



PLE D'AMOR, VOLA!

Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.

**Un treball de recerca de
Patllari Camps Brugada
Dirigit pel professor
Josep Maria Martos
2n de Batxillerat A
INS Pere Alsius i Torrent
Banyoles, 28 de setembre de 2022**

Amb el patrocini d'

HARIBO



PLE D'AMOR, VOLA! *

Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.

***Nom de la sonda construïda en aquest treball,
batejada amb el vers d'un haiku d'Ester Enrich Coma**

Agraïments

Aquest treball de recerca no hauria estat possible sense l'ajuda de moltes persones. És per això que vull dedicar aquesta pàgina a donar les gràcies a tothom qui ha col·laborat en aquest projecte. Moltíssimes gràcies a tots.

Vull donar les gràcies a tots els professors que m'han aconsellat i guiat al llarg del projecte. Especialment al meu tutor Pep Martos, per estar allà sempre que ho he necessitat i ajudar i gestionar les parts més complicades del treball, gràcies. També vull agrair als altres professors que m'han aconsellat i donat recursos per tirar endavant amb el projecte: Guillem Jaquet, Narcís Bartis i Fina Graboleda. Gràcies. I a aquells professors que m'han animat i emprès cap endavant en tot moment mostrant un interès incondicional al projecte. Gràcies.

També m'agradaria agrair a Astrobanyoles i al CAGIP el seu interès en el projecte. Gràcies.

Vull agrair als amics, companys i coneguts que encara ara em pregunten "pel globus". Les vostres paraules, per simples o breus que fossin, m'animaven a continuar esforçant-me per aconseguir els meus objectius i, sobretot, em feien sentir valorat.

També vull agrair a Dirk Spangenberg, director general d'Haribo España SAU per recolzar des d'un bon inici el projecte i accedir a patrocinar-lo en nom d'una empresa multinacional tan gran com és Haribo. Ha estat un honor portar el nom Haribo fins a l'estratosfera. Gràcies.

I finalment, vull agrair amb tot el cor a la meva meravellosa família, per ajudar-me activament en tota l'organització del dia de l'enlairament, per col·laborar econòmicament, per mostrar una actitud participativa durant tota la durada del projecte, però sobretot per estar allà als moments més difícils i ajudar-me a tirar endavant. Ferriol, Mama, Papa, Nuri, Tiri, Sònia, Pol, Anna, Assumpta, Jaume, Aniol, Jose, Pilar, Olivia, Violeta, Andreu, Kaus, Josep, Roser, Ruben, Karen, Avi Josep, Avi Miquel, Àvia Carme i Àvia Rosa: us asseguro que no hagués acabat aquest treball de recerca sense el vostre suport i amor. Des del més profund i sincer racó del meu cor:

moltes gràcies

Abstract

La contaminación atmosférica es un problema real en la actualidad. La presencia de algunos gases de efecto invernadero en el aire ha ido en aumento en los últimos años. Pero, ¿ahí arriba, en las capas altas de la atmósfera, la concentración de estos gases aumenta, disminuye o se mantiene igual que en la superficie? En este proyecto, se diseña y construye una sonda estratosférica equipada con una estación meteorológica portátil cuya misión es registrar datos para responder a esa pregunta. Y aunque, finalmente, la misión no tuvo éxito al no recuperar la sonda una vez esta aterrizó, el proceso para conseguir hacerla despegar ha sido enriquecedor intelectualmente.

Air pollution is a real problem today. The presence of some greenhouse gases in the air has been increasing in recent years. But, up there, in the upper layers of the atmosphere, does the concentration of these gases increase, decrease, or remain the same as on the surface? In this project, a stratospheric probe equipped with a portable weather station whose mission is to record data to answer that question is designed and built. And although, in the end, the mission was unsuccessful as the probe was not recovered once it landed, the process of getting it off the ground has been intellectually enriching.

Índex

1.	Introducció	6
2.	Objectiu	7
3.	Metodologia	7
4.	Hipòtesi	8
5.	Planificació	8
6.	Marc Teòric	9
6.1.	L'atmosfera	9
6.1.1.	La troposfera	10
6.1.2.	L'estratosfera	10
6.2.	L'heli	10
6.2.1.	Enlairament i descens	11
6.3.	Gasos d'efecte hivernacle	12
6.3.1.	El diòxid de carboni	12
6.3.2.	El metà	13
7.	Materials i components	14
7.1.	La sonda	14
7.1.1.	El paracaigudes i les cordes	16
7.1.2.	El globus	17
7.2.	L'electrònica	18
7.2.1.	Les plaques base Arduino	18
7.2.2.	El termoparell MAX6675	18
7.2.3.	Baròmetre, termòmetre i higròmetre BME280	19
7.2.4.	Sensor de CO2 i TVOC CCS811	20
7.2.5.	Sensor de CH4 MQ-4	20
7.2.6.	Adaptador targeta micro-SD per Arduino i targeta micro-SD	21
7.2.7.	El sistema GPS	22
7.2.8.	La càmera de vídeo	23
7.2.9.	L'alimentació	23
8.	Pressupost i finançament	24
9.	Disseny	25
9.1.	Primeres idees	25
9.2.	Disseny alfa	26
9.3.	Disseny final	27
10.	Construcció	27
11.	Programació	29
11.1.	Programació simple: sensors funcionant individualment i en parelles	29
11.2.	Busos de comunicacions SPI i I2C	31
11.3.	L'extensor de bus I2C TCA9548A	32
11.4.	Programació del sistema	33
12.	Coordinació amb ENAIRE	39
13.	Organització del dia de l'enlairament	40
14.	Dia de l'enlairament	42
14.1.	Preparatius del dia anterior	42
14.2.	El dia de l'enlairament (crònica)	44
14.3.	Dies posteriors	49
15.	Tractament de dades	50
16.	Resultats del test	51
16.1.	Temperatures exterior i interior de la sonda	51

16.2.	Pressió i altitud	52
16.3.	Humitat	52
16.4.	Concentració de metà	53
16.5.	Concentració de CO2 i TVOC	53
17.	Discussió	54
18.	Conclusions	56
19.	Bibliografia	58
20.	Annexos	60
20.1.	Annex 1: Factures	60
20.2.	Annex 2: Acord de Patrocini	63
20.3.	Annex 3: Taula de Dades	64
20.4.	Annex 4: Notícies del dia de l'enlairament	65
20.5.	Annex 5: Galeria d'imatges de l'enlairament	67

Figura 1: HAB assembled design showing the balloon, parachute and payload (Font: ResearchGate)	7
Figura 2: Cargols de Can Japet (Font: Instagram @caliservis)	7
Figura 3: Diagrama de Gantt (Font: Pròpia)	8
Figura 4: CO2 proxy (indirect) measurements. (Font: NASA)	13
Figura 5: Capsa de poliestirè expandit (Font: Stratoflights)	15
Figura 6: Mantes tèrmiques (Font: Senditur)	15
Figura 7: Escalfadors de mans (Font: Campz)	15
Figura 8: Paracaigudes plegat (Font: Stratoflights)	16
Figura 9: Paracaigudes expandit (Font: Stratoflights)	16
Figura 10: Corda de paracaigudes (Font: Stratoflights)	16
Figura 11: Esquema sistema globus-paracaigudes-sonda (Font: Stratoflights)	17
Figura 12: Globus de làtex (Font: Stratoflights)	18
Figura 13: Placa Arduino UNO (Font: Prometec)	18
Figura 14: Placa Arduino MEGA 2560 (Font: Kubii)	18
Figura 15: Termoparell MAX6675 (Font: Amazon)	19
Figura 16: Sensor BME280 (Font: Amazon)	20
Figura 17: Sensor CCS811 (Font: Innova Didactic)	20
Figura 18: Sensor MQ-4 (Font: Amazon)	21
Figura 19: Targeta micro-SD (Font: Viquipèdia)	21
Figura 20: Adaptador Arduino per targetes micro-SD (Font: AZ-Delivery)	21
Figura 21: Mostra de les dades de data.txt recollides al 22/7 (Font: Pròpia)	21
Figura 22: Mostra de les dades de data2.txt recollides al 22/7 (Font: Pròpia)	21
Figura 23: Localitzador GPS (Font: Stratoflights)	23
Figura 24: Localitzador GPS vist des de sota (Font: Stratoflights)	23
Figura 25: Imatge capturada l'any 2017 des d'una sonda meteorològica (Font: phys.org)	23
Figura 26: Càmera de vídeo (Font: Stratoflights)	23
Figura 27: Bateria portàtil (Font: Xiaomi)	24
Figura 28: Bateria de piles (Font: Stratoflights)	24

Figura 29: Disseny de l'osset astronauta (Font: Pròpia)	25
Figura 30: Ossets astronauta al dia de l'enlairament (Font: Pròpia)	25
Figura 31: Esbós i croquis disseny alfa (Font: Pròpia)	26
Figura 32: Disseny final vist en perspectiva (sense tapa) (Font: Pròpia)	27
Figura 33: Disseny final vist en perspectiva (amb tapa) (Font: Pròpia)	27
Figura 34: Disseny final en alçat (Font: Pròpia)	27
Figura 35: Disseny final en perfil (Font: Pròpia)	27
Figura 36: Disseny final en planta (Font: Pròpia)	27
Figura 37: Esquema posició cordes a la tapa (Font: Pròpia)	28
Figura 38: Resultat final de la sonda (Font: Pròpia)	28
Figura 39: Simulació de vol <i>a priori</i> (Font: Pròpia)	39
Figura 40: Captura de pantalla del Google Earth (Font: Pròpia)	40
Figura 41: Imatge de l'estany amb la sonda pel cartell promocional (Font: Pròpia)	41
Figura 42: Cartell promocional (Versió 1) (Font: Pròpia)	41
Figura 43: Cartell promocional (Versió 2) (Font: Pròpia)	41
Figura 44: Cartell promocional (Versió 3) (Font: Pròpia)	41
Figura 45: Cartell promocional (Versió 4) (Font: Pròpia)	41
Figura 46: Cartell promocional (Versió final) (Font: Pròpia)	42
Figura 47: Fitxers data.txt i data2.txt (Font: Pròpia)	43
Figura 48: Cotxe carregat amb els materials del dia de l'enlairament (Font: Pròpia)	43
Figura 49: Taula de control (Font: Pròpia)	44
Figura 50: Procés per arreglar el sistema informàtic (Font: Pròpia)	45
Figura 51: Posta dels components electrònics a la sonda (Font: Pròpia)	46
Figura 52: Moment d'inflar el globus (Font: Pròpia)	47
Figura 53: Càlcul d'heli (Font: Pròpia)	48
Figura 54: Sonda enlairada al fons (Font: Pròpia)	49
Figura 55: Simulació de vol <i>a posteriori</i> (Font: Pròpia)	49
Figura 56: Recorregut del test 22/7 (Font: Pròpia)	50
Figura 57: Gràfic resultat test <i>Exterior Temperature</i> (Font: Pròpia)	51
Figura 58: Gràfic resultat test <i>Interior Temperature</i> (Font: Pròpia)	51

Figura 59: Gràfic resultat test <i>ExTemperature</i> + Gràfic resultat test <i>InTemperature</i> (Font: Pròpia)	51
Figura 60: Gràfic resultat test <i>Pressure</i> (Font: Pròpia)	52
Figura 61: Gràfic resultat test <i>Altitude</i> (Font: Pròpia)	52
Figura 62: Gràfic resultat test <i>Pressure</i> + <i>Altitude</i> (Font: Pròpia)	52
Figura 63: Gràfic resultat test <i>Humidity</i> (Font: Pròpia)	53
Figura 64: Gràfic resultat test <i>Methane Concentration</i> (Font: Pròpia)	53
Figura 65: Gràfic resultat test <i>CO2</i> (Font: Pròpia)	54
Figura 66: Gràfic resultat test <i>TVOC</i> (Font: Pròpia)	54
Figura 67: Rebut <i>Infotècnik</i> Bateria portatil (Font: Pròpia)	60
Figura 68: Rebut <i>Amazon</i> CCS811 (Font: Pròpia)	60
Figura 69: Albarà d'entrega <i>DHL Stratoflights</i> (Font: Pròpia)	60
Figura 70: Factura <i>Stratoflights</i> (Font: Pròpia)	62
Figura 71: Cost projecte (Font: Pròpia)	62
Figura 72: Acord de patrocini <i>HARIBO</i> (Font: Pròpia)	63
Figura 73: Taula de dades 1/2 (Font: Pròpia)	64
Figura 74: Taula de dades 2/2 (Font: Pròpia)	64
Figura 75: Notícia <i>El Punt Avui</i> (Font: <i>El Punt Avui</i>)	65
Figura 76: Notícia <i>Astrobanyoles</i> (Font: <i>Astrobanyoles</i>)	66
Figura 77-104: Imatges varies del dia de l'enlairament (Font: Pròpia)	67

1. Introducció

El cel i l'espai sempre han estat llocs fascinants per l'espècie humana. A causa de la seva inaccessibilitat sempre ha estat un lloc que ha despertat la curiositat d'innumerables ments al llarg de la història. Des d'Abbas ibn Firmàs (810-887) i les seves ales de fusta fins a les missions espacials actuals, passant pels germans Montgolfier (1740-1810 i 1745-1799) i el seu globus aerostàtic i els germans Wright (1867-1912 i 1871-1948) i el seu prototip d'avió, la humanitat ha anat conquistant el cel i l'espai.

Però aquest medi en què hem somiat i estimat tant, pot sofrir un canvi irreversible si no anem molt en compte.

Cada dia milers d'avions volen pels cels del món i milers de persones somien en arribar-hi, però avui en dia realitzar una missió d'aquest calibre té un preu que només és assequible per les grans agències espacials, a més de la petjada ecològica que suposa cremar les tones de combustible que permeten als avions i a les naus espacials enlairar-se. La petjada ecològica és un tema molt important per les generacions actuals i futures. Des de la Revolució Industrial, la presència de diòxid de carboni i altres gasos contaminants a l'aire ha anat en augment, sobretot en els nuclis urbans.

La pregunta del treball és com varia la presència de gasos d'efecte hivernacle respecte a l'altura en la qual estan. Per això en aquest treball de recerca s'enlairarà un paquet a l'estratosfera mitjançant un globus meteorològic i s'analitzarà com varia la qualitat de l'aire, entre altres, respecte a l'alçada. Així doncs, s'ha de dissenyar una capsula que tingui una estació meteorològica dins que sigui capaç d'analitzar certs paràmetres que permetin avaluar la qualitat de l'aire en diferents altituds.

Per sort, hi ha un mètode que permet enlairar paquets a un preu molt assequible i sense cremar ni una sola gota de combustible.

2. Objectiu

L'objectiu d'aquest treball de recerca és construir una estació meteorològica i enviar-la a grans altituds per veure l'evolució de les condicions climàtiques en funció de l'altura, especialment les concentracions de diòxid de carboni i gas metà.

3. Metodologia

Aquesta estació meteorològica ha de ser capaç de detectar la temperatura, la pressió atmosfèrica, la humitat i les concentracions de metà i diòxid de carboni.

Per aconseguir-ho es construirà un sistema constituït d'una capsa on hi ha tot el material per recollir les dades i assegurar l'èxit de la missió, un paracaigudes que evita els danys en el descens i un globus meteorològic emplenat d'heli que enlaira tot el muntatge a una altitud d'entre 30.000 i 35.000 metres. El sistema globus-paracaigudes-sonda està disposat de la següent manera: el globus estira tot l'equip, sota el globus hi ha el paracaigudes i lligat al paracaigudes hi ha la caixa. Tot està connectat amb una corda especial.

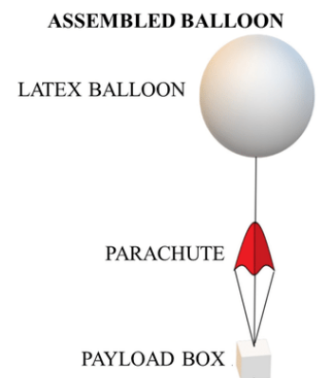


Figura 1: HAB assembled design showing the balloon, parachute and payload (Font: ResearchGate)

A més, hi ha la intenció de posar un accessori molt especial al damunt de la sonda com a símbol de les tradicions del territori. Es tracta d'un *cargol*, una popular peça de brioixeria (una mena "d'ensaïmada inflada" coberta de sucre o xocolata) elaborada artesanalment a la fleca Can Japet de Banyoles, i que s'enlairarà amb ella.



Figura 2: Cargols de Can Japet (Font: Instagram (@joferrents))

4. Hipòtesi

Pot ser que els paràmetres corresponents a les concentracions de diòxid de carboni i gas metà variïn en funció de l'altura. És possible que la concentració de diòxid de carboni disminueixi en pujar d'altitud perquè en ascendir la distància des dels punts on es genera aquest gas en altes quantitats a causa de l'acció humana augmenta i a més la densitat del diòxid de carboni és major a la de l'aire, el que fa que no tingui tanta tendència a ascendir. Pel que fa al gas metà, és possible que es mantingui bastant constant la seva concentració, perquè si bé en altes altituds també es troba molt lluny d'on es produeix, la seva densitat és molt inferior a la de l'aire.

5. Planificació

Per poder completar un projecte d'aquesta magnitud, s'elabora un diagrama de Gantt per planificar les dates del llarg de l'any en les quals s'anirà realitzant cada part del projecte.

