gsm-modem-tutorial/at-cmgs-text-mode>
- Kaymont Balloons. “*Kaymont consolidated industries*”. Abril 2007.
http://kaymontballoons.com/Contact_Us.html
- SMSSolutions. “*GSM Modems and AT commands*”. Novembre 2016.

<http://www.smssolutions.net/tutorials/gsm/>

- Viquipèdia. Flotabilitat. 28 Juliol 2017 a les 20:17.
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Flotabilitat>
- Cienciaactiva. “*Permisos de AENA y reserva del espacio aéreo*”. 30 Setembre 2011.
<http://www.cienciactiva.com.es/permisos-de-aena-y-reserva-del-espacio-aereo/?i=2>
- Quèquicom. Satèl·lits “low cost”. 2 Novembre 2011.
<http://blogs.ccma.cat/quequicom.php?itemid=42895>

Videos:

- ENAIRE. “*¿Sabes qué es ENAIRE?*”. 17 Gener 2017.
<https://www.youtube.com/watch?v=OmVNP1VGDGM>
- LaquiooX. “*Space Balloon: Sandy trying to fly into the stratosphere*”. 2 Agost 2013.
<https://www.youtube.com/watch?v=0RRJ7RJYKrE&index=30&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA>
- Shaan M. “*GPS Tracker TK102B Review*”. 9 Juny 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=S88cm5RGFvg&index=51&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA>
- Intelligent Automation Technology Ltd. “*What is GSM*”. 6 Abril 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=rmzqiitKleE&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA&index=89>

- Mathtutordvd. "*Voltage, Current, Resistance (Engineering Circuit Analysis)*". 4 Febrer 2016.
https://www.youtube.com/watch?v=OGa_b26eK2c&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA&index=96
- SciBRIGHT. "How does GPS work?". 14 Setembre 2014.
https://www.youtube.com/watch?v=FU_pY2sTwTA&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA&index=103
- Googleearthweb. "*Importing KML, KMZ and GPS Data*". 24 Agost 2010.
<https://www.youtube.com/watch?v=gaH993pN4cg&index=112&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA>
- GreatScott!. "*Battery Type Comparison (Lead Acid VS NiMH VS Li-Ion VS LiPo)*". 6 Novembre 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=LqgP16JQ24I&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA&index=124>
- Dechert 360. "HAB Space Capsule Tutorial. How to build your own High Altitude Balloon". 13 Agost 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=sDBEX6BD9Yk&index=126&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA>
- Iforce2d. "*Controlling Arduino via SMS messages*". 8 Febrer 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=OcDCbThN5yw&index=155&list=LLIS1R5cS68q3F16AiEpEjDA>
- Youtube. Wikisat. 5 Juliol 2009.
<https://www.youtube.com/user/wikisat/videos>

Articles cedits per part de professors i voluntaris:

- Nejari Akhi-Elarab, Fatiha²⁶. “*Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels (EETAC)*”. 19 Novembre 2016.
<https://eetac.upc.edu/ca/noticies/estudiants-de-leetac-realitzen-un-llancament-duna-sonda-meteorologica>

“Dos alumnes de la UPC llencen un globus d'heli a l'estatosfera des del Club de Vol La Serra de Mollerussa”. 19 Novembre 2016.

<http://www.mollerussa.tv/dos-alumnes-de-la-upc-llencen-un-globus-dheli-a-les-tratosfera-des-del-club-de-vol-la-serra-de-mollerussa/>

“Trobada a Deltebre la sonda meteorològica que es va llançar per estudiants de l'EETAC al novembre”. 26 Desembre 2016.

<https://cienciatec.upc.edu/ca/noticies/trobada-la-sonda-meteorologica-que-es-va-llancar-per-estudiants-de-leetac-al-novembre>

- Salán Ballesteros, Núria²⁷. Joshua Tristanco. 5 Març 2016.
<https://scholar.google.es/citations?user=gT3pNJIAAAJ&hl=es>
- Investigación y ciéncia. Acceso al espacio “low cost”. 11 Novembre 2011.
<http://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/21/posts>

²⁶ Professora docent, investigadora i secretaria del Departament d'Enginyeries de Sistemes d'Automàtica i Informàtica Industrial i docent a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). PDI:
<http://directori.upc.edu/directori/dadesPersona.jsp?id=1003697>

²⁷ Sotsdirecció i Vicedelegada del Centre de Documentació. Docent al Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica. <http://directori.upc.edu/directori/dadesPersona.jsp?id=1002340>

ANNEXOS

ANNEX I

Entrevista a Joshua Tristano

Enginyer Tècnic Aeronàutic en l'especialitat d'Aeronavegació per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i Màster en *Aerospace Science and Technology*. Actualment és professor de la UPC i màxim responsable i coordinador del programa espacial per a femto-satèl·lits i mini-llançadores, estant al capdavant d'un equip d'estudiants d'enginyeria de la pròpia universitat, anomenat FREDNET.



És el responsable del disseny i creació del projecte PicoRover. També ha col·laborat com a màxim representant amb la creació del WikiSat, un femto-satèl·lit, creat l'any 2012, capaç d'orbitar al voltant de la Terra i recollir-ne dades, entre moltes altres coses. Però, tot això, amb un pressupost mínim (1200 €).

