



Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior

DESENVOLUPAMENT D'UN DISPOSITIU D'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DEL CEL PER AL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA

Treball Final de Grau en Enginyeria Electrònica
Industrial i Automàtica

Oscar Forradellas Conte
Director del TFG: Fernando Guirado Fernández

AGRAÏMENTS

Aquest treball final és la guinda del pastís als quatre meravellosos anys que he passat a la universitat, d'on m'emporto grans amics, vivències i molt més. Però això no hauria estat possible sense la meva família, als que des d'aquí els hi agraeixo moltíssim.

Agrair la col·laboració del meu tutor, Fernando Guirado, per la seva gran ajuda durant aquests mesos i l'interès que m'ha contagiats per treure aquest projecte tan interessant endavant amb bons resultats.

Així també agrair a l'Adolf, tècnic del laboratori d'electrònica, per la seva ajuda a l'hora de fabricar la placa electrònica.

També un agraïment al meu amic i company d'Enginyeria Informàtica a la EPS, Marcos, que m'ha donat un cop de mà amb el codi, tant amb Python com Arduino.

Per últim, agrair a l'Observatori Astronòmic d'Alcarràs, en especial al seu responsable, per l'interès mostrat des del primer dia i per dotar a les seves instal·lacions del dispositiu realitzat i així, col·laborar amb la lluita contra la contaminació lumínica al món.

RESUM

El present treball consisteix en el desenvolupament d'un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per al control de la contaminació lumínica. Es tracta d'un mercat amb molt poca oferta.

La contaminació lumínica és un greu problema actual, del qual la majoria de la gent no és conscient. Actualment existeixen associacions en l'àmbit mundial pel control i la mesura de la contaminació lumínica arreu del món, on aficionats i professionals col·laboren prenen dades del cel nocturn i les posen en comú, per a posteriors investigacions d'aquest àmbit.

Aquest treball s'ha fet seguint una planificació dissenyada al començament, i que ha consistit en estudiar el mercat, buscar informació i documentar-se sobre el tema, realitzar el disseny i posterior fabricació del prototipus, programar tant el dispositiu com l'entorn de treball per a l'usuari i provar el correcte funcionament del dispositiu amb el seu anàlisi corresponent.

El dispositiu emmagatzema durant tota la nit i amb una freqüència definida per l'usuari, les dades de magnitud de lluminositat, temperatura i humitat de manera autònoma. A més pot estar connectat via USB o Wifi per a poder ser controlat per un usuari. Aquest usuari amb el seu ordinador i a través d'un entorn gràfic que s'ha realitzat també en aquest treball, pot descarregar les dades del dispositiu en un fitxer de càlcul, consultar les dades actuals, esborrar l'històric de dades o inclòs configurar diversos paràmetres del dispositiu.

Les proves del prototipus s'han fet comparant el dispositiu dissenyat amb un dispositiu comercial cedit per l'Observatori Astronòmic del INS d'Alcarràs. Els resultats d'aquestes proves fan veure la fiabilitat de l'aparell desenvolupat durant el present treball.

Es tracta d'un projecte que ha fet néixer interès des d'un principi per part d'aficionats a l'astronomia de la zona. El dispositiu fabricat s'instal·larà, en finalitzar el TFG, al O.A.I.A, on el faran servir per monitoritzar la contaminació lumínica i enviar les dades a la campanya internacional "Globe at Night" i a la "REECL" (Xarxa Espanyola d'Estudis sobre Contaminació Lumínica).

ÍNDIX DE CONTINGUTS

Índex de figures	5
1. Introducció	7
1.1 Introducció a la contaminació lumínica	7
1.2 Motivació.....	9
1.3 Objectius	10
1.4 Programari utilitzat	10
1.5 Metodologia i Temporalització	11
2. Estat de l'art	13
2.1 Mercat comercial	13
2.2 Productes AMATEURS	14
2.3 Dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel	14
3. Anàlisi i solucions possibles.....	15
3.1 Anàlisi dels possibles microcontroladors	15
3.1.1 Arduino Nano	15
3.1.2 Arduino Uno	15
3.1.3 Arduino Mega.....	16
3.1.4 Raspberry Pi 2 B.....	16
3.1.5 Decisió final	16
3.2 Anàlisi de la lluminositat	17
3.2.1 Circuit "Light to Frequency Converter 1"	17
3.2.2 Circuit "Light to Frequency Converter 2"	18
3.2.3 Dispositiu "Light To Frequency Converter"	19
3.2.4 Elecció de l'opció més adient per a l'anàlisi de la lluminositat.....	21
3.3 Emmagatzematge de dades	22
3.3.1 Lector de targetes SD + memòria SD.....	22
3.3.2 Memòria EEPROM.....	23
3.3.3 Elecció de l'opció més adient per emmagatzemar les dades	24
3.4 Transmissió de dades	24
3.4.1 Connexió PC-Arduino pel port sèrie.....	24
3.4.2 Transmissió de dades via Bluetooth.....	25
3.4.3 Transmissió de dades a través d'Internet	26
3.4.4 Elecció de l'opció més adient per transmetre les dades.....	27

3.4.5 Canvi d'elecció en la transmissió de dades	27
3.5 Altres funcionalitats del dispositiu	28
3.5.1 DHT11	28
3.5.2 DHT22	28
3.5.3 Elecció de l'opció més adient per obtenir la temperatura i humitat	29
3.6 Resum del material seleccionat per al prototipus	29
4. Prototipus funcional	31
4.1 Components físics (Part electrònica)	32
4.1.1 Microcontrolador Arduino	32
4.1.2 Placa electrònica complementaria al microcontrolador	33
4.1.3 Sensor de lluminositat	33
4.1.4 Mòdul Wifi ESP8266	34
4.1.5 Sensor de temperatura i humitat	36
4.1.6 Adaptador microSD	36
4.2 Components físics (Part Mecànica)	37
4.2.1 Tub PVC exterior per aconseguir un bon angle d'observació	37
4.2.2 Lent de metacrilat per a protegir el sensor TSL	38
4.2.3 Caixa estanca	39
4.3 Disseny del PCB	40
4.4 Programació Arduino	47
4.4.1 Versió USB	47
4.4.2 Versió Wifi	47
4.5 Entorn per l'usuari de la versió amb connexió USB	49
4.6 Entorn per l'usuari de la versió amb connexió Wifi	51
4.7 Emplaçament final del prototipus	52
5. Proves del prototipus	55
5.1 Primeres proves del prototipus	55
5.2 Proves prototipus funcional	57
6. Pressupost	61
6.1 Cost dels components	61
6.1.1 Versió amb connexió USB	61
6.1.2 Versió amb connexió WIFI	62
6.2 Cost de l'enginyeria	63
6.2.1 Disseny del prototipus	63

6.2.2 Fabricació del dispositiu	63
6.2.3 Programació del dispositiu	64
6.2.4 Resum de costos.....	64
7. Conclusions i treball futur	65
7.1 Conclusions.....	65
7.2 Treball futur.....	66
8. Bibliografia	67
9. Annexos.....	69
9.1 Escala MPSAS vs escala MALE	69
9.2 Passos per instal·lar Python 3.5 a windows	70
9.3 Manual d'usuari per al funcionament del menú.....	71
9.4 Schematics.....	73
9.5 Codi Arduino.....	75
9.6 Codi Python	81

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1 - Exemple de lluminàries i contaminació lumínica segons la direcció de llum que desprenen	7
Figura 2- Imatge de la NASA on es pot veure la contaminació lumínica del planeta a la nit.....	8
Figura 3 - WebApp de www.globeatnight.org per a participar en la campanya internacional	9
Figura 4 - Diagrama de Gantt de la planificació temporal inicial.	11
Figura 5 - Diagrama de Gantt de la temporalització que s'ha seguit.	12
Figura 6 - Dispositiu SQM i SQM-L de la marca Unihedron.....	13
Figura 7 - Arduino Nano	15
Figura 8 - Arduino Mega.....	16
Figura 9 - Raspberry Pi 2 B	16
Figura 10 - Disseny del circuit "Light To Frequency Converter 1"	18
Figura 11 - Disseny del circuit "Light To Frequency Converter 2"	19
Figura 12 - Circuit per a l' utilització d'un sensor TSL23X.....	19
Figura 13 - Taula comparativa integrats TSL23X (Light To Frequency Converter)	20
Figura 14 - Taula comparativa de les diferents opcions per a l'anàlisi de la lluminositat.....	21
Figura 15 - Arduino Micro SD Card Shield	22
Figura 16 - EEPROM para Arduino Uno.....	23
Figura 17 - Taula comparativa de les opcions per emmagatzemar dades.....	24
Figura 18 - Monitor Serie que incorpora el IDE de Arduino.....	25
Figura 19 - Mòdul HC-06 que afegeix al Arduino Uno la funcionalitat Bluetooth	25
Figura 20 - Internet Shield per dotar al Arduino de connexió a la xarxa a través de cable	26
Figura 21 - Mòdul ESP8266-01 que permet connectar al Arduino a la xarxa a través de WIFI ..	26
Figura 22 - Sensors humitat i temperatura: DHT11 (blau) i DHT22 (blanc)	28
Figura 23 - Esquemàtic del prototipus sobre la protoboard	32
Figura 24 - - Microcontrolador Arduino Uno triat per la construcció del nostre dispositiu	32
Figura 25 - Placa electrònica ja instal·lada en el prototipus funcional.....	33
Figura 26 - Vista frontal del TSL237.....	34
Figura 27 - Connexions del mòdul ESP8266-01.....	35
Figura 28 - Vista del sensor d'humitat i temperatura DHT22	36
Figura 29 - Secció de l'objectiu ocular para el TSL237	37
Figura 30 - Tub de PVC per aconseguir un angle d'observació de 25º amb lent de metacrilat ..	38
Figura 31 - Caixa estanca de PVC que protegeix els elements electrònics del dispositiu dissenyat	39
Figura 32 - Connexions del microcontrolador Arduino Uno	40
Figura 33- Connexions del rellotge DS1307	41
Figura 34 - Connexions del sensor de temperatura i humitat DHT22.....	41
Figura 35 - Connexions del convertidor de llum a freqüència TSL237	41
Figura 36 - Connexions del mòdul WIFI ESP8266-01	42
Figura 37 - Connexions de l'adaptador MicroSD per Arduino	42
Figura 38 - Circuit regulador de tensió a 3.3V.....	42
Figura 39 - Alimentació d'entrada a la placa electrònica.....	42
Figura 40 - Llistat de components del PCB dissenyat.....	43

Figura 41 - Exemples d'empremtes dels diversos tipus de components electrònics	43
Figura 42 - Disseny final del PCB vist des del KiCad	44
Figura 43 - Plantilla del PCB llesta per imprimir sobre la placa de fibra de vidre	44
Figura 44 - Cara dels components del PCB dissenyat	45
Figura 45 - Placa insolada i amb els forats corresponents fets	46
Figura 46 - PCB finalitzat a falta del cablejat i afegir algun integrat	46
Figura 47- Visualització del menú principal de l'entorn Python per a l'usuari	50
Figura 48 - Visualització de l'execució de l'opció "LIST" del menú principal.....	50
Figura 49 - Visualització de l'execució de l'opció "INFO" del menú principal	50
Figura 50 - Submenú "TOOLS" que permet canviar els diferents paràmetres del dispositiu	51
Figura 51 - Exemple d'execució d'una opció al submenú "TOOLS"	51
Figura 52 - Situació de la cúpula de l'Observatori Astronòmic dins de l'Institut d'Alcarràs	52
Figura 53 - Secció del INS d'Alcarràs on es mostra l'accés a la cúpula i la seva localització	53
Figura 54 - Telescopi Meade LX200GPS que es troba al O.A.I.A	53
Figura 55 - Fotografia amb el meu tutor del TFG i la ubicació futura del primer dispositiu fabricat	54
Figura 56 - Fotografia amb el dispositiu dissenyat i el responsable de l'Observatori Astronòmic del INS d'Alcarràs	54
Figura 57 - Mesures de les primeres proves del prototipus funcional	55
Figura 58 - Gràfica de valors obtinguts en les primeres proves del prototipus	56
Figura 59 - Coeficients de correcció que s'haurien d'aplicar en cada mesura obtinguda del nostre dispositiu.....	56
Figura 60 - Mesures obtingudes en MPSAS del SQM professional i del prototipus final del nostre dispositiu.....	58
Figura 61 - Gràfica comparativa entre les mesures del SQM professional i del prototipus final del nostre dispositiu.....	58
Figura 62 - Gràfica comparativa amb la corba del prototipus corregida	59
Figura 63 – Cost dels components del dispositiu per a la fabricació de la versió amb connexió USB	62
Figura 64 – Cost dels components del dispositiu per a la fabricació de la versió amb connexió WIFI	62
Figura 65 - Cost total quant al disseny del prototipus	63
Figura 66 - Cost total quant a la fabricació del dispositiu	63
Figura 67 - Cost total quant a la programació del dispositiu	64
Figura 68 - Cost Total de l'Enginyeria	64
Figura 69 - Resum dels costos del dispositiu per a les versions USB i WIFI	64
Figura 70 - Escala MPSAS que ens donaria el SQM professional	69

1. INTRODUCCIÓ

1.1 INTRODUCCIÓ A LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA

La humanitat ha anat evolucionant i la il·luminació artificial no ha estat menys, a la prehistòria l'home utilitzava les flames del foc per enlluernar les seves caveres quan no hi havia llum solar, durant l'antiga Grècia i Roma es van fabricar llànties de metall que cremaven oli o grassa animal per fer llum, al segle XV a Egipte es va inventar l'espelma.

Va ser en l'Edat Mitjana quan es va començar a utilitzar torxes i canelobres amb espelmes per il·luminar els carrers. Ja en l'època contemporània es van inventar diverses alternatives com les lluminàries de querosè (derivat del petroli), il·luminació amb gas d'hulla o gas destil·lat de fusta, les quals van millorar la seguretat per risc d'incendi.

Amb el pas del temps es va descobrir la llum elèctrica, va ser quan es van fabricar les primeres llampares elèctriques per incandescència d'un fil prim de platí, que va ser substituït per elèctrodes de carbó el qual va provocar una revolució en quant a l'enllumenat públic dels carrers. Aquestes bombetes incandescentes s'han anat millorant fins fa poc temps, amb el sorgiment dels halògens, i en l'actualitat la lluminositat LED.

Però, aquesta "millora" en enllumenat dels carrers sense control, per falta de coneixement, provoca que es malgasti gran quantitat de llum de la qual s'emet, fins que arriba un dia, no molt llunyà que ens adonem que aquesta contaminació lumínica és perjudicial per al benestar i la salut dels habitants de totes aquelles comunitats afectades per l'excés de llum. Fins i tot, hi ha espècies animals que corren greu perill per desaparèixer a causa dels canvis que produeix aquest fenomen en el seu hàbitat.

Aquesta pol·lució de llum és la resplendor que es produeix degut a l'excés d'emissió de llum projectada sobre gasos i partícules suspeses en l'aire. Aquesta llum artificial i desmesurada es desvia en diverses direccions sense sentit, en diferents intensitats, sense horaris adequats i en rangs espectrals innecessaris.

Aquest tipus de contaminació es deu principalment a l'ús de lluminàries mal dissenyades, que envien la seva llum cap amunt (especialment els fanals de tipus globus), l'excés de potència, així com a l'existència d'horaris inadequats de il·luminació ornamental.

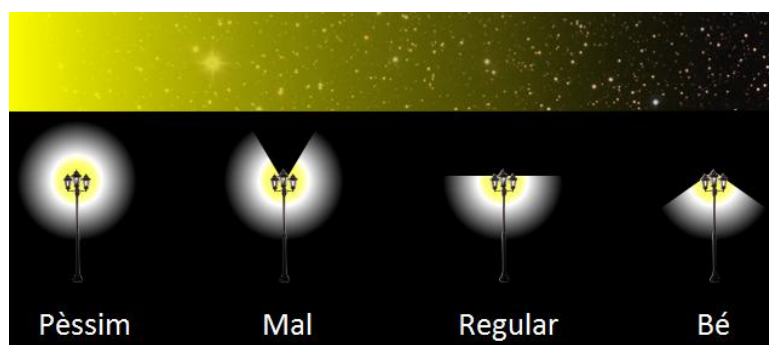


Figura 1 - Exemple de lluminàries i contaminació lumínica segons la direcció de llum que desprenen

A banda del malbaratament innecessari d'electricitat, aquesta font d'energia es basa en la crema de combustibles fòssils que emeten diòxid de carboni (CO₂) a l'aire, causa principal del canvi climàtic i que moltes comunitats vulnerables del planeta pateixen les seves terribles conseqüències, com és el cas de la "cuca de llum" està veient com disminueix progressivament la seva població. La desmesurada il·luminació atrau mosquits cap a zones urbanes i desorienta i modifica els hàbits de moltes aus.

L'excés de llum provinent dels fanals del carrer pot alterar el son de moltes persones, ja que il·lumina durant tota la nit, l'interior dels habitatges. Aquesta intrusió lumínica és molesta, ja que no permet dur una vida normal i saludable. També afecta la via pública, ja que provoca enlluernaments tant a vianants com a conductors, podent provocar accidents de tràfic o fatiga.

La falta de sensibilitat de les persones i sobretot de les entitats responsables és deguda principalment a una falta d'informació unida al fet freqüent que al viure durant tant temps amb aquest problema, ens hem acostumat a ell i ja no el percebem com tal.

Tot aquest "caos" de lluminositat també deixa sense visibilitat els cels de moltes de les ciutats d'arreu del món i està provocant malalties com alguns tipus de càncer o alteracions del son, essent dues de les greus conseqüències que adverteixen molts astrònoms professionals i amateurs, astrofísics i professionals de la sanitat i investigació.

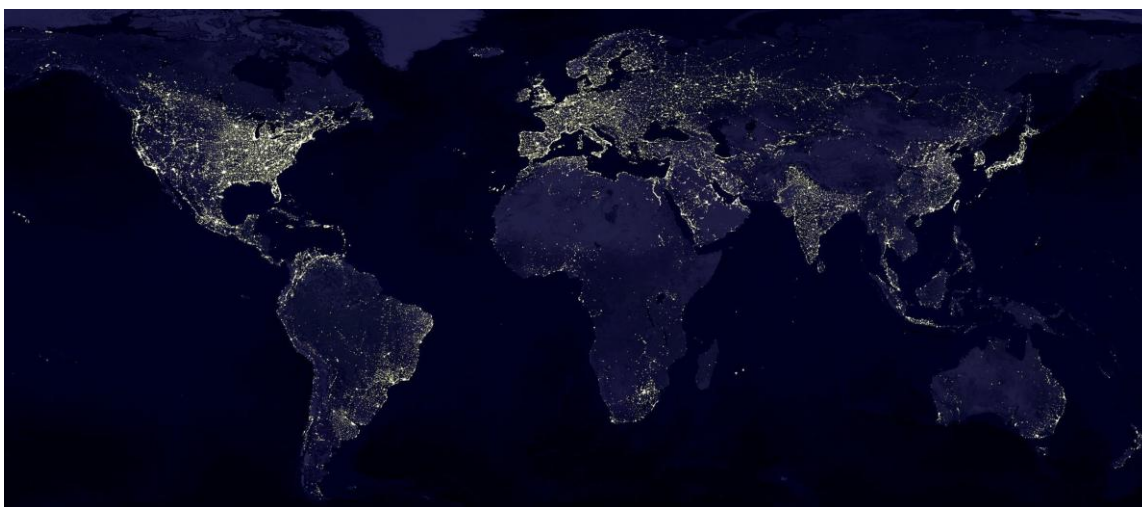


Figura 2- Imatge de la NASA on es pot veure la contaminació lumínica del planeta a la nit

Aquest últim, és un dels principals motius pel desenvolupament del prototipus funcional del qual va aquest treball, un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per al control de la contaminació lumínica. També conegut entre els professionals i aficionats a l'astronomia com "Sky Quality Meter".

El "SQM" ajuda a la gent a aportar dades del cel nocturn en iniciatives per lluitar en contra d'aquest fenomen, actualment s'està duent a terme un projecte en l'àmbit mundial pel control i la mesura de la contaminació lumínica, com és el cas de la "Dark Sky Association" que ens proporciona algunes idees com poden ser: inspeccionar la il·luminació del voltant de casa

nostra, parlar amb familiars i amics per conscienciar de la contaminació lumínica o inclòs participar en projectes on es recullen dades de brillantor nocturna de qualsevol punt del planeta.

Un projecte que reuneix dades de les observacions de brillantor del cel nocturn de molts ciutadans voluntaris d'arreu del món, és la "Globe at Night", una campanya internacional que vol conscienciar als ciutadans sobre l'impacte de la contaminació lumínica, invitant, als que ells anomenen "ciutadans científics", a mesurar la lluminositat del seu cel nocturn i a presentar aquestes observacions en una base de dades mundial. Actualment aquest projecte ja compta amb més de 100.000 mesures que han aportat gent de 115 països diferents fent que aquesta sigui la campanya de sensibilització de la contaminació lumínica de més èxit fins ara.

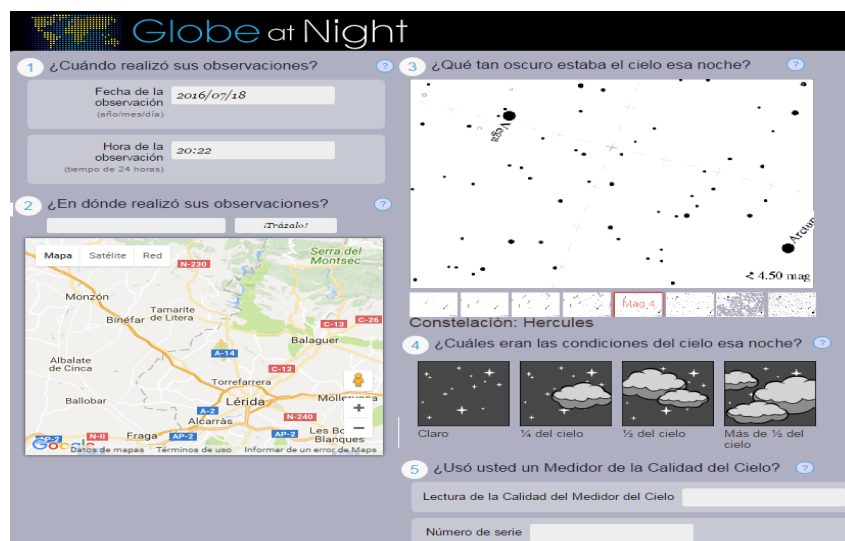


Figura 3 - WebApp de www.globeatnight.org per a participar en la campanya internacional

En l'àmbit nacional existeix la REECL, una xarxa espanyola d'estudis sobre la contaminació lumínica, on diferents grups d'investigació formats per parcs i observatoris astronòmics juntament amb universitats de Barcelona, Madrid, Galícia, València, País Basc i Múrcia, estan creant actualment una xarxa temàtica que reuneixi a diferents investigadors que estudiïn la contaminació lumínica a Espanya.

1.2 MOTIVACIÓ

La motivació principal d'aquest document és la voluntat de dissenyar un dispositiu electrònic útil i innovador per la societat, i d'aquesta manera veure realment en què consisteix un treball d'Enginyeria en l'àmbit de l'electrònica industrial i automàtica. La idea és dissenyar un aparell que faciliti alguna tasca que actualment es faci de manera manual, i passi a fer-se de manera autònoma.

Una primera proposta va ser la idea de fer un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per al control de la contaminació lumínica, vam veure que realment podia ser un producte innovador

al mercat i a baix cost, ja que actualment es fa mitjançant l'observació humana o amb aparells d'acció manual amb preus molt alts.