Diagrama de Gantt

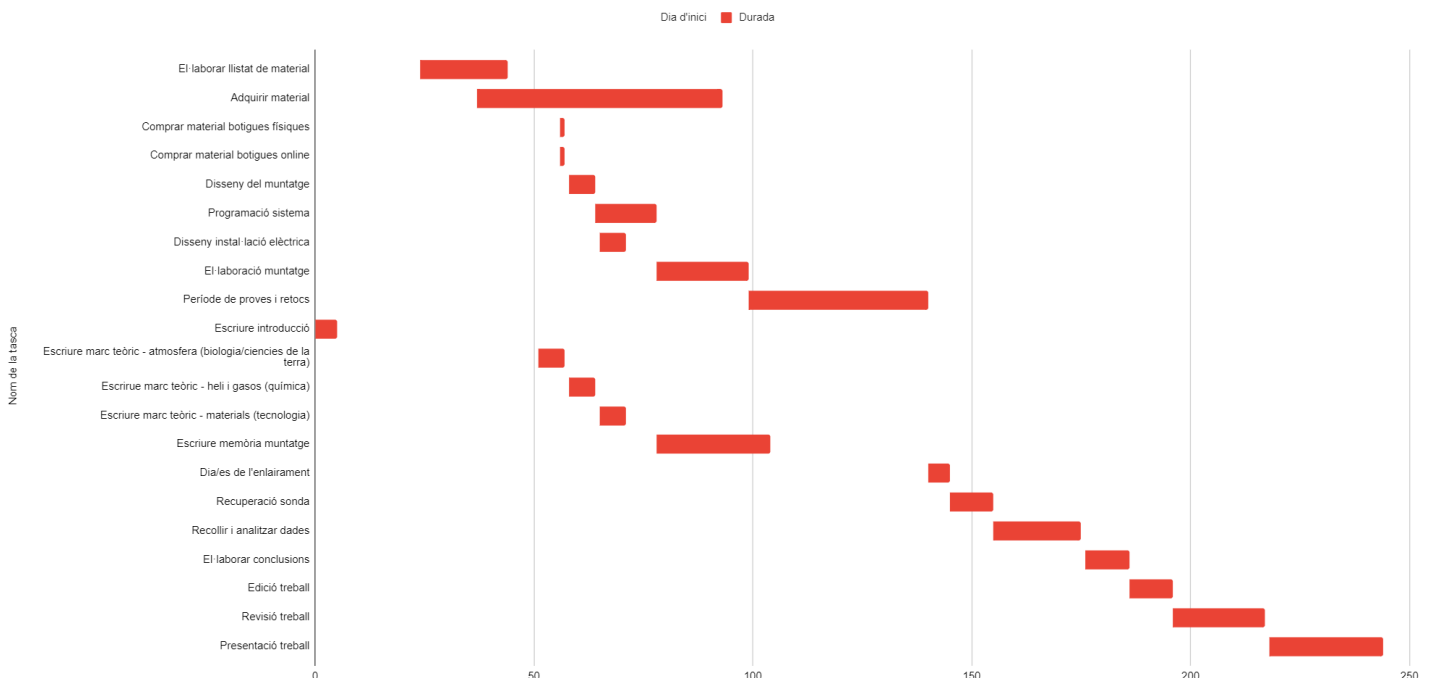


Figura 3: Diagrama de Gantt (Font: Pròpia)

El projecte es divideix en tres diferents parts: una part pràctica, en la qual es dissenya i es programa la sonda; i dues parts escrites, un preenlairament i un altre postenlairament. La part pràctica inclou elaborar el llistat de material, adquirir el material, el disseny del muntatge, la programació del sistema, la realització del muntatge i el període de proves i retocs. La part escrita preenlairament engloba l'escriptura de la introducció, del marc teòric i de la memòria del muntatge i la programació. Finalment, en la part escrita postenlairament hi ha la recuperació de la sonda, el tractament i l'anàlisi de dades, l'elaboració de conclusions i finalment l'edició i revisió del treball.

Encara que aquest diagrama mostri uns intervals de dates en els quals s'han de fer diverses tasques, aquestes només són orientatives. Durant el treball, algunes tasques ocupen més o menys temps del previst, i altres activitats alienes al projecte també afecten la modificació d'algunes dates, com per exemple el dia del llançament que s'endarrereix gairebé un mes. Finalment, la funció principal d'aquesta planificació és saber l'ordre en el qual cal fer les tasques i tenir una referència orientativa del temps que pot ocupar cada una.

6. Marc Teòric

6.1. L'atmosfera

L'atmosfera terrestre és la capa de gasos que cobreix tot el planeta Terra. Està formada principalment per nitrogen (78%) i oxigen (21%), altres gasos que la formen en menys concentració són l'argó (0,93%), el diòxid de carboni (0,038%), el vapor d'aigua (en quantitats variables, però de mitjana 1,247%) i petites concentracions d'hidrogen, heli i altres gasos nobles. Està situada des de la superfície terrestre fins a la línia de Karman, als 100 km d'altitud, que és la frontera entre l'atmosfera i l'espai. L'atmosfera és vital per la supervivència de la vida a la Terra. Els científics la divideixen en diverses capes que es distingeixen per la seva altitud i les seves característiques. Les cinc capes principals en les quals es divideix l'atmosfera de la Terra són la troposfera, l'estratosfera, la mesosfera, la termosfera i l'exosfera. Cada capa presenta diferents temperatures, gasos, vents... Però en aquest treball em centraré únicament en la troposfera i l'estratosfera, que és per on passarà la sonda.

6.1.1. La troposfera

La troposfera és la capa de l'atmosfera més baixa, és on vivim les persones; està en contacte amb la superfície terrestre i té un gruix que pot variar entre els 8 quilòmetres en els pols i 17 quilòmetres a l'equador. És on es produeixen els fenòmens meteorològics. Aquí, la temperatura de l'aire disminueix en funció de l'altura; això es deu al fet que el terra absorbeix la radiació del Sol i escalfa les capes d'aire més baixes. Aquesta diferència és molt gran: la temperatura a la superfície és de mitjana 15 °C, i al final de la troposfera arriba als -63 °C. La troposfera està formada per un 78,08% de nitrogen, un 20,95% d'oxigen, un 0,93% d'argó, un 0,04% de diòxid de carboni i un petit percentatge d'altres gasos. És fàcil d'explicar per què aquests percentatges no varien gaire dels de tota l'atmosfera, ja que la troposfera conté el 80% de la massa total de l'atmosfera. La troposfera també conté vapor d'aigua, que prové de l'evaporació de l'aigua de la Terra.

6.1.2. L'estratosfera

L'estratosfera se situa entre els 15 i 50 quilòmetres sobre el nivell del mar i té aproximadament un 10% de la massa de l'atmosfera. En aquesta zona s'hi forma la capa d'ozó. Entre els 15 i 40 quilòmetres s'hi reuneix el 90% de l'ozó present a l'atmosfera que absorbeix un 98% de la radiació ultraviolada que rep la Terra. Aquests raigs ultraviolats solars transformen l'oxigen en ozó en una reacció exotèrmica que crea la capa d'ozó; això provoca un curiós augment de la temperatura a mesura que l'altitud augmenta. Aquesta capa té una temperatura que va des dels -60°C a la seva alçada mínima fins als -15 °C a la seva alçada màxima.

6.2. L'heli

L'heli és el segon element de la taula periòdica i està representat pel símbol He, forma part dels gasos nobles. Està format per dos protons, dos neutrons i dos electrons. Els seus punts d'ebullició i de fusió són dels més baixos dels elements (4,22 °K i 0,95 °K respectivament) així que, deixant de banda condicions extremes, només existeix com un gas incolor, insípid, inodor i que no és tòxic. Encara que sigui incolor, si és col·locat en un camp elèctric d'alt voltatge, desprèn una llum taronjada.

Si he decidit emprar l'heli com a gas que fa enlairar el globus és per la seva densitat, que, en condicions estàndard, és de 0,1786 g/L que és molt menor a la densitat de l'aire, que és d'1,225 g/L de mitjana, ja que varia en funció de la pressió i de la temperatura. Hi ha gasos que són més lleugers que l'heli, com l'hidrogen que té una densitat de 0,08988 g/L, una mica més de la meitat que l'heli. Amb tot, si no he decidit utilitzar l'hidrogen és perquè és extremadament inflamable i podria posar en risc l'èxit de la missió. L'heli, en canvi, és un gas noble i no tendeix a reaccionar amb res, el que el converteix en el candidat ideal per ocupar l'espai de dins del globus i enlairar-lo.

6.2.1. Enlairament i descens

El globus s'enlaira gràcies el principi d'Arquimedes, que diu:

“Un cos submergit en un fluid qualsevol experimenta una força vertical cap amunt, anomenada empenyiment, que és equivalent al pes del fluid que ha desplaçat”.

Comprent això es veu que l'aire és un fluid i el globus desplaça un volum d'aquest fluid. El globus és emportat cap amunt per l'empenyiment, ja que el seu pes no és suficient per mantenir-lo a terra. La massa de la sonda es pot calcular multiplicant la densitat de l'heli pel volum del globus i sumant-hi la massa del globus i de tot el que porta lligat. Per tant, les forces que actuaran a la sonda seran el pes i el fregament amb l'aire que l'estiraran cap avall i l'empenyiment que l'estirarà cap amunt. L'empenyiment serà molt més gran que la suma del pes i del fregament amb l'aire (aquest darrer gairebé negligible).

A l'hora d'iniciar el descens, l'heli de dins del globus seguirà la llei dels gasos ideals. Aquesta llei, que és la combinació de les lleis de Boyle, Charles, Gay-Lussac i Avogadro, es representa amb la següent equació:

$$pV = nRT$$

On p representa la pressió, V representa el volum que ocupa un gas, n és la quantitat d'aquest gas (en mols), R és la constant universal dels gasos (que té un valor d'aproximadament 8,31 J/ [mol K]) i T representa la temperatura en la qual es troba el gas.

Com que la pressió i el volum estan al mateix costat de l'equació i es multipliquen, són inversament proporcionals. És a dir, quan un dels dos augmenta,

l'altre disminueix. Això es tradueix físicament al fet que el volum del gas augmenta quan la pressió disminueix. El gas que està atrapat dins el globus augmentarà el seu volum quan la pressió atmosfèrica disminueix. La pressió atmosfèrica en un punt disminueix en funció de l'altura perquè és causada per la massa d'aire que hi ha al damunt. Com més amunt es troba aquest punt, menys massa d'aire té al damunt (i més a sota seu). El gas, doncs, s'expandeix a mesura que el globus es va enlairant. Finalment, hi ha un moment en el qual el globus no és capaç d'expandir-se més, llavors esclata i deixa caure la sonda. La sonda cau lentament pel paracaigudes que l'aguanta.

6.3. Gasos d'efecte hivernacle

L'efecte hivernacle és el procés pel qual la Terra roman calenta. Consisteix en com la radiació solar entra a l'atmosfera i escalfa la Terra, però no tota la radiació és capaç de sortir-ne perquè es troben amb una sèrie de gasos que els impedeixen el pas, de manera similar a com un hivernacle deixa entrar la radiació solar, la calor, però no la deixa marxar. És per això que rep aquest nom.

Aquests gasos que dificulten la sortida de la radiació són coneguts com a gasos d'efecte hivernacle. Encara que siguin necessaris per permetre la vida al planeta, la gran activitat industrial, entre altres factors, ha augmentat la presència d'aquests gasos, contribuint així a l'escalfament global. Alguns d'aquests gasos es troben de forma natural a l'atmosfera, i d'altres hi apareixen causats per les activitats humanes.

Els gasos atmosfèrics que contribueixen a l'efecte hivernacle són el diòxid de carboni (CO_2), el metà (CH_4), l'òxid nítrós (NO_2), el vapor d'aigua, l'ozó, els halocarbons com els hidrofluorocarburs (HFC), els perfluorocarburs (PFC), l'hexafluorur de sofre (SF_6) i el trifluorur de nitrogen (NF_3). Però els dos més importants i els quals es posarà més l'èmfasi en aquest treball són el diòxid de carboni i el metà.

6.3.1. El diòxid de carboni

El diòxid de carboni és una substància molecular formada per dos àtoms d'oxigen i un de carboni enllaçats mitjançant un enllaç covalent. A temperatura ambient es presenta en estat gasós, sent incolor, inodor i insípid. És indispensable

per la vida, ja que per les plantes i les algues es redueix en una acció combinada amb la llum i la clorofil·la en un procés anomenat fotosíntesi. A més a més, és un dels productes de la combustió de materials orgànics; això fa que en processos industrials es puguin generar grans quantitats d'aquest gas. En altes concentracions pot causar una intoxicació que pot arribar a ser mortal. El diòxid de carboni en estat gasós té una densitat d'1,976 g/L.

El diòxid de carboni s'utilitza en molts camps diferents, els més destacats són la indústria química i l'alimentària, tot i que també s'utilitza en agricultura i medicina entre altres.

La presència de nivells de CO₂ a l'atmosfera ha anat augmentat al llarg dels últims segles. La crema de combustibles fòssils, la desforestació, l'agricultura, la ramaderia i la mineria són les principals causes antropogèniques de l'augment de CO₂ a l'atmosfera.

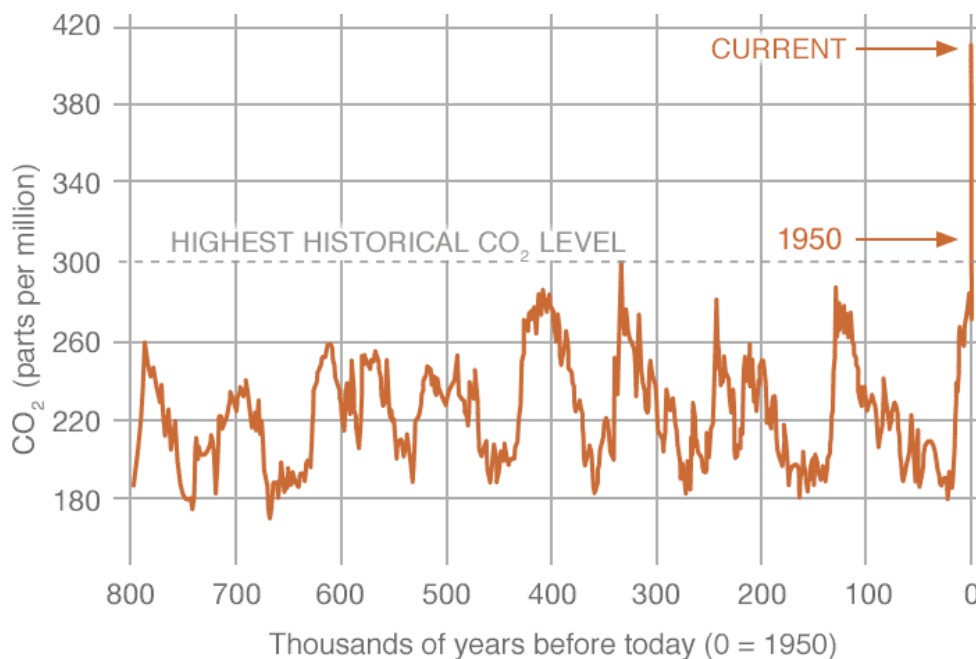


Figura 4: CO₂ proxy (indirect) measurements. (Font: NASA)

6.3.2. El metà

El metà és un compost químic que està format per un àtom de carboni i quatre àtoms d'hidrogen, l'àtom de carboni està enllaçat amb cada un dels àtoms d'hidrogen per un enllaç covalent. És un hidrocarbur saturat, sent el més senzill de la sèrie dels alcans. En temperatura ambient és un gas, que encara que no sigui tòxic, és altament inflamable i pot ser explosiu quan és barrejat amb l'aire. Es pot trobar a la natura com a producte final de la descomposició anaeròbica de la matèria

orgànica. Les flatulències estan formades de gas metà. El metà té una densitat de 0,717 g/L quan es troba en estat gasós.

El metà s'utilitza principalment com a combustible per a les turbines de gas i generadors de vapor que s'utilitzen per a la generació elèctrica. També s'usa com a combustible per a la cuina i la calefacció a les llars, tot i que en aquest context s'anomena gas natural. El metà també es fa servir industrialment per a la producció química d'hidrogen, metanol i àcid acètic entre altres.

El metà és un gas d'efecte hivernacle molt important. L'emissió d'una tona de metà té 23 vegades l'impacte d'una tona de diòxid de carboni al llarg d'un segle. La concentració de gas metà ha augmentat en un 150% des del 1750, encara que el període on hi ha hagut més metà a l'atmosfera terrestre va ser fa 3.500 milions d'anys, quan la concentració de metà era mil vegades superior a l'actual. El metà, tot i formar-se a la superfície, és transportat a l'estratosfera per l'aire ascendent dels tròpics. Gairebé la meitat de l'emissió total de gas metà és degut a l'acció humana.

7. Materials i components

7.1. La sonda

A l'hora de dissenyar la sonda ja tenia bastant clar des d'un bon inici quins materials volia fer servir. L'estructura principal havia de ser una capsula de poliestirè expandit, més conegut com a porexpan, per tres principals raons: la seva lleugeresa, la seva capacitat com a aïllant tèrmic i la seva capacitat d'absorbir impactes. Interessa molt que la sonda sigui el màxim lleugera possible per utilitzar un menor volum d'heli, a més el paracaigudes i les seves cordes no poden suportar massa pes. Que la sonda sigui un bon aïllant tèrmic és essencial per mantenir la temperatura estable a dins de la capsula i així evitar que l'electrònica deixi de funcionar a les temperatures baixes les quals es trobarà. Que sigui resistent als cops també és important per evitar que la sonda es faci malbé al moment de l'impacte amb el terra i així poder perdre totes les dades que s'hagin pogut recollir. En definitiva, una capsula de poliestirè expandit és la millor opció per formar l'estructura principal de la sonda.



Figura 5: Capsa de poliestirè expandit (Font: Stratoflights)

Tot i que el porexpan sigui un bon aïllant tèrmic, volia assegurar-me que la temperatura a l'interior de la sonda no disminuís massa. És per això que vaig decidir apostar per dues mesures més. La capsa de poliestirè expandit està envoltada d'una manta tèrmica feta de plàstic aluminitzat. Aquests tipus de mantes, que s'utilitzen per combatre hipotèrmies i cops de calor, tenen dues cares que es comporten de manera diferent: una de daurada i una de platejada. La cara daurada no reflecteix ni la llum ni la calor, és a dir que els absorbeix; la cara platejada, en canvi, fa justament el contrari. Així doncs, envoltar la capsa amb aquesta manta deixant la cara daurada mirant cap a fora, ajuda a mantenir la temperatura de la capsa.

L'altra mesura que he decidit fer servir per escalfar l'interior de la sonda és l'ús d'escalfadors de mans. Els escalfadors de mans són unes bossetes plenes d'òxid de ferro III (Fe_2O_3) que en entrar en contacte amb l'oxigen de l'aire produeixen una reacció química exotèrmica, és a dir, desprenen calor. Aquestes bossetes són utilitzades pels excursionistes que volen mantenir les seves mans calentes dins dels guants i desprenen calor durant unes dotze hores. Posant-ne un parell a dins de la sonda abans del llançament aconseguiré augmentar la temperatura interior durant tot el vol.



Figura 6: Mantes tèrmiques (Font: Senditur)



Figura 7: Escalfadors de mans (Font: Campz)

7.1.1. El paracaigudes i les cordes

Lligat al damunt de la sonda hi va el paracaigudes. El paracaigudes, comprat al mateix lloc que el globus i les cordes, és capaç d'aguantar un pes de 2500 grams, suficient per aguantar tot el muntatge de la sonda, que hauria de pesar entre 1000 i 1200 grams. Un cop el globus explota, el paracaigudes ja es troba obert per la disposició en la qual el sistema globus-paracaigudes-sonda ha estat estructurat. Llavors, el paracaigudes frena la velocitat de la sonda durant el descens fins que arriba a terra.