Aquest últim, és el projecte amb el que em vaig inspirar per a dur a terme la creació d'una sonda estratosfèrica pel meu treball de recerca de final de 2n de Batxillerat, (els objectius, les motivacions i l'explicació de com pensava dur-ho a terme, es poden trobar explicats més detalladament a l'apartat d'**Objectius** del treball).

1. Mentre estàveu duent a terme el projecte del satèl·lit *low cost* (*WikiSat*), quines dificultats tècniques, pràctiques, entre d'altres vàreu experimentar relatiu a la primera fase? i com els vàreu resoldre?

Al principio nos costó saber cómo lanzar un cohete al espacio porque desde el suelo había unas regulaciones que desde la óptica del *low-cost* no podíamos afrontar. Luego vimos que lanzar un globo era muy fácil y estaba bien regulado en España. El uso de combustibles sólidos era muy seguro porque si el motor explotaba por un fallo catastrófico, éste simplemente se fraccionaba en trozos pequeños y se apagaba en el acto.

2. Fins a quina capa atmosfèrica estava planejat que arribés el coet (primera fase)?

Estaba planeado llegar hasta la estratosfera, entre los 30 y los 40 quilómetros de altura, con un 10% de presión al nivel del mar y una temperatura de -50 °C.

3. Amb quin combustible anava propulsat el satèl·lit, després d'haver sobrepassat la fase d'ascens del globus d'heli (35 km)?

APCP o Ammonium Perchlorate Composite Propellant, que es un combustible sólido muy conocido en el mundo de la aeronáutica y que incorpora tanto el combustible como el comburente.

4. Quina plataforma de software vau utilitzar per a dur a terme la part de programació del satèl·lit?

Usamos cualquier plataforma que fuera de código libre, para evitar así costes innecesarios. Principalmente usamos Arduino para la programación, aunque también utilizamos otras plataformas compatibles con el lenguaje de programación C++.

5. Encara conserves alguns dels arxius o documents que vau utilitzar per a la programació?

Hace tiempo, compartimos la carpeta del código crítico para cada versión y computadora del proyecto. Actualmente se encuentra en la nube.

6. Quins permisos vas haver de demanar per poder enlairar el coet?

Antes del 2012, se necesitaba una autorización especial para generar un NOTAM¹. Tras presentar un proyecto a aviación civil. Con el NOTAM, los pilotos saben con unos días de antelación que se soltará un globo que contiene un cohete pequeño de sondeo. Evidentemente solicitamos lugares de lanzamiento donde no molestamos a las aerovías. A partir del 2012, todo esto se regularizó y actualmente solo se comunica con un NOTAM.

7. Quin tipus de dispositiu de comunicació vau utilitzar per establir contacte entre vosaltres i el satèl·lit?

Utilizamos radio VHF de largo alcance. Aunque, normalmente usamos bandas libres de uso, con una licencia amateur como por ejemplo el APRS.

8. Quina despesa econòmica et va suposar la totalitat del projecte?

Pues, alrededor de unos 10.000 €. Porque a parte de realizar varios lanzamientos, también hemos desarrollado diferentes tecnologías de bajo coste.

9. Quina empresa et va proporcionar els materials?

Hay distintas empresas que nos ayudaron con la financiación del proyecto, pero si hay alguna que hace falta mencionar, sería Mecanitzats Parés².

¹ Notice to Air Man (NOTAM). Són documents, l'objectiu dels quals, és alertar a avions i altres objectes voladors de qualsevol perill dins l'espai aeri.

²Link d'un article proporcionat pel Joshua, on s'explica per part de Mecanitzats Parés, en què consisteix el projecte del WikiSat.

<http://mecanitzatspares.com/collaboration-with-the-polytechnic-university-of-catalonia-in-the-wikisat-project/>

10. Quina empresa o entitat us va finançar el projecte? O va ser la pròpia UPC?

El proyecto lo pagamos entre los socios y miembros del equipo. A parte, también contamos con la ayuda de la UPC.

11. Quin tipus d'esdeveniments climatològics vau tenir en compte a l'hora de calcular la trajectòria del coet?

Tuvimos en cuenta el viento, no solo a nivel superficial, sinó, también en las capas superiores, ya que no sé si lo sabes, pero existen unas corrientes de viento muy fuertes, aproximadamente a los 12 km de altura, llamadas corrientes de chorro, las cuales hacen que los objetos en esa altura se desplacen de oeste a este. Este es el principal motivo por el cual lanzamos el satélite desde Aragón, porque si no lo hubiésemos hecho, posiblemente se nos habría caído en el mar.

12. Tens algunes pàgines web que em siguin útils per poder trobar-hi informació sobre el satèl·lit?

Sí, <https://sourceforge.net/p/moon-20/wiki/WikiLauncher/>

13. Quin tipus de resina utilitzàveu pels tancs de combustible?

Usamos fibra de vidrio con resina polimérica de poliéster para recubrir todo el interior de los tanques de combustible mientras estos rotaban sobre si mismos para equilibrar la cantidad de resina en los distintos lados y luego secábamos la resina con un secador³.

³Link aportat pel Joshua Tristáncho on es mostra una pàgina web amb un anunci sobre la resina de poliéster ja esmentada.

<http://www.mwmaterialsworld.com/es/resina-de-poliester-para-fibra-de-vidrio.html>

14. El globus estratosfèric que vau utilitzar per enlairar el satèl·lit durant la primera etapa, on el vau comprar? Cal que sigui d'algún material espacial?