Aquesta idea va fer néixer l'interès, per aquest treball final de grau, per part d'aficionats a l'astronomia de la zona, com és el cas de l'observatori astronòmic amateur situat a Alcarràs. On faran servir el prototipus amb la finalitat de monitorar la contaminació lumínica i enviar les dades a la campanya internacional "Globe at Night" i a la "Xarxa espanyola d'estudis sobre la contaminació lumínica.

1.3 OBJECTIUS

Durant els primers dies de dedicació al Treball Final de Grau conjuntament amb el meu tutor, es van fixar els següents objectius per al transcurs d'aquest treball:

- Estudi i coneixement dels temes a tractar durant la realització del treball.
- Estudi de mercat professional i amateur de productes similars, per tal de definir un resultat que millori les particularitats dels dispositius existents.
- Identificació i elecció dels components necessaris per a la creació del producte final.
- Disseny i desenvolupament d'un prototipus funcional que sigui senzill de manipular i pugui estar a l'abast de qualsevol aficionat a l'astronomia o persona inquieta per la contaminació lumínica.
- Posar en marxa el prototipus, avaluar el seu comportament i agafar mesures de la magnitud visual, humitat i temperatura del moment de l'observació nocturna. Així com realitzar gràfiques dels resultats obtinguts.
- Incorporar el prototipus a un observatori astronòmic real ubicat a l'IES d'Alcarràs, on s'utilitzarà per a la mesura i enviament de dades a l'organització "Globe at Night" i a la xarxa espanyola "REECL".
- Fer un pressupost el més real possible del que costa dissenyar i fabricar un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel.
- Proposar millores que es poden desenvolupar en un futur.

1.4 PROGRAMARI UTILITZAT

IDE Arduino 1.6.10: entorn de programació de Arduino per pujar els sketches a la placa.

KiCad 4.0.2: disseny de circuits elèctrics i disseny 2D I 3D de PCB.

Fritzing 0.9.2: disseny esquema elèctric i distribució d'elements electrònics.

Microsoft Office Excel 2007: disseny dels Gantt, taules de mesures i gràfiques.

Microsoft Office Word 2007: editor de text.

Atom 1.8.0: editor de text desenvolupat especialment per escriure codi.

Cmd Windows : intèrpret de comandes de Windows

1.5 METODOLOGIA I TEMPORALITZACIÓ

La metodologia que s'ha dut a terme durant la realització del present treball és la següent:

- 1) Estudi i coneixement dels temes a tractar.
- 2) Estudi de mercat professional i amateur.
- 3) Definir objectius del projecte i analitzar les diferents opcions.
- 4) Estudi comparatiu i elecció final.
- 5) Disseny i desenvolupament del prototipus.
- 6) Calibratge i anàlisi del funcionament del dispositiu.
- 7) Conclusions i futures millores.

A continuació es detalla la planificació que es va fer inicialment amb un diagrama de Gantt:

Descripció de la activitat	Mes Setmana	FEBRER 2016				MARÇ 2016				ABRIL 2016				MAIG 2016				JUNY 2016			JULIOL 2016													
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
1 Definició i anàlisi del problema		[Barra horitzontal]																																
1.1 Estudi del SQM		[Barra]			3 setmanes																													
1.2 Estudi estat del art		[Barra]			3 setmanes																													
2 Anàlisi i definició d'objectius		[Barra]																																
3 Estudi dels objectius		[Barra horitzontal]																																
3.1 Microcontrolador		[Barra]																																
3.2 Emmagatzematge de dades		[Barra]																																
3.3 Transmissió de dades		[Barra]																																
3.4 Complementos necessaris		[Barra]																																
4 Estudi comparatiu i elecció final		[Barra]																																
5 Prototipus funcional		[Barra horitzontal]																																
5.1 Disseny del prototipus		[Barra]																																
5.2 Disseny PCB		[Barra]																																
5.3 Disseny caixa		[Barra]																																
5.4 Fabricació del prototipus		[Barra]																																
6 Calibració i anàlisi del funcionament		[Barra]																																
7 Pressupost		[Barra]																																
8 Conclusions		[Barra]																																
9 Documentació		[Barra]																																
10 Presentació		[Barra]																																

Figura 4 - Diagrama de Gantt de la planificació temporal inicial.

La planificació inicial s'ha vist afectada per diversos motius, com poden ser: la dedicació única i exclusiva als exàmens parcials de la resta d'assignatures; les dificultats sorgides a l'hora de programar el microcontrolador o el fet d'haver de replantejar la forma de connexió externa al dispositiu fabricat.

La tasca 3.4 es veu endarrerida perquè no s'havia tingut en compte que s'havia de dedicar temps a la preparació dels exàmens parcials del segon quadrimestre. Aquestes tres setmanes corresponen a la dedicació exclusiva a preparar-los i fer-los.

Pel que fa al disseny del PCB (tasca 5.2) es va doblar el temps dedicat que s'havia pronosticat en un principi, això és perquè a que hi va haver un procés d'aprenentatge de l'eina KiCad per poder dissenyar amb èxit la placa electrònica.

La fabricació del prototipus (tasca 5.4) també es va veure allargada en dues setmanes, perquè vam haver de esperar que arribessin diversos components electrònics que s'havien de soldar a la placa. També va influir que hi havia un parell d'exàmens finals durant les primeres setmanes de juny.

La tasca 6 corresponent al calibratge i anàlisi del prototipus es va veure escurçada, ja que disposava de temps complet per dedicar al TFG, i per tant vaig poder acurtar terminis.

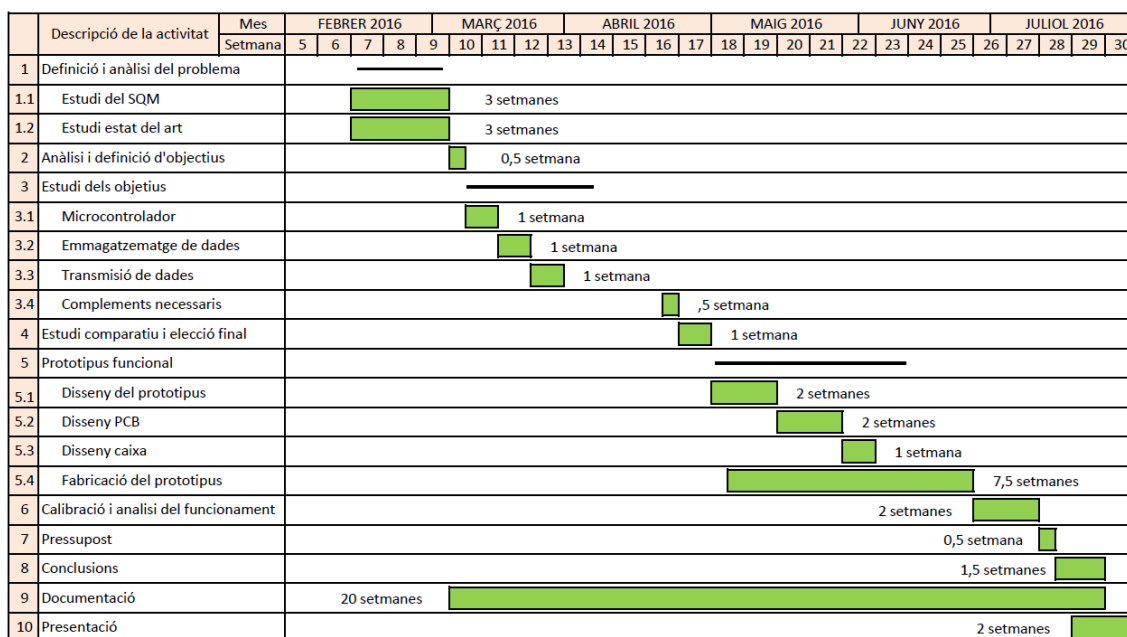


Figura 5 - Diagrama de Gantt de la temporalització que s'ha seguit.

2. ESTAT DE L'ART

2.1 MERCAT COMERCIAL

Pel que fa a dispositius en l'àmbit professional que mesuren o avaluen la qualitat del cel a la nit, trobem pocs instruments. Actualment, només hi ha una única marca (Unihedron) que distribueix aquest tipus de dispositius en el mercat professional i que és compatible amb els objectius de la International Dark-Sky Association.

Aquesta associació internacional del cel fosc (IDA) és l'autoritat reconeguda en la contaminació lumínica i és l'organització líder en la lluita contra la contaminació lumínica en tot el món.

La seva principal missió és treballar per protegir els cels nocturns per a les generacions presents i futures. I dins de les seves metes trobem la voluntat d'educar a la gent del carrer i als polítics sobre la conservació del cel nocturn, promoure una il·luminació responsable dels carrers i altres espais a l'aire lliure, i proporcionar al públic eines i recursos per contribuir a portar de tornada la nit.

Unihedron disposa de multitud de models de Sky Quality Meter, però destaquen dos: el SQM i el SQM-L. Es distingeixen principalment en la regió angular del cel que abasten, en tot cas, el SQM-L és més direccional, el que permet prendre mesures de diferents sectors del cel des d'un mateix lloc d'observació.



Figura 6 - Dispositiu SQM i SQM-L de la marca Unihedron

Pel que fa als dispositius d'aquesta marca, la seva escala de mesura es comporta igual: el valor més baix de l'escala (16) es correspon amb cels altament contaminats lumínicament, i el més alt (22) amb cels certament foscos.

El model SQM és el més assequible pels astrònoms (119,99 dòlars), les seves característiques són les següents:

- Angle d'observació del cel de 80°.
- Senyal auditiu mentre la medició està en curs.
- Resultats de la brillantor del cel donada en MPSAS.
- Filtre de bloqueig d'infrarojos per restringir la mesura de pas de banda visual.
- Mostra la temperatura en graus Celsius i Fahrenheit.
- Bateria de 9V.

- Mida: 9,65 x 6,1 x 2,54 cm
- Temps màxim de mostratge de la llum: 80 segons.

El següent model és el SQM-L (134,99 dòlars) i incorpora les següents característiques respecte al model anterior:

- Angle d'observació de 20º.
- Mida: 9,2 x 6,7 x 2,8 cm.

2.2 PRODUCTES AMATEURS

També existeixen un parell de projectes casolans, coneguts com a DIY, relacionats amb aquest tipus d'instrument. Es tracta de dos aficionats a l'estudi del cel nocturn que s'han fet un "Sky Quality Meter" de fabricació pròpia.

Aquest dispositiu SQM es basa en la utilització d'un microcontrolador "Arduino" i un sensor d'alta sensibilitat de llum, amb el desenvolupament d'un bon codi per executar en el microcontrolador amb la finalitat de transformar les dades que ens proporciona el sensor en unes dades que es puguin analitzar i posar en comú, com són les MPSAS.

Pel que diuen els seus fabricants això té un preu que ronda els 50 dòlars.

2.3 DISPOSITIU D'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DEL CEL

Aquests pocs exemples de SQM "amateurs", només llegeixen i mostren valors en l'escala MPSAS. No processen dades ni tenen connexió externa via usb o ethernet.

En canvi, el dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel que es dissenyarà i fabricarà durant aquest treball, serà un producte que mesurarà cada cert temps la lluminositat en MPSAS, la temperatura i la humitat; i ho guardarà en memòria amb l'hora i data de la presa de mesures.

Aquest instrument incorporarà connexió Wifi per poder controlar-lo externament. Es tracta d'un dispositiu autònom que no necessita accionar-lo per prendre les mesures i que sempre està atent a si des de l'exterior hi ha un usuari que vol executar una funció de les que disposarà el prototipus, com poden ser:

- Descarregar dades a petició externa.
- Consulta de dades actuals (lluminositat, temperatura i humitat)
- Canviar l'hora i data del dispositiu.
- Canviar la freqüència de captura de dades.
- Canviar l'indici del dispositiu.

Una característica important del dispositiu és que sigui un aparell que pugui estar a l'abast de tothom, tant econòmicament com a l'hora de fabricar-lo i programar-lo.

3. ANÀLISI I SOLUCIONS POSSIBLES

3.1 ANÀLISI DELS POSSIBLES MICROCONTROLADORS

Abans de passar a tirar endavant el projecte, hem de seleccionar quin tipus de microcontrolador o microprocessador utilitzarem per al nostre dispositiu, tal com hem dit abans volem que aquest projecte sigui assequible econòmicament i senzill de millorar, per tant ens fixarem en les següents opcions: Arduino Nano

- Arduino Uno
- Arduino Mega
- Raspberry Pi 2 B

Per prendre la decisió final i decantar-nos per un d'aquests hem de tenir clars els següents aspectes: memòria RAM, memòria interna, pins digitals/analògics, connexions Serial, I2C, connexió USB, Wifi/Ethernet, voltatge d'alimentació i preu. A continuació fem una descripció dels microcontroladors esmenats anteriorment, per triar-ne el més adequat pel nostre disseny.

3.1.1 Arduino Nano

Incorpora un chip ATmega168 que treballa a 16Mhz i té 16KB de flash (espai on es guarden els programes), 1KB de memòria SRAM (espai on es guarden les variables dels sketchs executats) i 512bytes de memòria EEPROM (espai de memòria per emmagatzemar informació a llarg termini).

Té unes dimensions 18,5x43,2mm, es tracta del microcontrolador Arduino més petit del mercat i està dissenyat per projectes senzills i on el tamany és un punt important. Aquest reduït tamany també li fa perdre funcionalitats, ja que no incorpora connector d'alimentació externa i sempre necessita estar connectat amb cable mini-USB.



Figura 7 - Arduino Nano

Quant a connexions, disposa de 14 pins digitals (6 dels quals PWM) i 8 pins analògics. Pel que fa al preu el tenim disponible per 18,36€.

3.1.2 Arduino Uno

És la plataforma de la marca més venuda i més coneguda, es basa en un microcontrolador ATmega320 de 8bits a 16Mhz. El seu circuit electrònic intern funciona a 5v. Disposava de 32KB de memòria flash, 2KB de SRAM i 1KB de memòria EEPROM. Es pot alimentar amb una tensió d'entre 7 i 12V.

Té 14 pins digitals, dels quals 6 poden treballar com PWM, i 6 pins analògics. Aquests pins poden treballar amb intensitats de fins 40mA. El seu preu està en 21,25€.

3.1.3 Arduino Mega

Es basa en un xip ATmega2560 que treballa a 16MHz i proporciona una SRAM de 8KB, 4KB de memòria EEPROM i 256KB de memòria flash.



Figura 8 - Arduino Mega

Disposa de 54 pins digitals, dels quals es poden utilitzar 15 com PWM, i 16 pins analògics. És una placa ideal per a projectes que necessiten molts pins, i rendiment i potencia alta. Característiques que el fan molt més car respecte als altres models. Podem trobar-lo per 43,51€.

3.1.4 Raspberry Pi 2 B

Es tracta d'un microprocessador que incorpora un microcontrolador ARM Cortex A7 que li permet funcionar a una freqüència de 900MHz. Disposa d'una memòria RAM de 1GB i la necessitat d'afegir-li una targeta SD de fins 64GB per proporcionar-li memòria interna.



Figura 9 - Raspberry Pi 2 B

Incorpora connexió Ethernet i HDMI. Disposa de 13 pins i connexions SPI i I2C. El seu preu està en 33,81€.

3.1.5 Decisió final

No es tracta d'un projecte molt complex a nivell de potència, per tant podríem descartar l'opció de la Raspberry Pi 2B. Si tenim en compte que el nostre dispositiu treballarà de manera autònoma, haurà de tenir una alimentació externa i per tant això fa que hàgim de renunciar també el Arduino Nano. La decisió final està entre el Arduino Uno i el Arduino Mega, si ens fixem en el tema econòmic veiem com el "Mega" dobla en preu al "Uno", i veient que les

característiques del Arduino Uno són més que suficients per desenvolupar el projecte, ens quedarem amb aquest.

3.2 ANÀLISI DE LA LLUMINOSITAT

Per la realització del nostre instrument, ens fixem en aquells sensors que ens puguin ajudar a determinar quina quantitat de llum hi ha en un moment determinat.

Aquesta tasca, la solen fer els fotodíodes, encara que també existeix la possibilitat de fer-ho amb una resistència LDR, tot i que queda descartada per tenir una precisió molt menor als fotodíodes.

Un fotodíode és un tipus de fotodetector. És un component electrònic que si és polaritzat de manera inversa, es produirà un augment del corrent del circuit quan el díode és excitat per la llum, si no hi ha llum la intensitat de corrent és molt petita.

Els fotodíodes responen als canvis de foscor a il·luminació, i viceversa, amb molta rapidesa, el que provoca que es puguin utilitzar en circuits amb temps de resposta molt baix.

Aquesta intensitat que ens dóna el fotodíode la podem traduir a voltatge, mitjançant una resistència auxiliar, i d'aquí analitzar la caiguda de tensió de la resistència, i transformar-la en la magnitud que ens interessa. Si triem aquest procediment, podem veure com malauradament la resolució d'aquest sistema és molt baixa, ja que hauríem de treballar amb un rang molt petit de voltatge (0V-12V màxim).

També tenim l'opció de convertir aquesta intensitat en un tren de polsos on la seva freqüència sigui directament proporcional a la intensitat que passa pel fotodíode. A més per al microcontrolador triat en l'anterior apartat, tenim a la nostra disposició llibreries que ens ajuden a calcular de manera molt precisa la freqüència d'una ona quadrada que li entri per un dels pins digitals del Arduino Uno.

Per dur a terme aquesta última opció i així aconseguir una escala on hi hagi una major resolució de treball, podem triar entre les opcions que s'expliquen a continuació:

- Construcció circuit "Light to Frequency Converter 1"
- Construcció circuit "Light to Frequency Converter 2"
- Utilitzar un dispositiu "Light to Frequency Converter"

3.2.1 Circuit "Light to Frequency Converter 1"

En aquesta primera alternativa, tenim un circuit que proporciona una freqüència de sortida de 1.4kHz per uA del corrent que passa pel fotodíode. El LTC6990 és un oscil·lador de precisió de silici amb una gamma de freqüència de 488Hz a 2MHz, es pot utilitzar com una freqüència fixa o oscil·lador controlat per tensió com és el nostre cas.

La freqüència de sortida es determina per aquest oscil·lador mestre i un divisor de freqüència interna programable per a 8 ajustos (1-128). Opcionalment, una segona resistència a l'entrada SET proporciona control de voltatge lineal de la freqüència de sortida i es pot utilitzar per a la modulació d'aquesta freqüència. El dispositiu LTC6990 inclou una funció que se sincronitza

amb l'oscil·lador mestre habilitat per a garantir impulsos de sortida neta i lliure de salts. Podem observar l'esquema d'aquest circuit en la figura 10.

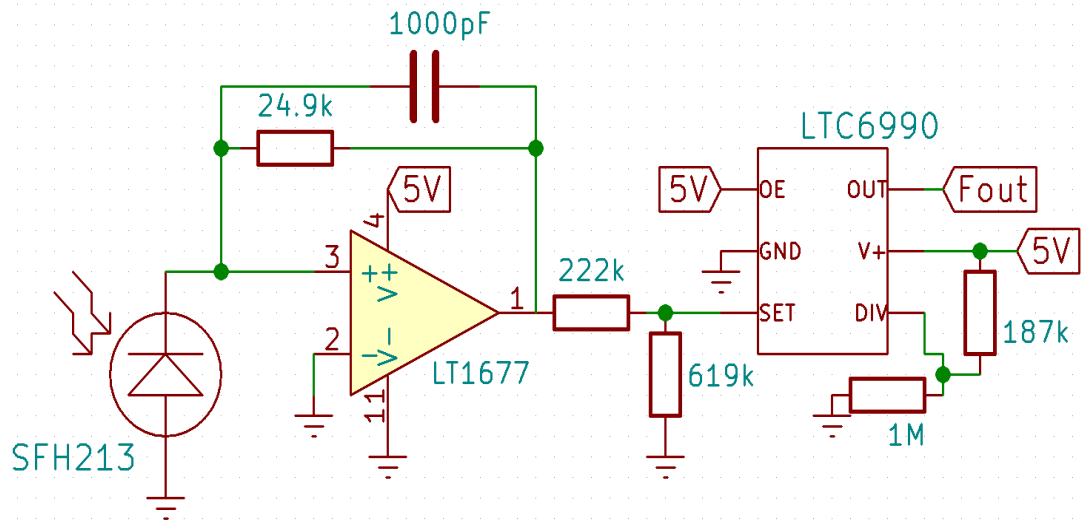


Figura 10 - Disseny del circuit "Light To Frequency Converter 1"

La construcció d'aquest circuit té un cost aproximat de:

- Amplificador operacional (baix nivell de soroll): 2.42€
- Oscil·lador controlat per voltatge: 1.49€
- Fotodíode SFH213: 0.448€
- Condensador 1000pF: 0.366€
- Resistències (24.9k, 222k, 619k, 187k, 1M): 0.10€

TOTAL = 4.82€

3.2.2 Circuit "Light to Frequency Converter 2"

La segona opció es basa en el circuit integrat 555, s'utilitza un fotodíode per detectar la intensitat de llum. El TLC555 està connectat en mode astable.

El corrent que passa pel fotodíode polaritzat inversament és proporcional a la intensitat de la llum que incideix sobre ell. Aquest corrent és l'encarregat de carregar la capacítància C1. Quan la tensió d'aquest condensador arriba a 2/3 de la tensió Vcc, la sortida de l'integrat és a nivell baix.

Com a resultat, el condensador es descarrega ràpidament a través del fotodíode, fins que la seva tensió arriba a 1/3 de Vcc, el que provoca que la sortida passi a nivell alt. A partir d'aquí torna a repetir-se el cicle de càrrega i descàrrega del condensador provocant un senyal quadrat, on la seva freqüència és directament proporcional a la llum incident sobre el fotodíode.

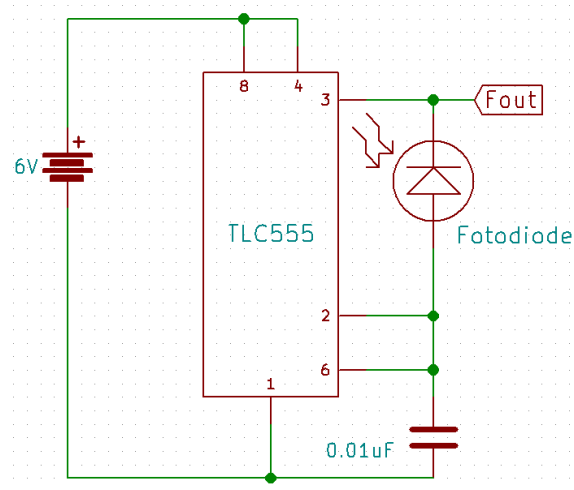


Figura 11 - Disseny del circuit "Light To Frequency Converter 2"

Amb els components donats a l'esquema del circuit de la figura 11, podem obtenir una freqüència que varia de 1kHz (completament fosc) fins a 24kHz (llum solar). Aquest rang de freqüències pot canviar-se mitjançant l'ús de diferents valors per al condensador.

El pressupost aproximat per a la construcció d'aquest circuit serà:

- TLC555: 0.90€
- Fotodiode: 0.412€
- Condensador 0.01uF: 0.357€

TOTAL = 1.67€

3.2.3 Dispositiu "Light To Frequency Converter"

Actualment, trobem en el mercat una gamma de productes de la marca AMS (Texas Instruments), que combina un fotodiode de silici i un convertidor d'intensitat a freqüència en un únic circuit integrat monolític CMOS. Aquests sensors tenen unes dimensions mínimes.