Figura 8: Paracaigudes plegat (Font: Stratoflights)



Figura 9: Paracaigudes expandit (Font: Stratoflights)

Les cordes que aguanten tot el sistema tenen una resistència a l'esquinçament de 180 N, un diàmetre d'1,2 mm i estan fetes de polietilè. Per raons legals, la resistència a la tracció de la corda ha de ser inferior a 230 N, si no la sonda deixaria de ser considerada "lleugera" i hauria de passar un control molt més rigorós per aconseguir el permís d'enlairament. En aquest cas, el fabricant assegura que la corda emprada té una resistència a la tracció inferior als 230 N, tot i que no l'especifica.



Figura 10: Corda de paracaigudes (Font: Stratoflights)

El globus i el paracaigudes estan separats per 5 metres de corda, i el paracaigudes i la capsa per 10 metres. Els diferents components estan lligats amb una sèrie de nusos que utilitzen el fregament per impedir que res es desprengui. La disposició és la que es veu a la imatge.



Figura 11: Esquema sistema globus-paracaigudes-sonda (Font: Stratoflights)

7.1.2. El globus

L'encarregat d'enlairar tot el muntatge és un globus de làtex omplert d'heli. Té una massa d'uns 1600 g i una càrrega útil també de 1600 g, suficient per a la nostra sonda. Té un diàmetre de 2 metres i pot arribar a una altitud màxima de 36000 metres a una velocitat d'entre 4 a 6 m/s (14,4 a 21,6 km/h). Haurà de ser emplenat amb una quantitat d'heli calculada. Tothom que toqui el globus ha de fer servir guants perquè els olis naturals de la pell poden fer malbé el làtex del qual està compost. Amb un cost de 229€ és el segon component més car del projecte, a davant seu només s'hi troba l'heli amb el qual està omplert. Aquest heli anirà augmentant el seu volum al reduir-se la pressió atmosfèrica fins que el globus no pugui deformar-se més i acabi explotant, deixant caure la resta del sistema paracaigudes-sonda.



Figura 12: Globus de látex (Font: Stratoflights)

7.2. L'electrònica

7.2.1. Les plaques base Arduino

Són el cervell del sistema. S'utilitzarà dues plaques de models diferents: Arduino UNO i Arduino MEGA 2560; l'única diferència entre les dues és el nombre de pins disponibles en cada una, tenint la UNO 13 pins digitals i 5 analògics (imatge esquerra) i la MEGA 53 digitals i 15 analògics (imatge dreta). Les dues plaques tenen un codi molt semblant.

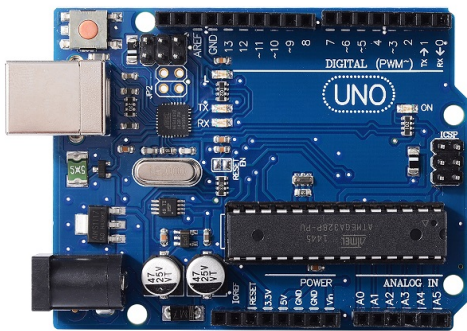


Figura 13: Placa Arduino UNO (Font: Prometec)



Figura 14: Placa Arduino MEGA 2560 (Font: Kubii)

7.2.2. El termoparell MAX6675

Un termoparell és un aparell consistent de dos fils metàl·lics de diferents materials que estan units per un dels seus extrems. Quan la unió dels dos metalls s'escalfa o es refreda, és a dir, canvia de temperatura, es produeix una tensió proporcional a la variació de temperatura (efecte termoelèctric o *Seebeck*). Aquesta

tensió és molt petita, de l'ordre dels microvolts, però mesurant-la es pot calcular la temperatura a la qual es troba la unió dels dos metalls.

El sensor que faig servir és el MAX6675 que és un termoparell adaptat a Arduino. Els termoparells es venen en diferents tipus que són funcionals en diferents rangs de temperatura. El que faig servir és un tipus K, això vol dir que accepta un rang de temperatures des de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, més que suficient per aguantar els $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ mínims que hi ha a l'estratosfera. En la sonda, la unió dels metalls es troba a l'exterior i s'encarrega de mesurar les temperatures de fora la capsula.

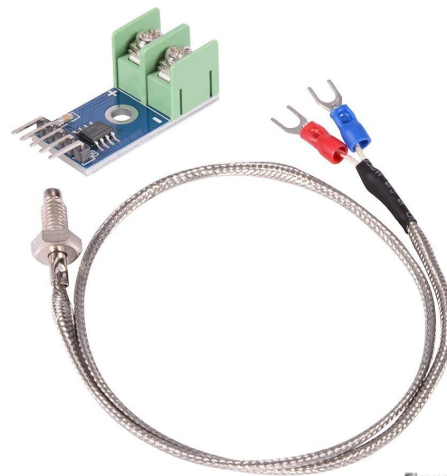


Figura 15: Termoparell MAX6675 (Font: Amazon)

7.2.3. Baròmetre, termòmetre i higròmetre BME280

El BME280 és un sensor desenvolupat per Bosch que permet mesurar la pressió atmosfèrica, la temperatura i la humitat. De fet, té un germà petit més econòmic: el BMP280, el qual vaig tenir en compte a l'hora de fer el projecte; però finalment em vaig decantar per aquest model al ser capaç de registrar la humitat de l'entorn.

Aquest sensor resulta especialment interessant per al projecte, i és per la seva capacitat de mesurar la pressió atmosfèrica, que en ser un paràmetre que defineix la massa d'aire que hi ha verticalment sobre un punt em permet deduir de manera aproximada l'altitud a la qual es troba la sonda un cop calibrat correctament el sensor, i així poder saber a quina altura corresponen els altres paràmetres.

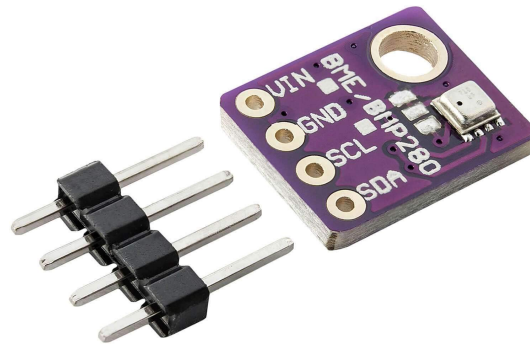


Figura 16: Sensor BME280 (Font: Amazon)

7.2.4. Sensor de CO₂ i TVOC CCS811

Per poder mesurar la concentració del total de compostos orgànics volàtils (TVOC) i de diòxid de carboni equivalent (eCO₂) he decidit emprar el sensor CCS811, que serveix per mesurar la qualitat de l'aire. Encara que sigui un sensor dissenyat per interiors, és l'únic disponible capaç de detectar aquests gasos. Tot i això, té un rang de mesurament generós: de 400 a 8192 parts per milió (ppm) en el cas de l'eCO₂ i de 0 a 1187 parts per bilió (ppb) en TVOC. Però requereix un escalfament previ perquè funcioni, és a dir: ha de funcionar uns vint minuts abans del llançament perquè reculli les dades correctament.

Aquest sensor, juntament amb el BME280, són els responsables del fet que hagi hagut de fer servir dues plaques Arduino: ja que ambdós utilitzen el canal de comunicació I2C: cosa que fa que siguin "incompatibles".

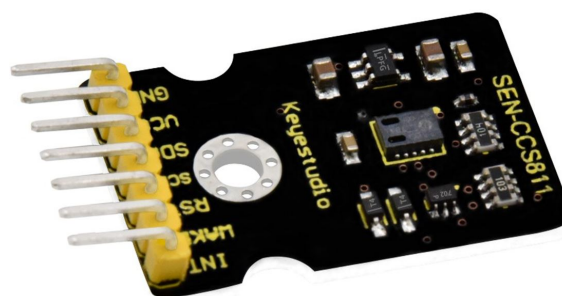


Figura 17: Sensor CCS811 (Font: Innova Didactic)

7.2.5. Sensor de CH₄ MQ-4

La família de sensors MQ són dispositius dissenyats per detectar la presència de diferents components químics en l'aire. N'hi ha diferents models, i cada un és

capaç de detectar una substància o unes altres. El que utilitzo, l'MQ-4, és capaç de detectar metà i gas natural comprimit (GNP), però aquest últim no ens interessa.

Els sensors MQ contenen un sensor electroquímic que varia la seva resistència en entrar en contacte amb els gasos. Per poder calibrar correctament aquest sensor es necessita una atmosfera perfecta lliure de qualsevol mena de gasos que el sensor pugui detectar. Això és inviable en un projecte de baix pressupost com aquest; per tant, la sonda no serà capaç de concretar la concentració de gas metà i només donarà un valor numèric que augmentarà quan el sensor estigui en contacte amb el gas metà.



Figura 18: Sensor MQ-4 (Font: Amazon)

7.2.6. Adaptador targeta micro-SD per Arduino i targeta micro-SD

Tota la informació que els sensors anteriors recullen s'emmagatzema en dues targetes micro-SD, una per cada placa, mitjançant un adaptador fet expressament per Arduino.

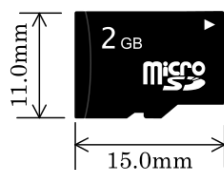


Figura 19: Targeta micro-SD (Font: Viquipèdia)

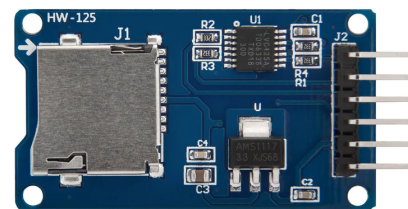
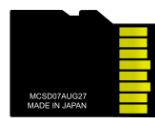


Figura 20: Adaptador Arduino per targetes micro-SD (Font: AZ-Delivery)

Les dades es guarden en un fitxer .txt de la manera que es veu en les figures 21 i 22.

```
ExTemperature(°C), InTemperature (°C), Pressure(hPa), Altitude(m), Humidity(%), Methane(ppm)
```

```
32.00,31.38,995.85,145.88,49.14,548.70
```

Figura 21: Mostra de les dades de data.txt recollides al 22/7 (Font: Pròpia)

```
CCS811 Data CO2(ppm), TVOC
```

```
CO2: 400ppm, TVOC: 0
```

Figura 22: Mostra de les dades de data2.txt recollides al 22/7 (Font: Pròpia)

*Aquestes dades es van recollir a l'assaig general del dia 22/7.

A l'inici del fitxer, s'escriuen automàticament al moment d'iniciar-se el programa el nom dels diferents paràmetres que es guardaran i les seves unitats de mesura. Seguidament, es guarden cada vint segons els diferents valors ordenats com han sigut presentats anteriorment separats per una coma.

El format en què es guarden les dades no ha estat escollit aleatòriament. Es tracta d'una manera d'emmagatzemar dades coneguda com a *comma-separated values*, o CSV per abreviar. Els fitxers CSV permeten passar de text a taula fàcilment, on les columnes se separen per comes i les files per salts de línia. Així un cop recuperada la sonda i les dades, només tardaria uns segons a poder passar totes les dades en un full de càlcul. Això facilita enormement tot el procés del tractament de dades, ja que poder guardar les dades en un fitxer .txt és molt més fàcil i eficient, i gràcies al format CSV es poden passar aquests valors a un full de càlcul amb molta facilitat i agilitzar el procés d'anàlisi de dades.

7.2.7. El sistema GPS

Per facilitar la localització de la sonda un cop hagi aterrat, s'hi ha instal·lat un petit aparell desenvolupat per una empresa alemanya que serveix com a localitzador GPS. Per fer-lo funcionar, cal posar-li una targeta SIM que he aconseguit donant-me d'alta a una companyia telefònica. Després d'enviar una sèrie d'SMS al número de la targeta per connectar el meu telèfon amb l'aparell GPS, ja es pot veure la posició de l'aparell en temps real des d'una aplicació instal·lada a un telèfon mòbil. En posar-lo a dins de la sonda el dia del llançament, puc saber la seva posició en tot moment.

L'únic problema que presenta és que com que el sistema GPS funciona amb cobertura mòbil, quan el globus assoleix certa altitud, es perd el senyal. Però es torna a recuperar un cop la sonda torna a descendir. És una de les parts més importants del projecte, ja que permet recuperar la sonda, i les dades recollides un cop hagi aterrat. Encara que hi hagi el sistema GPS instal·lat, com que és fàcil que falli i perdre la sonda, es fan una sèrie de simulacions per estimar al lloc d'aterratge de la sonda.



Figura 23: Localitzador GPS (Font: Stratoflights)



Figura 24: Localitzador GPS vist des de sota (Font: Stratoflights)

7.2.8. La càmera de vídeo

A dins de la sonda també hi ha una càmera de vídeo per poder filmar tot el vol, ja que des de l'altura que arriba la sonda, uns 35 km sobre el nivell del mar, es pot apreciar la curvatura de la terra. La càmera escollida és una càmera esportiva bastant econòmica a causa del gran risc de perdre la sonda tot i el sistema GPS. Va fixada a dins de la sonda i el seu ocular surt per un forat per poder gravar l'exterior. Estarà connectada a bateries per assegurar que no deixi de filmar per quedar-se sense energia durant el vol.



Figura 25: Imatge capturada l'any 2017 des d'una sonda meteorològica (Font: phys.org)



Figura 26: Càmera de vídeo (Font: Stratoflights)

7.2.9. L'alimentació

Per alimentar d'energia tot el sistema he instal·lat una bateria portàtil de 10Ah que alimentarà tota l'electrònica. Les úniques parts de l'electrònica que no estan connectades a aquesta font d'alimentació són el sistema GPS, que té una bateria integrada, i la càmera de vídeo, que encara que tingui una bateria integrada anirà connectada a una bateria amb piles (tal com s'acaba d'explicar).



Figura 27: Bateria portàtil (Font: Xiaomi)



Figura 28: Bateria de piles (Font: Stratoflights)

8. Pressupost i finançament

Un cop escollits tots els components i elaborat el llistat de material, toca fer el pressupost. La majoria de material s'ha adquirit en botigues d'Internet, siguin generals com Amazon, o més especialitzades com Stratoflights. El primer pressupost ronda al voltant dels 800 €, però en aquest pressupost encara no hi ha sumat l'heli perquè en aquell moment no es sabia el seu preu. Malgrat això, s'estima que tindrà un cost al voltant dels 120 € i, per tant, es posen 1000 € al pressupost final per tenir marge d'error. Finalment, el cost total del projecte ascendeix fins als 1470,35 €. Tots els detalls del pressupost es troben als apèndixs.

Aquesta xifra és massa elevada per mi, però lluny d'abandonar al projecte em vaig decidir a anar a buscar un patrocinador. I aquí és on entra Haribo, patrocinador principal del meu treball de recerca. El dijous 12 de maig, em reuneixo amb Dirk Spangenberg, director general d'Haribo España, SAU, per parlar de l'acord de patrocini del projecte. Amb motiu del Centenari dels populars "ossets d'or", acordem dissenyar un osset especial per l'ocasió, vestit d'astronauta, posar-lo a la sonda i enviar-lo a l'estratosfera i grabar un vídeo per patrocinar la marca i penjar-ho a les xarxes com a publicitat a canvi que el projecte rebés 1000 € per pagar el material. Haribo no financia tot el projecte complet perquè si bé en el moment en el qual es firma l'acord el pressupost estava fixat als mil euros. La quantitat restant fou majoritàriament abonada per particulars, com familiars, i també per mi mateix.



Figura 29: Disseny de l'osset astronauta (Font: Pròpia)



Figura 30: Ossets astronauta al dia de l'enlairament (Font: Pròpia)

9. Disseny

El disseny i la construcció de la sonda que permet portar tots els aparells necessaris a les altituds en les quals es du a terme l'experiment és una de les parts més importants del projecte. Trobar un disseny compacte i lleuger, però on també càpiguen tots els components pot resultar un procés llarg. A més a més, la sonda ha de ser capaç de suportar les condicions extremes que hi ha a les altituds on ha d'arribar.

9.1. Primeres idees

La primera idea de la sonda consisteix en una capsa de porexpan senzilla on a dins es col·loquen tots els instruments necessaris per a la mesura dels paràmetres que es volen estudiar. Es tracta d'un disseny molt senzill que no va arribar ni a ser un esbós a causa dels molts inconvenients que té. Els principals problemes que presenta són el poc aïllament tèrmic i la impossibilitat de grabar un vídeo al no tenir cap obertura per la càmera. D'aquests inconvenients en neix una segona proposta que presenta una manta tèrmica que envolta la sonda i així ajuda a mantenir l'escalfor a dins. Pel que fa a l'enregistrament d'imatges, un forat de la mida de l'ocular de la càmera de vídeo es troba en un dels costats de la capsa. Aquesta segona, tot i ser molt convincent, té un punt que em fa pensar en un nou disseny. La por que tinc amb la segona idea és que la manta tèrmica no deixi entrar els gasos la concentració dels quals es vol estudiar en aquest experiment. Per solucionar això

s'haurien de fer uns forats a la capsa que permetin l'entrada d'aire i dels gasos. El problema que hi ha en aquesta solució és que llavors l'aïllament perd moltíssima efectivitat i posa en perill el funcionament de la placa i tot el sistema a l'estar a temperatures extremadament baixes (al voltant dels $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$).

9.2. Disseny alfa

El tercer disseny aconseguix solucionar aquests dos problemes mitjançant una capsa de dos pisos. En el pis de baix, que serà el que està més ben aïllat tèrmicament, hi ha la càmera, les bateries, les plaques Arduino i les targetes micro-SD. En el segon pis hi ha dues petites obertures, en costats oposats de la capsa, per on poden entrar els gasos que s'han de mesurar. Aquesta segona planta també està aïllada tèrmicament i conté escalfadors de mans que permeten que la temperatura de dins de la caixa es mantingui més elevada que la de l'exterior sense perjudicar l'entrada de gasos. És en aquest pis on hi ha els sensors CCS811, MQ-4 i BME280. A més a més, en totes les plantes hi ha un termòmetre per poder mesurar com de bé ha funcionat l'aïllament tèrmic, respecte a un altre termòmetre situat a la part superior, al "terrat".¹ D'aquest disseny se'n fa un esbós i un croquis més detallat.