Lo compramos a un proveedor chino bajo un acuerdo confidencial. Suelen ser de látex.

15. Em podries explicar (si te'n recordes) de les etapes que tenia pensat fer el satèl·lit?

Principalmente, había dos etapas. La primera etapa, consistía en alcanzar el apogeo de 250 km y la segunda etapa, en acelerar al WikiSat hasta alcanzar los 28.000 km/h que correspondía a la velocidad de órbita necesaria para que el WikiSat no volviese a la Tierra.

16. Què és una comunicació APRS? Com funcionen aquests sistemes de transmissió de dades per satèl·lit? Quins dispositius cal comprar per aconseguir establir aquesta comunicació?

APRS es un sistema de transmisión de posicionamiento por radio muy empleado entre aficionados. El satélite solo envía una foto al día, por lo que se puede usar cualquier radio APRS comercial de largo alcance.

17. Com vau, a partir de la flama del tanc de combustible fet amb Cocacola, poder determinar l'alçada que hauria assolit el coet, forma part d'una equació?

Una cosa es el empuje teórico del combustible determinada por la ecuación del cohete de Tsiolkovski y otra muy diferente es el empuje que mides en el banco de pruebas cuando fabricas un nuevo motor.

18. De la pàgina de wikisat.org, què se n'ha fet?

El dominio wikisat.org lo compró en su día uno de los socios fundadores y lo acabamos perdiendo. Actualmente la web oficial es:

<https://sourceforge.net/projects/moon-20/>

19. Per què vau decidir fer el llançament des de Zuera? I si cau a casa d'algú i provoca desperfectes, qui n'és el responsable?

Nosotros estamos en Barcelona, pero el viento sopla hacia el este así que no nos quedó otra que lanzar desde un sitio en Huesca. Allí está el desierto de los Monegros donde suelen caer los restos del globo y los experimentos de otros proyectos. Con nuestro sistema de localización, sabemos dónde caerá con un error de 10 km dos horas antes de lanzar, así que si vemos que se acerca a una población, no lanzamos o esperamos a que las condiciones mejoren. Aún así, hay un seguro de responsabilidad civil.

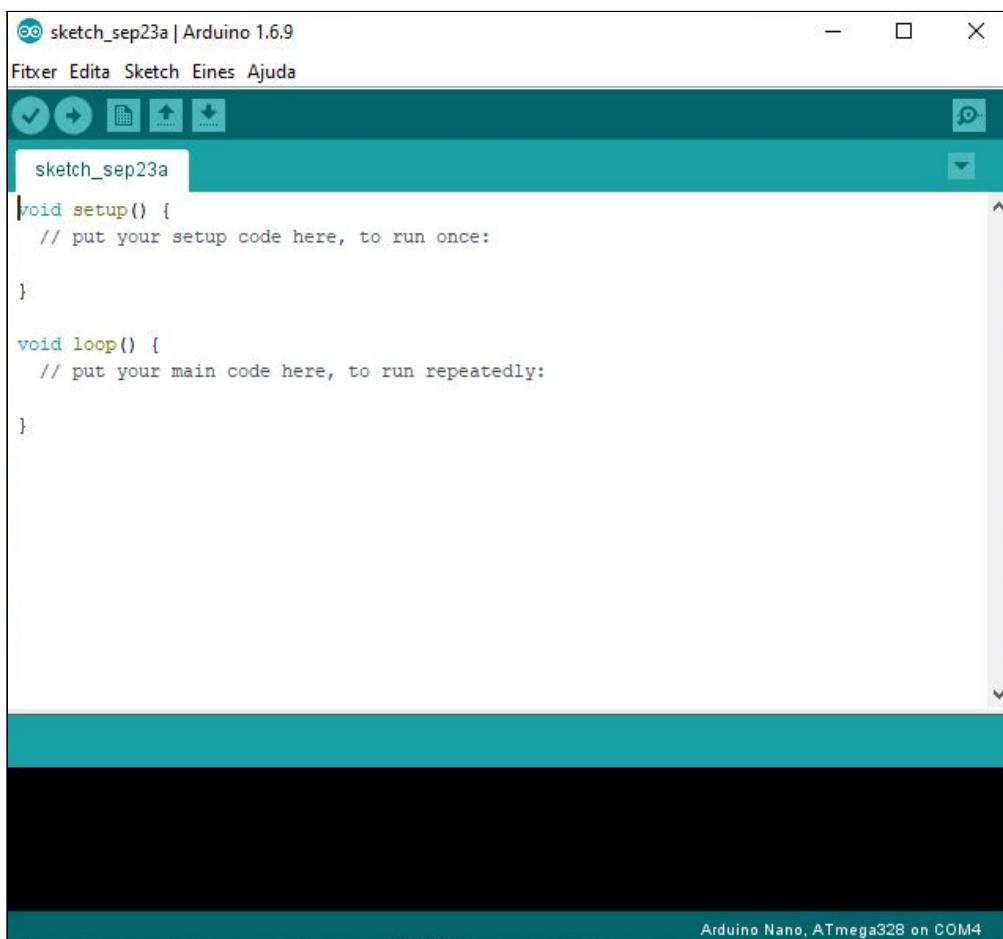
ANNEX II

Software de programació

Per poder pujar qualsevol codi a la placa Arduino, abans cal instal·lar el programa d'Arduino. Aquest programa, permet escriure codi ràpidament, compilar-lo (l'equivalent a corregir-lo de faltes d'ortografia en els idiomes) i pujar-lo a la placa. Es troba disponible per Windows, Mac i Linux, a la pàgina següent:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Un cop està instal·lat el programa i s'inicia, s'obrirà una finestra similar a aquesta:



Il·lustració 1: Aplicació d'Arduino en el moment d'obrir-se.