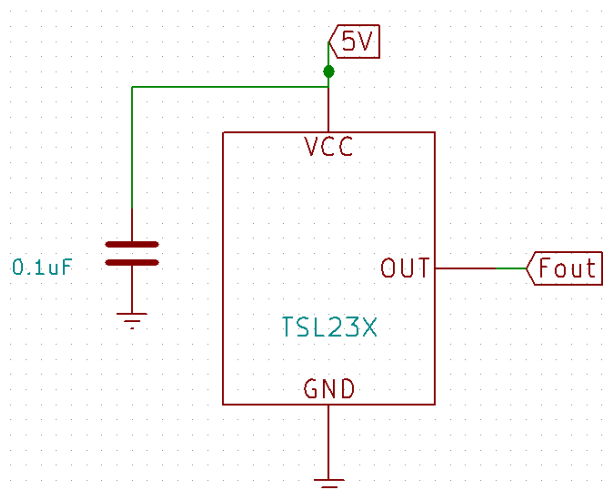


Figura 12 - Circuit per a l'utilització d'un sensor TSL23X

La sortida que ens dóna aquest convertidor és una ona quadrada amb freqüència directament proporcional a la intensitat de la llum en el fotodiode que incorpora. Aquesta sortida digital permet una interfície directa amb un microcontrolador.

Els productes que es poden trobar actualment d'aquesta gama es mostren a continuació amb les seves característiques més importants. Es tracta de convertidors d'alta resolució.

	λ_p	High Irradiance Responsivity	Low Dark Frequency	Max Frequency	Preu	Fout vs irradiància
TSL230RD	640nm	790 Hz/ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	<10Hz	120kHz	3.52€	
TSL235R	635nm	-	<10Hz	300kHz	3.62€	
TSL237	524 nm	2300 Hz/ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	<2Hz	60kHz	2.71€	

Figura 13 - Taula comparativa integrats TSL23X (Light To Frequency Converter)

Amb,

λ_p = longitud d'ona de pic de sensibilitat a Temperatura ambient =25°C.

High Irradiance Responsivity: Responsivitat d'alta irradiància a temperatura ambient.

Low Dark Frequency : freqüència de sortida mínima (freqüència màxima en situació de completa foscor) a 25°C.

Max Frequency: freqüència màxima de sortida a temperatura ambient.

L' utilització d'aquesta opció ens suposaria una despesa de:

- TSL 23X: [2.71€, 3.62€]
- Condensador 0.1uF: 0.284€

TOTAL = [2.99€, 3.90€]

3.2.4 Elecció de l'opció més adient per a l'anàlisi de la lluminositat

A continuació es recull en una taula les característiques més interessants pel que fa a les diferents opcions esmenades en aquest punt.

	Min. Freqüència (Fosc)	Màx. Freqüència (Llum solar)	Resolució	Cost	Elements	Tamany PCB (min=1, max=3)
A (Light To Frequency Converter 1)	-	-	-	4,82€	9	3
B (Light To Frequency Converter 2)	1kHz	24kHz	2 ordres de magnitud	1,67€	3	2
C1 (TSL230RD)	<10Hz	120kHz	6 ordres de magnitud	3,80€	2	1
C2 (TSL235R)	<10Hz	300kHz	6 ordres de magnitud	3,90€	2	1
C3 (TSL237)	<2Hz	60kHz	6 ordres de magnitud	2,99€	2	1

Figura 14 - Taula comparativa de les diferents opcions per a l'anàlisi de la lluminositat

La nostra elecció és la solució C3, que correspon a l' utilització d'un dispositiu convertidor de llum en freqüència, concretament en el TSL237. L'elecció ha girat entorn els següents punts:

- Tamany: el més petit possible.
- Major resolució.
- Freqüència en situació de fosc.
- Cost.
- Temperatura extrema.

Les raons que ens han portat a seleccionar el sensor TSL237, es detallen a continuació.

El nostre dispositiu ha de ser dimensions petites, que sigui ergonòmic i lleuger pel seu maneig amb les mans, per tant com més petits siguin els seus components, més adient serà per aconseguir aquestes característiques. Per això descartem la solució proposada A, ja que aquesta necessita incorporar en la seva placa PCB com a mínim 9 elements (fotodiode, A.O., oscil·lador, condensador i diverses resistències). Fabricar una placa electrònica més gran implicaria tenir menys espai per al microcontrolador i altres components del nostre dispositiu. Una altra raó per descartar totalment aquesta opció, és que es tracta de la solució més cara.

Les solucions C ens garanteixen 6 ordres de magnitud, el que comporta un interval molt més gran de freqüències que la solució B. El nostre aparell ha de ser un dispositiu de precisió i per això necessitem la millor resolució possible, és per això que hem descartat la solució B. A més a més, les solucions C també ens donen estabilitat davant de condicions extremes de temperatura (-25º a +80ºC).

Una de les característiques principals d'un mesurador de la qualitat del cel, és que aquest mesura amb condicions externes de nocturnitat, per tant els estudis es duran a terme a les nits. Motiu pel qual ens interessa més quina és la mínima freqüència en cas de foscor completa que quina és la freqüència amb la llum solar. La solució C3 ens ofereix més precisió en situacions fosques i és per això que descartarem les opcions C1 i C2.

3.3 EMMAGATZEMATGE DE DADES

Una característica del nostre dispositiu, a diferència dels que hi ha al mercat, és la capacitat que tindrà per emmagatzemar les dades mesurades durant cert temps. Les dues opcions més adients per guardar aquestes dades són les següents:

- Afegir al microcontrolador, un lector de targetes SD, per ficar-hi una targeta de memòria on poder guardar les mesures.
- Aprofitar la memòria EEPROM del microcontrolador, i en el cas que sigui necessari afegir-li una altra memòria d'aquest tipus.

A continuació estudiarem els dos casos i elegirem el més adient pel nostre cas.

3.3.1 Lector de targetes SD + memòria SD

Primer de tot és necessari dotar al microcontrolador d'un lector de targetes SD, hi ha diferents opcions al mercat:

- Arduino Micro SD Card Shield (3,5€) .
- Adafruit Data Logging SD Shield para Arduino (27,41€). Incorpora un Real Time Clock.
- SparkFun microSD Shield (14,15€).



Figura 15 - Arduino Micro SD Card Shield

A banda del lector, també serà necessari disposar d'una targeta SD o micro SD. El preu de mercat per una microSD de 8gb de classe 10 està al voltant d'uns 5€.

Per tant aquesta opció ens suposa una despesa de com a mínim uns 8€.

A l'hora de programar el codi en el microcontrolador, necessitarem incloure la llibreria SD, mitjançant la següent comanda:

```
#include <SD.h>
```

I a l'hora de guardar les dades, primer obrir el fitxer, a continuació escriure les mesures i per finalitzar assegurar-nos de tancar l'arxiu, com es pot veure en el següent codi:

```
dataFile = SD.open("fitxer.txt", FILE_WRITE);  
  
if (dataFile) { //el fitxer s'ha obert correctament.  
  
    dataFile.print("dades que volem emmagatzemar a la microSD");  
  
    dataFile.close(), //Tanquem el fitxer.
```

3.3.2 Memòria EEPROM

En aquesta segona opció volem aprofitar la memòria EEPROM de la que disposa el microcontrolador (normalment entorn a 1kB). En el cas que no sigui suficient, i vulguem augmentar de capacitat aquesta opció, podem afegir una nova memòria EEPROM:

- EEPROM 1kB: 0,126€
- EEPROM 2kB: 0,265€
- EEPROM 4kB: 0,293€
- EEPROM 16kB:0,380€

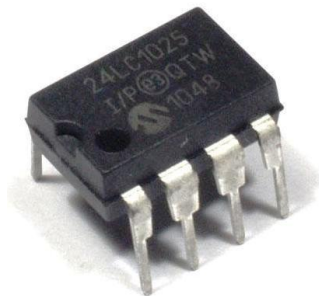


Figura 16 - EEPROM para Arduino Uno

Si triem aquesta opció, hem de tenir en compte que a l'hora de programar el codi, haurem d'incloure la llibreria EEPROM:

```
#include EEPROM
```

Per escriure o llegir dades de la memòria EEPROM tenim les següents comandes:

```
EEPROM.write(posició, valor);  
  
EEPROM.read(posició);
```

A continuació, es presenta la taula amb les principals característiques de les dues opcions que tenim per emmagatzemar les dades processades pel nostre microcontrolador:

	Preu	Capacitat emmagatzematge
Lector SD + SD	> 8€	2GB < x < 64GB
Memòria EEPROM	0€ < x < 0,38€	1kB < x < 16kB

Figura 17 - Taula comparativa de les opcions per emmagatzemar dades

3.3.3 Elecció de l'opció més adient per emmagatzemar les dades

Pel desenvolupament del nostre dispositiu ens basarem en la primera opció, l' utilització d'un adaptador per a una memòria microSD, ja que ens permet una major capacitat d'emmagatzematge i això ens assegura que el dispositiu tingui funcionament autònom durant llargues temporades de temps. En canvi, la memòria EEPROM no ens permet satisfer aquesta voluntat d'anar guardant les dades durant llargs períodes per a poder recuperar-les després.

3.4 TRANSMISSIÓ DE DADES

Una altra de les característiques que faran especial al nostre dispositiu, serà la capacitat d'enviar a l'exterior, les dades que hagi guardat en memòria durant un cert temps. Per poder fer això tenim tres possibles vies:

- Connexió amb un PC pel port sèrie de Arduino.
- Transmissió via Bluetooth.
- Transmissió via Internet.

A continuació s'estudiaran els tres casos esmenats.

3.4.1 Connexió PC-Arduino pel port sèrie

Per a la comunicació entre Arduino i un PC connectats entre si amb un cable USB, existeixen diverses alternatives. La primera i la més senzilla és utilitzar el port sèrie que incorpora el IDE de Arduino. Un port sèrie envia la informació mitjançant una seqüència de bits, això és possible gràcies a les connexions RX (recepció de dades) i TX (transmissió de dades).

Les plaques Arduino Uno disposen d'una unitat d'aquest tipus de connexió per transmetre dades amb l'ordinador de l'usuari. Els pins utilitzats en aquesta placa són el pin 0 per RX i el pin 1 per TX.

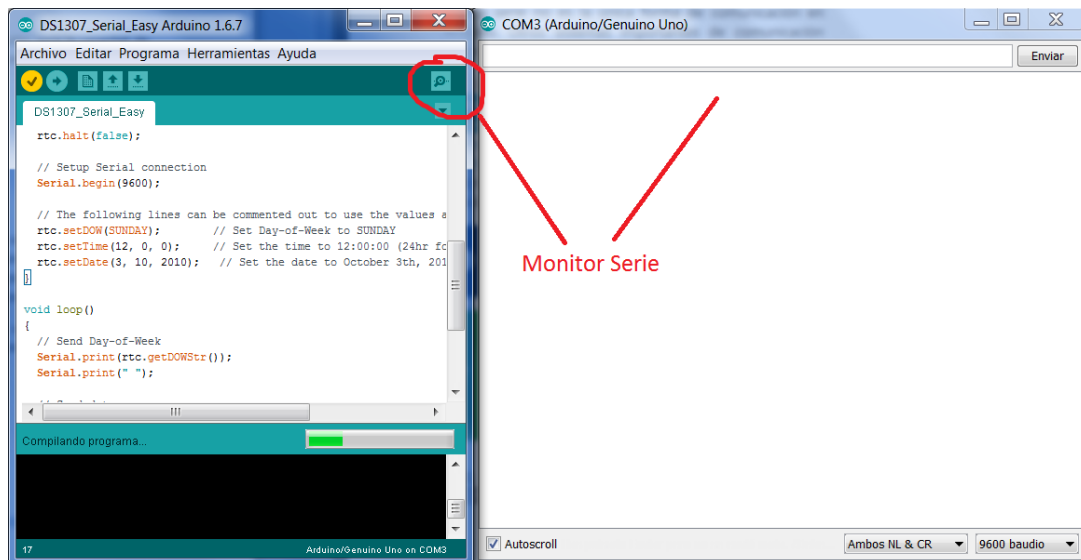


Figura 18 - Monitor Serie que incorpora el IDE de Arduino

Tot i que aprofitar el mateix IDE de Arduino és una bona opció, pel nostre ús no serveix, ja que volem bolcar dades en un arxiu csv, i això no ens ho permet fer.

Altres opcions més complicades de transmetre dades amb un PC són la realització d'interfícies completes en diversos llenguatges de programació, com podem ser C#, Visual Basic, Java, Python o directament des de la consola de Windows o Linux.

Dins d'aquests llenguatges, les opcions més senzilles d'implementar serien Python i Visual Basic, ja que a la xarxa es disposa de molta informació sobre la implementació d'un bon codi que permeti un bon diàleg entre les dues parts.

Decantar-se per aquesta opció no suposa cap cost afegit en hardware, però si el disseny d'un programa que li permeti connectar-se per port sèrie amb el Arduino i pugui guardar les dades en un fitxer de text o full de càlcul. El sketch de Arduino haurà d'estar preparat per estar escoltant el que li passin per port sèrie i actuar d'acord al que rebí.

3.4.2 Transmissió de dades via Bluetooth

Al mercat disposem de molts mòduls que permeten afegir al Arduino Uno la funcionalitat de Bluetooth, el més utilitzat i amb més informació a la web és el Mòdul HC-06, el qual té un funcionament molt senzill i és ideal per a petits projectes.



Figura 19 - Mòdul HC-06 que afegeix al Arduino Uno la funcionalitat Bluetooth

Aquest mòdul permet una connexió senzilla i sense problemes mitjançant comandes AT a través d'un port sèrie, el que implicarà haver de carregar la llibreria "SoftwareSerial" per poder tenir un altre port sèrie obert, ja que el RX/TX dels pins 0 i 1, és per bolcar els programes al Arduino, i per tant no pot tenir dos usos alhora. Per fer servir el bluetooth hi ha llibreries adients amb bones explicacions a la web.

Aquest mòdul Bluetooth té un cost aproximat d'uns 13€. S'ha de tenir en compte que l'ordinador amb el qual es treballi per rebre les dades, haurà de tenir Bluetooth 2.0, en el supòsit que no es compleixi aquesta condició, pot fer-se amb un adaptador Bluetooth pel seu PC.

3.4.3 Transmissió de dades a través d'Internet

En aquesta opció, podem fer-ho a través d'un cable Ethernet o mitjançant Wifi, en ambdós casos necessitem dotar al microcontrolador d'un mòdul que li permeti connectar-se a la xarxa d'una manera correcta.

Pel que fa a la connexió Ethernet, en el mercat podem trobar mòduls "Ethernet Shield" per uns 10€. Aquests mòduls connecten el Arduino a la xarxa a través d'un cable RJ45, fet que pot ser molest segons on vagi situat el dispositiu.



Figura 20 - Internet Shield per dotar al Arduino de connexió a la xarxa a través de cable

En canvi per a la connexió Wifi, actualment trobem al mercat el mòdul ESP8266 que ens permet connectar a Wifi i enviar informació a la adreça IP i port que desitgem. El ESP8266 té un preu de 5€.

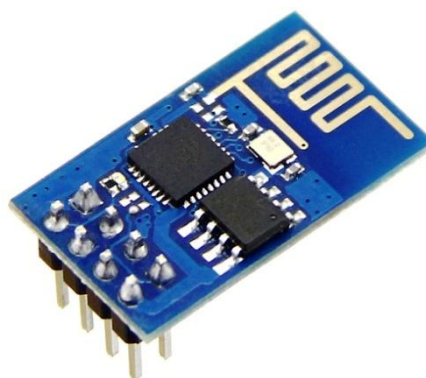


Figura 21 - Mòdul ESP8266-01 que permet connectar al Arduino a la xarxa a través de WIFI

Aquest mòdul està dissenyat expressament per la “Internet of Things” en ment, i per això es connecta a un punt d’accés WIFI mitjançant comandes de text AT, a través d’un port sèrie que es pot configurar a diverses velocitats.

3.4.4 Elecció de l’opció més adient per transmetre les dades

L’elecció és utilitzar l’opció de transmissió de dades per Internet, en concret via Wifi amb el mòdul ESP8266-01. Aquesta decisió és bassa en l’actualitat de la tecnologia i l’aposta per la revolució tecnològica que està vivint el planeta amb l’ “Internet de les coses”.

Una postura que permet que els dispositius interactuin entre ells, en aquest cas un dispositiu agafant mesures de la qualitat del cel i que enviï a un servidor que les rep i processa de la manera que ens interessa, de manera que fa que aquests dispositius guanyin independència dels sers humans, fent que nosaltres només ens ocupem del que realment és important, en aquest cas de l’observació dels gràfics i mesures del comportament del cel i a la presa de decisions, deslliurant-nos d’haver d’agafar un dispositiu i anar prement un botó perquè vagi fent mesures, haver d’apuntar-les, passar-les a un full de càlcul i fer gràfics per a després ja interpretar-los.

3.4.5 Canvi d’elecció en la transmissió de dades

Una vegada s’han fet proves incorporant la part del codi MQTT, que permet al Arduino connectar-se a través de la xarxa a qualsevol altre dispositiu, veiem que tant la memòria dinàmica com la espai d’emmagatzematge del sketch del microcontrolador es queda curta, fet que implica tenir que reduir al màxim tot el codi relacionat amb la presa i emmagatzematge de mesures.

Això ens obligava a deixar de banda prestacions que s’havien pensat en un principi, com pot ser el control des de el exterior de la hora configurada al dispositiu i la possibilitat de canviar aquesta, bolcar les dades a un ordinador, configurar paràmetres i els llindars... Es a dir quantes més característiques tingui el nostre dispositiu, més codi, cosa que, el codi relatiu a la comunicació Wifi, ens limita fer.

Tot i això s’ha provat la comunicació Wifi del dispositiu d’avaluació amb un ordinador connectat a la mateixa xarxa, i les proves han sigut satisfactòries. Al voler fer el següent pas de provar aquesta versió del dispositiu en el observatori O.A.I,A veiem que es fa impossible configurar la xarxa Wifi que disposen al INS d’Alcarràs ja que les llibreries que s’ha utilitzat tan sols ens permeten configurar xarxes Wifi amb SSID i contrasenya, mentre que al institut disposen d’una xarxa amb configuracions més complicades.

Aquestes dues raons fan que la nostra elecció de transmissió de dades via Wifi es vegi afectada i la nostra postura hagi de canviar a la opció de transmissió de dades per USB, aprofitant el port sèrie del Arduino.

3.5 ALTRES FUNCIONALITATS DEL DISPOSITIU

Una altra funcionalitat de la qual volem dotar al nostre dispositiu és la consulta de temperatura i humitat de cada mesura que es fa de la lluminositat del cel. Hi ha diverses alternatives, però basarem l'estudi en les dues opcions més bàsiques i més utilitzades per implementar-los amb Arduino:

- Sensor DHT 11
- Sensor DHT 22

Ambdós sensors estan compostos en dues parts, un sensor d'humitat capacitatiu i un termistor. Al seu interior hi ha un circuit integrat bàsic que fa la conversió d'analògic a digital i envia un senyal digital al microcontrolador amb la temperatura i humitat. A continuació fem un estudi de les principals característiques d'aquests sensors.

3.5.1 DHT11

S'alimenta a una tensió d'entrada de 3.3V a 5V DC. Suporta un corrent màxim de 2.5mA durant la conversió d'analògic a digital. Pel que fa a la precisió de lectures, si parlem d'humitat té una precisió de +-5%, en canvi per la temperatura té una precisió de 2 graus centígrads.

És capaç de mesurar humitat entre 20% i 80%, i temperatures entre 0 i 50°C. Per realitzar cada mesura, necessita almenys 1 segon. Les seves dimensions són 15.5x12x5.5mm. El preu ronda els 3€.



Figura 22 - Sensors humitat i temperatura: DHT11 (blau) i DHT22 (blanc)

3.5.2 DHT22

Aquesta versió millorada del sensor DHT11 també s'alimenta a 3.3V-5V. Millora la seva precisió, tant en les lectures d'humitat amb un 2% d'error, com a les lectures de temperatura on té una precisió de 0.5°C. Pot mesurar humitats entre el 0% i el 100% i temperatures de -40°C a 80°C.

Les dimensions del sensor són 15.1x25x7.7mm. Aquesta millora en la precisió de les mesures fa que tingui una freqüència inferior en la velocitat de mostratge (una mesura cada dos segons). El preu està sobre els 5€.

3.5.3 Elecció de l'opció més adient per obtenir la temperatura i humitat

La nostra elecció serà el sensor d'humitat i temperatura DHT22 el qual ens proporciona molta més precisió per un preu lleugerament superior.

Un altre punt a favor de la versió superior, ja que es tracta d'un dispositiu que estarà situat a l'exterior i també treballarà durant l'hivern i amb temperatures baixes, és que és capaç de mesurar temperatures per sota de zero, fins al -40°C.

3.6 RESUM DEL MATERIAL SELECCIONAT PER AL PROTOTIPUS

En aquest capítol hem arribat a la conclusió que necessitem els següents materials per la fabricació del prototipus:

- Microcontrolador Arduino Uno
- Sensor de lluminositat TSL237
- Adaptador microSD
- Mòdul Wifi ESP8266-01
- Sensor de temperatura i humitat DHT22

Les característiques bàsiques que s'esperen obtenir d'aquest dispositiu són les següents:

- Presa de mesures de magnitud del cel, humitat i temperatura de manera autònoma.
- Emmagatzematge d'aquestes dades en una targeta microSD
- Connexió amb l'exterior a través d'una xarxa Wifi.

4. PROTOTIPUS FUNCIONAL

El prototipus funcional està dissenyat per avaluar la qualitat del cel per a mesurar la contaminació lumínica arreu del món. Aquest dispositiu està basat en un microcontrolador que agafa les dades d'un sensor de lluminositat i les processa per donar-les en valors de magnitud per arc segon al quadrat (MPSAS).

A més de donar-nos un valor de la lluminositat, el dispositiu està equipat amb un sensor de temperatura i humitat que ens donarà els valors ambientals en cada moment. Totes aquestes lectures de dades aniran sempre acompanyades de l'hora i data de mesura.

L'informació que ens vagi donant cada cert temps el nostre dispositiu, es guardarà en una targeta microSD. Com característica estrella d'aquest instrument és la possibilitat de controlar-lo des de qualsevol ordinador que estigui connectat a la mateixa xarxa d'Internet, això inclou descarregar les dades de la microSD, canviar l'hora del dispositiu o consultar les dades actuals, entre d'altres.

Com s'explica en aquest document, aquest projecte va generar il·lusió a diferents aficionats a la astronomia, entre d'altres l'Observatori Astronòmic del INS d'Alcarràs (O.A.I.A), que s'han mostrat expectants i amb interès des del primer dia, motiu pel qual vam decidir instal·lar el primer dispositiu que es fabricués en aquest institut.

Poder controlar l'instrument d'avaluació des d'un altre dispositiu extern com pot ser un ordinador personal, implica la necessitat molta memòria per part del microcontrolador per a un correcte funcionament a causa de les llibreries necessàries, per tant tenim la necessitat de reduir el codi al mínim possible, ja que el Arduino Uno es queda justet.

D'altra banda, per qüestions de seguretat en la xarxa Wifi d'aquest institut, no hem pogut fer funcionar el dispositiu de cap manera, ja que estava dissenyat en un principi per xarxes domèstiques convencionals on l'única seguretat que hi ha és el SSID i la contrasenya, en canvi a l'institut fan servir la xarxa eduroam que ja és més complicada per configurar amb el Arduino i el mòdul ESP8266. D'aquesta manera, juntament amb la limitació de memòria del Arduino, veiem frenat l'interès i la il·lusió per les dues parts, per col·locar el dispositiu en aquest observatori astronòmic de recent construcció, ja que es tractava d'una oportunitat real de donar corda a aquest instrument.