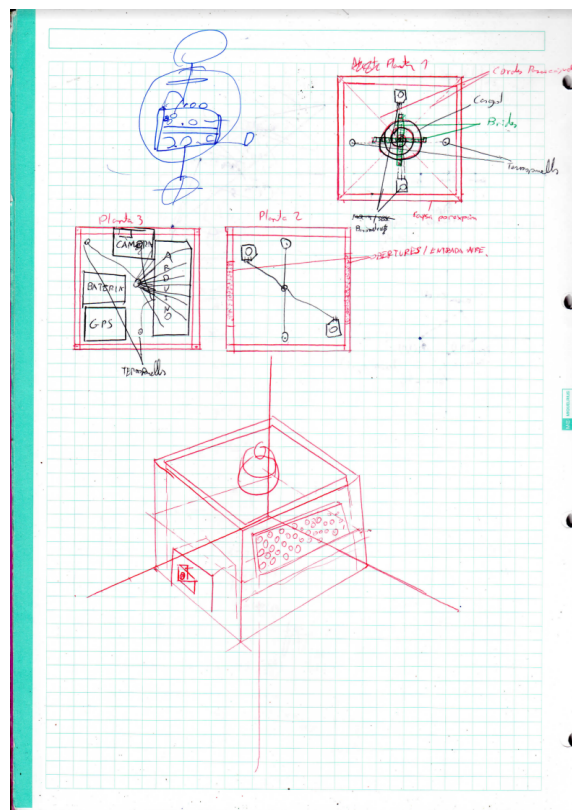


Figura 31: Esbós i croquis disseny alfa (Font: Pròpia)

¹ A la part superior de la sonda, al "terrat" també hi haurà lligat amb brides el cargol de Can Japet esmentat.

Malgrat tot, la impossibilitat de trobar una capsa de poliestirè expandit amb les característiques d'aquest disseny impulsa a arribar a una nova idea que fusioni característiques del segon i tercer disseny per arribar a un disseny definitiu.

9.3. Disseny final

El disseny de la sonda que s'enlairà consisteix en una capsa cúbica de poliestirè expandit amb un volum de 8,7 litres i, per les parets gruixudes que té, una capacitat de 3,3 litres. Està recoberta per una manta tèrmica que funciona com a aïllant tèrmic. Per solucionar el problema de l'entrada d'aire, s'aprofiten i s'eixamplen els forats de la tapa per on passen les cordes del paracaigudes i el termòmetre exterior (MAX6675). Com que aquest disseny és el definitiu, es dibuixa un model 3D de la sonda.

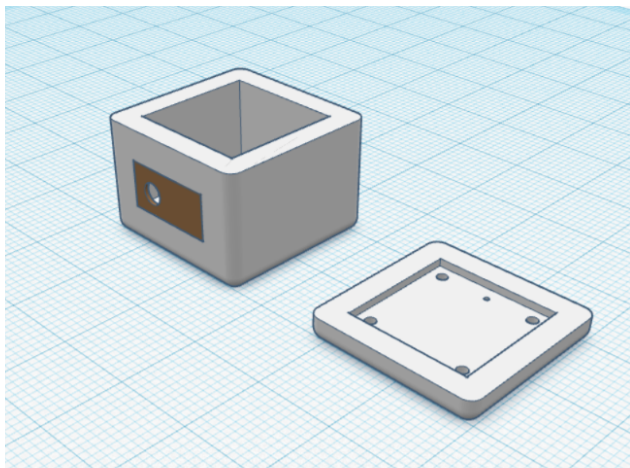


Figura 32: Disseny final vist en perspectiva (sense tapa) (Font: Pròpia)

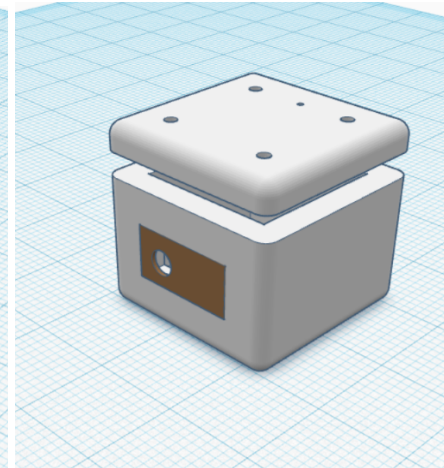


Figura 33: Disseny final vist en perspectiva (amb tapa) (Font: Pròpia)



Figura 34: Disseny final en alçat (Font: Pròpia)

Figura 35: Disseny final en perfil (Font: Pròpia)

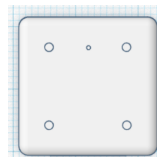


Figura 36: Disseny final en planta (Font: Pròpia)

En el model 3D no hi ha representada la manta tèrmica ni els components electrònics. Simplement, és un esquema de la forma final de la capsa.

10. Construcció

El procés de construcció de la sonda ha estat molt més ràpid de l'esperat. Un cop reunides les eines i els materials puc començar la construcció de la sonda.

El primer pas és fer l'obertura per la càmera; per fer-ho s'ha de tallar amb el cúter un rectangle d'aproximadament 12 x 6 centímetres a un dels costats de la capsa de poliestirè expandit. Després es talla un tros de cartó prou gran per tapar l'obertura tallada anteriorment. En aquest tros de cartó s'hi dibuixa una circumferència en un dels costats que tingui la mateixa mida que l'ocular de la càmera. Després, es fa un forat seguint el dibuix de la circumferència i s'enganxen petits trossos de cinta americana per assegurar que la lent de la càmera hi encaixa perfectament. Tot seguit es col·loca el tros de cartó amb la circumferència tapant el forat a la capsa de poliestirè expandit. Es fixa amb cinta americana per evitar que caigui. A continuació es folra amb retalls de la manta tèrmica de la mida dels costats que s'enganxen amb cinta americana. El següent pas és fer els forats de la tapa per on passen les cordes del paracaigudes i el termòmetre; amb l'ajuda d'un tornavis es perfora la manta tèrmica i la capsa de poliestirè expandit fins a travessar-lo. S'han de fer cinc forats distribuïts de la manera en la qual es mostren al model 3D; cal tenir en compte que el forat del termòmetre és més petit. Un cop fets els forats, s'han d'envoltar amb cinta adhesiva per la cara interior. Això és necessari per evitar que les cordes tensades tallin la capsa durant el vol. Finalment, s'ha de lligar la tapa amb cordes de paracaigudes. Per fer-ho, es retallen dos trossos d'aproximadament 65 centímetres. Cada tall de corda ha de passar per dos forats de la manera en què es veu a l'esquema.

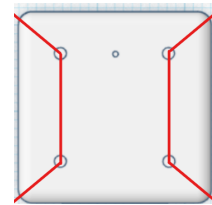


Figura 37: Esquema posició cordes a la tapa (Font: Pròpia)

Aquest és el resultat final, acabat de construir tres dies abans del llançament.



Figura 38: Resultat final de la sonda (Font: Pròpia)

Un cop acabada la construcció, decideixo batejar la sonda (i també el treball de recerca) amb un haiku d'Ester Enrich Coma:

Somia que sent
el vent entre les ales;
ple d'amor, vola!

Aquest haiku simbolitza l'esforç dedicat al projecte i les ganes i el somni que tot surti bé el dia de l'enlairament, i la sonda pugui volar.

11. Programació

11.1. Programació simple: sensors funcionant individualment i en parelles

El primer que faig quan arriba el material és classificar-lo segons la seva funció per tenir un ordre clar i saber on trobar tot el que necessito en qualsevol moment. El separo en tres grups: un on hi ha tot el material necessari per al muntatge de la sonda, un amb tots els components electrònics i un amb altres peces que només es faran servir al dia del llançament. En aquest apartat es detalla el segon grup, el dels components electrònics, especialment en el procés seguit per programar la sonda. El programa escollit per programar-ho tot és l'Arduino IDE, un programari desenvolupat pels mateixos dissenyadors de la placa que utilitzo que fa servir una mescla dels llenguatges C i C++ per programar aquest tipus de placa d'una manera fàcil i simple, pràctica per persones amb poca experiència programant o estudiants. Després d'escollir el programari i el llenguatge, rebut el material i haver-me llegit una guia de programació, em veig capaç de començar el projecte.

Començo desempaquetant els sensors, els cables i la placa base. Després faig un petit muntatge per cada sensor i un per un els vaig connectant a l'ordinador per programar-los amb un petit codi d'exemple per comprovar que tots funcionin correctament. Aquests codis d'exemple els trec de les anomenades "*biblioteques*" que són fitxers que instal·lo a l'Arduino IDE que em permeten fer servir codis de mostra per cada sensor, i, el més important, creen comandaments per facilitar la programació de cada sensor. Provo de fer un codi personalitzat per a cada sensor, ajudant-me de guies d'Internet i demanant ajuda a diferents professors, i poso en pràctica les nocions bàsiques que he après a la guia que m'he llegit.

Les proves per comprovar que tots els sensors funcionen correctament són tan senzilles com escalfar amb una espelma els termòmetres, exhalar al sensor de

diòxid de carboni, deixar anar el gas de l'encenedor als sensors de gas metà, etc. Proves d'aquest estil. Tots els sensors semblen funcionar bé, menys un. El sensor BMP280, baròmetre, no funciona. Plantejo diverses hipòtesis per intentar descobrir què li passa i poder solucionar el problema: potser el codi està malament, potser hi ha un curtcircuit que impedeix engegar el sensor, potser el sensor té els pins mal soldats, o potser el sensor és defectuós. Descarto la primera opció revisant el cablejat. Reviso el codi encara que el codi sigui d'exemple i poc probable que tingui algun error, en ser una biblioteca vella potser està desactualitzada. També el descarto perquè el software no hi troba cap error d'escriptura i el comparo amb guies actualitzades que trobo a Internet. Només em queden dues opcions, o bé és la soldadura o bé el sensor és defectuós. A aquests tipus de sensors se'ls han de soldar els pins manualment. En ser la primera vegada que ho feia, podria haver comès algun error durant la soldadura i haver fet malbé el sensor. Decideixo comprar un altre sensor perquè, tant si he comès un error en la soldadura com si el sensor és defectuós, és l'única opció que tinc. A més, el BMP280 és dels pocs sensors dels quals no tinc unitats de recanvi. Decideixo comprar un sensor més bo, el BME280, que a més de ser un baròmetre és un termòmetre i un higròmetre, és a dir, és capaç de detectar la temperatura i la humitat. El soldo amb molta precaució i li carrego el programa per descobrir que funciona correctament.

Començo a fer proves amb diversos sensors connectats a la mateixa placa. Connecto dos sensors MAX6675, termoparells, a la mateixa placa. Utilitzo els MAX6675 perquè són molt fàcils de programar. Faig servir el sensor "titular" i el de recanvi. Després de programar unes simples línies de codi, aconseguixo obtenir la temperatura en dos punts independents a temps real. Torno a fer diverses proves escalfant o refredant els termòmetres per assegurar-me que funcionen correctament, i així ho fan. Connecto un sensor MAX6675 i un sensor MQ-4 per experimentar amb dos sensors simples funcionant simultàniament. Programo i carrego de nou un codi un pèl més complex que em permet rebre informació sobre la temperatura i la presència de gas metà. Examino els dos sensors per assegurar-me que tornin valors lògics en tot moment fent-los les proves que he comentat anteriorment. Tot correcte i ja puc començar a dissenyar els sistemes.

11.2. Busos de comunicacions SPI i I2C

La majoria dels sensors de la sonda envien les dades que capten, és a dir, es comuniquen amb la placa fent servir un sistema analògic. Això vol dir que donen un voltatge entre dos punts, per exemple 0 i 5 volts, i a cada valor d'aquest interval li correspon un valor d'una dada real. És a dir, un sensor converteix un fenomen físic (temperatura, pressió, humitat, etc.) en un voltatge mesurable que la placa és capaç de llegir, relacionar-lo i convertir-lo en un número que marca un paràmetre. Per exemple, imaginem que un termòmetre elèctric detecta una temperatura de 32,75 °C. Convertirà aquesta dada en un voltatge de, per exemple, 2,72 V. La placa llegirà aquest voltatge i sabrà, gràcies a les biblioteques, que 2,72 V corresponen a 32,75 °C. Encara que molts de sensors funcionin així, analògicament, n'hi ha d'altres que utilitzen sistemes més moderns.

Els sistemes de comunicació SPI i I2C són dels més utilitzats en Arduino; això és degut al fet que una gran quantitat d'aparells complexos que han de passar moltes dades a la placa fan servir aquests sistemes. Aquests sistemes, també anomenats busos, fan servir una arquitectura del tipus amo-esclau. El dispositiu amo pot iniciar la comunicació i compartir dades amb un o diversos dispositius esclaus, i enviar o rebre dades entre ells. Els dispositius esclaus no poden posar en marxa la comunicació ni intercanviar dades entre ells.

El bus SPI fa servir dues línies per connectar l'amo i l'esclau: una que envia la informació de l'amo a l'esclau, i l'altre que l'envia de l'esclau a l'amo. Per tant, té comunicació Full Duplex, l'amo pot enviar i rebre dades simultàniament. Una altra característica del bus SPI és que proporciona un senyal de rellotge mitjançant una línia síncrona que permet que tots els esclaus funcionin coordinadament. En conseqüència, perquè el sistema de comunicació SPI funcioni es requereixen quatre línies o cables: MOSI (master-out, slave-in), per la comunicació de l'amo a l'esclau; MISO (master-in, slave-out), per la comunicació de l'esclau a l'amo; CLK (clock), que és el senyal de rellotge enviada per l'amo; i SS (slave selector), que simplement serveix per seleccionar l'esclau al qual es vol remetre les dades.

El bus I2C té dos grans avantatges respecte del bus SPI: només requereix dos cables i permet tenir més d'un amo (encara que només en pugui funcionar un a la vegada). També fa servir una línia síncrona per coordinar els esclaus. Les dues

línies o cables que necessita són SDA (Data), perquè passin les dades; i SCL (Clock), que és per on passa el senyal de rellotge.

Entre els sistemes SPI i I2C hi ha més diferències: la velocitat de les dades, verificacions del contingut de les dades, la mida dels bits que poden transmetre... Però l'única raó per la qual s'utilitzen és pels dispositius essencials en el sistema que els fan servir (el CCS8111, sensor de CO₂; el BME280, baròmetre-termòmetre-higròmetre; i l'adaptador de targetes micro-SD per Arduino), ja que cap limitació de cap dels sistemes és un problema per assolir els objectius d'aquest treball. Els dos primers fan servir el bus I2C, mentre que l'últim emprà el bus SPI.

Aquí apareix un dels principals problemes als quals m'he hagut d'enfrontar durant la programació. Quan les plaques Arduino actuen com a amo només admeten a un sol esclau per sistema. Això genera una dificultat d'incompatibilitats. Si bé puc utilitzar un dels sensors que funcionen amb el bus I2C al mateix temps que faig servir l'adaptador micro-SD, no puc utilitzar els dos sensors al mateix temps en la mateixa placa. Per solucionar aquest afer, se m'ocorren dues solucions. La primera consisteix a posar tres plaques Arduino a la sonda en comptes d'una: una recolliria la informació del CCS811, una altra guardaria les dades del sensor BME280, i l'última emmagatzemaria els paràmetres detectats per la resta dels sensors. La segona solució es basa a usar un extensor de bus I2C que permet connectar més esclaus dels teòricament permesos a la placa. Em decanto per la segona opció perquè suposa col·locar menys pes a la sonda i, per tant, que sigui més lleugera, el que a més reduiria el volum d'heli necessari. Compro l'extensor de bus I2C TCA9548A a Amazon per un preu de 18,49 €.

11.3. L'extensor de bus I2C TCA9548A

El TCA9548A és un extensor I2C de vuit canals, que es pot utilitzar amb un microprocessador com Arduino. La seva funció és connectar diversos busos d'esclaus en un únic bus. Per tant, es pot entendre com un multiplexor especialment dissenyat per a comunicació I2C. El TCA9548A té una entrada de bus I2C amb les seves dues línies SDA i SCL, i vuit sortides I2C, cadascuna amb les seves corresponents línies SDA i SCL. Quan funciona, l'extensor relaciona el bus d'entrada amb els de sortida i els va canviant, permetent així al processador comunicar-se amb diversos busos.

Un cop rebo el dispositiu i soldo els seus pins, ja està llest per programar-lo i fer-lo funcionar. Inicio una recerca a Internet per intentar comprendre com programar-lo, però em trobo que en ser un sensor poc utilitzat no hi ha guies ni tutorials que permetin programar-lo d'una manera senzilla. I com que les meves habilitats de programació en codi encara són molt verges, em trobo davant d'una situació que m'impedeix avançar en el treball de recerca. La dificultat del problema recau en programar la placa perquè programi el multiplexor i li digui què ha de fer. Apareix un nou element entre la placa i el sensor, i és l'extensor de busos. Després de donar-li voltes uns quants dies, veig que és massa difícil per mi. Decideixo fer servir el recurs de les tres plaques, però almenys he après què és un extensor de busos i com funciona.

11.4. Programació del sistema

Així doncs, l'esquema que tindria ara consisteix en tres plaques: a la primera hi hauria connectats tots els sensors, a la segona hi hauria el sensor de diòxid de carboni CCS811, i a la tercera hi hauria el BME280. En dibuixar aquest esquema m'adono que sóc capaç de reduir-lo a dues plaques. En una hi hauria connectat exclusivament el sensor CCS811, i en l'altra, tota la resta de sensors. Decideixo aïllar el sensor CCS811 en comptes del sensor BME280 perquè el primer requereix més connexions amb la placa al necessitar dues preses de terra. Dibuixo un petit esquema del sistema i em preparo per programar tot el codi.

Començaré explicant el codi de la placa on hi ha més sensors connectats. És la placa Arduino MEGA 2560; hi ha connectats els sensors MAX6675, MQ-4 i BME280 i l'adaptador de targetes micro-SD per Arduino. Tots els codis es poden dividir en tres parts: declaració, configuració i cicle. En la declaració s'inclouen les biblioteques i es concreta quins sensors hi ha connectats. La configuració és la part del codi que només s'executa una vegada, s'utilitza com a inicialització. I el cicle és la part que es repeteix constantment.