Els botons principals són:



Verificar: Aquest botó, permet comprovar si el codi està escrit correctament (sense errors de sintaxi). A part, també comprova que la via de comunicació amb la placa no estigui malmesa.



Pujar: S'usa per pujar el codi de programació a la placa d'Arduino (cal que la placa estigui connectada a l'ordinador mitjançant un cable USB tipus A/B).



Nou: Obre una finestra nova.



Obrir i desar: Obre un projecte d'Arduino ja guardat (esquerra) o desa el que es troba actualment obert (dreta).



Monitor sèrie: Obre el monitor del port sèrie. És una pestanya que es pot utilitzar per una gran quantitat d'opcions, com: la revisió de l'estat dels sensors, mètode de comunicació amb la placa Arduino, etc.

De vegades, per utilitzar un cert sensor cal instal·lar **llibreries**, que són extensions de la plataforma Arduino. Ja hi ha diverses llibreries incloses amb el programa per defecte, però se'n poden instal·lar més. Aquestes llibreries es descarreguen en format .zip (Winrar) i es poden instal·lar dirigint-te a **Programa ➔ Include library ➔ Add .ZIP library...** i seleccionant la llibreria necessària. Per incloure-les en un projecte, cal anar a **Programa ➔ Include library** i seleccionar-la dins la llista.

Les pròpies llibreries ja contenen **exemples**, que són projectes ja fets per comprovar el funcionament d'un component. Són útils ja que soLEN estar ben documentats i comentats (a cada línia s'explica el que s'està fent). A partir d'aquests, es pot crear un nou projecte. Per obrir un exemple cal anar a **Fitxer ➔ Exemples**, seleccionar la llibreria que contingui aquest exemple i després seleccionar l'exemple desitjat.

```

Blink | Arduino 1.6.9
Fitxer Edita Sketch Eines Ajuda
Blink
/*
Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the Uno and Leonardo, it is attached to digital pin 13. If you're unsure what pin the on-board LED is connected to on your Arduino model, check the documentation at http://www.arduino.cc

This example code is in the public domain.

modified 8 May 2014
by Scott Fitzgerald
*/
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
    // initialize digital pin 13 as an output.
    pinMode(13, OUTPUT); Funció setup: només s'executa un cop.
}

// the loop function runs over and over again forever Funció loop: s'executa cíclicament.
void loop() {
    digitalWrite(13, HIGH);    // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
    delay(1000);              // wait for a second
    digitalWrite(13, LOW);     // turn the LED off by making the voltage LOW
}

```

Il·lustració 2: Aplicació Arduino amb l'exemple "Blink" obert.

La funció *setup* només s'executa un cop al principi. S'utilitza per definir la funció que té un *pin* per definir variables, etc. La funció *loop* s'executa cíclicament sense parar. És a la funció *loop* on es trobaran totes les accions que volem que faci la placa (obtenir, desar i enviar dades).

Per pujar aquest codi, cal prémer el botó "pujar". Un cop el codi estigui a la placa, el LED parpelleja tal com indica el codi.

Un cop apreses les funcions bàsiques que presenta l'Arduino i com s'utilitzén, ara cal mostrar tota la part del *software* programada que s'utilitzarà per dur a terme totes les funcions de la sonda.

DHT11: Aquest document adjunt, correspon únicament a la part de programació del sensor d'humitat i temperatura DHT11.

```
// DHT Temperature & Humidity Sensor
// Unified Sensor Library Example
// Written by Tony DiCola for Adafruit Industries
// Released under an MIT license.

// Depends on the following Arduino libraries:
// - Adafruit Unified Sensor Library: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
// - DHT Sensor Library: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library

#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

#define DHTPIN      8      // Pin which is connected to the DHT sensor.

// Uncomment the type of sensor in use:
#define DHTTYPE     DHT11  // DHT 11
//#define DHTTYPE    DHT22  // DHT 22 (AM2302)
//#define DHTTYPE    DHT21  // DHT 21 (AM2301)

// See guide for details on sensor wiring and usage:
// https://learn.adafruit.com/dht/overview

DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);

uint32_t delayMS;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Initialize device.
```

```
dht.begin();
Serial.println("DHTxx Unified Sensor Example");
// Print temperature sensor details.
sensor_t sensor;
dht.temperature().getSensor(&sensor);
Serial.println("-----");
Serial.println("Temperature");
Serial.print ("Sensor:    "); Serial.println(sensor.name);
Serial.print ("Driver Ver: "); Serial.println(sensor.version);
Serial.print ("Unique ID: "); Serial.println(sensor.sensor_id);
Serial.print ("Max Value: "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(" *C");
Serial.print ("Min Value: "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(" *C");
Serial.print ("Resolution: "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(" *C");
Serial.println("-----");
// Print humidity sensor details.
dht.humidity().getSensor(&sensor);
Serial.println("-----");
Serial.println("Humidity");
Serial.print ("Sensor:    "); Serial.println(sensor.name);
Serial.print ("Driver Ver: "); Serial.println(sensor.version);
Serial.print ("Unique ID: "); Serial.println(sensor.sensor_id);
Serial.print ("Max Value: "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println("%");
Serial.print ("Min Value: "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println("%");
Serial.print ("Resolution: "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println("%");
Serial.println("-----");
// Set delay between sensor readings based on sensor details.
//delaMS = 1000(1seg)
//sensor.min_delay = 1000000(10seg)
delayMS = sensor.min_delay / 1000;
}

void loop() {
```

```
// Delay between measurements.  
delay(delayMS);  
  
// Get temperature event and print its value.  
sensors_event_t event;  
dht.temperature().getEvent(&event);  
if (isnan(event.temperature)) {  
    Serial.println("Error reading temperature!");  
}  
else {  
    Serial.print("Temperature: ");  
    Serial.print(event.temperature);  
    Serial.println(" *C");  
}  
  
// Get humidity event and print its value.  
dht.humidity().getEvent(&event);  
if (isnan(event.relative_humidity)) {  
    Serial.println("Error reading humidity!");  
}  
else {  
    Serial.print("Humidity: ");  
    Serial.print(event.relative_humidity);  
    Serial.println("%");  
}  
}
```