Per això, sense deixar de banda la idea general del projecte, vam decidir en crear una altra versió del dispositiu, que permeti gaudir les mateixes funcionalitats, però amb connexió USB en lloc de Wifi. Aquest fet produirà un increment de càrrega per a la realització del TFG, però la il·lusió i les ganes que hi ha per les dues parts, ho mereix. Per tant, tindrem dues versions del dispositiu per l'avaluació de la qualitat del cel (Wifi i USB).

4.1 COMPONENTS FÍSICS (PART ELECTRÒNICA)

En la annex 9.4 tenim el esquema de connexions de cadascun dels components electrònics del protoitpus. En la següent figura podem veure cadascuna de les parts electròniques que intervenen en el dispositiu i totes les connexions necessàries perquè aquest tingui un correcte funcionament.

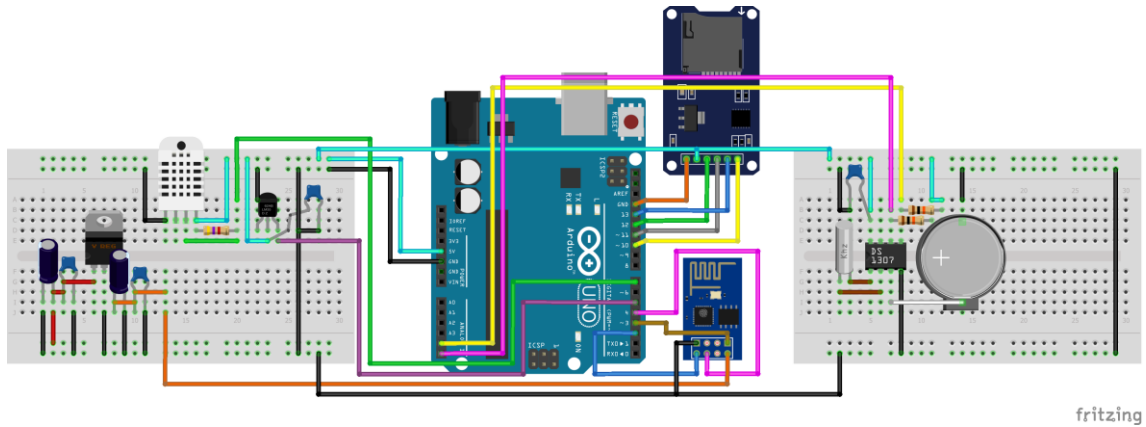


Figura 23 - Esquemàtic del prototipus sobre la protoboard

En aquest prototipus intervenen:

- Microcontrolador Arduino Uno.
- Placa electrònica complementària.
- Sensor de lluminositat TSL237.
- Mòdul Wifi ESP8266-01.
- Sensor de temperatura i humitat DHT22.

4.1.1 Microcontrolador Arduino

Com ja hem esmenat anteriorment, el nostre dispositiu es basa en l' utilització del microcontrolador Arduino. Serà l'encarregat d'agafar els senyals que ens dóna els diferents sensors (convertidor de llum a freqüència, humitat, temperatura, hora de presa de dades), processar aquestes dades per convertir-les al format que ens interessa i emmagatzemar-les en la targeta microSD.

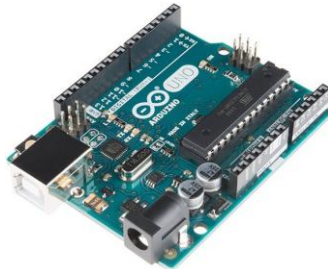


Figura 24 - - Microcontrolador Arduino Uno triat per la construcció del nostre dispositiu

A més, quan no està prenent dades o guardant aquestes, té la tasca d'estar a l'espera que algú es connecti al dispositiu a través de Wifi (en cas de tenir la versió WIFI) o per port sèrie (en el cas de tenir la versió USB) i li demani alguna cosa.

4.1.2 Placa electrònica complementaria al microcontrolador

Aquesta és la part més important del dispositiu, es tracta d'un mòdul dissenyat per muntar sobre un Arduino Uno, ja que s'enganxa a la perfecció a cadascun dels pins femella del microcontrolador.

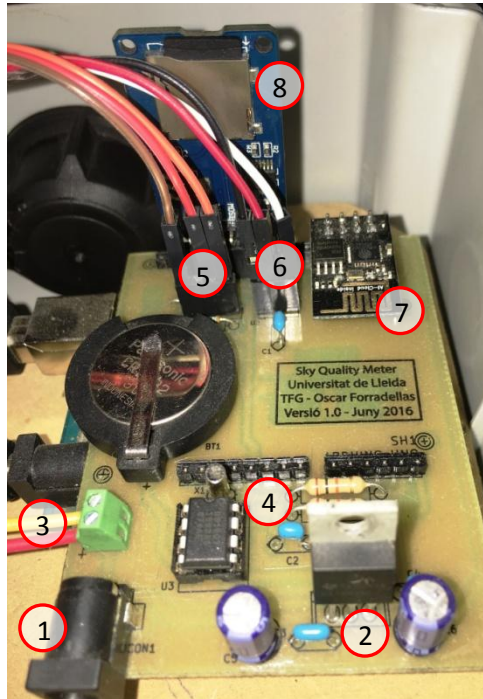


Figura 25 - Placa electrònica ja instal·lada en el prototipus funcional

Per "1" s'alimenta la placa electrònica amb un transformador de 9-12V connectat a la xarxa elèctrica, aquesta tensió proporciona alimentació al Arduino per "3", mentre que per "2" es transformen aquests 9-12V d'entrada en una tensió de 3,3V que serveixen per alimentar al mòdul Wifi ESP8266 que correspon a "7".

Pel que fa als sensors que proporcionen dades al microcontrolador, tenim la zona "4" que correspon al rellotge, "5" que està connectat a un sensor que ens proporciona la humitat i temperatura de l'ambient exterior, i "6" que es connecta amb el TSL237 que ens dóna un valor de freqüència proporcional a la lluminositat que l'incideix. En la zona "8" tenim l'adaptador microSD, que és on es guarden totes les dades que ens interessen.

Més endavant es pot veure el desenvolupament que ha tingut aquesta placa electrònica, des de la idea inicial a tenir-la físicament i funcionant a la perfecció.

4.1.3 Sensor de lluminositat

Es tracta de la part més petita i el fonament bàsic del dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel dissenyat en aquest projecte, és el convertidor de llum a freqüència TSL237.

El sensor TSL237 és un mesurador d'intensitat de llum. La sortida d'aquest sensor és un senyal quadrat amb una freqüència que és proporcional a la magnitud mesurada, en aquest cas la

llum. Utilitzant el mòdul de captura del sensor, és mesura el període dels polsos emesos. A partir d'aquest període serà senzill deduir la seva freqüència i d'aquí la irradiància rebuda, en W/m².

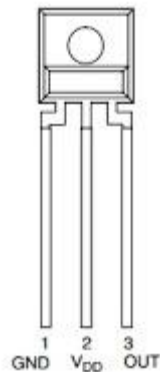


Figura 26 - Vista frontal del TSL237

El TSL237 de TAOS (Texas Advanced Optoelectronic Solutions) necessita alimentar-se entre 3v i 5v; pel seu pin de sortida treu una ona quadrada amb una freqüència proporcional a la llum que incideix sobre el sensor. L'altre pin va connectat a terra.

Si ens fixem en el seu datasheet, en la gràfica que relaciona la irradiància que incideix sobre el sensor amb la freqüència de sortida que ens dona el mateix, veiem que la seva resposta és pràcticament lineal en la major part del seu rang, utilitzant una escala logarítmica tant per la freqüència com per la irradiància.

El sensor està col·locat en un orifici de la capsa i protegit amb un encapsulat de PVC que acaba en un tap de metacrilat transparent. De les tres potes del sensor surten tres cables que van connectats a la placa electrònica dissenyada. El sensor està totalment aïllat ja que tots els orificis del seu encapsulat han estat segellades amb silicona calenta, tant per la part del tap de metacrilat, com per la part que surten els cables cap al PCB.

4.1.4 Mòdul Wifi ESP8266

Una particularitat del dispositiu dissenyat i que fa que sigui innovador respecte al que hi ha al mercat, és que tingui connexió Wifi, fet que permet tenir un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel fora de l'edifici i aquest sense necessitar la presència d'una persona pot estar prenent i enviant dades a petició d'algú que està amb el seu mòbil o altre dispositiu relativament apartat de l'instrument. Pot ser realment interessant per prendre dades en ambients no favorables o amb condicions climàtiques adverses, ja que des de qualsevol dispositiu mòbil es pot crear una xarxa Wifi per poder connectar el nostre dispositiu.

Una vegada configurat perquè es connecti a la nostra xarxa WIFI, el mòdul és capaç d'enviar la informació que li passem pel port sèrie, a una adreça IP i port que desitgem. Quan es tracta de rebre informació, empaqueta aquesta amb el protocol TCPIP i ens reenvia per port sèrie totes les dades.

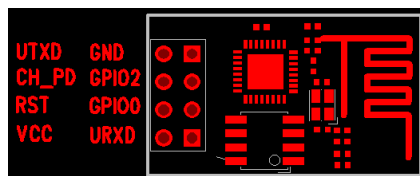


Figura 27 - Connexions del mòdul ESP8266-01

Els pins UTXD i URXD són per connectar el port sèrie. El VCC ha d'anar connectat a 3.3V, hem de tenir en compte que el pin de 3.3V del Arduino ens dóna una intensitat màxima de 50mA, i aquest mòdul per poder arrancar necessita com a mínim uns 250mA, per tant haurem de tenir una font d'alimentació externa per poder fer funcionar d'una manera correcta el ESP8266.

Aquests mòduls vénen de sèrie amb un firmware mitjançant el qual, a través dels pins RX i TX, es poden enviar comandes AT (des del Arduino al ESP8266, i viceversa) com per exemple: escanejar les xarxes Wifi disponibles, emprar el mòdul com client per a connectar-lo a un router, convertir-lo en un punt d'accés Wifi, fer peticions a través de HTTP, etc.

Estan dissenyats per el IOT, fet que fa que siguin molt fàcils de configurar per a xarxes domèstiques amb una seguretat raonable. En canvi si anem a xarxes a molta seguretat o multitud d'usuaris podem tenir problemes a l'hora de configurar el mòdul Wifi.

Són ideals per connectar als Arduino per poder rebre i processar dades obtingudes des d'un servidor en Internet, tot i que durant aquest últim any, han fet un pas per sobre i ja no s'utilitzen com complements d'altres microcontroladors externs, sinó que en el seu interior també disposa d'un microprocessador intern i una memòria SRAM molt més potent que molts Arduino. A més es poden trobar diferents firmware per actualitzar el mòdul, com poden ser el "NodeMCU" que permet escriure en llenguatge LUA o inclús un que permet escriure codi a través del IDE d'Arduino.

Com hem esmentat pot funcionar amb comandes AT, però en el nostre cas vam trobar a la xarxa un firmware que ens permetia i facilitava establir comunicacions TCP amb qualsevol dispositiu mitjançant l'ús de sockets.

Aquest s.o. és de software lliure i es pot trobar públic al GitHub del usuari "tuanpmt", s'anomena "Espduino". Una vegada carregat al ESP8266, per fer-lo servir s'ha de modificar lleugerament les connexions amb el Arduino, tal com es pot veure en el següent apartat de "disseny del PCB".

Espduino, és ideal per fer comunicacions MQTT (Message Queue Telemetry Transport), un protocol que s'utilitza bàsicament per l' "Internet of Things". Aquest protocol està fet idealment per la comunicació de sensors, ja que consumeix molt poca amplada de banda i pot fer-se servir en dispositius amb pocs recursos. A més, un altre avantatge d'aquest llenguatge de comunicació és que disposa de multitud de llibreries disponibles per a molts llenguatges de programació, com pot ser Python, C, Java o PHP, entre d'altres.

La idea general d'aquest "idioma" és (una vegada s'ha connectat a una xarxa domèstica, i tenint en compte que client i servidor estan dins de la mateixa xarxa) que existeix un servidor subscript a un "topic" i un client que publica missatges en el mateix "topic".

Si aquests tòpics són el mateix, es podrà produir una conversació entre aquest servidor i el client. Un "topic" es representa mitjançant una cadena i té estructura jeràrquica. Cada jerarquia se separa amb una '/'. Un tòpic exemple per al nostre cas podria ser:
"/dispositiu_avaluació/demanda/valor_actual_sensor" o
"/dispositiu_avaluació/demanda/descarregar_dades".

4.1.5 Sensor de temperatura i humitat

Per donar més funcionalitats al nostre aparell d'avaluació, li hem afegit un sensor de temperatura i humitat, està situat en l'exterior de la capsa de manera que ens doni la temperatura i humitat que hi ha a l'ambient en cada moment que es prenguin dades de la lluminositat.



Figura 28 - Vista del sensor d'humitat i temperatura DHT22

Es tracta d'un sensor DHT22, que ens dona un senyal digital en funció de la temperatura i humitat, i que és fàcil d'obtenir la mesura des d'un microcontrolador com Arduino. Està caracteritzat com un sensor de precisió mitjana:

- Mesura temperatura entre -40º i 125º amb una precisió de +-0.5º.
- Mesura humitat entre 0 i 100%, amb precisió del 2-5%.
- Freqüència de mostreig de 2 mostres per segon.

Té quatre potes, de les que tan sols es fan servir tres, connectades a 5V, terra i per últim el senyal de sortida del sensor.

4.1.6 Adaptador microSD

Com hem dit anteriorment, l'instrument d'avaluació del cel, emmagatzemarà totes les mesures preses amb la data i hora corresponent en una targeta microSD. En concret, el dispositiu haurà d'emmagatzemar les següents variables:

- Hora: inclou 4 valors enters en el format HH:MM. (2 variables "int" → 4bytes)
- Data: 6 valors enters en el format DD/MM/AA. (3 variables "int" → 6bytes)
- Magnitud: valor amb dos decimals en el format XX,YY MPSAS. (1 variable "float" → 4bytes)
- Freqüència: valor enter. (1 variable "unsigned long" → 4bytes)
- Temperatura: valor amb un decimal i format XX,Y ºC. (1 variable "float" → 4bytes)
- Humitat: valor amb dos decimals en el format XX,YY %. (1 variable "float" → 4bytes)

Per tant, per a cada mesurament necessitarem un total de 26 bytes, el que suposa que a la memòria microSD de 1MB de capacitat podem tenir emmagatzemades unes 38 mil mesures.

Tenint en compte que el dispositiu pren les mesures de la qualitat del cel a la nit, hem de pensar que no totes les nits duren la mateixa llargada i per tant farem càlculs a la nit més llarga de l'any que té lloc durant el solstici d'hivern. Aquesta nit dura unes 15 hores.

Si prenem dades cada mitja hora, comporta que la nit més llarga de l'any, emmagatzemarem en memòria unes 30 mesures. Per tant en memòria podrem guardar les mesures que hem fet durant els últims 3 anys.

4.2 COMPONENTS FÍSICS (PART MECÀNICA)

Pel que fa a la part mecànica d'aquest prototipus funcional, correspon a la caixa estanca on es protegeix tota la part electrònica del dispositiu, un tub de PVC per aconseguir un bon angle d'observació del cel i una lent de metacrilat per protegir el sensor de lluminositat de les inclemències meteorològiques.

4.2.1 Tub PVC exterior per aconseguir un bon angle d'observació

Per dotar al nostre dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel d'un angle d'observació raonable, hem d'afegir-li un tub de PVC que ens permeti aconseguir uns 20-30° d'observació del cel.

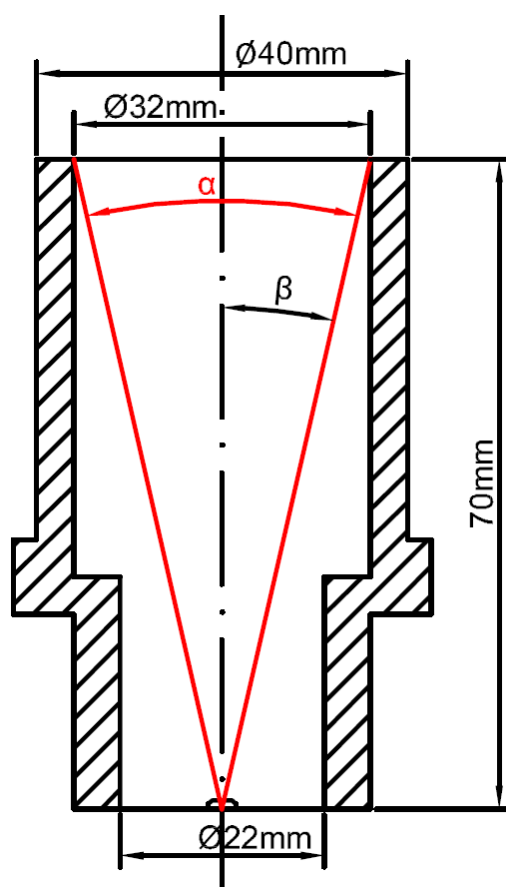


Figura 29 - Secció de l'objectiu ocular para el TSL237

Per calcular l'angle d'observació del TSL237, haurem de fixar-nos en la figura 28, concretament en l'angle α i en el triangle rectangle de costats 16mm i 70mm que ens permetrà calcular-lo.

Primer de tot calculem l' hipotenusa d'aquest triangle rectangle,

$$h^2 = c_1^2 + c_2^2$$

$$h^2 = 16^2 + 70^2 = 5156$$

$$h = \sqrt{5156} = 71,80 \text{ mm}$$

A continuació, sabent la mida dels tres costats del triangle, ja es pot calcular l'angle β , que serà la meitat de l'angle α que volem saber.

$$\cos \beta = \frac{70}{71,80} = 0,975$$

$$\beta = \cos^{-1}(0,975) = 12,8^\circ$$

$$\alpha = 2\beta = 2 \cdot 12,8 = 25,6^\circ$$

Per tant l'angle d'observació que tindrà el nostre dispositiu serà de $25,6^\circ$, és a dir, aquesta serà la part del cel que mesurarà i per tant avaluarà l'aparell.

4.2.2 Lent de metacrilat per a protegir el sensor TSL

Per tal de garantir la bona conservació del sensor TSL237 d'aquest dispositiu s'ha pensat en 3 opcions: lent de cristall, lent de metacrilat o filtre UV. En l'apartat "5.1 Primeres proves" es poden veure els resultats d'aquestes proves que van consistir en agafar una mesura de la qualitat del cel amb un dispositiu SQM professional que ens va deixar l'observatori O.A.I.A i comparar-la amb la mesura del nostre dispositiu amb les diferents opcions de lents (lent de metacrilat, filtre fotogràfic UV o sense protecció). La lent de cristall s'ha descartat per augmentar molt el preu del dispositiu.

La decisió presa una vegada acabades les proves, ha set, decantar-nos per la lent de metacrilat, ja que és el més barat i dona molt millors resultats que les seves alternatives.



Figura 30 - Tub de PVC per aconseguir un angle d'observació de 25° amb lent de metacrilat

4.2.3 Caixa estanca

Per tal de protegir tots els components que formen aquest dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel, utilitzem una caixa estanca de PVC de 180x160mm i 80mm de profunditat.

La caixa compleix la normativa IP65 i IP67, que indiquen que ens dóna una protecció completa contra el contacte i la penetració de pols, i està protegida contra dolls d'aigua en qualsevol direcció i la penetració d'aigua si la caixa es veu submergida.

Mentre que la tapa segueix la normativa IP54. La qual ens garanteix que una protecció completa contra el contacte i penetració de pols, i contra aigua polvoritzada.



Figura 31 - Caixa estanca de PVC que protegeix els elements electrònics del dispositiu dissenyat

4.3 DISSENY DEL PCB

Per fer el disseny del PCB s'ha emprat l'eina de software lliure Kicad, suggerida pel tècnic del laboratori d'electrònica de l'Escola Politècnica Superior.

Primer de tot s'han dissenyat els esquemes elèctrics de cadascun dels components que portarà la placa electrònica. En l'annex 9.4 està l'esquema complet.

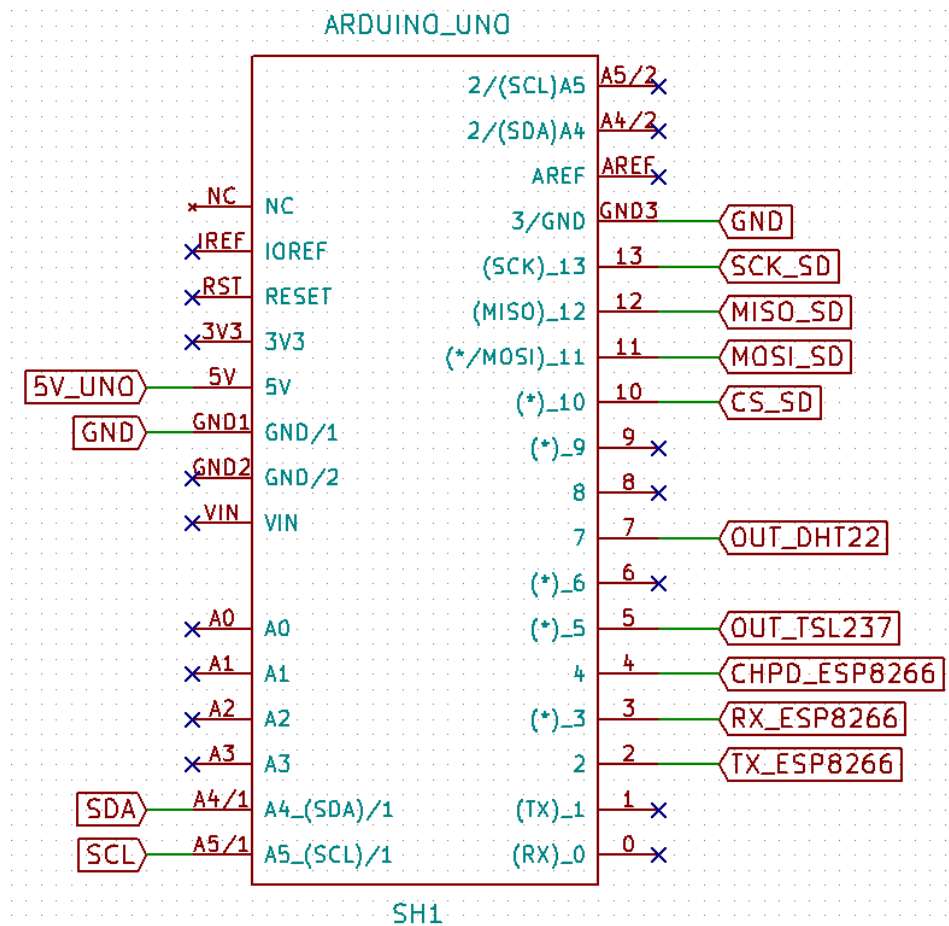


Figura 32 - Connexions del microcontrolador Arduino Uno

Pel que fa al Arduino Uno, aquest s'alimenta a 9-12V a través de la seva connexió "power jack" que vénen de la placa electrònica dissenyada. Els GND's del Arduino estan connectats amb la resta de GND de la placa. Els 5V serveixen per alimentar el rellotge, el sensor de temperatura i humitat, el sensor de lluminositat i l'adaptador microSD.