En la primera part del codi incloc les biblioteques que necessito en aquest codi. Aquest codi utilitza un total de sis biblioteques que faciliten l'ús dels diferents sensors, la connexió amb la targeta micro-SD i el bus de comunicacions SPI. Per incloure una biblioteca primer s'ha d'instal·lar comprimida en una carpeta concreta. Llavors s'escriu el comandament `#include` seguit pel nom del fitxer amb la biblioteca.

```
#include <max6675.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
```

Seguidament, començo declarant que el sensor BME280 està instal·lat a la placa, també defineixo la pressió atmosfèrica al nivell del mar (1013,25 hPa) per poder-la utilitzar més endavant per calcular l'altitud a la qual es troba la sonda amb aquest mateix sensor. Encara que sigui un càlcul molt aproximat, perquè la pressió atmosfèrica no només depèn de l'altitud sinó que la temperatura de l'aire o els vents la poden fer canviar, em serveix per fer-me una idea general de quina altura es troba la sonda. Seguidament, declaro que el sensor MAX6675 està connectat a la placa i a més a més, a diferència del BME280 que funciona amb un bus de comunicacions, declaro a quins pins està connectat exactament. També defineixo la diferència de temperatura entre els dos metalls com a zero perquè estan a la mateixa temperatura. Després declaro el sensor MQ-4 com a connectat al pin analògic A0 i defineixo el comandament *getMethanePPM* perquè mitjançant una sèrie de fórmules em doni un suposat valor en parts per milió, però com ja he explicat anteriorment, no puc calibrar-lo al no poder accedir a una atmosfera totalment neta, per tant, en declarar la constant R_0 (que s'obté quan es calibra el sensor i serveix per calcular amb precisió la concentració en ppm) deixo el valor de sèrie. Això fa que el resultat no sigui precís i l'hagi de tractar com un valor qualitatiu.

```
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)
Adafruit_BME280 bme;

int thermoDO = 6; // so
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 7; // sck
float temp=0;
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

const byte MQ4_Pin = A0; //MQ4 A0 pin
const int R_0 = 945; //Change this to your own R0 measurements

float getMethanePPM(){
  float a0 = analogRead(A0); // get raw reading from sensor
  float v_o = a0 * 5 / 1023; // convert reading to volts
  float R_S = (5-v_o) * 1000 / v_o; // apply formula for getting RS
  float PPM = pow(R_S/R_0,-2.95) * 1000; //apply formula for getting PPM
  return PPM; // return PPM value to calling function
}
```

Després declaro que a la targeta micro-SD treballaré amb un fitxer. També creo un "cordill de dades" que s'anirà modificant amb els paràmetres que els sensors detectin i imprimint en un fitxer guardat a la targeta micro-SD. Utilitzar aquest "cordill" em permet guardar la informació amb el format CSV, que s'ha explicat abans. Les dades que es guardaran en aquest cordill són la temperatura exterior, la temperatura interior, la pressió atmosfèrica, l'altitud, la humitat i la concentració de metà.

```
File myFile;
String ExTemperature, InTemperature, Pressure, Altitude, Humidity, Methane, Data;
```

Aquesta part del codi és una de les més importants i és coneguda com a *setup* (configuració). Com ja he dit, és la part del codi que només s'executa una vegada; per tant, aquí és on s'inicialitzen els ports de comunicació, els busos de comunicació i la targeta micro-SD. A efectes de codi, una targeta micro-SD és idèntica a una targeta SD. L'única diferència entre les dues és la mida física. Per això, al codi no apareix en cap moment la paraula "micro-SD". Començo la configuració inicialitzant el port sèrie a la freqüència de 9600 bauds per segon. El port sèrie és el que permet comunicar l'ordinador amb la placa mentre la placa està connectada a l'ordinador, i encara que no es faci servir durant la missió, és rellevant per assegurar-se que tot funcioni bé durant els preparatius. Després d'iniciar el port sèrie, faig esperar la placa dos mil mil·lisegons (dos segons) abans de declarar que el sensor BME280 està funcionant pel bus de comunicacions I2C amb la direcció 0x76. En cas que hi hagi algun error durant la seva inicialització, apareixeria un missatge a l'ordinador gràcies al port sèrie. Seguidament, declaro que la targeta micro-SD, està connectada pel bus SPI i té el cable SS connectat al pin 53. Mitjançant una clàusula condicional, puc veure pel monitor del port sèrie si la targeta s'ha iniciat correctament o si no. Finalment, i com que la targeta s'ha inicialitzat correctament, s'obre el fitxer *data.txt* de dins la targeta (o es crea si no existeix) i s'hi escriu el nom dels diferents paràmetres dels quals es recolliran les dades. Seguidament es tanca el fitxer.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);

  bool status;
  status = bme.begin(0x76);
  if (!status) {
```

```

Serial.println("BME280 not connected properly. Check circuit!");
while (1);
}
Serial.print("Initializing SD card...");
if (!SD.begin(53)) {
  Serial.println("initialization failed!");
  while (1);
}
Serial.println("initialization done.");
myFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
  myFile.println( "ExTemperature(°C), InTemperature (°C), Pressure(hPa),
Altitude(m), Humidity(%), Methane(ppm) \r\n");
  myFile.close();
}
else {
  Serial.println("error opening data.txt");
}
}
}

```

L'última part del codi és la que es coneix com a *loop*, és a dir bucle. El codi escrit aquí es repeteix constantment, així que aquesta és la part principal del codi, ja que és on s'escriuen els comandaments que s'aniran executant mentre la placa està activada, començant per la primera línia i anar descendint fins a arribar a l'última i tornar a començar. Inicío aquesta part del codi creant una funció que es diu *data_logging*. Crear una funció seria relacionar un conjunt d'instruccions que fan una tasca concreta (en aquest cas recollir les dades) amb un comandament simple. Això fa que, cada vegada que el programa llegeixi aquest comandament, executa les instruccions que s'han definit. Fer servir aquestes funcions fa que el programa quedi més ordenat i facilita la repetició de tasques amb codis complexos en diferents parts del programa. La funció *data_logging* se separa en tres parts. Primer, agafa els valors de temperatura exterior i interior, pressió, altitud, humitat i concentració de metà que mesuren els sensors en aquell moment i els guarda en una variable per cada paràmetre. Seguidament, crea el "cordill de dades" amb el valor de les variables separades per una coma i envia aquest cordill pel port sèrie, que permet veure les dades guardades a l'ordinador. Finalment, es guarda el "cordill de dades" al fitxer *data.txt* creat anteriorment. De la mateixa manera que en el *setup*, es pot veure pel port sèrie si hi ha algun error d'inicialització de la targeta. Un cop s'han recollit les dades, la placa espera vint mil mil·lisegons abans de tornar a començar el bucle. Això fa que entre cada recollida de dades hi hagi vint segons de diferència.

```

void loop() {
  data_logging();
  delay(20000);
}

```

```

}

void data_logging() {
  String ExTemperature = String(thermocouple.readCelsius(), 2);
  String InTemperature = String(bme.readTemperature(), 2);
  String Pressure = String(bme.readPressure()/ 100.0F, 2);
  String Altitude = String(bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA), 2);
  String Humidity = String(bme.readHumidity(), 2);
  String Methane = String(getMethanePPM(), 2);

  Data = ExTemperature + "," + InTemperature + "," + Pressure + "," + Altitude + ","
+ Humidity + "," + Methane ;
  Serial.print("Save data: ");
  Serial.println(Data);

  myFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.print("Writing to data.txt...");
    myFile.println(Data);
    myFile.close();
    Serial.println("done.");
  } else {
    Serial.println("error opening data.txt");
  }
  Serial.println();
}

```

Un cop explicat el codi de la placa Arduino MEGA 2560, passem al següent codi. Es tracta del codi de la placa Arduino UNO on únicament hi ha connectat el sensor de diòxid de carboni i qualitat d'aire CCS811, a part de l'adaptador de la targeta micro-SD.

De la mateixa manera que en el codi anterior, començo instal·lant les biblioteques corresponents. En aquest cas són les del sensor CCS811, la de la connexió amb la targeta micro-SD i la del bus de comunicacions SPI.

```

#include <Adafruit_CCS811.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

```

Seguidament, declaro que a la placa hi ha connectat el sensor CCS811 i que en la targeta micro-SD hi treballaré amb un fitxer. En aquest cas no és necessari crear un "cordill de dades" perquè tots els paràmetres que es recullen venen del mateix sensor.

```

Adafruit_CCS811 ccs;
File myFile;

```

A la secció del *setup* inicio el port sèrie i faig esperar al programa dos segons abans de posar en marxa la targeta micro-SD. En cas que la targeta no s'inicialitzés correctament, ho veuria pel port sèrie de la mateixa manera que en el codi anterior. Un cop s'ha inicialitzat la targeta, es crea un fitxer anomenat *data2.txt* i s'hi escriuen les dades que es recullen en aquesta placa.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(2000);

  Serial.println("Iniciant SD...");
  if (!SD.begin(53)) {
    Serial.println("Error a l'inicialització");
    while(1);

    while(!ccs.available());
  }
  Serial.println("Inicialització completada.");
  myFile = SD.open("data2.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    myFile.println("CO2(ppm), TVOC(ppm)");
    myFile.close();
  }
  else {
    Serial.println("Error obrint data2.txt");
  }
}
```

Finalment, al bucle s'obre el fitxer \circ i s'hi escriuen els valors que s'hi guarden. Com que no he creat un "cordill de dades" les dades no es guarden en format CSV, però com que només es recullen dos paràmetres no resulta una gran dificultat per passar-les a un full de càlcul fent servir l'eina de substitució que ofereixen molts programes de fulls de càlcul.

```
void loop() {
  myFile = SD.open("data2.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.print("Writing to data2.txt...");
    myFile.print("CO2: ");
    myFile.print(ccs.getCO2());
    myFile.print("ppm, TVOC: ");
    myFile.print(ccs.getTVOC());
    myFile.print(" Temp= ");
    myFile.print(thermocouple.readCelsius());
    myFile.println("°C");
    myFile.close();
    Serial.println("done.");
  } else {
    Serial.println("error opening data2.txt");
  }
  Serial.println();
  delay(20000);
}
```

12. Coordinació amb *ENAIRE*

ENAIRE és l'empresa pública que s'encarrega de la gestió de la navegació civil aèria i dels aeroports civils a Espanya. Per enlairar la sonda hem hagut de posar-nos en contacte amb *ENAIRE* per informar-nos sobre el reglament de l'espai aeri.

Primer, entrem a la pàgina web de *ENAIRE* i ens donem d'alta per demanar permís per a l'enlairament. Omplim un formulari que ens pregunta el lloc des d'on volem enlairar la sonda, la data de l'enlairament i l'hora. Decidim que la sonda s'enlairarà el **dissabte 23 de juliol de 2022 a les 8:00 des de Sant Galderic al Pla de Martís**. Un cop postulada la data de l'enlairament, acabem d'omplir el formulari amb altres dades referents a la sonda: mida, pes, nombre de globus, etc. Finalment, enviem el formulari i esperem la resposta.

Al cap d'uns dies rebem una notificació anunciant-nos que per poder autoritzar el vol era necessari enviar una simulació feta amb deu dies d'antelació. Però el programa emprat no permet fer-la en més de sis dies. En trobar-nos en aquesta situació, truquem a *ENAIRE* per intentar evitar que ens deneguin la sol·licitud per no poder enviar la simulació en el període de temps establert.

Després de tres trucades, un operador ens diu que enviem la simulació quan puguem. Sis dies abans del dia de l'enlairament, podem realitzar la simulació satisfactòriament. L'enviem i ens responen que segons la trajectòria que segueix, no és necessari fer cap pas adicional, donant així el permís per concedit.

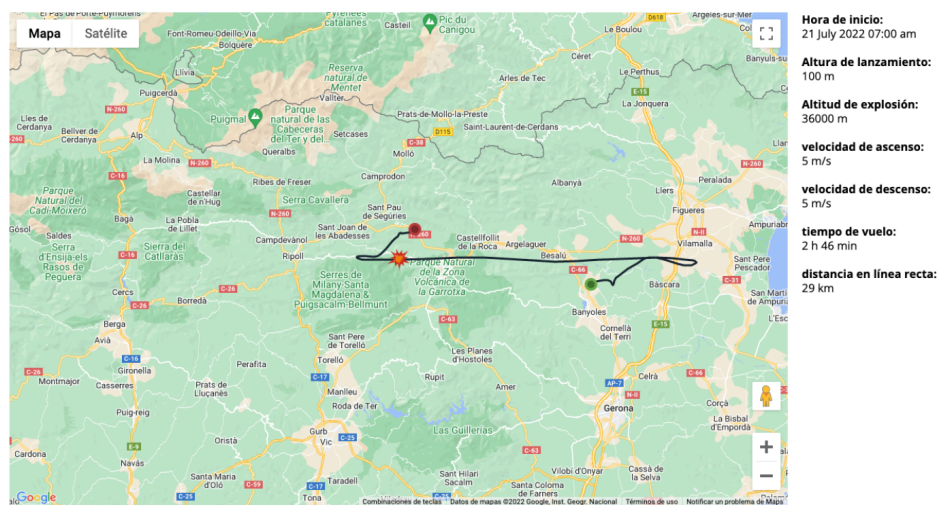


Figura 39: Simulació de vol a priori (Font: Pròpia)

13. Organització del dia de l'enlairament

El dia de l'enlairament ha de ser un dia especial, un dia per celebrar la passió per la ciència. Per això, estaria bé que hi assisteixi el màxim de gent possible. Per fer-ho, decideixo fer un cartell promocional per compartir a les xarxes socials. El procés seguit per dissenyar-lo és el següent

Em semblà que al cartell hi han d'aparèixer dos elements fonamentals: l'Estany de Banyoles, representant el territori, i la sonda volant, perquè qui vegi el cartell de seguida s'adoni de què va la cosa. Per aconseguir la imatge de l'estany, decideixo fer una captura de pantalla de la zona al Google Earth.



Figura 40: Captura de pantalla del Google Earth (Font: Pròpia)

Posteriorment la retallaré perquè encaixi amb la mida d'un A4 en vertical, que és la mida que ha de tenir el cartell. Per obtenir la imatge de la sonda volant, descarrego una imatge amb llicència Creative Commons que em permet fer-la servir sense infringir drets d'autor. El conjunt de la imatge de l'Estany amb la sonda conforma el fons del cartell promocional i la portada d'aquest Treball de Recerca.



Figura 41: Imatge de l'estany amb la sonda pel cartell promocional (Font: Pròpia)

Seguidament tocava posar la informació de la data i el lloc de llançament, així com anunciar el patrocini d'Haribo. També hi figurarà el logotip de l'Institut Pere Alsius i el nom de la fleca Can Japet.²

A continuació diferents versions del cartell i la definitiva a la pàgina següent.



Figura 42: Cartell promocional (Versió 1) (Font: Pròpia)

Figura 43: Cartell promocional (Versió 2) (Font: Pròpia)

Figura 44: Cartell promocional (Versió 3) (Font: Pròpia)

Figura 45: Cartell promocional (Versió 4) (Font: Pròpia)

² Que dona el *cargol* que s'enviarà amb la sonda.



Figura 46: Cartell promocional (Versió final) (Font: Pròpia)

Es publica el cartell a les xarxes socials i té força èxit, doncs més de quaranta persones confirmen la seva assistència al dia del llançament.

Un cop anunciat el llançament toca reunir els materials necessaris per poder assegurar una comoditat màxima durant la preparació de l'enlairament, tant per a mi com per a la gent que vingui. Aquests materials són taules, una carpa carpa, altaveu, micròfon... i preveure una mica d'esmorzar.

14. Dia de l'enlairament

14.1. Preparatius del dia anterior

Arriba el dia abans de l'enlairament. Toca comprovar que tot estigui en ordre i el sistema funcioni correctament. Per fer aquesta comprovació, faig un petit test on poso tot el sistema de recollida de dades a l'interior de la sonda i la col·loco a la cistella d'una bicicleta. Engego les plaques connectant-les a la bateria portàtil i surto amb la bicicleta a fer una volta per Banyoles a recollir dades. Un cop finalitzada la volta, connecto les targetes micro-SD a l'ordinador i descarrego dos fitxers, *data.txt* i *data2.txt*, que contenen dades sobre la temperatura, la humitat, la pressió, l'altitud i les concentració de diòxid de carboni i gas metà recollides durant el recorregut.

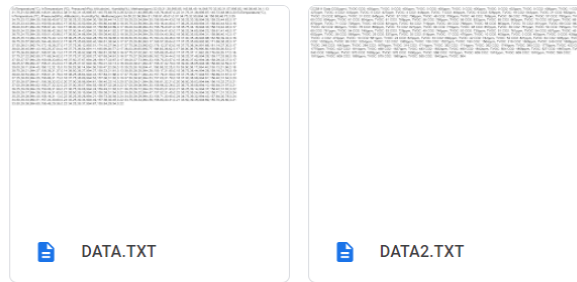


Figura 47: Fitxers data.txt i data2.txt (Font: Pròpia)

Decideixo guardar els resultats d'aquest test perquè en cas de no recuperar la sonda i, per tant, no recuperar les targetes micro-SD amb la informació recollida durant la missió, utilitzaré aquests dos fitxers per ensenyar com s'hauria fet el tractament de dades.

Un cop fet "l'assaig general" es carrega el cotxe amb tot el que es farà servir l'endemà: taules, carpa, cadires, micròfon, altaveu, bombones d'heli, aparells, ordinadors portàtils, etc.



Figura 48: Cotxe carregat amb els materials del dia de l'enlairament (Font: Pròpia)

Escric un protocol a seguir al dia de l'enlairament per mantenir l'ordre i saber què fer en tot moment. El protocol és el següent:

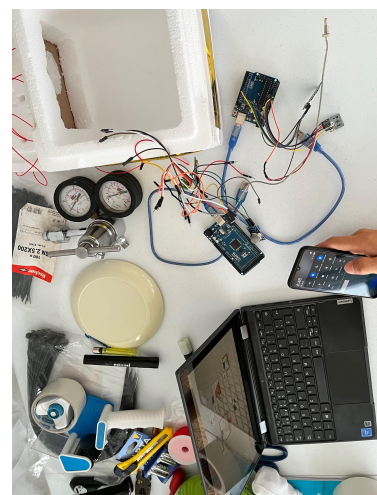
- Arribem a Sant Galderic a les 6:00
- Muntar capra, taules, altaveu i micro
- Muntar sonda
- Posar informació a la sonda (número telèfon...)
- Fer últimes proves de la sonda
- (Borrar fitxers data.txt creats a les targetes SD amb el portàtil)
- Comprovar GPS (en cas que no funcioni, iniciar-lo)
- Fer simulacions trajectòria globus
- Preparar nusos i cordes paracaigudes

- Estendre manta al terra
- Posar-se guants (tothom qui toqui el globus)
- Estendre globus sobre manta
- Conectar descompressor a la bombona d'heli
- Posar manguera dins el globus i lligar-ho amb cinta (deixar la punta sortida perquè sigui fàcil de treure)
- Posar cargol a sobre la sonda, lligar-l'ho amb brides. Posar ossets a dins la sonda
- Esperar que arribi la gent (8:00) / Posar esmorzar a la taula (allunyada el màxim de la taula amb l'electrònica)
- Agraïment assistència i explicar el que es farà
- Engregar càmera, lligar-la amb cinta per darrera
- Tancar capsa
- Lligar capsa al paracaigudes.
- Inflar globus (obrir heli)
- Buidar l'heli necessari perquè la capsa s'aixequi (1 ampolla i mitja)
- Nus
 - Brida a dalt i brida a baix del coll del globus.
 - Tapar brides amb cinta.
 - Lligar corda entre les dues brides (meitat del coll).
 - Plegar coll.
 - Brida i cinta a la meitat del coll plegat.
- Fer compte enrere.
- Deixar anar globus.
- Seguir globus amb GPS i esperar que aterri.
- Valorar si val la pena anar-lo a buscar el mateix dia o un altre (depèn de la proximitat/facilitat).
-

14.2. El dia de l'enlairament (crònica)

Ens despertem a les 5:20 i acabem de carregar al cotxe els dispositius electrònics que havíem deixat carregant durant la nit. Esmorzem ràpidament i pugem al cotxe per anar a Sant Galderic. Arribem allà una mica abans de les 6:00, comencem muntant la carpa i al cap de poca estona arriba en Pep Martos, tutor del

Figura 49: Taula de control (Font: Pròpia)



treball. Muntem les dues taules: una és on hi ha els ordinadors i l'altra és on hi ha la sonda, el paracaigudes i el globus.