BMP180: Aquest altre document adjunt, correspon únicament a la part de programació del sensor de temperatura, pressió i altitud BMP180.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>

// Connect VCC of the BMP085 sensor to 3.3V (NOT 5.0V!)
// Connect GND to Ground
// Connect SCL to i2c clock - on '168/'328 Arduino Uno/Duemilanove/etc thats
Analog 5
// Connect SDA to i2c data - on '168/'328 Arduino Uno/Duemilanove/etc thats Analog
4
// EOC is not used, it signifies an end of conversion
// XCLR is a reset pin, also not used here

Adafruit_BMP085 bmp;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    if (!bmp.begin()) {
        Serial.println("Could not find a valid BMP085 sensor, check wiring!");
        while (1) {}
    }
}

void loop() {
    Serial.print("Temperature = ");
    Serial.print(bmp.readTemperature());
    Serial.println(" *C");

    Serial.print("Pressure = ");
    Serial.print(bmp.readPressure());
```

```
Serial.println(" Pa");

// Calculate altitude assuming 'standard' barometric
// pressure of 1013.25 millibar = 101325 Pascal
Serial.print("Altitude = ");
Serial.print(bmp.readAltitude());
Serial.println(" meters");

Serial.print("Pressure at sealevel (calculated) = ");
Serial.print(bmp.readSealevelPressure());
Serial.println(" Pa");

// you can get a more precise measurement of altitude
// if you know the current sea level pressure which will
// vary with weather and such. If it is 1015 millibars
// that is equal to 101500 Pascals.
Serial.print("Real altitude = ");
Serial.print(bmp.readAltitude(101500));
Serial.println(" meters");

Serial.println();
delay(500);

}
```

DS18B20: Aquest altre document, correspon únicament a la part de programació del sensor de temperatura DS18B20.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h> //Vem no Arduino já
//Essa é a bliblioteca do LCD + I2C pode ser comentada
//Deixarei o texto "(Pode comentar LCD + I2C)" caso não esteja usando LCD e I2C

//variavel do pino que esta plugado o Sensor
//Neste caso é o pino 2, mais pode usar qualquer pino digital
#define ONE_WIRE_BUS 2

//Instacia o Objeto oneWire e Seta o pino do Sensor para iniciar as leituras
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
//Repassa as referencias do oneWire para o Sensor Dallas (DS18B20)
DallasTemperature sensor(&oneWire);
//(Pode comentar)

void setup()
{
    //Inicia a Serial
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Sensor de temperatura Dallas DS18b20");
    //Inicia o objeto da biblioteca do Dallas
    sensor.begin();
}

void loop()
```

```
{  
    //Envia o comando para obter temperaturas  
    sensor.requestTemperatures();  
  
    // A temperatura em Celsius para o dispositivo 1 no índice 0 (é possível ligar varios  
    sensores usando a mesma porta do arduino)  
    float leitura=sensor.getTempCByIndex(0);  
  
    //Imprime na serial a variável que recebe os dados do Sensor  
    Serial.println(leitura);  
    delay(100);  
  
}
```