Respecte al xip de rellotge DS1307, necessita alimentar-se a 5V i per filtrar aquest voltatge s'afegeix un condensador de 100n connectat a terra. Per tenir una freqüència exacta amb els segons horaris, necessita connectar als seus pins 1 i 2 un cristall de quars de 32768Hz, el senyal de sortida d'aquest xip surten per les potes 5 i 6 que van connectades als pins de connexió I2C, SDA i SCL respectivament. El rellotge disposa d'una pila de 3V per no perdre l'hora quan l'Arduino per qualsevol raó deixi d'estar alimentat.

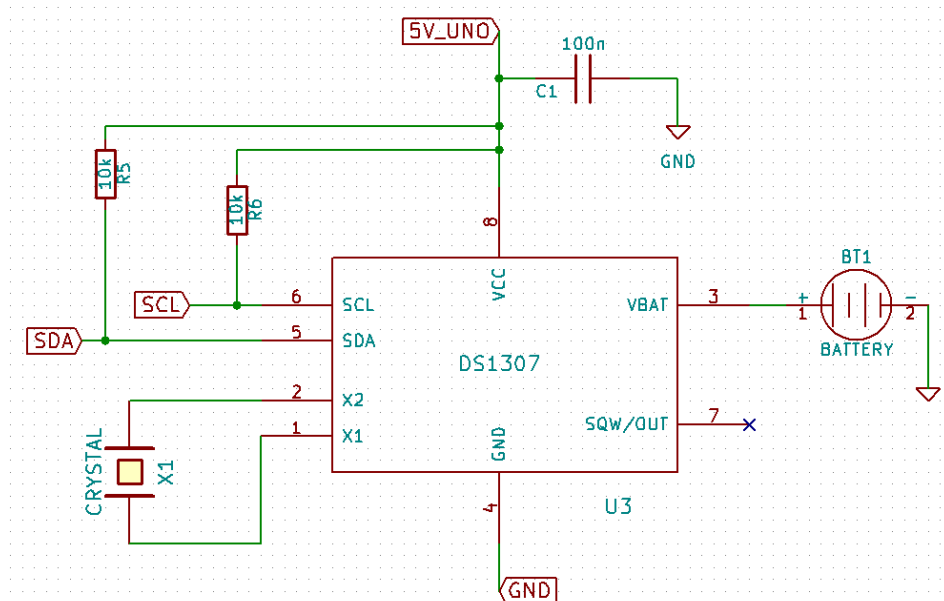


Figura 33- Connexions del rellotge DS1307

A continuació veiem el sensor de temperatura i humitat DHT22 que s'alimenta a 5V i necessita una resistència de 4k7 entre la sortida i els 5V per poder donar una sortida vàlida. D'altra banda, el sensor de lluminositat TSL237 que s'alimenta a 5V filtrats amb un condensador.

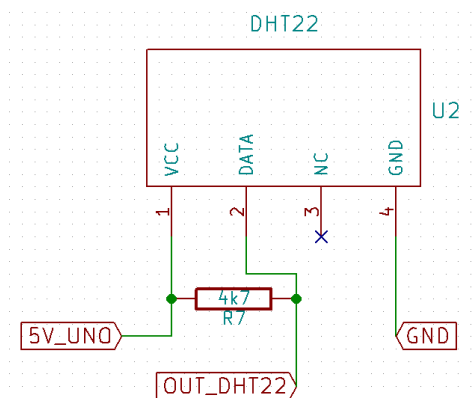


Figura 34 - Connexions del sensor de temperatura i humitat DHT22

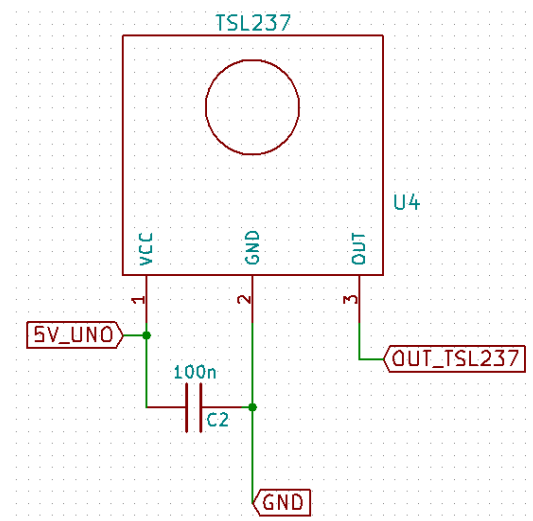


Figura 35 - Connexions del convertidor de llum a freqüència TSL237

El mòdul Wifi s'alimenta externament a 3.3V amb una intensitat que ronda els 250-300mA, disposa de tres pins de comunicació que s'han de connectar amb el Arduino, d'una banda els canals UTXD i URXD que es connectaran als pins 2 i 3, amb la necessitat de crear un altre port de comunicació sèrie addicional al que ja disposa el microcontrolador. El pin CH_PD va connectat al pin 4 per norma del firmware que s'utilitza.

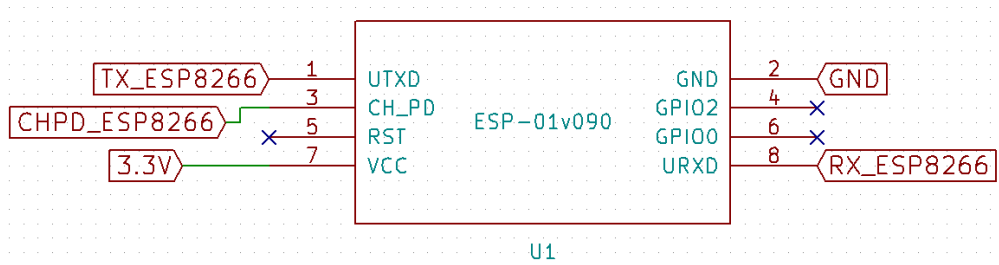


Figura 36 - Connexions del mòdul WIFI ESP8266-01

L'adaptador MicroSD també s'alimenta amb els 5V del Arduino, aquest mòdul utilitza la comunicació SPI del Arduino, per tant el pin MOSI es connecta al pin 11 del Arduino, el MISO al 12, SCK al 13. El CS és per controlar quan ha de funcionar aquest mòdul i quan no, per jerarquia de les connexions, el connectarem al pin 10 del microcontrolador.

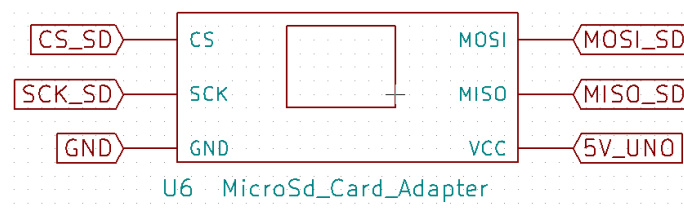


Figura 37 - Connexions de l'adaptador MicroSD per Arduino

A continuació es mostren les connexions d'alimentació d'entrada, i el circuit regulador del voltatge d'entrada a una tensió de sortida de 3,3V, als que funciona el ESP8266.

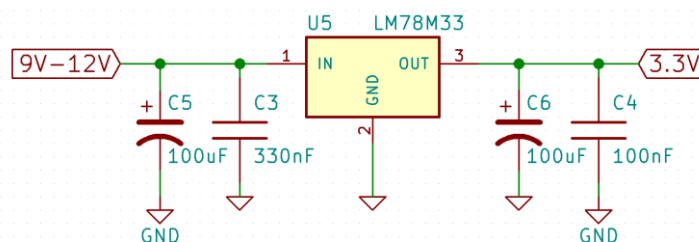


Figura 38 - Circuit regulador de tensió a 3.3V

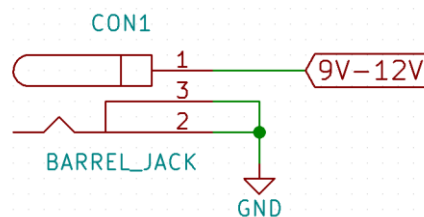


Figura 39 - Alimentació d'entrada a la placa electrònica

Una vegada dissenyades totes les connexions del circuit, és hora de llistar els components per poder vincular-los a una empremta que tingui ja carregada el programa o bé l'hàgim de dissenyar posteriorment.

Component	Descripció
BT1	Portapiles de pila de botó de 3V
C1	Condensador de 100nF
C2	Condensador de 100nF
C3	Condensador de 330nF
C4	Condensador de 100nF
C5	Condensador electrolític de 100uF
C6	Condensador electrolític de 100uF
CON1	Connector femella alimentació
CON2	Connexió per alimentació Arduino
R5	Resistència 10K
R6	Resistència 10K
R7	Resistència 4K7
SH1	Arduino Uno
U1	ESP8266-01
U2	DHT22
U3	DS1307
U4	TSL237
U5	Regulador de voltatge 3.3V
U6	Adaptador MicroSD
X1	Cristall 32.768kHz

Figura 40 - Llistat de components del PCB dissenyat

En el cas que el programa no disposi de l'empremta que nosaltres desitgem, l'haurem de crear amb un editor del qual disposa el mateix software.

Amb un peu de rei mesurem les mides de separació de cadascun dels pins dels components electrònics que ens interessin, sense oblidar, anomenar tots els pins amb la seva connexió correcta per facilitar les coses més endavant en el procés d'organitzar la placa. Per millorar el resultat final del PCB, és convenient dibuixar els contorns i formes de cada component.

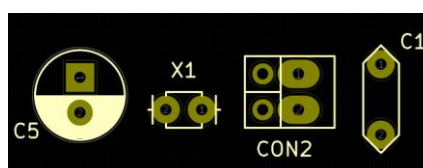


Figura 41 - Exemples d'empremtes dels diversos tipus de components electrònics

Quan cada component ja està relacionat amb la seva empremta, és hora de passar a dissenyar el PCB, s'ha de tenir en compte de no deixar tocar les vies entre elles que seran de 1mm d'amplitud. Pel que fa als pins, en general tenen un diàmetre de 2mm.

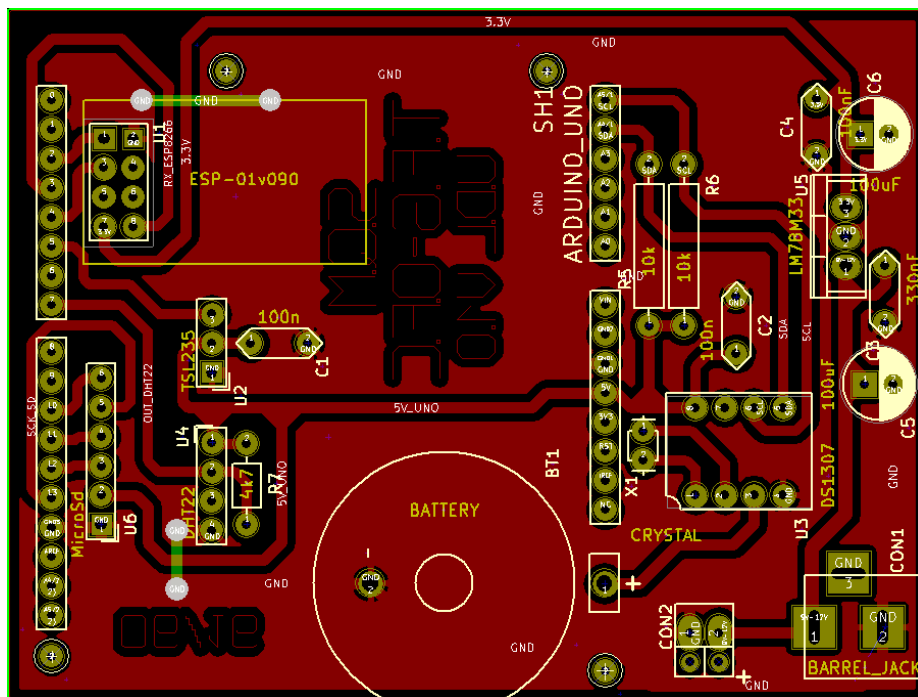


Figura 42 - Disseny final del PCB vist des del KiCad

A continuació es mostra la plantilla del PCB llesta per ser impresa sobre una placa fotoresistent de fibra de vidre de 60x80mm:

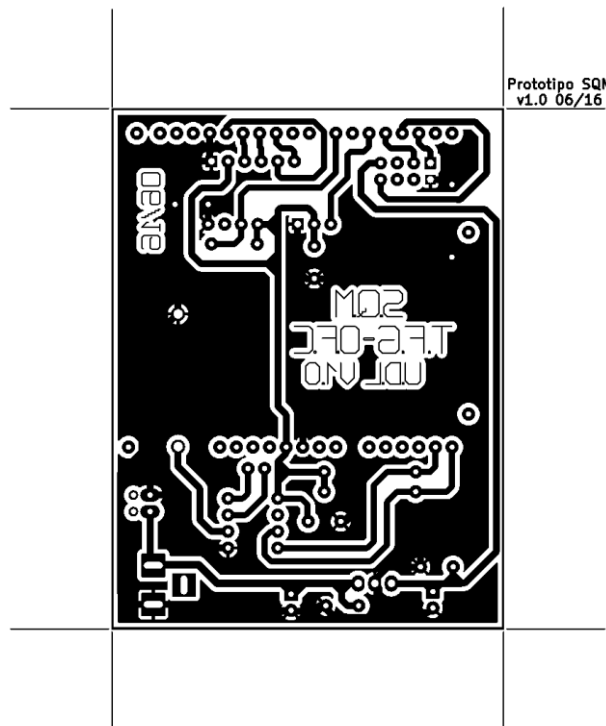


Figura 43 - Plantilla del PCB llesta per imprimir sobre la placa de fibra de vidre

Per donar-li a la placa dissenyada un toc més de professionalitat se li ha volgut donar importància a la cara dels components, que és la que sí que es veu a simple vista, ja que la cara de soldadura queda amagada entre el Arduino i la mateixa placa. Per aquest motiu s'ha imprès aquesta plantilla on apareixen els components electrònics en paper adhesiu i transparent.

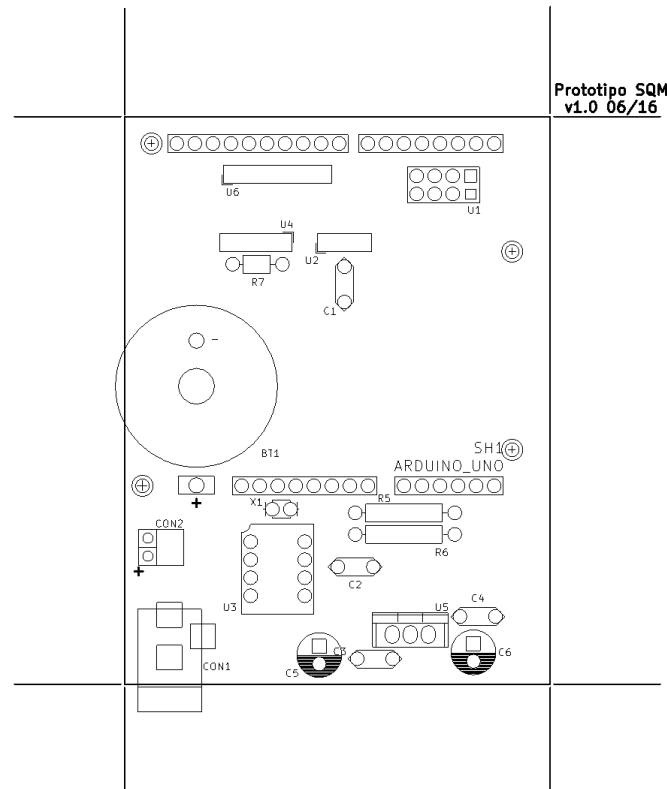


Figura 44 - Cara dels components del PCB dissenyat

El procés d'insolació consisteix en situar la plantilla del circuit imprès en un fotolit al sobre de la placa de fibra de vidre amb emulsió positiva, tot això dins d'un armariet que té tres llums fluorescents durant uns 7 minuts perquè s'imprimeixi de forma correcta el circuit sobre la placa.

Després, es prepara una barreja d'aigua i sosa càustica per submergir la placa amb la finalitat de revelar sobre el coure el circuit dissenyat (procés molt semblant a com es feia amb el revelatge de fotografies uns anys enrere). Es mou la barreja durant uns minuts fins que veiem que el revelatge està perfecte, seguidament netegem la placa amb abundant aigua i ja podem procedir al procés d'atacat.

Aquest últim consisteix en corroir el coure que està desprotegit, s'ha d'anar movent el recipient fins que veiem que les pistes del circuit estan ben definides.

Tot seguit amb un trepant de mà i una broca de 0,8mm fem els forats adients per poder col·locar els components sobre la placa, després amb una mica més de cura s'ha de fer els forats pel connector femella de l'alimentació i per al portapiles, ja que aquests són forats amb forma rectangular. Es neteja tota la placa amb una mica d'alcohol i ja està llesta per ser soldar-li els components electrònics.

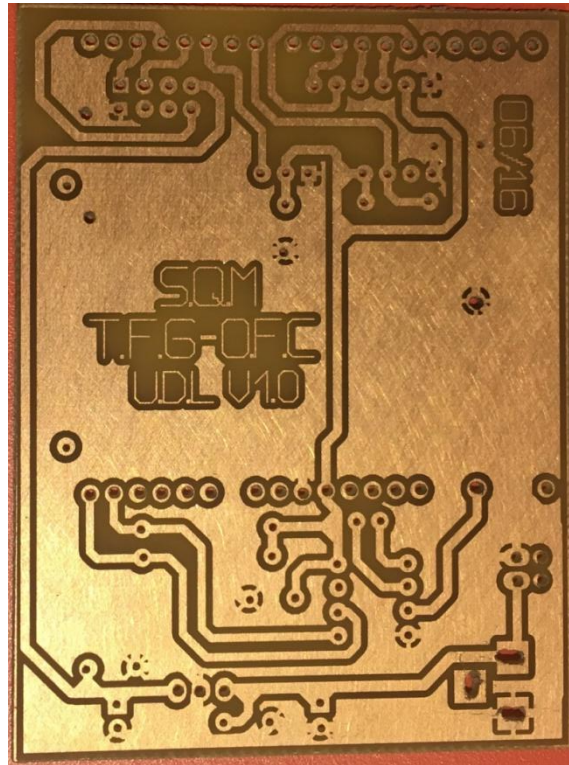


Figura 45 - Placa insolada i amb els forats corresponents fets

El següent pas és col·locar l'adhesiu indicatiu de la cara dels components i anar soldant un per un amb molta cura de no trencar cap pista ni fer cap curtcircuit.

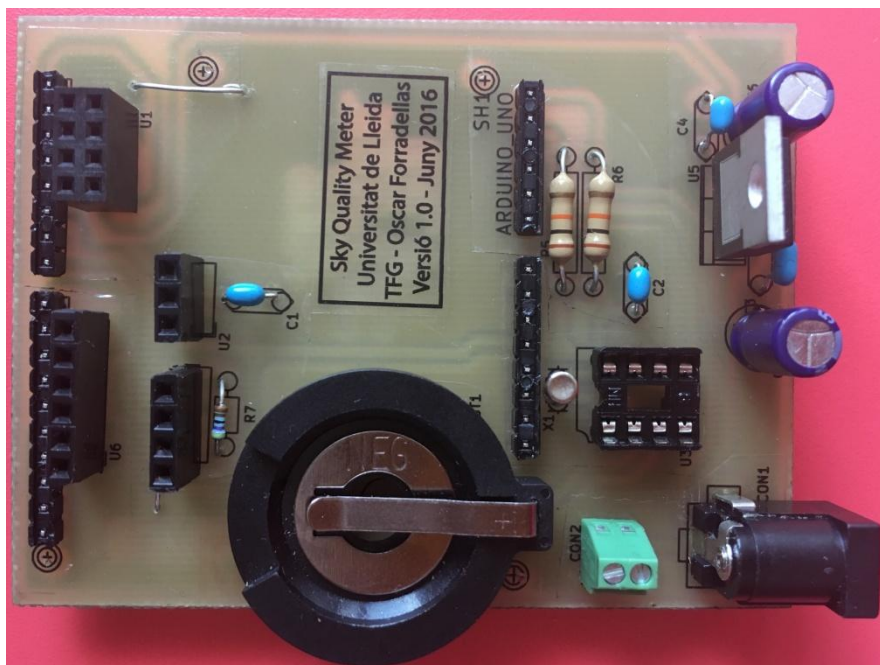


Figura 46 - PCB finalitzat a falta del cablejat i afegir algun integrat

Ja tenim llest el PCB que permetrà al Arduino fer de dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel. A falta de connectar el mòdul Wifi, l'adaptador microSD, les diferents alimentacions, cablejar els sensors TSL237 i afegir-li un dissipador d'alumini al LM78M33 que s'encarrega de disminuir dels 9-12V d'entrada als 3,3V necessaris pel ESP8266.

4.4 PROGRAMACIÓ ARDUINO

4.4.1 Versió USB

En l'annex 9.5 trobem el codi Arduino d'aquest dispositiu. El codi està sempre corrent a l'espera d'un cert llindar de magnitud de la qualitat del cel establert per l'usuari. Una vegada es supera aquesta magnitud s'entra en un bucle que s'executa cada X minuts també establits per l'usuari, on es mesura la humitat i la temperatura i es guarden totes aquestes mesures en un arxiu de text a la microSD. A més a més està pendent de la comanda que li envia l'usuari per port sèrie per executar-la, com poden ser:

- Descarregar l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu.
- Mostrar les dades actuals i la configuració del dispositiu.
- Esborrar l'històric de dades del dispositiu .
- Canviar paràmetres: hora, minuts, dia, mes, any, llindar de magnitud, freqüència de pressa de dades.

4.4.2 Versió Wifi

Per a aquesta versió haurem de tenir en compte que la memòria de l'Arduino és molt justa per executar el codi de la versió USB afegint-li el següent codi de la versió Wifi. Per a les nostres proves amb el dispositiu en aquesta versió vam rebaixar al màxim el codi Arduino, però per a la còmoda utilització d'aquesta versió es recomana canviar la memòria del microcontrolador o l'ús d'un microcontrolador superior per córrer el sketch de manera correcta i amb totes les funcionalitats del dispositiu dissenyat.