Connecto les plaques a l'ordinador per comprovar per última vegada que els sistemes de recollida i emmagatzematge de dades funcionen correctament. Comencen els problemes: les plaques Arduino no són capaces de detectar les targetes micro-SD. Provo de solucionar el problema amb diferents mètodes.

Inicialment, comprovo tot el codi i n'executo un d'exemple per comprovar si el problema rau en el codi o en el hardware. Com que el codi d'exemple tampoc funciona conclueixo que el problema és en el hardware. Després comprovo el cablejat, miro si tots els cables estan correctament connectats a la placa, especialment els del bus SPI. Com que semblen que estan ben connectats, canvio



Figura 50: Procés per arreglar el sistema informàtic (Font: Pròpia)

el cablejat pels cables de recanvi per esbrinar si el cables que estava utilitzant estan danyats. Segueix sense funcionar. Desconnecto tots els cables i els reconnecto ajudant-me d'una guia que m'havia fet durant el procés de programació per connectar els cables al pin que els toca. Al seguir sense

funcionar, canvio els adaptadors de les targetes micro-SD pels de recanvi. No funciona.

Formatejo de nou les targetes primer en fat32 i llavors en fat16. El problema persisteix. Aquest error em molesta especialment perquè ja havia sorgit durant la fase de programació, però canviant el programador n'hi havia prou per solucionar-lo. Ara, tot i fer el mateix, no s'arregla. Res sembla funcionar.

Sobre les vuit la gent comença a arribar, demano suport i consell als professors que han vingut, però ningú sap quin és l'error. Com que la gent es comença a aglomerar a la taula on estic treballant, demano que en un lloc separat es prepari el petit esmorzar previst³, perquè la gent s'aparti de la taula on sóc jo. Finalment, aconseguixo trobar el problema: els cables MISO i MOSI, del bus SPI, estaven girats. Poso els cables als pins que toca i, efectivament, tot el sistema funciona correctament. No haver solucionat abans aquest error és degut a què a la

³ Nou cargols de sucre i sis de xocolata, que la meva mare ha anat a buscar.

guia que he fet servir de referència també estan girats, possiblement per la semblança dels noms dels cables. Formatejo les targetes i ho deixo tot a punt per quan toqui posar-ho tot dins la capsa.

Degut a la llarga estona que m'ha ocupat solucionar els errors que han aparegut, decideixo modificar el protocol i muntar la sonda abans de preparar el globus. Reuneixo la gent al voltant de la taula de la sonda, engego l'altaveu i el micròfon i procedeixo a agrair l'assistència i explicar breument com ha estat el procés per organitzar i arribar al dia del llançament. Seguidament presento la sonda *"Somia que sent el vent entre les ales; ple d'amor, vola!"* i anuncio el seu



Figura 51: Posta dels components electrònics a la sonda (Font: Pròpia)

patrocinador oficial: Haribo España, fent la cerimònia de posar els ossets personalitzats dins la sonda. Aprofito aquest moment per lligar el cargol de Can Japet al damunt de la sonda amb l'ajuda de brides. Continuo explicant com funciona tot el sistema de recollida i emmagatzematge de dades, a la vegada que vaig ensenyant i col·locant dins la sonda els diferents components. També explico com funciona l'aïllament de la sonda i la reacció química amb la qual els escalfadors de mans produeixen escalfor.

Abans de segellar la capsa explico els principis físics que permeten que s'enlairi i descendeixi: el principi d'Arquimedes i la llei dels gasos ideals respectivament. Faig els nusos que uneixen la tapa de la capsa amb el paracaigudes (10 metres de corda entre la capsa i el paracaigudes i 5 metres més per lligar més tard entre el paracaigudes i el globus). Finalment poso la tapa a la capsa i la segello amb cinta americana. També escric amb un rotulador permanent el número de telèfon als costats de la sonda i un petit missatge que informa de què l'objecte es tracta d'una sonda experimental. A continuació ens apartem uns metres de la zona de la carpa i les taules per procedir a l'enlairament.

Desplego varies mantes a terra per evitar que el globus es malmeti. Seguidament em poso guants i trec el globus de làtex de la seva capsa. Estiro el globus sobre de les mantes i agafo la primera bombona d'heli. Tinc a disposició tres

bombones d'heli. Segons els càlculs fets a la pàgina web on he comprat el globus, amb una bombona i mitja, aproximadament, n'hi ha d'haver prou perquè el globus s'enlaira. Insereixo la vàlvula de la bombona dins el coll del globus i l'obro. L'heli comença a fluir i surt de la bombona per entrar al globus.

Per mala fortuna, en pressionar massa, la vàlvula es trenca i es perd una gran quantitat de l'heli de la bombona, no obstant això, aconseguixo tancar-la a temps i encara en roman una mica a l'interior. Aquest imprevist en principi no em



Figura 52: Moment d'inflar el globus (Font: Pròpia)

preocupa, ja que tinc una bombona de recanvi que havia comprat per prevenir una situació com aquesta. Acabo de buidar la primera bombona i buido tota la segona. El globus, si bé s'infla, no s'enlaira. Decideixo utilitzar la tercera bombona d'emergència. A mesura que la vaig buidant, començo a veure que la quantitat d'heli que tinc és insuficient:

he comès un error de càlcul. La tercera bombona s'acaba de buidar. Decideixo lligar el globus d'heli amb una brida per evitar que l'heli s'escapi. També el lligo a una de les bombones buides per evitar que el globus es mogui i es faci malbé o es perdi.

Reviso els càlculs a la pàgina web i m'adono d'un fatal error. La calculadora online, en la qual havia confiat, suposa en el càlcul que les bombones d'heli que es fan servir són industrials, és a dir tenen unes característiques diferents a les bombones d'heli que jo estic utilitzant. La característica que difereix i que fa que els càlculs fallin és la pressió. L'heli de les bombones industrials està comprimit a uns 225 bars (225.000 hectopascals) i l'heli de les que jo estic utilitzant ho està a uns 80 bars (80.000 hectopascals). Tornant a la llei dels gasos ideals, la pressió, el volum i la temperatura determinen la quantitat de gas que hi ha en un recipient. Si tenim dos recipients del mateix volum i a la mateixa temperatura, la pressió determina quin dels dos recipients té més gas. El recipient amb la pressió més alta tindrà una quantitat de gas superior al recipient amb la pressió més baixa. En el cas de les dues bombones d'heli, l'heli de la bombona industrial està sotmès a gairebé tres vegades més pressió que l'heli de les bombones que tinc jo.

Per tant he comès un fatal error a l'hora de calcular l'heli que necessitava, doncs havia suposat erròniament que els dos recipients tenien la mateixa pressió. Mentre un cotxe es dirigeix a Girona per comprar més heli, em dedico a tornar a calcular la quantitat d'heli necessària per poder enlairar el globus. Utilitzant la fórmula del principi d'Arquímedes calculo que necessito 2,2 metres cúbics d'heli. Estimo l'heli que ja hi ha a dins del globus en 0,5 metres cúbics. Al cap d'aproximadament una hora i mitja arriba el cotxe amb més bombones d'heli. Torno a buidar les bombones d'heli a l'interior del globus tal i com ho havia fet anteriorment. Empleno el globus fins a arribar a la quantitat calculada.

El globus ara sí que s'aixeca, així que faig el nus seguint el protocol i em preparo per

l'enlairament. Començo el compte enrere i al finalitzar-lo deixo anar el globus. Si bé la sonda s'està enlairant tal i com estava previst, els forts vents que s'han aixecat i que no estaven previstos a l'hora original de l'enlairament impedeixen que el globus agafi prou altitud per enlairar del tot la capsa. La capsa s'arrossega pel terra estirada pel globus incapaç d'enlairar-se. Corro darrere la sonda per atrapar-la i evitar que la sonda es malmeti i impedir que el globus toqui al terra, que podria fer-lo esclatar. Atrapo el globus i el torno a portar a la zona d'enlairament.

Allà comprovo que la capsa no s'hagi malmès i l'obro per assegurar-me que les plaques Arduino no s'han desconnectat de la bateria portàtil. Al mateix temps, el tutor, altres professors i altres assistents s'encarreguen d'omplir el globus amb més heli, per augmentar la velocitat d'ascens i contrarrestar els vents laterals. Això condemna a la sonda a disminuir l'altitud màxima a la que pot arribar, passant dels 35.000 metres previstos originalment a 25.000 metres en el millor dels casos. Això és degut a què, en haver-hi més quantitat de gas, el volum que ocupa és major i, per tant, quan la pressió disminueixi en augmentar l'altitud, el globus arribarà al volum màxim que resisteix abans.

Són aproximadament les 11:45. Tot a punt per al compte enrere final, agafo el coll del globus i estiro el braç cap el cel. Amb molta precaució deixo anar mica en

$m_1 = 1097g \rightarrow 1,097kg$
 $m_2 = 1500g \rightarrow 1,5kg$
 $m_T = 2,597kg$
 $R = 2,547m \cdot 9,8 = 25,451M$
 $E = 1,24 \cdot \frac{1}{2} \pi R^2 \cdot 9,8 =$
 $m \cdot g$
 $d.V \cdot \rho = m$
 $1,24 \cdot \frac{1}{2} \pi \cdot 25,451M \cdot 9,8 =$
 $1,24 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 25,451M \cdot 9,8 = 25,45$
 $\frac{26}{1,24 \cdot 9,8} = 2,2m^3$

Figura 53: Càlcul d'heli (Font: Pròpia)

mica la sonda. Finalment, sota la èpica melodia de *El tren Pinxo de Banyoles* entonada per gralles, la sonda "Ple d'amor, vola!" s'enlaira cap al cel.



Figura 54: Sonda enlairada al fons (Font: Pròpia)

Després de rebre les felicitacions dels assistents, obro l'aplicació mòbil del GPS. Segons l'aplicació, la sonda no es mou, però aixecant el cap es veu clarament volant. Dedueixo que el sistema GPS es troba fora de cobertura i per tant no és capaç d'enviar la posició en temps real. Quan el GPS torni a tenir cobertura, rebré l'actualització automàticament. Mentre recullo tot el material emprat, valoro amb el tutor, els professors i els assistents la jornada: "Tot va bé si acaba bé".

14.3. Dies posteriors

El GPS no ha donat més senyal així que s'ha de considerar la sonda com a perduda. Pot ser que el sistema GPS no hagi estat en cap més moment amb una zona en cobertura, o pot ser que la bateria se li hagi acabat abans d'entrar-hi. També pot ser que simplement hagi fallat o s'hagués malmès durant el primer intent d'enlairament. Les últimes simulacions de la trajectòria de la sonda diuen que ha caigut a la Serra de Camós, el més probable és que hagi caigut al cim d'un arbre. Tenint en compte la fiabilitat del simulador emprat, les possibilitats de trobar la sonda són molt baixes. Toca esperar que algun caçador o excursionista la trobi per casualitat i truqui al número de telèfon. Quan s'apropi l'època de bolets i el nombre de persones voltant per la muntanya augmenti, les possibilitats que algú trobi la sonda augmentaran. Com que, essent molt optimistes, no hi haurà notícies fins al novembre, decideixo fer el tractament de dades amb els resultats del test de la sonda dut a terme el 22/7/2022, que s'ha comentat anteriorment.

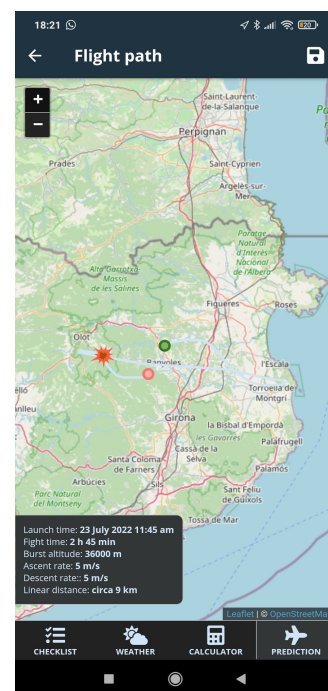


Figura 55: Simulació de vol a posteriori (Font: Pròpia)

Durant els dies següents a l'enlairament, he sigut entrevistat per diferents diaris i plataformes, *El Punt Avui* i *Astrobanyoles*, vegeu l'annex 4.

15. Tractament de dades

Com que encara no s'ha recuperat la sonda, i segurament no es podrà recuperar abans que arribi la data d'entrega del treball, es fa el tractament de dades del test fet el dia 22 de juliol, el dia abans de l'enlairament, que tenia com objectiu comprovar que el sistema de recollida i emmagatzematge de dades funcionés correctament. Aquesta prova va recollir dades 96 vegades en total. Si tenim en compte que amb el sistema programat es recullen dades cada vint segons, el test durà aproximadament 31 minuts i 40 segons. El recorregut que es va seguir en bicicleta és el que es mostra a la imatge. El punt verd marca l'inici i el vermell el final del recorregut. Se surt del mas Can Teixidor del Terme i es passa per l'escola la Draga per arribar a l'Estany. Se segueix en direcció sud i es gira a l'hotel Mirallac per pujar al puig d'en Colomer. Seguidament es baixa del puig i es passa per davant de la clínica Salus, es va a l'ajuntament i posteriorment a la plaça major. Després es baixa pel carrer Major i es passa pel costat de la fleca Can Japet per resseguir l'església de santa Maria dels Turers per agafar el carrer de Sant Benet i tornar a arribar a Can Teixidor.



Figura 56: Recorregut del test 22/7 (Font: Pròpia)

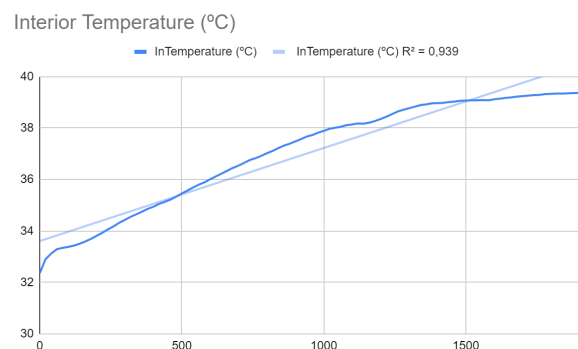
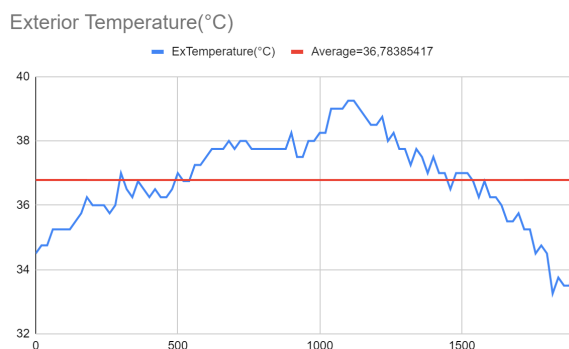
Per obtenir una taula en un full de càlcul amb tota la informació recollida, simplement copio els resultats dels fitxers *data.txt* i *data2.txt* en una de les columnes. Com que els valors estan separats per comes, només s'ha d'utilitzar la opció "divideix el text en columnes" per obtenir una taula amb totes les dades recollides. Un cop creada la taula, es creen gràfics que relacionen cada un dels

paràmetres (eix Y) amb el temps en segons (eix X). En cas de que s'hagués recuperat la sonda també es relacionarien amb l'altitud.

16. Resultats del test

16.1. Temperatures exterior i interior de la sonda

Els dos primers gràfics corresponen a la temperatura exterior i la temperatura interior. La temperatura exterior arriba al seu màxim absolut de 39,25°C als 18 minuts i 20 segons (1100 segons), i arriba al seu mínim absolut de 33,25°C poc abans de finalitzar el test, als 30 minuts i 20 segons (1820 segons). La mitjana de la temperatura a l'exterior de la sonda durant el període de mesura és d'aproximadament 36,78°C. Pel que fa a la temperatura a l'interior de la sonda, es veu una clara tendència a augmentar. Segurament això és degut a l'escalfor que produeixen els aparells electrònics de l'interior. Això demostra que l'aïllament tèrmic funciona i que la temperatura interior es manté alta i té dificultats per igualar-se amb la temperatura exterior.



ExTemperature(°C) + InTemperature (°C)

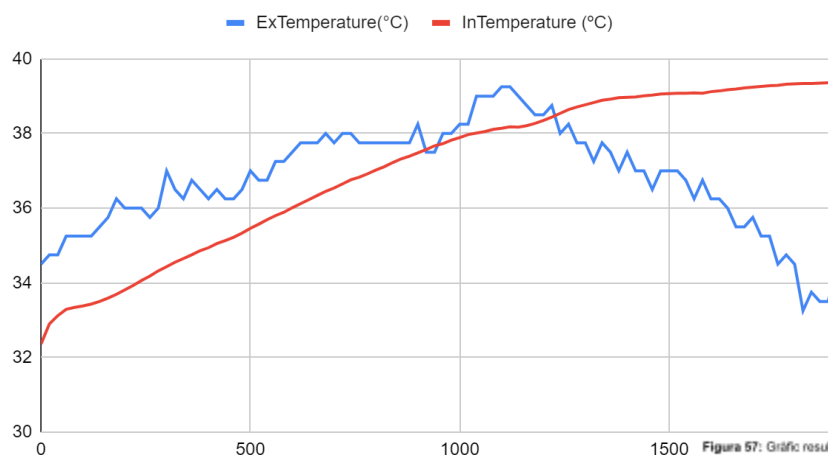


Figura 57: Gràfic resultat test Exterior Temperature (Font: Pròpia)

Figura 58: Gràfic resultat test Interior Temperature (Font: Pròpia)

Figura 59: Gràfic resultat test ExTemperature + Gràfic resultat test InTemperature (Font: Pròpia)

16.2. Pressió i altitud

Els gràfics que mostren la pressió i l'altitud estan estretament lligats perquè el sensor BME280 utilitza la pressió atmosfèrica per calcular l'altitud, com s'ha explicat a l'apartat de programació. Encara que en un primer moment pugui semblar poc sensible en diferències d'altitud baixes, detecta perfectament l'increment d'altitud al pujar el puig d'en Colomer. És curiós veure com els dibuixos dels dos gràfics són complementaris.