Tot UNO: Aquest altre fitxer adjunt, correspon a la part de programació del sistema d'enregistrament de posició (per poder veure el trajecte posteriorment amb *Google Earth*).

```
#include <SD.h> //Load SD card library
#include<SPI.h> //Load SPI Library

#include <Adafruit_GPS.h> //Install the adafruit GPS library
#include <SoftwareSerial.h> //Load the Software Serial library
SoftwareSerial mySerial(9,10); //Initialize the Software Serial port
Adafruit_GPS GPS(&mySerial); //Create the GPS Object

String NMEA1; //Variable for first NMEA sentence
String NMEA2; //Variable for second NMEA sentence
char c; //to read characters coming from the GPS

int chipSelect = 8; //chipSelect pin for the SD card Reader
File mySensorData; //Data object you will write your sesnor data to

void setup() {

    Serial.begin(115200); //Turn on serial monitor
    GPS.begin(9600); //Turn on GPS at 9600 baud
    GPS.sendCommand("$PGCMD,33,0*6D"); //Turn off antenna update nuisance
    data
    GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCGGA); //Request RMC
    and GGA Sentences only
    GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_1HZ); //Set update rate to 1 hz
    delay(1000);
```

```
pinMode(10, OUTPUT); //Must declare 10 an output and reserve it to keep SD card happy
SD.begin(chipSelect); //Initialize the SD card reader

if (SD.exists("NMEA.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("NMEA.txt");
}

if (SD.exists("GPSData.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("GPSData.txt");
}

}

void loop() {

    readGPS();

    if(GPS.fix==1) { //Only save data if we have a fix
        mySensorData = SD.open("NMEA.txt", FILE_WRITE); //Open file on SD card for writing
        mySensorData.println(NMEA1); //Write first NMEA to SD card
        mySensorData.println(NMEA2); //Write Second NMEA to SD card
        mySensorData.close(); //Close the file

        mySensorData = SD.open("GPSData.txt", FILE_WRITE);
        mySensorData.print(GPS.latitude,4); //Write measured latitude to file
        mySensorData.print(GPS.lat); //Which hemisphere N or S
        mySensorData.print(",");
        mySensorData.print(GPS.longitude,4); //Write measured longitude to file
        mySensorData.print(GPS.lon); //Which Hemisphere E or W
        mySensorData.print(",");
        mySensorData.println(GPS.altitude);
```

```
mySensorData.close();  
}  
  
}  
  
void readGPS() {  
  
    clearGPS();  
    while(!GPS.newNMEAReceived()) { //Loop until you have a good NMEA sentence  
        c=GPS.read();  
    }  
    GPS.parse(GPS.lastNMEA()); //Parse that last good NMEA sentence  
    NMEA1=GPS.lastNMEA();  
  
    while(!GPS.newNMEAReceived()) { //Loop until you have a good NMEA sentence  
        c=GPS.read();  
    }  
    GPS.parse(GPS.lastNMEA()); //Parse that last good NMEA sentence  
    NMEA2=GPS.lastNMEA();  
  
    Serial.println(NMEA1);  
    Serial.println(NMEA2);  
    Serial.println("");  
}  
  
void clearGPS() { //Clear old and corrupt data from serial port  
    while(!GPS.newNMEAReceived()) { //Loop until you have a good NMEA sentence  
        c=GPS.read();  
    }  
    GPS.parse(GPS.lastNMEA()); //Parse that last good NMEA sentence
```

```
while(!GPS.newNMEAReceived()) { //Loop until you have a good NMEA sentence
    c=GPS.read();
}

GPS.parse(GPS.lastNMEA()); //Parse that last good NMEA sentence
while(!GPS.newNMEAReceived()) { //Loop until you have a good NMEA sentence
    c=GPS.read();
}

GPS.parse(GPS.lastNMEA()); //Parse that last good NMEA sentence

}
```

Tot NANO: Aquest últim fitxer adjunt, correspon a la part de programació de tota l'estació meteorològica de la sonda, amb els respectius canvis dins el codi per adaptar-s'hi bé.

//SD module

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

#include <SD.h> //Load SD card library

#include<SPI.h> //Load SPI Library

int chipSelect = 4; //chipSelect pin for the SD card Reader

File Document; //Data object you will write your sensor data to

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

//BMP180 (Temperatura, pressió, altitud)

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_BMP085.h>

Adafruit_BMP085 bmp;

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

//ds18b20 (temperatura -55°C fins +125°C)

||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensor(&oneWire);

```
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
//DHT11 (humitat i temperatura)
```

```
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <DHT_U.h>
```

```
#define DHTPIN 8
```

```
// Uncomment the type of sensor in use:
```

```
#define DHTTYPE      DHT11 // DHT 11
```

```
///