Per utilitzar el dispositiu d'avaluació del cel amb connexió Wifi, és suficient amb afegir al sketch de la versió USB, el següent codi:

```
#include <SoftwareSerial.h> //Llibreria per crear un nou port sèrie
#include <espduino.h> //Llibreria per connectar al Wifi amb el ESP8266
#include <mqtt.h> //Llibreria per poder utilitzar sockets MQTT

SoftwareSerial ESP_Port(2, 3); //Creem el nou port sèrie(RX, TX)

ESP esp(&ESP_Port, &Serial,4); //Configuració per al ESP8266

MQTT mqtt(&esp); // Inicialització de la llibreria sockets MQTT
boolean wifiConnected = false;

void wifiCb(void* response){ //Funció per connectar al servidor MQTT
  uint32_t status;
  RESPONSE res(response);
  if(res.getArgc() == 1) {
    res.popArgs((uint8_t*)&status, 4);
    if(status == STATION_GOT_IP) {
      Serial.println("WIFI CONNECTED");
      mqtt.connect("192.168.1.135", 1883, false);
      wifiConnected = true;
    } else {
      wifiConnected = false;
      mqtt.disconnect();
    }
  }
}
```

```

void mqttData(void* response //Funció per establir comunicació MQTT
{
  RESPONSE res(response);
  Serial.print("Received: topic=");
  String topic = res.popString();
  Serial.println(topic);
  Serial.print("data=");
  String data = res.popString();
  Serial.println(data);

  if (data == "a"){ //Possibles comandes del usuari
    Serial.println("Ara enviarem el valor actual");
    mqtt.publish("/topic/datos", "valor_actual");
  }else if (data == "d"){
    Serial.println("Ara volcarem les dades en memoria");
    mqtt.publish("/topic/datos", "dades_memoria");
  }
}

void setup() { //Configuració de les llibreries al void setup.
  Serial.begin(19200); //Important treballar a 19200 bauds
  ESP_Port.begin(19200);
  esp.enable();
  ESP_Port.print("voidsetup");
  delay(500);
  esp.reset();
  delay(500);
  while(!esp.ready());

  Serial.println("ARDUINO: setup mqtt client");
  if(!mqtt.begin("DVES_duino", "admin", "Isb_C4OGD4c3", 120, 1)) {
    Serial.println("ARDUINO: fail to setup mqtt");
    while(1);
  }

  Serial.println("ARDUINO: setup mqtt lwt");
  mqtt.lwt("/lwt", "offline", 0, 0);

  mqtt.connectedCb.attach(&mqttConnected);
  mqtt.disconnectedCb.attach(&mqttDisconnected);
  mqtt.publishedCb.attach(&mqttPublished);
  mqtt.dataCb.attach(&mqttData);

  Serial.println("ARDUINO: setup wifi");
  esp.wifiCb.attach(&wifiCb);
  esp.wifiConnect("MOVISTAR_DC6A", "uhfyPYejc6CQqjANQGH");

  Serial.println("ARDUINO: system started");

void loop() { //En el void loop estem continuament subscrits a un
              topic a la espera de una comanda del usuari

  esp.process();
  if(wifiConnected) {
    mqtt.subscribe("/topic/demanda");
    delay(5000);
  }
}
}

```

4.5 ENTORN PER L'USUARI DE LA VERSIÓ AMB CONNEXIÓ USB

Pels motius ja esmenats anteriorment, el dispositiu dissenyat tindrà la possibilitat d'estar connectat amb un ordinador personal de l'usuari per poder transmetre les dades i enviar valors actuals a petició de l'usuari.

Aquesta versió d'entorn per l'usuari, està dissenyat amb codi Python 3.5, a l'annex 9.2 es troben les instruccions per instal·lar un intèrpret Python en ordinadors Windows o Linux.

El codi d'aquesta versió, la podem trobar a l'annex 9.6, a continuació s'explica per sobre el funcionament del codi. Primer de tot necessitarem la llibreria "pyserial" de Python per poder connectar-nos al port sèrie del dispositiu. Ens connectarem al 'COM3' que és el port que normalment utilitzen els Arduino Uno a una velocitat de 9600 bauds.

```
import serial

arduino = serial.Serial('COM3', 9600, timeout = 1)
```

Una vegada establida la comunicació mostra un menú a l'usuari on pot triar l'opció a executar. Una vegada l'usuari s'ha decidit el programa envia un caràcter (depenent de l'opció triada) que fa executar una funció del microcontrolador, tot seguit llegeix la resposta que li està enviant aquest i la mostra a través del terminal a l'usuari.

```
if (send == "s") :

    arduino.write(bytearray(send, 'ascii'))

    arduino.flush()

    print ("Esbarrant l'històric de dades del dispositiu...")

    time.sleep(1)

    rd = arduino.read(200).decode().strip()

    if(rd) :

        print("--> " +rd)
```

El programa, en un bucle infinit, queda a l'espera que l'usuari triï una opció a executar fins que aquest premi la tecla de sortir, que és quan es desconnecta del port sèrie de l'Arduino.

```
arduino.close()
```

Pel que fa a la visualització per part de l'usuari d'aquest entorn, trobem un menú principal on l'usuari pot triar entre les comandes "LIST" (Descarregar les dades que hi ha a la microSD), "INFO" (Consultar les dades actuals dels sensors i la configuració del dispositiu), "DELETE" (permet esborrar l'històric de dades que està guardat al dispositiu), "TOOLS" (un submenú on

es pot canviar la configuració del dispositiu i analitzarem més endavant) i “EXIT” que permet sortir de l’entorn.

```
-->Iniciant el sistema..
--> Conectat al port serie del dispositiu!

  MENU PRINCIPAL DISPOSITIU D'AVALUACIO DE LA QUALITAT DEL CEL
  T.F.G. - OSCAR FORRADELLAS CONTE - GEEIA - Universitat De Lleida

--> l | LIST: Descarrega l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu
--> n | INFO: Mostra les dades actuals i la configuració del dispositiu.
--> s | DELETE: Esborra l'històric de dades del dispositiu
--> t | TOOLS: Canviar paràmetres (hora, data, llinars, freqüència)
--> q | EXIT: Sortir

Introdueix una acció >> _
```

Figura 47- Visualització del menú principal de l’entorn Python per a l’usuari

L’opció “LIST” s’encarrega de demanar al dispositiu l’històric de dades, processar-lo i guardarlo en un fitxer CSV.

```
Introduzca una accion >> l
Important dades de la microSD del dispositiu..
--> Data;Hora;Temperatura(°C);Humitat(%);Magnitud(MPSAS);Frecuencia(Hz)
--> 19/8/16;11:51;27.20;65.30;14.06787;7079;
--> 19/8/16;11:52;27.20;65.30;13.75894;9409;
--> 19/8/16;11:53;27.20;65.40;13.75906;9408;
--> 19/8/16;11:53;27.20;65.20;13.76415;9364;
--> 19/8/16;11:54;27.20;65.10;13.78227;9209;
No hi ha mes dades!
```

Figura 48 - Visualització de l’execució de l’opció “LIST” del menú principal

Triar “INFO” ens permet saber l’hora i la data que hi ha actualment configurada al dispositiu, les dades actuals (magnitud del cel, humitat i temperatura), així com la resta de configuració: freqüència de pressa de dades i els llinars de magnitud i hora.

```
Introdueix una acció >> n
Demanant les dades actuals al dispositiu..
--> Hora actual: 20:13 Data actual: 24/8/15
Dades actuals: Temperatura: 27.40°C Humitat: 44.40% Magnitud: 14.19MPSAS
FREQUENCY: 30minuts LLINDAR DE MAGNITUD: 17.34MPSAS LLINDAR HORARI: 20hores
```

Figura 49 - Visualització de l’execució de l’opció “INFO” del menú principal

Si executem l’opció “DELETE” esborrem l’arxiu que hi ha a la microSD de l’Arduino amb l’històric de dades del dispositiu. Mentre que si li donem a “TOOLS” obrirem un menú secundari on es poden modificar diversos paràmetres del dispositiu d’avaluació de la qualitat del cel. Si prenem “EXIT” sortirem del programa.

Pel que fa al submenú “TOOLS”, ens permet canviar diferents paràmetres com poden ser: l’hora, la data, la freqüència de pressa de dades del dispositiu, així com els llinars d’hora i magnitud a partir dels quals l’instrument començarà a emmagatzemar les dades en la microSD.

```
MENU TOOLS: Canvi de paràmetres del dispositiu

--> a | HOUR: Canviar el paràmetre <<HORA>>
--> e | MINUTE: Canviar el paràmetre <<MINUTS>>
--> i | DAY: Canviar el paràmetre <<DIA>>
--> o | MONTH: Canviar el paràmetre <<MES>>
--> u | YEAR: Canviar el paràmetre <<ANY>>
--> x | FREQUENCY: Canviar el paràmetre <<FREQUENCIA DE PRESSA DE DADES>>
--> y | MAG_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR DE MAGNITUD>>
--> z | HOUR_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR D'HORA>>

--> q | QUIT: Tornar al menu principal

Introdueix paràmetre a canviar >>
```

Figura 50 - Submenú "TOOLS" que permet canviar els diferents paràmetres del dispositiu

A l'executar qualsevol opció d'aquest submenú, ens dona un rang de valors o les opcions que podem triar, una vegada hem donat el nou valor que volem s'encarrega d'enviar-lo al dispositiu, i després de 2-3 segons ens arriba la confirmació d'aquest com que ha canviat el paràmetre de forma correcta.

```
Introdueix paràmetre a canviar >> x

FREQUENCIES: 15minuts 30minuts 45minuts 60minuts
Introdueix la freqüència de pressa de dades: 45
Canviant la freqüència de pressa de dades del dispositiu...
--> La freqüència de pressa de dades s'ha canviat correctament a: 45minuts
```

Figura 51 - Exemple d'execució d'una opció al submenú "TOOLS"

4.6 ENTORN PER L'USUARI DE LA VERSIÓ AMB CONNEXIÓ WIFI

Pel que fa a la versió Wifi de l'entorn de l'usuari, sofreix uns petits canvis respecte a la versió USB. La llibreria de Python "pyserial" és substituïda per la llibreria "paho.mqtt" amb la següent comanda:

```
import paho.mqtt.client as mqtt
```

La manera de connectar-nos a l'Arduino, també canvia i en aquesta versió es faria amb aquestes línies de codi:

```
mqttc = mqtt.Client()
mqttc.connect("127.0.0.1", 1883)
```

Per demanar una acció al dispositiu, en lloc d'enviar un caràcter pel port sèrie a l'Arduino, ara ens publiquem un tòpic mqtt, per exemple:

```
mqttc.publish("/topic/demanda", "actual")
```

I d'altra banda per rebre, en lloc de llegir el port sèrie de l'Arduino, aquí ens subscrivim al tòpic que està publicant el Arduino, amb la següent comanda:

```
mqttc.subscribe("/topic/dades")
```

Pel que fa al codi Python, amb aquests petits canvis seria suficient per gaudir del dispositiu en la seva versió Wifi. La visualització del menú per part de l'usuari seria exactament la mateixa que en la versió USB.

4.7 EMPLAÇAMENT FINAL DEL PROTOTIPUS

Des dels primers dies de desenvolupament del present treball, l'INS d'Alcarràs i en especial Jose Manuel, professor de ciències del centre i responsable de l'Observatori Astronòmic del INS Alcarràs (O.A.I.A) s'han mostrat molt interessats en el desenvolupament d'aquest dispositiu.

És per això que conjuntament amb el meu tutor vam decidir de instal·lar el primer prototipus en aquest observatori astronòmic.

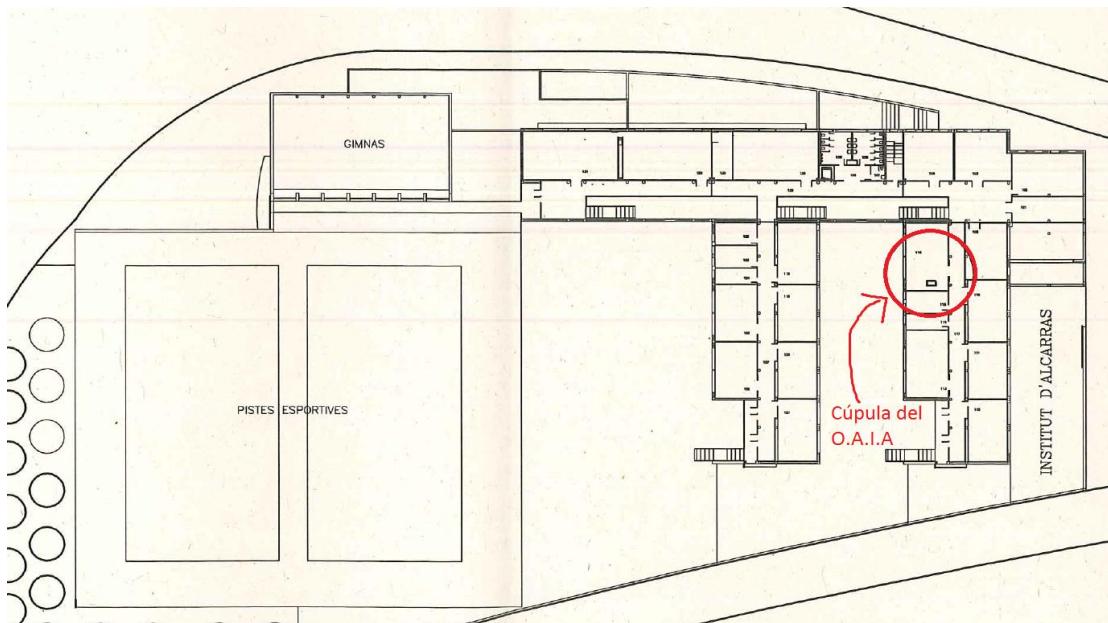


Figura 52 - Situació de la cúpula de l'Observatori Astronòmic dins de l'Institut d'Alcarràs

La cúpula de l'observatori està situada en el sostre de l'edifici i s'accedeix mitjançant unes escales plegables des del laboratori de ciències del centre.

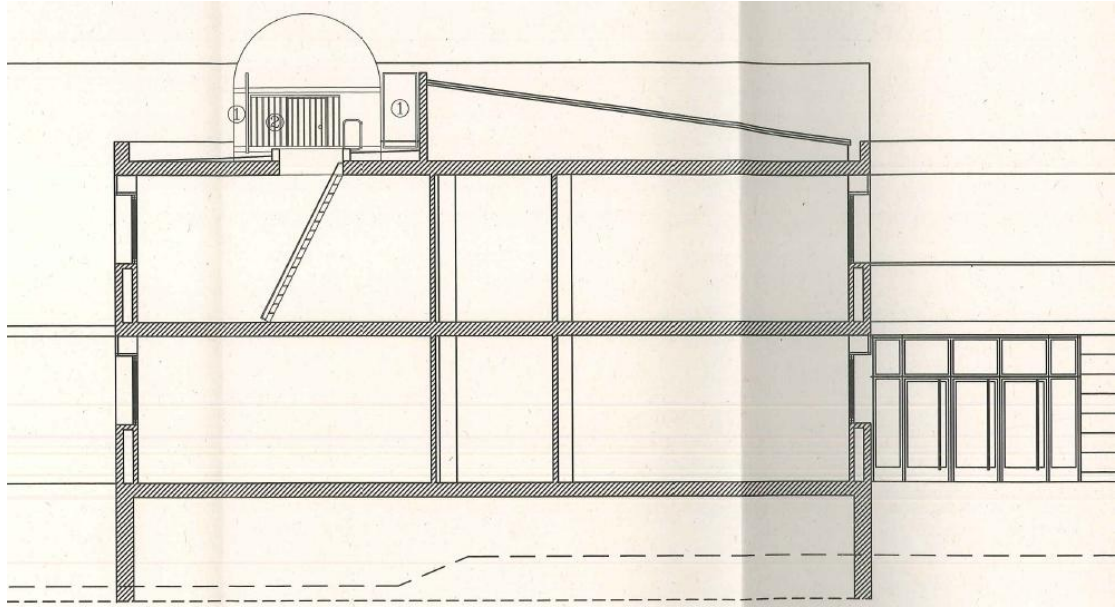


Figura 53 - Secció del INS d'Alcarràs on es mostra l'accés a la cúpula i la seva localització

Es tracta d'una cúpula semiesfèrica de 3,30 metres de diàmetre amb moviments motoritzats de 360° , a més incorpora una obertura també monitorada que permet un angle de visió del cel de 100° i per tant permet l'observació del zenit, punt situat a 90° sobre l'horitzó.

A dins es troba un telescopi Meade LX200GPS amb totes les seves lents, filtres i altres components necessaris per a una bona observació, com pot ser una càmera "ccd QHY8" en color amb els objectius de fer astrometria i fotometria d'asteroides i cometes. A més disposa d'un ordinador amb el software adient que permet gaudir del bon ús d'aquest telescopi.



Figura 54 - Telescopi Meade LX200GPS que es troba al O.A.I.A

El dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per a la contaminació lumínica facilitarà molt més la feina que fins ara feia el SQM professional Unihedron del que disposaven a l'observatori, ja que aquest mesura únicament de forma manual, mentre que el dispositiu desenvolupat fa la feina de manera automàtica, i pot agafar mesures durant un període molt llarg de temps i guardar-lo en memòria per a quan l'usuari vulgui bolcar-li les dades al seu ordinador personal.

A mitjans de Juliol vaig tenir l'oportunitat de visitar el INS d'Alcarràs i el seu observatori astronòmic juntament amb el meu tutor Fernando Guirado i el responsable de l'observatori. Allà vaig gaudir d'una bona experiència amb el telescopi observant el sol, cosa que només es pot fer amb equips com els que disposen en aquest observatori. També vam decidir on s'ubicarà el dispositiu una vegada finalitzat el TFG.



Figura 55 - Fotografia amb el meu tutor del TFG i la ubicació futura del primer dispositiu fabricat



Figura 56 - Fotografia amb el dispositiu dissenyat i el responsable de l'Observatori Astronòmic del INS d'Alcarràs

5. PROVES DEL PROTOTIPUS

5.1 PRIMERES PROVES DEL PROTOTIPUS

La primera prova que s'ha fet una vegada el prototipus estava pràcticament muntat, ha estat comprovar la resposta del prototipus si a la lent li ficàvem metacrilat, un filtre de rajos UV d'una càmera fotogràfica, o el deixàvem sense cap mena de protecció, i comparar-lo amb un SQM professional de la marca Unihedron que ens han cedit del INS d'Alcarràs.

ID	Data	Hora	SQM Professional (MPSAS)	Prototipus Funcional (MPSAS)		
				Descobert	Metacrilat	Filtre UV
1	16/06/2016	23:30	19,25	18,25	18,45	18,58
2	19/06/2016	23:20	17,39	16,34	16,45	16,86
3	20/06/2016	0:05	17,20	16,16	16,23	16,67
4	20/06/2016	22:45	18,10	17,32	17,53	17,74
5	20/06/2016	23:10	18,58	17,68	17,77	17,99
6	20/06/2016	23:40	18,91	17,92	17,96	18,28
7	21/06/2016	0:15	18,37	17,40	17,55	18,05
8	21/06/2016	23:10	19,52	18,54	18,61	19,00
9	21/06/2016	23:40	19,46	18,49	18,58	19,07
10	22/06/2016	0:30	19,10	18,14	18,19	18,54
11	29/06/2016	22:30	16,24	14,95	15,24	15,65
12	29/06/2016	23:00	19,14	18,06	18,19	18,47
13	29/06/2016	23:15	19,43	18,28	18,4	18,83
14	29/06/2016	23:30	19,35	18,32	18,41	18,74
15	06/07/2016	0:00	20,86	19,75	19,83	20,19
16	06/07/2016	0:10	20,98	19,78	19,87	20,21
17	06/07/2016	0:20	21,03	19,82	19,91	20,35
18	06/07/2016	0:30	21,02	19,76	19,83	20,13
19	06/07/2016	0:40	20,95	19,77	19,83	20,18
20	06/07/2016	0:50	21,1	19,80	19,87	20,25

Figura 57 - Mesures de les primeres proves del prototipus funcional

Si aquesta taula de mesures s'ordena de menor a major segons el valor de MPSAS, podem veure el comportament en una gràfica molt intuïtiva.

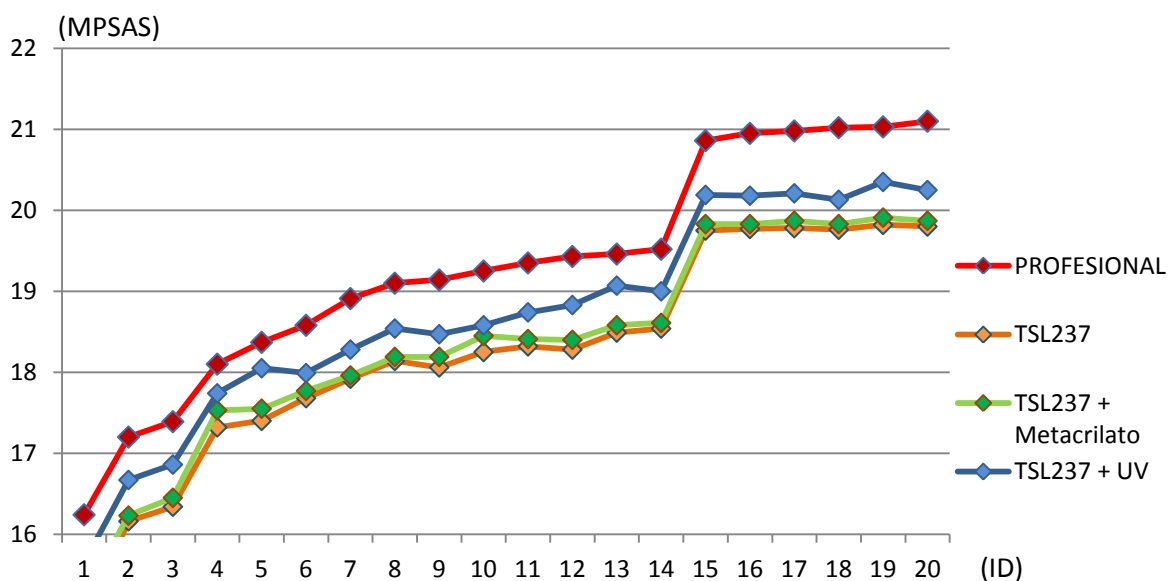


Figura 58 - Gràfica de valors obtinguts en les primeres proves del prototipus

Com es pot observar en la gràfica, el comportament de les corbes del TSL237 al descobert i el TSL amb una tapa de metacrilat transparent són molt semblants al comportament del SQM professional. En canvi la corba del TSL237 amb un filtre de rajos UV té un comportament menys similar (dades dels punts 6, 9, 13, 19, ...) al dispositiu professional.

Per prendre decisions sobre quina opció farem servir i quines no, podem calcular els coeficients d'error que hi ha en cadascuna de les mesures obtingudes durant aquesta prova, per fer això dividirem la mesura obtinguda en cada cas amb el nostre dispositiu entre el valor que ens dona el "Sky Quality Meter" professional. Es pot veure que en el cas de l'ús del metacrilat els coeficients són tots al voltant de 0,95 i amb l'ús del filtre UV hi ha una major variació, entre [0,96 .. 0,98]. A continuació es pot veure aquesta taula de coeficients de correcció que s'haurien d'aplicar per a cada cas.

ID	Coeficient de correcció			ID	Coeficient de correcció		
	Descobert	Metacrilat	Filtre UV		Descobert	Metacrilat	Filtre UV
1	0,948	0,958	0,965	11	0,921	0,938	0,964
2	0,940	0,946	0,970	12	0,944	0,950	0,965
3	0,940	0,944	0,969	13	0,941	0,947	0,969
4	0,957	0,969	0,980	14	0,947	0,951	0,968
5	0,952	0,956	0,968	15	0,947	0,951	0,968
6	0,948	0,950	0,967	16	0,943	0,947	0,963
7	0,947	0,955	0,983	17	0,942	0,947	0,968
8	0,950	0,953	0,973	18	0,940	0,943	0,958
9	0,950	0,955	0,980	19	0,944	0,947	0,963
10	0,950	0,952	0,971	20	0,938	0,942	0,960

Figura 59 - Coeficients de correcció que s'haurien d'aplicar en cada mesura obtinguda del nostre dispositiu

Per tant, la primera decisió que prenem és deixar de banda el filtre de rajos UV, ja que no es comporta de la manera que nosaltres volem. A continuació hem de triar si deixar el sensor al descobert o amb una tapa de metacrilat.

La decisió és senzilla, si tenim en compte que el nostre dispositiu estarà situat a l'aire lliure, i per tant exposat a la pluja, vent, calamarsa o altres fenòmens de la natura. Ens haurem de decantar per obviar tenir el sensor al descobert per evitar que es faci malbé amb qualsevol d'aquests fenòmens externs i decantar-nos per situar-li una tapa de metacrilat que el protegeixi de qualsevol situació desfavorable de l'ambient.