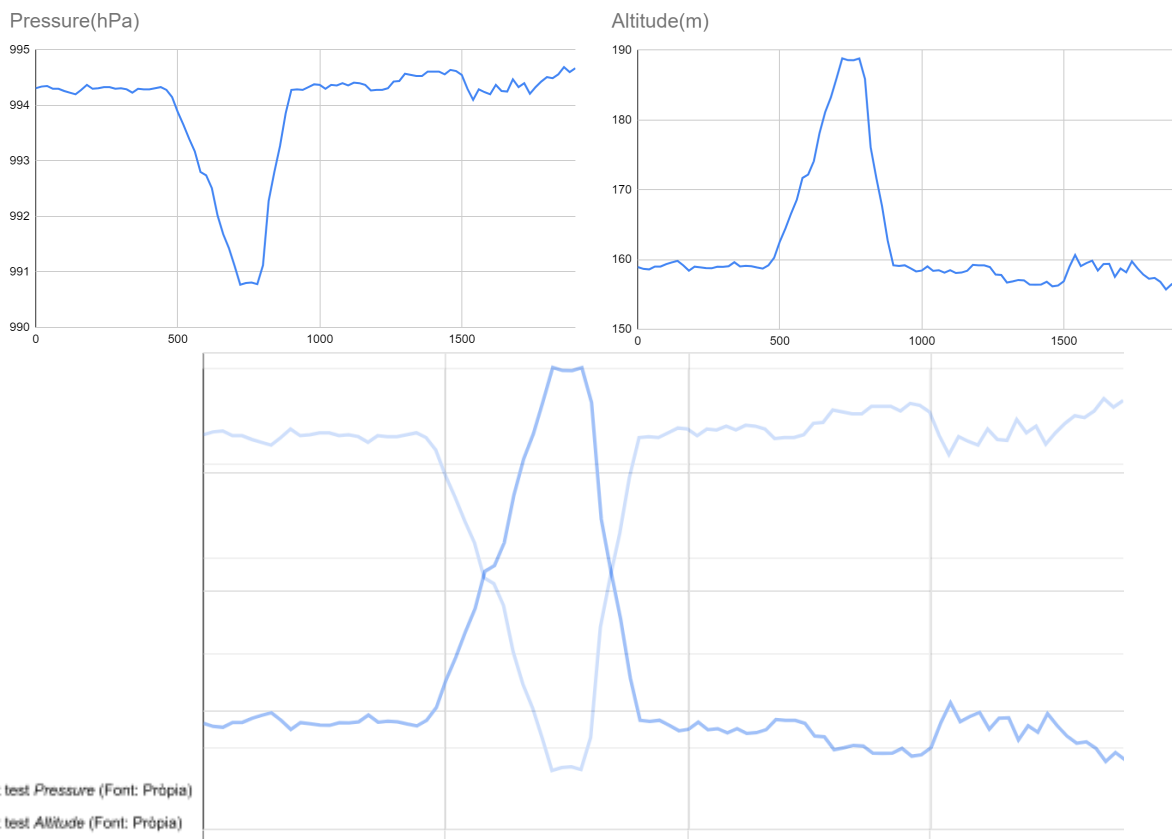


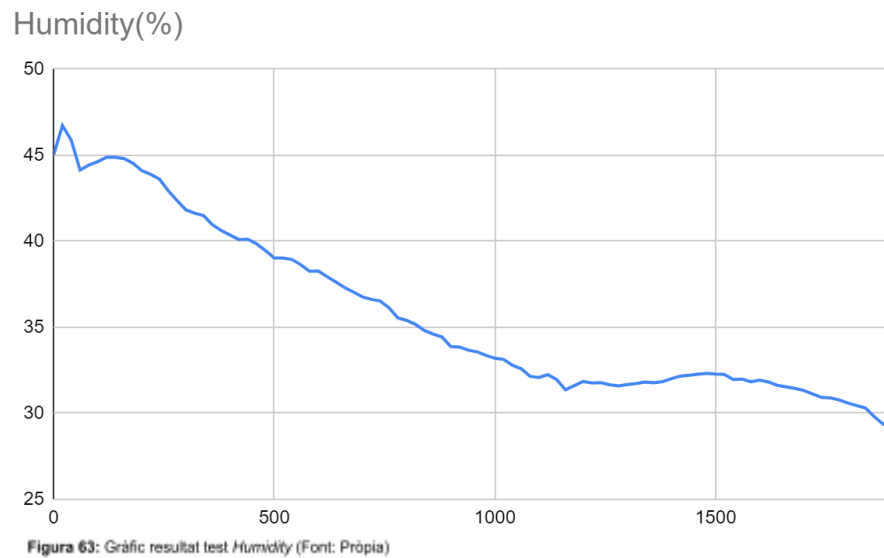
Figura 60: Gràfic resultat test Pressure (Font: Pròpia)

Figura 61: Gràfic resultat test Altitude (Font: Pròpia)

Figura 62: Gràfic resultat test Pressure + Altitude (Font: Pròpia)

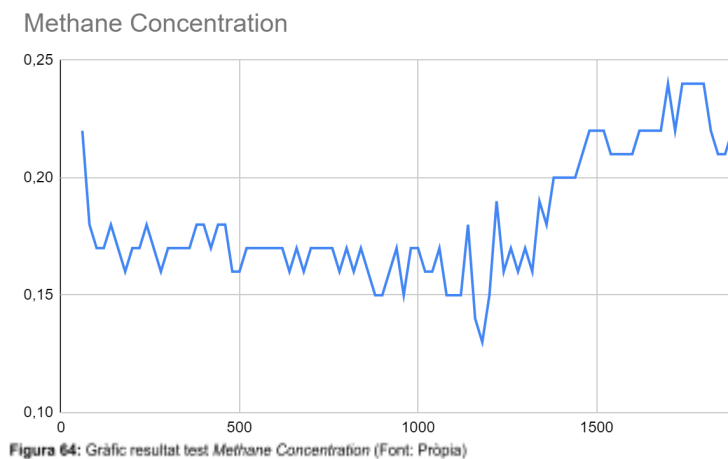
16.3. Humitat

Els valors de la humitat relativa minven al llarg del test. Una possible explicació a aquest fenomen és que a l'augmentar la temperatura a l'interior de la sonda, l'aire s'asseca i la humitat baixa.



16.4. Concentració de metà

El gràfic que mostra l'increment de concentració de gas metà roman oscil·lant al voltant dels mateixos valors durant la major part de la prova. Als últims minuts la concentració de gas metà augmenta al tornar a entrar al centre de la ciutat. Per a elaborar aquest gràfic se suprimeixen els tres primers valors, corresponents al primer minut de recollida de dades, ja que difereixen molt dels altres valors i alteren el gràfic al ser obtinguts durant el període d'inicialització del sensors. Aquests tres valors son 0'01, 3'35 i 0'32 respectivament.



16.5. Concentració de CO2 i TVOC

El sensor encarregat de registrar la concentració de diòxid de carboni i els compostos orgànics volàtils totals és l'únic que funciona en una placa Arduino independent. Els valors que recull es mantenen oscil·lant entre valors estàndards

durant la majoria del test, però a partir del minut vint augmenta significativament, de la mateixa manera que passa amb la concentració de metà.



Figura 65: Gràfic resultat test CO2 (Font: Pròpia)

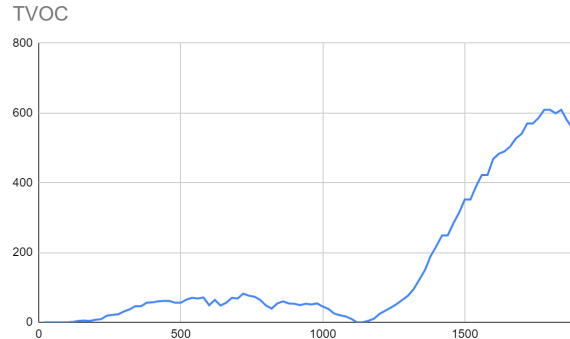


Figura 66: Gràfic resultat test TVOC (Font: Pròpia)

Torno a recalcar que aquests resultats només serveixen per observar com s'hagués fet el tractament de dades en cas d'haver recuperat la sonda. No són resultats obtinguts durant l'experiment real, sinó que han estat obtinguts en un test de control per confirmar que el sistema funcionava correctament.

17. Discussió

L'experiment no ha anat com estava planejat. El sistema que havia de localitzar la sonda un cop aterrada ha fallat i ha impossibilitat recuperar-la amb les dades que es volien recollir durant l'experiment. Aquest ha estat el problema més gran que m'ha impedit extreure conclusions que. Encara que es van fer proves per comprovar que el GPS funcionava correctament, a l'hora de la veritat no ha funcionat. Si hagués de repetir el projecte, segurament optaria per posar més d'un mòdul GPS a la sonda, per assegurar-me de trobar-la un cop aterrada; o inclouria un sistema que enviés les dades a una xarxa en temps real, per obtenir les dades sense necessitat de recuperar la sonda.

També hi ha hagut altres aspectes a millorar.

El primer té a veure amb la qualitat dels sensors. Uns sensors tan barats no poden tenir una precisió tan elevada com voldria. Això es veu principalment en els sensors CCS811 (detector de diòxid de carboni i compostos orgànics volàtils) i MQ-4 (detector de gas metà), que, com es veu en els resultats del test, donen valors sense sentit al cap d'una estona funcionant. Si hagués de repetir l'experiment optaria per altres models més fiables.

Tot i haver-me organitzat per desenvolupar el projecte, he notat que, sobretot durant la setmana prèvia al llançament, m'ha faltat temps. No he pogut seguir completament el diagrama de Gantt que havia fet a l'inici del projecte.

Però no tot ha sortit malament. De fet, la majoria de coses han anat com s'esperava. He aconseguit programar un sistema capaç de recollir i emmagatzemar dades sobre diferents condicions climàtiques; posar aquest sistema a dins una capsula-sonda, que s'ha enlairat satisfactòriament mitjançant un globus de làtex omplert d'heli, i ho fer-ho davant de més de quaranta testimonis reunits un dissabte d'estiu, ben aviat al matí.

Hi ha hagut factors que s'haurien pogut millorar, com els esmentats abans, tot i que potser alguns no estan a l'abast d'un sol estudiant de batxillerat fent un projecte low-cost.

18. Conclusions

El treball de recerca que ara finalitza volia estudiar si alguns gasos d'efecte hivernacle augmentaven, disminuïen o es mantenien igual a l'atmosfera segons l'altitud. Per tal de mesurar-ho es va pensar i construir una sonda estratosfèrica equipada amb una sèrie de sensors capaços d'enregistrar la temperatura, la pressió atmosfèrica, la humitat, la concentració de diòxid de carboni i la concentració de gas metà a diferents alçades.

La hipòtesi plantejada era: les concentració del diòxid de carboni i de gas metà disminuirien al augmentar l'altitud.

El treball comença exposant el marc teòric de la recerca. Continua amb una part pràctica, en la qual es va dissenyar l'aparell i es programà la sonda. La part pràctica inclou el disseny del muntatge, l'elaboració del sistema informàtic, el muntatge dels aparells, el període de proves i retocs i finalment l'enlairament de la sonda.

Malgrat les proves i assajos fets, l'enlairament va tenir alguns problemes: la placa no aconseguia comunicar-se amb la targeta de memòria i va costar trobar l'error en el dispositiu, el càlcul de l'heli necessari tampoc estava ben fet i van haver-se de fer dos intents, l'aparell localitzador tampoc va funcionar. La sonda, però es va enlairar però no s'ha pogut localitzar i les dades que segurament haurà recollit tampoc s'han perdut. Per veure com hauria estat el tractament de dades, s'ha fet una simulació amb les recollides a l'assaig previ, tot i ser preses a nivell de la superfície. Les gràfiques elaborades es poden veure a les pàgines 51-54.

Malauradament, no s'han pogut complir tots els objectius. Però, així i tot, s'ha construït una estació meteorològica capaç d'enregistrar la temperatura, la pressió atmosfèrica, la humitat, la concentració de diòxid de carboni i la concentració de gas metà. I s'ha enviat aquesta sonda a gran altitud, segurament d'entre vint mil i vint-i-cinc mil metres d'alçada aproximadament. Finalment, però, la sonda no s'ha pogut recuperar, cosa que impedeix extreure conclusions.

Tot i això, durant aquest treball de recerca he après diferents habilitats i m'ha servit molt. He après a organitzar-me per elaborar un projecte de llarga durada, a

idear i dissenyar un aparell per complir uns objectius i a construir-lo; he après a programar amb el llenguatge Arduino IDE; he après a fer un pressupost i a aconseguir finançament per a un projecte mitjançant un patrocini, he après a organitzar un esdeveniment i a comunicar-me i coordinar-me amb òrgans oficials del govern. En definitiva, aquest treball de recerca, tot i no haver complert amb els objectius, ha estat molt enriquidor intel·lectualment en molts sentits. Considero que la feina que s'ha fet ha estat força aconseguida. Cap projecte és perfecte; tots els treballs es poden millorar. Prova d'això és l'avanç constant i exponencial de la tecnologia.

19. Bibliografia

Llibres

Brandt, L. W.. «Helium». A: Hampel, Clifford A.. *The Encyclopedia of the Chemical Elements*. Nova York: Reinhold, 1968, p. 261.

Pàgines web

Arduino Forum.

<https://forum.arduino.cc/>

Arduino Project Hub.

<https://create.arduino.cc/projecthub>

Blog de WIKA. *Cómo funciona un termopar*.

<https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmo-funciona-termopar/>

Britannica. *Carbon dioxide*.

<https://www.britannica.com/science/carbon-dioxide>

Britannica. *Methane*.

<https://www.britannica.com/science/methane>

CIIFEN. *Efecto Invernadero*.

<https://ciifen.org/efecto-invernadero/>

Enciclopèdia.cat. *Diòxid de carboni*.

<https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/dioxid-de-carboni>

Enciclopèdia.cat. *Estratosfera*.

<https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/estratosfera>

Enciclopèdia.cat. *Troposfera*.

<https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0148608.xml>

Encyclopedia - The free dictionary. *Communication bus*.

<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/communication+bus>

Gencat.cat. *Els gasos amb efecte hivernacle*.

https://canviclimatic.gencat.cat/ca/canvi/efecte_hivernacle/

Gutierrez, JMR. *Manual de programación Arduino*.

<http://cursoarduino.disca.upv.es/archive/recursos/Programacion.Grafica.de.Arduino.Jose.Ma.nuel.Ruiz.Gutierrez.2011.pdf>

HeTPro. I2C.

<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>

JM Industrial. *¿Qué son y para qué sirven los termopares?*.

<https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/40-que-son-y-para-que-sirven-los-termopares.html>

Luis Llamas. *Luis Llamas - Tutoriales de Arduino*.

<https://www.luisllamas.es/tutoriales-de-arduino/>

Omega Engineering. *¿Qué es un sensor termopar?*.

<https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>

NASA Climate Change. *Carbon Dioxide*.

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

NASA Climate Kids. *What Is the Greenhouse Effect?*.

<https://climatekids.nasa.gov/greenhouse-effect/>

Sparkfun Learn. *Serial Peripheral Interface (SPI)*.

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all>

Stratoflights. *Stratoflights: Stratosphärenflug als innovative Marketingidee*.

<https://www.stratoflights.com/>

Altres documents

Coma, A., Portella, L. (2014). *Satestrat: Una experiència de grans altures*. INS Pere Alsius i Torrent.

Universidad de Murcia. *Tema 3. La atmósfera*.

https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf

Annexos

Annex 1: Factures



Figura 67: Rebut Infotècnik Bateria portàtil (Font: Pròpia)

Figura 68: Rebut Amazon CCS811 (Font: Pròpia)

Figura 69: Albarà d'entrega DHL Stratoflights (Font: Pròpia)



Stratoflights GmbH & Co. KG - Saulsiek 17 - 32825 Blomberg

Patllari Camps
c/Creu del terme, 1
17820 Banyoles
Girona
Spanien

info@stratoflights.com
www.stratoflights.com

INVOICE

Invoice number: 05-2022.4665

Date: 2. May 2022

Order number: 64084 | Payment method: Kreditkarte

The date of delivery corresponds to the invoice date.

Services	Quantity	Unit price	Tax rate	Price
Weather Balloon Kit	1	568,33 €	21 %	568,33 €
· Weather Balloon / Parachute: Weather Balloon 1600 / Parachute 2500 ✓				
· GPS Tracker: no second GPS Tracker ✓				
· Port: Battery pack with USB-C ✓				
· Datalogger: no Datalogger				
· Camera: with Space Cam "Apeman" and 64GB Micro SD-Card (+99,94 €) ✓				
· Manual: digital manual (eBook)				
Subtotal				568,33 €
Shipping				17,28 €
Total				585,61 €
Total net				483,97 €
VAT 21 %				101,64 €

We would like to expressly point out that you have to contract an insurance. Weather balloon ascents must be reported to the air traffic control. In either case you are responsible to check the laws and regulations in your country.

Delivery to:

. Patllari Camps, c/Creu del terme, 1., Banyoles, 17820, ES

Bank details

Account holder: Stratoflights GmbH & Co. KG
IBAN: DE45 4785 0130 0810 1381 72
SWIFT: WELADE3LXXX
Bank: Sparkasse Paderborn-Detmold

Stratoflights GmbH & Co. KG Stratoflights Geschäftsführungs GmbH

Shareholder: Marcel Dierig, Tobias Lohf, Marvin Rissiek
Seat of the company: Saulsiek 17, 32825 Blomberg, Germany
Local court: Lemgo, Commercial register number: HRA 6079
VAT ID No.: DE293873380

Figura 70: Factura Stratoflights (Font: Pròpia)

Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.