```
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
```


```

```
///

```
#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
```


```

```
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
uint32_t delayMS;
```

```
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    while (!Serial){
```

```
        ;
```

```
}
```

```
//SD module
```

```
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
pinMode(10, OUTPUT); //Must declare 10 an output and reserve it to keep SD card happy
SD.begin(chipSelect); //Initialize the SD card reader

if (SD.exists("Dades.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("Dades.txt");
}

delay(15);

if (SD.exists("T_int.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("T_int.txt");
}

delay(15);

if (SD.exists("T_ext.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("T_ext.txt");
}

delay(15);

if (SD.exists("Alt.txt")) { //Delete old data files to start fresh
    SD.remove("Alt.txt");
}

delay(15);
///////////////////////////////
//BMP180 (Temperatura, pressió, altitud)
```

```
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||  
if (!bmp.begin()) {  
    Serial.println("Could not find a valid BMP085 sensor, check wiring!");  
    while (1) {}  
}  
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
//ds18b20 (temperatura -55°C fins +125°C)  
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||  
sensor.begin();  
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
```

```
//DHT11 (humitat i temperatura)  
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||  
// Initialize device.  
dht.begin();  
// Print temperature sensor details.  
sensor_t sensor;  
dht.temperature().getSensor(&sensor);  
dht.humidity().getSensor(&sensor);  
delayMS = sensor.min_delay / 1000;  
||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||  
}
```

```
void loop() {  
  
    Serial.println("Ok");  
  
    //ds18b20 (temperatura -55°C fins +125°C)  
    ///////////////////////////////////  
    sensor.requestTemperatures();  
    float lectura = sensor.getTempCByIndex(0);  
    ///////////////////////////////////  
  
    //DHT11 (humitat i temperatura)  
    ///////////////////////////////////  
    // Delay between measurements.  
    //delaMS = 1000(1seg)  
    //sensor.min_delay = 1000000(10seg)  
    delay(delayMS);  
    // Get temperature event and print its value.  
    sensors_event_t event;  
    dht.temperature().getEvent(&event);  
    dht.humidity().getEvent(&event);  
    ///////////////////////////////////  
  
    //SD module  
    ///////////////////////////////////  
    Document = SD.open("Dades.txt", FILE_WRITE); //Open file on SD card for writing  
    Document.print("Temperatura externa: ");
```

```
Document.print(lectura); //Write first NMEA to SD card
Document.println("*C");
Document.print("Temperatura interna: ");
Document.print(bmp.readTemperature());
Document.println("*C");
Document.print("Humitat interna: ");
Document.print(event.relative_humidity);
Document.println("%");
Document.print("Pressio interna: ");
Document.print(bmp.readPressure());
Document.println(" Pa");
// Calculate altitude assuming 'standard' barometric
// pressure of 1013.25 millibar = 101325 Pascal
Document.print("Altitud: ");
Document.print(bmp.readAltitude());
Document.println(" metres");
Document.print("Pressio al nivell del mar: ");
Document.print(bmp.readSealevelPressure());
Document.println(" Pa");
// you can get a more precise measurement of altitude
// if you know the current sea level pressure which will
// vary with weather and such. If it is 1015 millibars
// that is equal to 101500 Pascals.
Document.print("Altitud real: ");
Document.print(bmp.readAltitude(101500));
Document.println(" metres");
Document.println("-----");
Document.close(); //Close the file

Serial.println("SD done");
delay(15);
```

```
Document = SD.open("T_int.txt", FILE_WRITE);
Document.println(bmp.readTemperature());
Document.close(); //Close the file

Serial.println("T_int done");
delay(15);

Document = SD.open("T_ext.txt", FILE_WRITE);
Document.println(lectura);
Document.close(); //Close the file

Serial.println("T_ext done");
delay(15);

Document = SD.open("Alt.txt", FILE_WRITE);
Document.println(bmp.readAltitude());
Document.close(); //Close the file

Serial.println("Alt done");
///////////
delay(1000);

}
```

ANNEX III

Documents oficials

En aquest últim apartat de l'annex, es mostraran tots els documents oficials i originals, que ha calgut omplir per demanar permís a les diferents entitats públiques per poder llançar la sonda estratosfèrica. Hi ha certes parts dels documents tapades, per protegir la meva identitat.

Original

	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO	ENAIRe
SOLICITUD DE ACTIVIDAD AÉREA CIVIL RELATIVA A OTROS USOS DEL ESPACIO AÉREO			
<small>* A RELLENAR POR EL SOLICITANTE ** A RELLENAR POR EL COP</small>			
FECHA*		16/08/2017	
REFERENCIA DEL SOLICITANTE*		23676790987S	
REFERENCIA ANTERIOR*		REFERENCIA ENAIRe**	
1. Solicitud. Nombre: <u>Guillem Tutusaus y Alcaraz</u> Dirección: <u>[REDACTED]</u> Teléfono: <u>[REDACTED]</u> Móvil: <u>[REDACTED]</u> Correo Electrónico: <u>guillemtutusaus@gmail.com</u>			
2. Naturaleza de la actividad. <input type="checkbox"/> Láser / Focos. <input type="checkbox"/> Fuegos Artificiales. <input type="checkbox"/> Suelta de Farolillos. <input type="checkbox"/> Suelta de Globos <input checked="" type="checkbox"/> Sondeos Meteorológicos. <input type="checkbox"/> Globos Cautivos. <input type="checkbox"/> Área Segregada Temporal. <input type="checkbox"/> Publicada en el AIP (identificación y nombre): <input type="checkbox"/> Por Motivos de Seguridad para Acontecimiento Público o Privado: <input type="checkbox"/> Otros: <u>[REDACTED]</u>			
3. Declaración de Autorización. Por la presente designo y autorizo a <u>Guillem Tutusaus y Alcaraz</u> a actuar como representante en la tramitación de este formulario de solicitud de permiso, y coordinador de la actividad aeronáutica a realizar, pudiendo aportar, si se requiere, la información suplementaria necesaria.			
Firma del Organizador			
4. Fechas de la Actividad. Fechas: <u>06/09/2017 – 08/09/2017</u> Horarios (Indicar si es Hora Local o UTC): <u>9:00 hasta 11:30</u> Duración de la Actividad: <u>2,5 horas</u>			

Il·lustració 3: Document original que es va haver d'omplir correctament, per posteriorment enviar-lo al Departament de Coordinació Operativa d'Espai Aeri. En aquest document, es demanaven les dades personals del sol·licitant i després es feien algunes preguntes sobre la raó per la qual es volia realitzar el sondeig. Finalment calia signar el document conforme s'estava al corrent i informat de les normes i comprometent-se així a respectar-les. (Elaboració pròpia).

5. Zona de Trabajo y Características de la Actividad (sistema de referencia WGS-84. Coordenadas geográficas).

Municipio y Provincia: Zuera, Zaragoza

A. Tipo de Zona (en grados, minutos y segundos. Indicar longitud este u oeste. Añadir tantos puntos como sea necesario).

Área circular / Punto / Polígono / Trayectoria.