5.2 PROVES PROTOTIPUS FUNCIONAL

Una vegada decidida la protecció que portarà el sensor TSL237, podem passar a fer les proves per comprovar el rendiment del dispositiu dissenyat durant aquest treball incloent el limitador d'angle d'observació. En aquesta ocasió, tal com hem fet en les primeres proves, comptarem amb un dispositiu professional, per tal de poder comparar els resultats de cadascun d'ells. Les mesures estan fetes durant 5 dies seguits (11/07/2016 – 15/07/2016), una vegada s'ha finalitzat la construcció del prototipus funcional.

ID	SQM Professional (MPSAS)	Prototipus Funcional (MPSAS)	ID	SQM Professional (MPSAS)	Prototipus Funcional (MPSAS)
1	19,48	20,00	15	19,83	20,44
2	19,57	20,15	16	19,92	20,50
3	19,44	19,96	17	20,02	20,55
4	19,88	20,38	18	20,08	20,62
5	20,00	20,55	19	20,20	20,75
6	19,72	20,33	20	20,29	20,91
7	20,53	21,19	21	20,17	20,68
8	19,19	19,63	22	20,28	20,83
9	19,28	19,58	23	20,41	20,98
10	20,00	20,32	24	17,49	18,20
11	21,31	21,53	25	17,70	18,41
12	16,44	16,79	26	17,81	18,51
13	17,98	18,31	27	17,94	18,63
14	18,24	18,64	28	18,22	18,88

ID	SQM Professional (MPSAS)	Prototipus Funcional (MPSAS)	ID	SQM Professional (MPSAS)	Prototipus Funcional (MPSAS)
29	18,41	18,88	42	18,33	18,97
30	19,45	20,03	43	18,36	19,00
31	18,48	19,13	44	18,92	19,42
32	18,46	19,09	45	19,07	19,63
33	18,43	19,02	46	19,11	19,68
34	18,54	19,11	47	19,14	19,71
35	18,71	19,30	48	19,20	19,74
36	19,03	19,58	49	19,29	19,83
37	18,95	19,46	50	19,32	19,86
38	18,93	19,40	51	19,26	19,77
39	18,91	19,36	52	19,17	19,71
40	18,92	19,42	53	19,09	19,66
41	18,89	19,34			

Figura 60 - Mesures obtingudes en MPSAS del SQM professional i del prototipus final del nostre dispositiu

A continuació, aquestes mesures es representen en una gràfica per poder comprovar el comportament de les corbes de cadascun dels dos dispositius emprats.

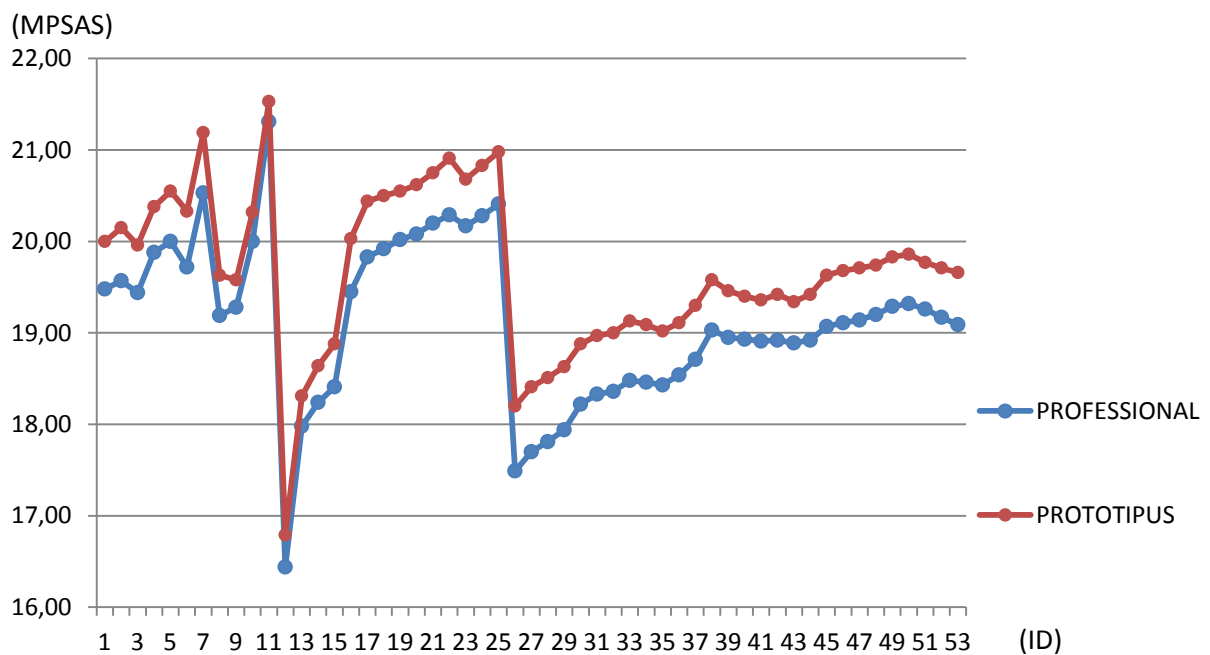


Figura 61 - Gràfica comparativa entre les mesures del SQM professional i del prototipus final del nostre dispositiu

Com es pot observar, ambdues corbes segueixen el mateix comportament, al nostre dispositiu li bastaria amb multiplicar per un coeficient de correcció per tenir una corba molt similar a la del dispositiu professional.

Per trobar aquest coeficient aproximat, dividim en cadascun dels casos el valor obtingut pel dispositiu professional entre el valor que ens ha donat el nostre prototipus. Amb aquesta llista de valors fem la mitjana i trobem que el coeficient de correcció mitjà és 0,973.

Aplicant aquest factor de correcció a la corba del nostre prototipus veiem que s'ajusta molt bé a la corba del dispositiu SQM professional.

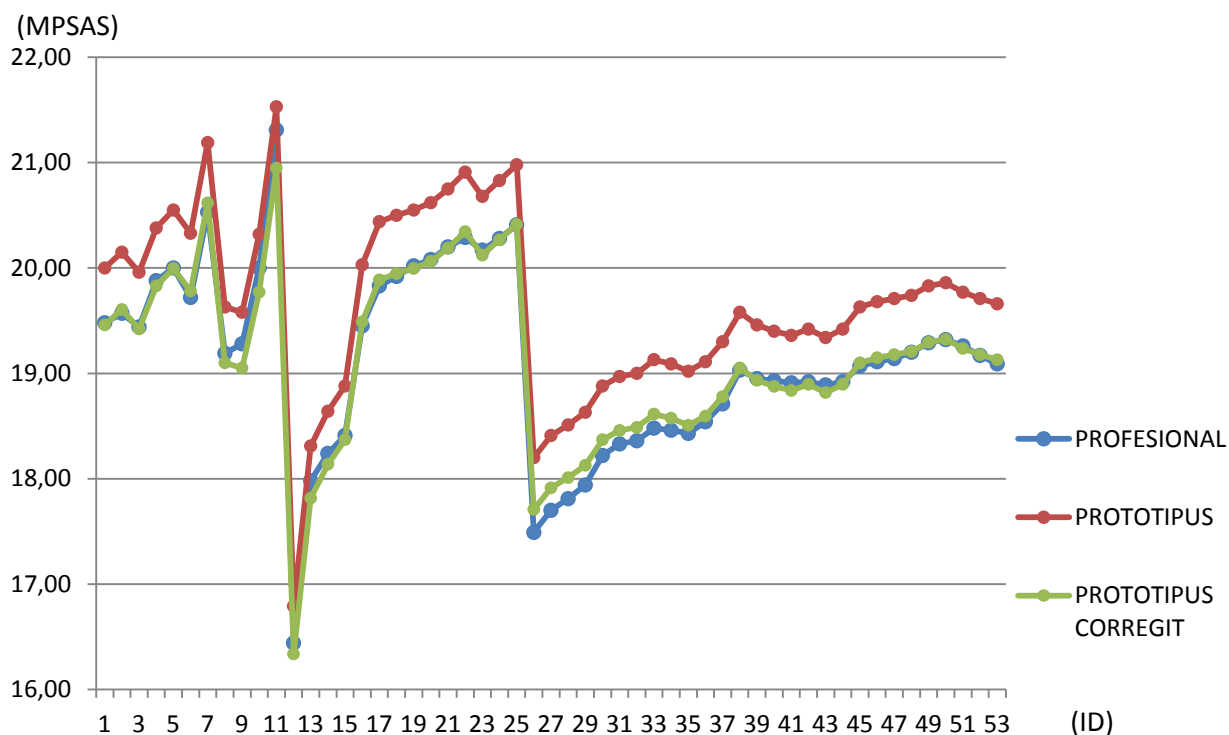


Figura 62 - Gràfica comparativa amb la corba del prototipus corregida

Una vegada feta aquesta petita correcció, el nostre prototip de dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per al control de la contaminació lumínica està llest per ser instal·lat allà on interressi.

És recomanable, una vegada instal·lat en el lloc adequat i sempre que sigui possible, prendre unes mesures i comparar-les amb un dispositiu professional, per tal de disminuir l'error que ens pugui donar el nostre prototip. També seria interessant fer aquesta avaluació a un lloc on el cel sigui realment fosc per a validar el factor de correcció ja que el lloc on s'ha fet inicialment no arriba a magnituds gaire altes.

6. PRESSUPOST

Per fer el pressupost del dispositiu dissenyat i fabricat durant el transcurs del present treball, diferenciarem les dues opcions que hem esmenat anteriorment: d'una banda, el prototipus que incorpora connexió WIFI, i per l'altra banda, el dispositiu que es connecta a un PC mitjançant un cable USB.

Per saber el cost total d'un dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel per al control de la contaminació lumínica, diferenciarem els següents apartats:

- Cost dels components.
- Cost de l'enginyeria.
 - o Disseny del prototipus.
 - o Fabricació del dispositiu.
 - o Programació del codi per un correcte funcionament del dispositiu.

6.1 COST DELS COMPONENTS

6.1.1 Versió amb connexió USB

Producte	Botiga	Quantitat	Preu/Unitat	Total
Arduino Uno Rev3	RS Online	1	21,25€	21,25€
Sensor TSL237	Mouser Electronics	1	2,35€	2,35€
Sensor DHT22	Solectro Shop	1	6,49€	6,49€
Mòdul RTC DS1302	RS Online	1	2,80€	2,80€
Adaptador MicroSD + MicroSD	Solectro Shop	1	3,39€	3,39€
Placa fotoresistent fibra vidre 60x80mm	Telesa	1	2,25€	2,25€
Resistència 10 k Ω	Telesa	2	0,10€	0,20€
Portapiles	ElectroMod	1	0,60€	0,60€
Pila CR2032 3V	Ferreteria Bometón	1	1,66€	1,66€
Connector DC Femella Angle 90°	Rs Online	1	0,40€	0,40€
Condensador 100nF 50Vdc	RS Online	2	0,18€	0,36€
Resistència 4,7 k Ω	RS Online	1	0,06€	0,06€
Terminal 2 vies 2,54mm	RS Online	1	0,61€	0,61€
Cristall 32.768kHz	Rs Online	1	0,33€	0,33€

Connector Mascle Power Jack	Daniled	1	1,75€	1,75€
10x Cables 20cm	ElectroMod	1	1,25€	1,25€
Tira de 40 pins Mascle Arduino	Newmobile-es	2	0,75€	1,50€
Tira de 40 pins Femella Arduino	Newmobile-es	2	0,75€	1,50€
Sòcol per integrat 8pins DIP	Gadgets & Parts	1	0,20€	0,20€
Caixa estanca 180x160x80mm	Ferreteria Bometón	1	4,77€	4,77€
Maneguet Rosca/Mascle 32/40	Ferreteria Bometón	1	0,76€	0,76€
Tap Rosca Femella 40	Ferreteria Bometón	1	0,71€	0,71€
Volandera Goma Blanca	Ferreteria Bometón	1	0,36€	0,36€
Cargols 03x30mm ZN	Ferreteria Bometón	4	0,03€	0,12€
Rosca ZN 3mm	Ferreteria Bometón	12	0,01€	0,12€
Tap circular Ø 35mm de metacrilat	Carpinteria Borrell	1	0,92€	0,92€
Altres útils	-	-	-	5,00€
TOTAL sense IVA Versió amb connexió USB				61,71€

Figura 63 – Cost dels components del dispositiu per a la fabricació de la versió amb connexió USB

6.1.2 Versió amb connexió WIFI

Producte	Botiga	Quantitat	Preu/Unitat	Total
Versió amb connexió USB	-	1	61,71€	61,71€
Regulador de tensió 3.3V 500mA	Rs Online	1	0,86€	0,86€
Condensador 330nF 50Vdc	Rs Online	1	0,48€	0,48€
Condensador 100nF 50Vdc	RS Online	1	0,18€	0,18€
Condensador electrolític 100uF	Rs Online	2	0,15€	0,30€
ESP8266-01	BricoGeek	1	7,50€	7,50€
Altres útils	-	-	-	2,00€
TOTAL sense IVA Versió amb connexió WIFI				73,03€

Figura 64 – Cost dels components del dispositiu per a la fabricació de la versió amb connexió WIFI

6.2 COST DE L'ENGINYERIA

El cost de l'enginyeria principal que es tindrà en compte és el que pertany al dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel amb connexió WIFI, ja que és la idea que es va tenir per dur a terme aquest projecte.

Però, per temes de seguretat amb la WIFI de l'Observatori Astronòmic del INS d'Alcarràs, s'ha fet una petita adaptació del dispositiu dissenyat, que ha consistit en substituir la connexió WIFI per la connexió USB.

6.2.1 Disseny del prototipus

Aquesta tasca consisteix en idear un producte i treballar en desenvolupar-lo en un prototipus. Reuneix les feines de pensar la idea principal, estudiar si existeix o no en el mercat actual, i en cas que sí que apporti millores sobre el que ja hi ha, i una explicació de perquè servirà aquest producte i quin serà el seu funcionament.

	Hores	Preu/Hora	Total
Idea de producte	7h	30€/h	210€
Estudi de mercat	10h	15€/h	150€
Detall funcionament	5h	20€/h	100€
TOTAL Disseny del prototipus			460€

Figura 65 - Cost total quant al disseny del prototipus

6.2.2 Fabricació del dispositiu

Aquesta feina inclou fer la llista de material necessari per fer les comandes, proves del disseny del prototipus que hem esmenat anteriorment amb els components que van arribant, les diferents tasques del procés de muntatge (fusteria, bricolatge,...) de la caixa estanca, mòdul d'observació, fabricació del PCB i posterior soldadura dels components electrònics, cablejat necessari, etc.

	Hores	Preu/Hora	Total
Material	2h	15€/h	30€
Proves prototipus	8h	20€/h	160€
Muntatge prototipus	4h	20€/h	80€
Fabricació PCB	3h	30€/h	90€
Cablejat	1h	20€/h	20€
TOTAL Fabricació del prototipus			380€

Figura 66 - Cost total quant a la fabricació del dispositiu

6.2.3 Programació del dispositiu

Aquesta tasca inclou el disseny de l'estructura del codi, l'escriptura del codi i la contínua revisió i millora d'aquest pels entorns d'Arduino i Python.

	Hores	Preu/Hora	Total
Estructura general	6h	25€/h	150€
Codi Arduino	20h	20€/h	400€
Codi Python Sockets	12h	20€/h	240€
Codi Python Serial	10h	20€/h	200€
Comprovació codi	10h	15€/h	150€
TOTAL Programació del dispositiu USB			900€
TOTAL Programació del dispositiu WIFI			940€

Figura 67 - Cost total quant a la programació del dispositiu

Per ajustar alguna despesa extra que hagi pogut sortir durant el disseny, fabricació o programació del nostre dispositiu, li aplicarem als costos totals de cadascun de aquests apartats un factor de correcció.

Costos	Cost relatiu	Factor de correcció	Cost final
Disseny del prototipus	460€	10%	506€
Fabricació del dispositiu	380€	10%	418€
Programació del dispositiu USB/WIFI	900€	10%	990€
	940€		1034€
COST TOTAL de l'Enginyeria (USB)			1914€
COST TOTAL de l'Enginyeria (WIFI)			1958€

Figura 68 - Cost Total de l'Enginyeria

6.2.4 Resum de costos

	Total		Total
Cost material versió USB	61,71€	Cost material versió WIFI	73,03€
Cost de l'Enginyeria versió USB	1914€	Cost de l'Enginyeria versió WIFI	1958€

Figura 69 - Resum dels costos del dispositiu per a les versions USB i WIFI

7. CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR

7.1 CONCLUSIONS

La finalitat d'aquest Treball Final de Grau era dissenyar i desenvolupar un dispositiu per a l'avaluació de la qualitat del cel nocturn per analitzar la contaminació lumínica i accessible a qualsevol persona.

Per aconseguir tenir aquest dispositiu físicament i funcionant, he hagut d'invertir moltes hores i esforç, però el resultat ho ha merescut. Primer es va fer un estudi exhaustiu del mercat amb la finalitat de fer un dispositiu diferent al qual hi ha actualment al mercat. Tot seguit es va fabricar el prototipus amb components dels quals s'havia estudiat el seu comportament prèviament. I ja per acabar s'ha programat tant el microcontrolador Arduino, com l'entorn per al control del dispositiu amb llenguatge Python.

La major part de materials que s'han utilitzat per a la construcció d'aquest dispositiu van ser facilitats pel Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial.

La part que m'ha semblat més complexa ha sigut la programació del codi del microcontrolador, ja que he hagut d'aprendre nous conceptes i a buscar alternatives als petits problemes que anaven sortint en el dia a dia.

Una vegada el prototipus va estar fabricat i amb el codi mínim pel que fa a la pressa de dades dels diferents sensors del dispositiu, es van dur a terme dues proves de llarga durada en diferents nits. En la primera prova es va analitzar el comportament de l'instrument amb diferents lents per a la protecció del sensor de lluminositat. Mentre que en la segona ja vam poder gaudir del bon funcionament del dispositiu amb la finalitat d'ajustar la seva precisió amb comparació d'un dispositiu comercial.

En un principi es va apostar per la connexió Wifi del dispositiu, però per problemes de la memòria del microcontrolador, no s'ha pogut desenvolupar aquesta versió tant bé com s'esperava. Aquesta característica tan interessant queda com treball futur d'aquest projecte. La memòria ha sigut un dels aspectes que més problemes ens ha donat quant a hardware utilitzat, potser la dedició del microcontrolador emprat no ha sigut del tot correcte, ja que l'Arduino Uno com hem dit ens ha quedat molt just.

Tot i això tenim un dispositiu que ens aporta coses noves amb una clara aposta pel fenomen "Internet de les coses", un aparell que està monitorat i no necessita persones al seu voltant per a funcionar, únicament per descarregar dades i analitzar-les.

Amb la consecució d'aquest treball m'he adonat de la dificultat que suposa passar d'una idea general d'un prototipus a tenir-lo present físicament. De la feina que suposa saber buscar informació útil, desenvolupar les idees de la millor manera possible, aprendre nous coneixements... En conclusió, de tots aquests 4 anys de Grau, han set aquests mesos els que m'han fet veure quina és la feina real d'un enginyer, enfrontar-se a problemes i saber buscar la

solució més ràpida, més senzilla, més econòmica i millor per totes les parts, amb professionalitat, coneixements i habilitat.

7.2 TREBALL FUTUR

Amb la realització d'aquest projecte, han anat sorgint diferents idees que podrien complementar al nostre dispositiu, com poden ser:

- Aconseguir que el dispositiu funcioni al 100% en la seva versió Wifi.
- Redissenyar la placa electrònica, deixant de banda l'Arduino i incorporant únicament el microcontrolador i els components necessaris.
- Reduir el volum del dispositiu.
- Realitzar una aplicació per a mòbils que permeti veure les dades en temps real, històrics o gràfiques del dispositiu.
- Realitzar una xarxa de dispositius d'avaluació connectats a Internet que pengin dades a una web, per a la seva consulta per part de la població.
- Promocionar aquest dispositiu tant per aconseguir millores amb la col·laboració d'altres persones, com per aconseguir una conscienciació cada vegada major de la població sobre la contaminació lumínica i els seus efectes.

8. BIBLIOGRAFIA

Contaminació lumínica

<https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/tipos-de-contaminacion/contaminacion-luminica>

<http://www.fragailuminacion.com.ar/publicaciones/historia-de-la-iluminacion/>

<http://www.jotdown.es/2014/03/breve-historia-de-la-luz-artificial/>

http://www.astrocantabria.org/?q=cieloscuro_contaminacion

http://astrogea.org/celfosc/contaminacio_luminica.htm

<http://astrored.org/blog/contaminacion-luminica-el-cancer-del-cielo/>

<https://www.celfosc.org/>

<http://www.miprv.com/causas-y-consecuencias-de-la-contaminacion-luminica/>

<http://www.um.es/prinum/cienciaymedia/index.php?opc=programa&ver=78>

IDA (International Dark-Sky Association). <http://darksky.org/about>

REECL. <https://guaix.fis.ucm.es/splpr/>

Components

Arduino. <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>

LDR vs Fotodíode http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/fotoresistencia.htm

Circuit "Light To Frequency Converter 1". <http://www.linear.com/solutions/1472>

Circuit "Light To Frequency Converter 2". <http://www.circuitstoday.com/light-to-frequency-converter-circuit>

SN74LS624DR. <http://www.mouser.es/ProductDetail/Texas-Instruments/SN74LS624DR/?qs=sGAEpiMZZMuxN8ppjVrcxgBR8JX9aLzwTfn34aE7jM4%3d>

SFH213. <http://www.mouser.es/ProductDetail/OSRAM-Opto-Semiconductors/SFH-213/?qs=K5ta8V%252bWhtZez2QtPyLV%2fa%3d%3d>

Condensador 1000pF. <http://www.mouser.es/ProductDetail/Kemet/C0402C102K5HACAUTO/?qs=sGAEpiMZZMvcrsGoMFfeP0xc%2f4PQZK%252bTTCVuvQtwknQ%3d>

555 Timer. <https://www.sparkfun.com/products/9273>

SFH 229 FA. <http://www.mouser.es/ProductDetail/OSRAM-Opto-Semiconductors/SFH-229-FA/?qs=sGAEpiMZZMtWNtlk7yMEsZEKXNTNxzvbgWd6ke4z5Uo%3d>

Condensador 0.01uF. <http://www.mouser.es/ProductDetail/Kemet/C0805Y103K1RACAUTO/?qs=sGAEpiMZZMukHu%252bjC5I7YaIP7tDYAKr0xnu%252baif90Os%3d>

Condensador 0.1uF. <http://www.mouser.es/ProductDetail/TDK/C1608X7S2A104K080AE/?qs=sGAEpiMZZMukHu%252bjC5I7Yd%252b7PrIBbtHYLZ%2fr4ajmbzM%3d>

TSL230RD. <http://es.rs-online.com/web/p/convertidores-de-luz-a-frecuencia/6424395/>

TSL235R. <https://www.parallax.com/product/604-00084>

TSL237. <https://www.parallax.com/product/604-00085>

Clases de protecció IP. <http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html>

Mòdul HC-06 Bluetooth compatible amb Arduino Uno. http://www.pccomponentes.com/modulo_hc_06_bluetooth_compatible_con_arduino.html?gclid=CPT97vOp84CFWIW0wodBVIctw

Programació

Lectura i escriptura adaptador microSD per Arduino. <http://zygzax.com/escribir-datos-en-una-tarjeta-sd-con-arduino-modulo-microsd-y-ethernet-shield/>

Lectura i escriptura memoria EEPROM Arduino. <http://panamahitek.com/guardando-datos-en-arduino-utilizando-la-memoria-EEPROM/>

DHT11 – DHT22 <http://www.abcelectronica.net/proyectos/con-microcontrolador/dht1122/>

Espduino. <https://github.com/tuanpmt/espduino>

MQTT. <http://mqtt.org/>

Que és MQTT? <https://geekytheory.com/que-es-mqtt/>

HiveMQ Enterprise MQTT Broker. <http://www.hivemq.com/>

Python 3.5. <https://www.python.org/downloads/>

Mòdul Pip Python. <https://pip.pypa.io/en/latest/installing/>

Monitorar amb Arduino i Python. <http://polaridad.es/monitorizacion-ordenador-sensores-arduino-python/>

Port Sèrie d'Arduino amb Python. <https://devnull.wordpress.com/tag/arduino-2/>

9. ANNEXOS

9.1 ESCALA MPSAS VS ESCALA MALE

Com s'ha dit en aquest document el SQM professional de la marca Unihedron mesura en escala MPSAS (que són valors que van de 16 a 22), aquesta escala és prou objectiva, encara que els aficionats a l'astronomia prefereixen una altra escala més familiar com és la magnitud límit estel·lar (MALE), que es podria definir com la magnitud de l'estel més dèbil que es pot observar a simple vista donades unes determinades condicions ambientals, que es podria correspondre amb el mètode d'observació visual clàssic.