Objecte	Preu	Pes (g)	Enllaç Compra
Globus	229,00 €	1600	https://www.stratoflights.com/
Heli	111,00 €		https://www.tien.com/
Paracaigudes	49,95 €	80	https://www.stratoflights.com/
Cordes	19,95 €	30	https://www.stratoflights.com/
Caixa			
Manta tèrmica	5,00 €	40	https://www.amazon.com/
Radar reflector		360	https://www.amazon.com/
Càmera			
Bateria	20,00 €		
Placa base Arduino	24,99 €	36,3	https://www.amazon.com/
Cables Arduino	7,99 €	10	https://www.amazon.com/
Termòmetre 1	6,00 €	40	
Termòmetre 2	6,00 €	40	
Termòmetre 3	6,00 €	40	https://www.gee.com/
Baròmetre bmp280	6,29 €	50	https://www.amazon.com/
Sensor CO2 CCS811	19,99 €	50	https://www.amazon.com/
Sensor CH4 MQ-4	2,53 €		https://www.amazon.com/
GPS	119,95 €	135	https://www.stratoflights.com/
Tarjeta micro SD			
Lector micro SD Arduino	9,00 €	40	https://www.amazon.com/
pack stratoflights	585,61 €		
	233,74 €		
primer pressupost sense heli	819,35 €		
segon pressupsot amb heli	930,35 €		
pressupost final amb l'error	1.470,35 €		

Figura 71: Cost projecte (Font: Pròpia)

Annex 2: Acord de Patrocini

Patllari Camps	HARIBO ESPAÑA SAU
77923379T	Ctra. Girona-Banyoles, km 14
c/Creu del Terme, 1	17844 Cornellà del Terri
17820 Banyoles	NIF A-60513512
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a altes altituds	
S'enviarà una capsa amb diferents sensors a l'estratosfera per mitjà d'un globus d'heli per determinar la variació de nivells de presència de gasos d'efecte hivernacle en funció de l'altitud.	
Objectius:	
- Determinar la variació de contaminació en diferents altituds.	
- Enviar un paquet a l'estratosfera amb l'ajut d'un globus d'heli i filmar-ho.	
- Enviar una llaminadura Haribo "osset" a l'atmosfera:	
per celebrar els 100 anys de l'osset, l'enviarem a l'estratosfera.	
es farà mitjançant un Osset especial per l'ocasió, vestit d'astronauta	
es gravarà un vídeo per patrocinar la marca i penjar-ho a les xarxes com a publicitat	
Material necessari	Cost total
Globus	
Heli	
Paracaigudes	
Cordes	
Caixa	
Manta tèrmica	
Radar reflector	
Càmera	
Bateria	
Placa base Arduino	
Cables Arduino	
Termoparell MAX6675	
Baròmetre bme280	
Sensor CO2 CCS811	
Sensor CH4 MQ-4	
GPS	
Tarjeta micro SD	
Lector micro SD Arduino	
TCA9548A I2C Multiplexer	
Total:	1.000€
Patllari Camps	Banyoles, 04/07/2022



HARIBO ESPAÑA S.A.U.
 Ctra. Girona-Banyoles, km 14
 Tel. 972 13 40 00 - 972 13 40 50
 17844 CORNELLA DEL TERRI
 (Girona - España)



Figura 72: Acord de patrocini HARIBO (Font: Pròpia)

Annex 3: Taula de Dades

Time (s)	ExTemperature (°C)	InTemperature (°C)	Pressure (hPa)	Altitude (m)	Humidity (%)	Methane Concentration	CO2 (ppm)	IVOC
0	34,5	32,36	994,31	159,91	45,01	0,01		
20	34,75	32,3	994,34	159,65	46,73	3,35	400	0
40	34,75	33,12	994,35	159,59	45,87	0,32	400	0
60	35,25	33,25	994,3	159,99	44,14	0,22	400	0
80	35,25	33,34	994,3	159,99	44,43	0,19	400	0
100	35,25	33,38	994,26	159,33	44,63	0,17	402	0
120	35,25	33,43	994,23	159,59	44,88	0,17	409	1
140	35,5	33,5	994,2	159,8	44,88	0,18	427	4
160	35,75	33,55	994,25	159,16	44,8	0,17	433	5
180	36,25	33,65	994,37	159,4	44,53	0,16	427	4
200	36	33,51	994,3	159,97	44,1	0,17	448	7
220	36	33,93	994,31	159,88	43,89	0,17	464	9
240	36	34,06	994,33	159,76	43,61	0,18	526	19
260	35,75	34,18	994,33	159,74	42,93	0,17	543	21
280	36	34,32	994,3	159,96	42,36	0,16	552	23
300	37	34,43	994,31	159,94	41,82	0,17	605	31
320	36,5	34,55	994,29	159,04	41,63	0,17	645	37
340	36,25	34,65	994,23	159,61	41,49	0,17	706	46
360	36,75	34,75	994,3	159,01	40,96	0,17	706	46
380	36,5	34,96	994,29	159,09	40,62	0,18	768	56
400	36,25	34,94	994,29	159,04	40,36	0,18	778	57
420	36,5	35,05	994,31	159,96	40,1	0,17	795	60
440	36,25	35,13	994,33	159,7	40,12	0,18	804	61
460	36,25	35,22	994,28	159,16	39,95	0,18	804	61
480	36,5	35,33	994,15	160,24	39,46	0,16	768	56
500	37	35,46	993,89	162,56	39,02	0,16	768	56
520	36,75	35,57	993,65	164,46	39,02	0,17	832	65
540	36,75	35,69	993,4	166,61	38,94	0,17	863	70
560	37,25	35,8	993,17	169,57	38,64	0,17	851	68
580	37,25	35,89	992,8	171,69	38,26	0,17	870	71
600	37,5	36,01	992,74	172,18	38,27	0,17	728	49
620	37,75	36,12	992,51	174,1	37,94	0,17	821	64
640	37,75	36,23	992,02	178,12	37,63	0,16	719	48
660	37,75	36,34	991,68	181,14	37,3	0,17	768	56
680	38	36,45	991,43	183,25	37,04	0,16	863	70
700	37,75	36,54	991,11	185,99	36,77	0,17	851	68
720	38	36,65	990,77	189,93	36,62	0,17	942	82
740	38	36,76	990,8	188,58	36,53	0,17	902	76
760	37,75	36,83	990,61	188,57	36,13	0,17	880	73
780	37,75	36,92	990,78	188,81	35,85	0,16	821	64
800	37,75	37,02	991,12	188,88	35,4	0,17	719	48
820	37,75	37,11	992,28	176,08	35,17	0,16	657	39
840	37,75	37,22	992,8	171,68	34,82	0,17	761	54
860	37,75	37,32	993,27	167,65	34,61	0,16	795	60
880	37,75	37,33	993,96	162,7	34,44	0,15	761	54
900	38,25	37,48	994,29	159,17	33,89	0,15	749	53
920	37,5	37,57	994,29	159,08	33,85	0,16	728	49
940	37,5	37,67	994,23	159,17	33,67	0,17	748	53
960	38	37,73	994,33	159,75	33,57	0,15	735	51
980	38	37,82	994,38	159,29	33,37	0,17	761	54
1000	38,25	37,95	994,37	158,41	33,2	0,17	697	45
1020	38,25	37,97	994,3	159,01	33,13	0,16	652	38
1040	39	38,01	994,37	158,37	32,79	0,16	569	25
1060	39	38,05	994,36	158,46	32,59	0,17	537	20
1080	39	38,11	994,4	158,12	32,15	0,15	519	17
1100	39,25	38,14	994,36	158,47	32,08	0,15	470	10
1120	39,25	38,18	994,41	158,06	32,25	0,15	400	0
1140	39	38,17	994,4	158,13	31,96	0,18	400	0
1160	39,75	38,21	994,37	158,38	31,37	0,14	428	4
1180	38,5	38,27	994,27	159,23	31,61	0,13	472	10
1200	38,5	38,35	994,28	159,17	31,85	0,15	561	24
1220	39,75	38,44	994,28	159,16	31,76	0,19	623	33
1240	38	38,54	994,31	159,91	31,78	0,16	682	42
1260	38,25	38,64	994,43	157,84	31,66	0,17	742	52
1280	37,75	38,71	994,44	157,78	31,59	0,16	821	64
1300	37,75	38,77	994,57	156,69	31,67	0,17	905	76
1320	37,25	38,93	994,55	156,86	31,73	0,16	1029	95
1340	37,75	38,99	994,53	157,06	31,82	0,19	1204	122
1360	37,5	38,92	994,53	157	31,78	0,18	1395	150
1380	37	38,96	994,61	156,4	31,84	0,2	1527	190

Figura 73: Taula de dades 1/2 (Font: Pròpia)

1400	37,5	38,97	994,61	156,38	32,02	0,2	1564	218
1420	37	38,98	994,61	156,4	32,16	0,2	1606	249
1440	37	39,01	994,56	156,81	32,21	0,2	1606	249
1460	36,5	39,03	994,64	156,15	32,27	0,21	1642	284
1480	37	39,06	994,62	156,27	32,32	0,22	1676	314
1500	37	39,07	994,55	156,87	32,28	0,22	1714	352
1520	37	39,08	994,3	158,96	32,26	0,22	1714	352
1540	36,75	39,08	994,1	160,64	31,97	0,21	1749	390
1560	36,25	39,09	994,29	159,06	31,99	0,21	1775	422
1580	36,75	39,08	994,24	159,49	31,83	0,21	1775	422
1600	36,25	39,12	994,2	159,83	31,93	0,21	1814	468
1620	36,25	39,14	994,37	158,42	31,82	0,22	1827	483
1640	36	39,17	994,26	159,34	31,63	0,22	1832	490
1660	35,5	39,19	994,25	159,38	31,54	0,22	1842	504
1680	35,5	39,22	994,47	157,82	31,45	0,22	1858	527
1700	35,75	39,24	994,33	158,71	31,33	0,24	1867	540
1720	35,25	39,26	994,4	158,16	31,13	0,22	1889	570
1740	35,25	39,28	994,21	159,73	30,93	0,24	1889	570
1760	34,5	39,29	994,33	158,71	30,9	0,24	1900	586
1780	34,75	39,32	994,43	157,84	30,75	0,24	1915	609
1800	34,5	39,33	994,51	157,24	30,6	0,24	1915	609
1820	33,25	39,34	994,49	157,36	30,45	0,22	1910	599
1840	33,75	39,34	994,56	156,8	30,31	0,21	1915	609
1860	33,5	39,35	994,69	155,7	29,8	0,21	1895	579
1880	33,5	39,36	994,6	156,46	29,36	0,22	1880	555
1900	34,25	39,37	994,67	155,84	29,54	0,22	1942	604
Average:	36,78285417	37,04395633	993,92675	162,1236542	35,78197917	0,21468799	999,3052632	159,6842105
Total time:	0°31'40"							

Figura 74: Taula de dades 2/2 (Font: Pròpia)

Annex 4: Notícies del dia de l'enlairament

Es publiquen dues notícies relacionades amb aquest treball de recerca. Una al Punt Avui i una altre a Astrobanyoles.

Estéban, Ramon. «Dades de contaminació perdudes a Camós». *El Punt Avui Girona*, 19-9-2022, p. 18.

<https://www.elpuntavui.cat/societat/article/16-educacio/2193691-dades-de-contaminacio-per-dudes-a-camos.html>

18 Comarques Gironines
EL PUNT AVUI
DILLUNS, 19 DE SETEMBRE DEL 2022

Fil a l'agulla per evitar el "faunicidi" de cigonyes

■ Endesa i la Generalitat col·laboren per prioritzar les instal·lacions que s'han de protegir per evitar electrocucions ■ Un real decret del 2008 obliga la companyia a aïllar tota la xarxa elèctrica

Marc Salgas
GIRONA

La mort de cigonyes electrocutades en torres i línies elèctriques ha estat un episodi habitual en les seves parades al Baix Empordà, la Selva i el Pla de l'Estany durant la migració postnupcial d'aquest estiu. Com que viatja amb grans estols, la cigonya és l'au més afectada a Catalunya per aquests accidents. "Naterren moltes i només que una s'enrampi pot passar el corrent a les altres i que en morin moltes", explica Ricard Casanovas, cap del servei de fauna i flora del Departament d'Acció Climàtica.

Per aquest motiu, es poden produir casos com el que hi va haver a Llagostera a principis d'agost, en que en van morir una trentena en un sol incident.

Les electrocucions són la principal causa de mort entre les espècies d'aus protegides. Després de les cigonyes, les més afectades són l'aligot, el voltor comú i el duc. Cada any es produeixen uns 600 casos



Una de les cigonyes que va morir electrocutada a Llagostera ■ QUIM LLINÀS

res i línies on s'aturen les aus a descansar. Segons aquest conveni, la companyia instal·la i sufraga els aïllants necessaris per evitar les electrocucions. El 2020 i 2021 se'n van adequar 350 cada any i aquest 2022 es preveu que la xifra augmenti fins a les 500. L'administració és qui s'encarrega de prioritzar les zones on cal actuar, depenent de si es tracta de zones protegides o de si són zones amb reincidència o mortalitat massiva.

El conveni no exclou la possibilitat d'obrir diligències contra la companyia si s'acredita que una au protegida ha mort electrocutada. De fet, des del 2008, un real decret estableix les prescripcions tècniques que les noves línies d'alta i mitjana tensió han de tenir per evitar acci-

GIRONA
Un incendi crema un habitatge del Barri Vell

Un incendi va cremar ahir a la tarda un habitatge al carrer Portal de la Barca del Barri Vell de Girona. Els Bombers van rebre l'avís a dos quarts de vuit de la tarda i s'hi van desplaçar amb sis dotacions. En arribar al lloc dels fets, van trobar l'habitatge –un segon pis– buit perquè els habitants havien sortit al carrer. No es van registrar ferits. Les flames, ben visibles des del carrer, van alertar els veïns del barri. Una hora més tard, els Bombers tenien l'incendi controlat. Tot indicava que el foc s'havia originat arran d'una cigarreta. Dos veïns van ser allotjats a l'Alberg. ■ EPA

LLAGOSTERA
Turull, al dinar per presentar el candidat de Junts

El secretari general de Junts per Catalunya, Jordi Turull, va assistir ahir al dinar popular organitzat per la formació a Llagostera en què es va presentar oficialment Narcís Llinàs com a cap de llista de Junts en aquest municipi. Al dinar van assistir-hi prop de 200 persones. En declaracions a l'ACN, ahir Turull va reiterar la importància que els respectis vagin a l'una i que es respecti el pacte de govern. Diumenge, en una entrevista que no es pot actuar de manera unilateral, al marge de l'acord de govern. ■ R.A.

Educació

Dades de contaminació perdudes a Camós

INCÒGNITA • El globus i els aparells d'una estació meteorològica enlairada aquest estiu van caure en un lloc que encara no s'ha pogut concretar **PROJECTE** • És el treball de recerca d'un estudiant de l'institut Pere Alsius de Banyoles

Ramon Estéban
BANYOLES

El treball de recerca d'un alumne de primer de batxillerat de l'institut Pere Alsius de Banyoles, Patllari Camps, no era dels més corrents i tenia un objectiu molt interessant: volia esbrinar el nivell de contaminació de l'aire al Pla de l'Estany. La manera de fer-ho –condicionada com és lògic per uns recursos limitats– consistia a situar durant unes hores una estació meteorològica a 35.000 metres d'altitud, a través d'un globus d'heli. A més d'aparells per mesurar la pres-

sió atmosfèrica, la humitat i la temperatura, l'estació, col·locada en una capsula lleugera, incloïa un registre de la concentració de gasos d'efecte hivernacle (diòxid de carboni i el metà). La part teòrica i molta de la pràctica s'ha realitzat aquest estiu, però amb un èxit relatiu, ja que si bé el llançament va anar bé, no s'ha esbrinat encara el punt on el globus i els aparells van caure perquè es va espallar el GPS i no es va poder fer el seguiment del vol en temps real, tal com estava previst. Tampoc es va aconseguir l'altitud pretesa i els aparells no van superar els 25.000 metres, degut al vent,

explica l'estudiant. L'enlairament el van fer al pla de Martís, un lloc ideal perquè s'hi obté una extensa panoràmica i no hi ha ni arbres ni edificis que entorpeixin l'operatiu i la visió directa. "Per les simulacions fetes, el globus hauria d'haver caigut a la zona de la serra de Camós", diu Camps. Un mes i mig després, el lloc on va anar a parar és una incògnita, però el noi confia que a la tardor algun boletaire localitzari l'artefacte i es podrien conèixer les dades recollides pels aparells.

Patllari Camps està fent el batxillerat tecnològic, amb el



Preparatiu de l'enlairament al pla de Martís ■ CEDIDA AL PUNT AVUI

professor Pep Martos de tutor, que ha fet l'acompanyament del projecte. Per finançar-ho, l'estudiant –que té la intenció de cursar les carreres de física o matemàtiques, si pot ser, en una universitat britànica i si no, a l'Autònoma– va recórrer a l'empresa Haribo, amb la qual va establir un acord de col·laboració: la multinacional hi ha posat mil euros i, a canvi, en Patllari va instal·lar a bord de la nau dos d'aquells ossets de goma tan populars de la marca de laminadures ("i que recorden uns astronautes", assenyalava el noi) i n'ha enregistrat un vídeo promocional. ■

Pujol, Dolors. «Èxit en el llançament d'una sonda meteorològica». *Astrobanyoles*, 2-8-2022.
https://www.astrobanyoles.org/unarticle.php?num_art=824



Annex 5: Galeria d'imatges de l'enlairament



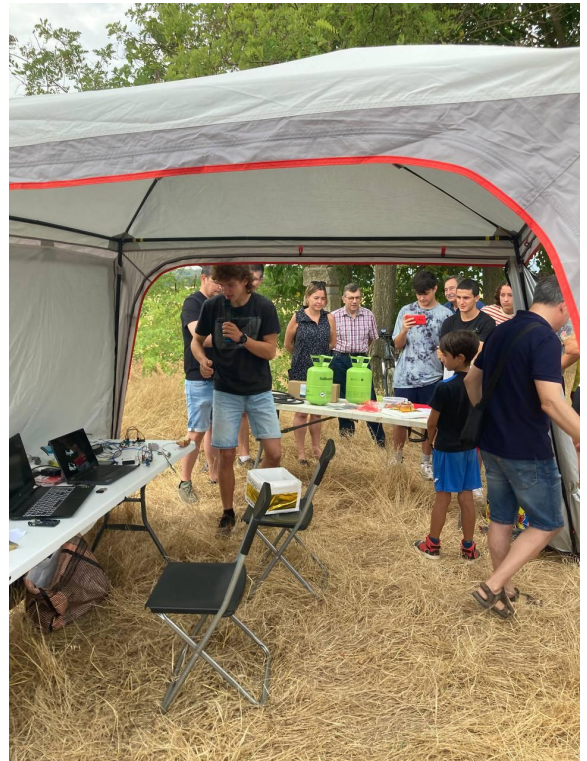
Figura 77-104: Imatges varies del dia de l'enlairament (Font: Pròpia)



Ple d'amor, vola!
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.



Ple d'amor, vola!
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.



Ple d'amor, vola!
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.



Ple d'amor, vola!
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.



Ple d'amor, vola!
Estudi de la presència de gasos d'efecte hivernacle a grans altituds.