Latitud	41°51'31.13"N	Longitud	0°45'6.68"E
Latitud	41°19'27.12"N	Longitud	0°37'36.84"E
Latitud		Longitud	
Latitud		Longitud	
Latitud		Longitud	
Radio	73.26	Nm / <input checked="" type="checkbox"/> Km / <input type="checkbox"/> m	

B. Altura sobre el Terreno (AGL) o Altitud sobre el Nivel del Mar (AMSL).

ft m / AGL AMSL

Indicar unidad y tipo: 30312

C. Otros Datos:

6. Características de la Actividad (información adicional para las siguientes actividades).

A. Sondeos Meteorológicos.

Tipo de sondeo: Ligero / Medio / Pesado.

Diámetro máximo del globo:	7.31	m	Peso de la sonda / globo:	2.1/0.9	Kg
Color del globo:	blanco		Número de globos:	1	
Régimen de ascenso:	4.9	m/s	Régimen de descenso:	6	m/s

B. Suelta de Farolillos / Suelta de Globos.

Número de globos: Diámetro: Color:

C. Láser / Foco.

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

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

D. Otros Datos:

7. Declaración de Conformidad.

Declaro que:

- La información contenida en este formulario, así como la documentación adjunta, es real, verdadera y correcta.
- Cuento con la habilitación necesaria para poder acometer la actividad solicitada.
- El personal y/o medios materiales empleados para realizar la actividad cumple con la normativa vigente así como con los requisitos establecidos por la DGAC (Dirección General de Aviación Civil) / AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).

Firma

Remitir a:
ENAIRES
Dirección de Operaciones / GCAT
Dpto. Coordinación Operativa del Espacio Aéreo (COP)
Avda. de Aragón 402
Edificio Lamela, 4^a Planta
28022 Madrid
Teléfono: 913 213 378
Correo Electrónico: cop@enaire.es

Il·lustració 4: Pàgina número dos del formulari sobre la sol·licitud de reserva d'espai aeri. En aquesta pàgina, se't demana el lloc previst per fer el llançament i algunes de les especificacions de la pròpia sonda. (Elaboració pròpia).



Il·lustració 5: Correu certificat urgent que posteriorment es va entregar ENAIRE, datat del dia 22/08/2017. (Elaboració pròpria).

**Origen**

De: Dpto. de Coordinación Operativa de Espacio Aéreo Fecha: 15/09/2017
 Unidad: Dirección de Operaciones / GCAT / COP Páginas: 2
 T. 913 213 378 E. cop@enaire.es

Destino

Empresa

A la atención de: GUILLEM TUTUSAUS Y ALCARAZ

REF: 2322

ASUNTO: SONDEO EN ZUERA

En contestación a su solicitud de fecha 28 de agosto de 2017 (Su ref. 236767909875), se informa que como resultado del estudio realizado para la ejecución de los trabajos, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones operativas:

- Al menos 30 minutos antes del inicio de la actividad, se coordinará con el Jefe de Sala/Supervisor de Madrid ACC en el teléfono 916 785 066/916 566 596, Barcelona ACC (933 786 137 / 138) y con Zaragoza TACC (976 337 150) quien en función del tráfico, autorizará o demorará la actividad.
- Comunicarán al TACC Zaragoza la hora exacta en la que se efectuó el lanzamiento.
- Una vez finalizada la actividad lo comunicarán al ACC de Barcelona.
- Este escrito no les exime del cumplimiento de cualquier otra normativa existente para dichas actividades tanto de ámbito nacional como autonómico o local, especialmente aquellas relacionadas con normativa medioambiental.

Il·lustració 6: Finalment, el dia 15/09/2017, al cap de 23 dies d'incertesa, vaig rebre la resposta a la meva sol·licitud. Aquest correu explicava que la meva sol·licitud havia estat acceptada i també s'adjuntava un document amb les indicacions de com dur a terme el llançament.

-
- El peticionario será el responsable en todo momento del lanzamiento del sondeo así como de las consecuencias a nivel operativo que pudieran derivarse de la actividad realizada.
 - En todo momento cumplirá con los requisitos contemplados en SERA Apéndice 2.
 - Se notificará al Departamento de Coordinación Operativa (cop@enaire.es) la finalización y/o cancelación de los trabajos aéreos solicitados, así como cualquier modificación que alterase las condiciones en las que fueron coordinados.

NOTAM:

(D2646/17 NOTAMN
Q)LECM/QWLLW/IV/M /W /000/995/4152N00045W001
A)LECM B)1709180900 C)1709201130
D)0900-1130
E)RADIOSOUNDING. ASCENT OF FREE METEOROLOGICAL LIGHT
BALLOONS ON
415131N 0004507W
ZARAGOZA/ZUERA
BALLOONS FEATURES
TYPE: SPHERICAL
COLOUR: WHITE
DIAMETER: 6.4M
WEIGHT: APPROX. 3100GR INCLUDING SOUNDING
ASCENSIONAL SPEED: APPROX. 4.5M/S
MAXIMUM ALTITUDE: APPROX. 30312M AGL
F)SFC G)30312M AGL)

- Período de validez: del 18 al 20 de septiembre de 2017.

Saludos,



Vicky González Otón.
Jefa Dpto. Coordinación Operativa del Espacio Aéreo
C/C AESA DGAC LECM LECB

Il·lustració 7: Pàgina número dos, on s'especifiquen les característiques de la sonda i les del NOTAM. (Elaboració pròpia).