Figura 70 - Escala MPSAS que ens donaria el SQM professional

La principal diferència entre MPSAS i MALE és, que el primer, mesura electrònicament la brillantor del cel gràcies a un fotòmetre d'alta sensibilitat, i el segon és una mesura subjectiva, ja que depèn de diversos factors, entre ells l'agudeses visual de l'observador.

Per a l'observació visual, l'escala MALE pot ser un indicatiu perfectament vàlid, en canvi per a l'observació amb telescopis i per a l'astrofotografia, l'escala MPSAS és moltíssim més precisa i útil.

Per a aquells que se sentin més còmodes amb una escala o una altra, sempre es poden convertir els valors de MPSAS a MALE, o viceversa. Les fórmules de conversió són les següents:

$$MALE = 7,93 - 5 \cdot \log \left(10^{\left(4,316 - \frac{MPSAS}{5}\right)} + 1 \right)$$

$$MPSAS = 21,58 - 5 \cdot \log \left(10^{\left(1,586 - \frac{MALE}{5}\right)} - 1 \right)$$

9.2 PASSOS PER INSTAL·LAR PYTHON 3.5 A WINDOWS

Perquè l'usuari del dispositiu presentat durant el present treball, pugui gaudir d'una experiència completa del dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel, és necessari que prepari el seu ordinador personal perquè "l'entorn d'usuari" pugui funcionar correctament.

Per això és necessari que segueixi els següents passos per instal·lar Python 3.5 a Windows.

- Anar al web oficial Python i descarregar Python 3.5.X.
- Quan s'obri l'assistent d'instal·lació, marcar l'opció "Afegir a Path de Windows".
- Seguir les instruccions de l'assistent fins que acabi d'instal·lar-se.
- Anar a la carpeta "Python35" que s'ha creat en el disc local C.
- Canviar el nom l'arxiu "python" per "python35" per tal d'evitar problemes amb versions anteriors de Python.
- Obrir el cmd de Windows i escriure "python35". Comprovar que funciona correctament.
- Amb la comanda "cd" ens movem allà on volem, en aquest cas a la carpeta on tenim el menú d'usuari del dispositiu.
- Per executar el script, escrivim la següent comanda: "python35 nom_arxiu.py"
- És probable que necessitem instal·lar prèviament llibreries perquè el codi pugui funcionar bé. Per fer aquest pas s'ha de instal·lar el mòdul "python pip".
 - o Anar a la següent web: <https://pip.pypa.io/en/latest/installing/>.
 - o Obrir el link "get-pip.py" i guardar tot el codi d'aquesta pàgina en un arxiu anomenat "get-pip.py".
 - o Executar el script "get-pip.py" amb la comanda prèvia "python35".
 - o Ara ja està llest per instal·lar llibreries. Es fa amb la comanda "pip install nom_libreria"

Per a usuaris linux, és tot molt més senzill, n'hi haurà prou amb escriure la següent comanda en el seu terminal:

```
$ sudo apt-get install python3.5
```

Segons la versió de dispositiu que tinguem a la nostra disposició, haurem de tenir unes llibreries o unes altres:

- Versió USB: pyserial
- Versió WIFI: paho-mqtt

9.3 MANUAL D'USUARI PER AL FUNCIONAMENT DEL MENÚ

Per a usuaris Windows, en primer lloc obrir la consola "CMD" o "símbol del sistema", la podeu trobar en el menú inici del vostre ordinador.

Connectar el dispositiu d'avaluació amb el cable USB a l'ordinador on se vagi a executar el menú de control de l'instrument.

A continuació s'ha de buscar el script Python que permet executar el menú, per als que no tinguin domini en aquest entorn es recomana prèviament guardar el script "menu.py?" que trobareu en el CD que ve juntament amb el dispositiu, en l'Escriptori. D'aquesta manera podeu seguir les següents comandes.

```
C:\Users\Usuario> cd Desktop
```

Ara estem situats a la ubicació on tenim guardat el script necessari. A continuació l'executem:

```
C:\Users\Usuario> python35 menu.py (*)
```

(*) Nota: és important que perquè es pugui executar amb aquesta comanda és necessari haver complert el procés d'instal·lació que s'explica en l'annex 9.2.

Una vegada hem executat el script, hauríem d'haver vist com es connectava el nostre ordinador amb el dispositiu d'avaluació de la qualitat del cel i després d'uns segons d'espera veure la següent pantalla.

```
C:\Users\Usuario\Desktop>python35 menu.py
-->Iniciant el sistema..
--> Conectat al port serie del dispositiu!
```

MENU PRINCIPAL DISPOSITU D'AVALUACIO DE LA QUALITAT DEL CEL	
T.F.G. - OSCAR FORRADELLAS CONTE - GEEIA - Universitat De Lleida	
--> l	LIST: Descarrega l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu
--> n	INFO: Mostra les dades actuals i la configuració del dispositiu.
--> s	DELETE: Esborra l'històric de dades del dispositiu
--> t	TOOLS: Canviar paràmetres (hora, data, llindars, freqüència)
--> q	EXIT: Sortir

```
Introdueix una acció >>
```

Les opcions que es poden triar són les següents:

- Opció "LIST": serveix per descarregar les dades que hi ha guardades en memòria en el dispositiu. Si premem la lletra "l" i a continuació "Enter" visualitzarem les dades que ens està bolcant l'aparell al nostre ordinador. Alhora està creant un full de càlcul amb totes aquestes mesures en l'escriptori amb el nom "mesures.csv".
- Opció "INFO": en prémer la lletra "n" ens apareix els valors actuals del dispositiu (magnitud, temperatura i humitat) (**) així com la seva configuració actual (hora, data, freqüència de pressa de dades, llindar de magnitud i llindar horari).

- Opció "DELETE": aquesta opció s'activa quan es prem una "s" i serveix per esborrar totes les dades històriques que estan emmagatzemades al dispositiu d'avaluació. Una vegada esborrat tot ens sortirà confirmació per part del dispositiu.
- Opció "TOOLS": es tracta d'una opció per a usuaris avançats i s'activa amb la lletra "t", serveix per configurar els diferents paràmetres del dispositiu. (***)
- Opció "EXIT": per sortir del programa haurem de prémer la lletra "q".

```

Introdueix una acció >> 1
Important dades de la microSD del dispositiu...
--> Data;Hora;Temperatura(°C);Humitat(%);Magnitud(MPSAS);Frequencia(Hz)
--> 24/8/15;21:29;26.20;50.50;16.04691;759;
--> 24/8/15;21:29;26.30;50.60;16.02351;776;
--> 24/8/15;21:30;26.20;50.80;16.02897;772;
--> 24/8/15;21:30;26.20;50.90;16.08662;731;
--> 24/8/15;21:31;26.20;51.20;16.08517;732;
--> 24/8/15;21:31;26.20;51.40;16.24874;627;
--> 24/8/15;21:32;26.20;51.70;16.03446;768;
No hi ha mes dades!

```

```

Introdueix una acció >> s
Esbarrant l'històric de dades del dispositiu...
--> Arxiu esborrat amb èxit!

```

```

Introdueix una acció >> n
Demanat les dades actuals al dispositiu...
--> Hora actual: 21:32   Data actual: 24/8/15
Dades actuals: Temperatura: 0.00°C   Humitat: 0.00%   Magnitud: 0.00MPSAS
FREQUENCY: 30minuts   LLINDAR DE MAGNITUD: 17.34MPSAS   LLINDAR HORARI: 20hores

```

(**) Nota: per a poder visualitzar els valors actuals del dispositiu es necessari deixar passar almenys 30 segons des que hem executat el menú.

```

Introdueix una acció >> t

```

MENU TOOLS: Canvi de paràmetres del dispositiu	
--> a	HOUR: Canviar el paràmetre <<HORA>>
--> e	MINUTE: Canviar el paràmetre <<MINUTS>>
--> i	DAY: Canviar el paràmetre <<DIA>>
--> o	MONTH: Canviar el paràmetre <<MES>>
--> u	YEAR: Canviar el paràmetre <<ANY>>
--> x	FREQUENCY: Canviar el paràmetre <<FREQUENCIA DE PRESSA DE DADES>>
--> y	MAG_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR DE MAGNITUD>>
--> z	HOUR_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR D'HORA>>
--> q QUIT: Tornar al menu principal	

```

Introdueix paràmetre a canviar >> _

```

(***) Nota: es recomana no tocar l'opció "TOOLS" si no s'està segur del que s'està fent.

Aquest submenú és per a usuaris avançats, permet canviar diversos paràmetres. Cadascun té un rang de valors o unes opcions per triar. Al enviar el valor nou del paràmetre a canviar, rebrem confirmació que s'ha canviat correctament al cap pocs segons.

9.4 SCHEMATICS

9.5 CODI ARDUINO

```
/*
 * CODI ARDUINO DEL DISPOSITIU D'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DEL CEL PER AL CONTROL DE LA
 * CONTAMINACIÓ LUMÍNICA
 * TREBALL FINAL DEL GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA
 * ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR - UNIVERSITAT DE LLEIDA
 * AUTOR: Oscar Forradellas Conte
 * TUTOR: Fernando Guirado Fernández
 *
 * El codi es entra en un bucle de calcular la magnitud de la qualitat del cel cada X
 * minuts , quan aquesta supera el llindar de magnitud que també és definit per
 * l'usuari entra dins d'un altre bucle on es mesura la humitat i
 * la temperatura i es guarden totes aquestes mesures en un arxiu txt a la microSD. A
 * més a més està pendent de la comanda que li envia l'usuari per port sèrie per
 * executar-la, com poden ser:
 *   - Descarregar l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu
 *   - Mostrar les dades actuals i la configuració del dispositiu
 *   - Esborrar l'històric de dades del dispositiu
 *   - Canviar paràmetres: hora, minuts, dia, mes, any, llindar de magnitud,
 *     freqüència de pressa de dades
 */

//Llibreries necessàries per a l'execució del codi
#include <FreqCount.h> //Per calcular freqüència d'una ona quadrada d'un pin digital
#include <DHT.h> //Per agafar dades del sensor de temperatura i humitat
#include <Wire.h> //Per fer funcionar el mòdul de rellotge DS1307
#include <SPI.h> //Protocol SPI que utilitza el mòdul RTC
#include <EEPROM.h> //Per utilitzar la memòria interna del Arduino
#include <SD.h> //Per utilitzar el mòdul microSD
File myFile;

//Configuració càlcul de freqüència i magnitud
#define nsec 30 //És necessari aquest factor d'escala per fer mostres de 30 segons
#define A 20 //Constant per ajustar la funció de càlcul de magnitud (18-22MPSAS)

//Configuració del sensor de temperatura i humitat
#define DHTPIN 7 //L'entrada del sensor DHT és el pin digital 7
#define DHTTYPE DHT22 //El sensor DHT és del tipus DHT22

//Configuració del rellotge
#define DS1307_ADDRESS 0x68 //Direcció en el bus I2C
byte zero = 0x00; //workaround for issue #527

//Declaració de variables
float freq; //Valor de freqüència amb factor d'escala aplicat
char a; //Caràcter que ens arriba per port sèrie
unsigned long freq_mg; //Valor de freqüència que ens dona el sensor TSL237
float magnitud; //Valor de magnitud de la qualitat del cel en MPSAS
float humitat; //Valor de humitat en %
float temperatura; //Valor de temperatura en °C

int second; //Segons que ens dona el RTC
int minute; //Minuts que ens dona el RTC
int hour; //Hores que ens dona el RTC
int weekDay; //Dia de la setmana (Dl,Dm,Dx...) que ens dona el RTC
int monthDay; //Dia de la setmana que ens dona el RTC
int month; //Mes del any que ens dona el RTC
int year; //Any que ens dona el RTC

int temp; //Variable temporal de tipus int per guardar el valor que ens
//arribi per port sèrie
byte freq_dades; //Variable on guardem la freqüència de pressa de dades
//definida per l'usuari en minuts
byte mag_limit; //Variable on guardem la magnitud límit definida per l'usuari
//en MPSAS
byte anterior = 0; //Variable auxiliar per controlar la freqüència de pressa de
//dades
char message_buff[50]; //Cadena de caràcters per guardar les mesures en un únic
//string

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  FreqCount.begin(nsec*1000); //Temps de mostreig de 30 segons per 1000ms
}
```

```

dht.begin();
Wire.begin();

pinMode(10, OUTPUT);
if (!SD.begin(10)) {
  //Serial.println("Ha fallat l'inicialitzacio del modul microSD!");
  return;
}

//Inicialitzem les variables de llindar a la EEPROM
//EEPROM.write(0, 30); //Freqüència de pressa de dades = 30 minuts
//EEPROM.write(1, 16); //Magnitud límit = 16 MPSAS
freq_dades=EEPROM.read(0);
mag_limit=EEPROM.read(1);
}

void loop() {
  DateTime(); //Legeix hora i data del dispositiu
  llegir_dades_SQM(); //Funció principal: llegeix dades dels sensors i les guarda
                    //quan es compleixen les condicions

  delay (1000);
}

/*Funció principal, quan es compleixen les condicions es llegeixen les dades i es
guarden a la microSD*/
void llegir_dades_SQM(){
  if (FreqCount.available()) { //Entra quan ha passat el temps de mostratge (30segons)
    if(abs(minute - anterior)>=freq_dades){ //Entra cada X minuts que li diu
      freq_dades establida per l'usuari
      unsigned long count = FreqCount.read(); //Llegim valor de freqüència donat pel
      sensor TSL237
      freq_mg = count; //Guardem aquest valor de freqüència
      freq = count / float (nsec); //Aplicuem factor d'escala
      magnitud = (A - 2.5 * log10(freq))*0.973; //Calculem la magnitud a partir de la
      //freqüència donada.
      //0.973 --> Correcció aplicada després
      //de les proves del dispositiu

      if (magnitud >= mag_limit){ //Control de llindar de magnitud límit
        //establida per l'usuari
        humitat = dht.readHumidity(); //Llegim valor d'humitat
        temperatura = dht.readTemperature(); //Llegim valor de temperatura
        dades_to_string(); //Convertem totes les mesures en un
        //string per guardar a la microSD
        guardar_fitxer_txt(); //Guardem dades a la microSD
      }
      anterior=minute;
    }
  }
}

/*Conversió de números decimals normals a decimals codificats en binari*/
byte decToBcd(byte val){
  return ( (val/10*16) + (val%10) );
}

/*Conversió de decimals codificats en binari a números decimals normals*/
byte bcdToDec(byte val) {
  return ( (val/16*10) + (val%16) );
}

/*Funció per ajustar l'hora i la data el rellotge del dispositiu*/
void setDateime(){
  Wire.beginTransmission(DS1307_ADDRESS);
  Wire.write(zero);

  Wire.write(decToBcd(second));
  Wire.write(decToBcd(minute));
  Wire.write(decToBcd(hour));
  Wire.write(decToBcd(weekDay));
  Wire.write(decToBcd(monthDay));
  Wire.write(decToBcd(month));
  Wire.write(decToBcd(year));

  Wire.write(zero);
  Wire.endTransmission();
}

```

```

}

/*Funció per consultar l'hora i la data del dispositiu*/
void DateTime() {
    Wire.beginTransaction(DS1307_ADDRESS);
    Wire.write(zero);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(DS1307_ADDRESS, 7);
    second = bcdToDec(Wire.read());
    minute = bcdToDec(Wire.read());
    hour = bcdToDec(Wire.read() & 0b111111);
    weekDay = bcdToDec(Wire.read());
    monthDay = bcdToDec(Wire.read());
    month = bcdToDec(Wire.read());
    year = bcdToDec(Wire.read());
}

/*Funció per convertir en un string totes les mesures que ens interessa guard*/
void dades_to_string() {
    String pubString = String(monthDay) + "/" + String(month) + "/" + String(year) + ";" +
        String(hour) + ":" + String(minute) + ";" + String(temperatura) + ";" +
        String(humitat) + ";" + String(magnitud,5) + ";" + String(freq_mg);
    pubString.toCharArray(message_buff, pubString.length()+1);
}

/*Funció per emmagatzemar en la microSD el string de dades que s'ha creat en la funció
anterior*/
void guardar_fitxer_txt() {
    myFile = SD.open("mesures.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        myFile.println(message_buff);
        myFile.close();
    } else {
        // Serial.println("Error obrint mesures.txt");
    }
}

/*Funció per llegir el contingut de la microSD*/
void llegir_fitxer_txt() {
    myFile = SD.open("mesures.txt");
    if (myFile) {
        Serial.println("Data;Hora;Temperatura (*C);Humitat(%) ;Magnitud (MPSAS) ;Frecuencia (Hz)");
        //Capçalera de les diferents columnes
        delay(1000); //Important per a que li doni temps al menu python
                    //per a quan es creï el full de càlcul
        while (myFile.available()) {
            Serial.write(myFile.read());
            delay(20);
        }
        myFile.close();
    } else {
        Serial.println("Error de lectura"); //Confirmació per l'usuari (menú python) de què
                                            //no existeix l'arxiu
    }
}

/*Funció per esborrar l'arxiu històric de dades del dispositiu*/
void borrar_fitxer_txt() {
    if (SD.exists("mesures.txt")) {
        SD.remove("mesures.txt");
        delay(20);
        Serial.println("Fitxer esborrat amb èxit!"); //Confirmació per l'usuari (menú
                                                    //python) de què s'ha esborrat
                                                    //amb èxit
    }
}

/*Funció que mostra per pantalla els valors actuals del dispositiu*/
void info_actual() { //Format: hora/minuts/dia/mes/any/magnitud/temperatura/
                    //humitat/freqüència_pressa_dades/magnitud_límit
    Serial.print(hour);
    Serial.print("/");
    Serial.print(minute);
    Serial.print("/");
    Serial.print(monthDay);
    Serial.print("/");
}

```



```

Serial.print(month);
Serial.print("/");
Serial.print(year);
Serial.print("/");
Serial.print(magnitud,2);
Serial.print("/");
Serial.print(temperatura);
Serial.print("/");
Serial.print(humitat);
Serial.print("/");
Serial.print(freq_dades);
Serial.print("/");
Serial.print(mag_limit);
}

/*Funció per avisar a l'usuari (menú python) de què els canvis s'han fet amb èxit*/
void canvi_ok() {
  Serial.println("El parametre s'ha canviat correctament");
}

/*Funció per a peticions externes a través del port sèrie del dispositiu (menú python de l'usuari)*/
void serialEvent() {
  while (Serial.available()) {
    a = (char)Serial.read(); //Llegeix el caràcter que li ha arribat des del menú de l'usuari
    temp=Serial.parseInt(); //Llegeix el valor que acompanya a aquest caràcter, en el cas que existeixi

    switch(a) {
      case 'l': //Acció LIST: Descarrega l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu
        {
          llegir_fitxer_txt();
        }
        break;
      case 'n': //Acció INFO: Mostra les dades actuals i la configuració del dispositiu.
        {
          llegir_dades_SQM();
          if (FreqCount.available()) {
            unsigned long count = FreqCount.read();
            freq_mg = count;
            freq = count / float (nsec);
            magnitud = (A - 2.5 * log10(freq))*0.973;
          }
          humitat = dht.readHumidity();
          temperatura = dht.readTemperature();
          info_actual();
        }
        break;
      case 's': //Acció DELETE: Esborra l'històric de dades del dispositiu
        {
          borrar_fitxer_txt();
        }
        break;
      case 'a': //Acció HOUR: Canvia el paràmetre <<HORA>>
        {
          hour=temp;
          setDateTime();
          canvi_ok();
        }
        break;
      case 'e': //Acció MINUTE: Canvia el paràmetre <<MINUTS>>
        {
          minute=temp;
          setDateTime();
          canvi_ok();
        }
        break;
      case 'i': //Acció DAY: Canvia el paràmetre <<DIA>>
        {
          monthDay=temp;
          setDateTime();
          canvi_ok();
        }
        break;
      case 'o': //Acció MONTH: Canvia el paràmetre <<MES>>

```

```

{
month=temp;
setDateTime();
canvi_ok();
}
break;
case 'u': //Acció YEAR: Canvia el paràmetre <<ANY>>
{
year=temp;
setDateTime();
canvi_ok();
}
break;
case 'x': //Acció FREQUENCY: Canvia el paràmetre <<FRECUENCIA DE PRESA DE
DADES>>
{
freq_dades = temp;
EEPROM.write(0, temp);
canvi_ok();
}
break;
case 'y': //Acció MAG_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR DE MAGNITUD>>
{
mag_limit = temp;
EEPROM.write(1, temp);
canvi_ok();
}
break;
}
}
}

```


9.6 CODI PYTHON

```
import serial
import time
import sys
import struct

def print_menu(): #Impressió del menú principal del dispositiu
    print("
    print("          MENÚ PRINCIPAL DISPOSITIU D'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DEL CEL
    print("          T.F.G. - OSCAR FORRADELLAS CONTE - GEEIA - Universitat De Lleida
    print("
    print(" --> l | LIST: Descarrega l'històric de dades emmagatzemat al dispositiu
    print(" --> n | INFO: Mostra les dades actuals i la configuració del dispositiu
    print(" --> s | DELETE: Esborra l'històric de dades del dispositiu
    print(" --> t | TOOLS: Canviar paràmetres (hora, data, llindars, freqüència)
    print("
    print(" --> q | EXIT: Sortir
    print("

def print_menu_tools(): #Impressió del menú de configuració de paràmetres del dispositiu
    print("\n")
    print("
    print("          MENÚ TOOLS: Canvi de paràmetres del dispositiu
    print("
    print(" --> a | HOUR: Canviar el paràmetre <<HORA>>
    print(" --> e | MINUTE: Canviar el paràmetre <<MINUTS>>
    print(" --> i | DAY: Canviar el paràmetre <<DIA>>
    print(" --> o | MONTH: Canviar el paràmetre <<MES>>
    print(" --> u | YEAR: Canviar el paràmetre <<ANY>>
    print(" --> x | FREQUENCY: Canviar el paràmetre <<FREQUÈNCIA DE PRESSA DE DADES>>
    print(" --> y | MAG_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR DE MAGNITUD>>
    print("
    print(" --> q | QUIT: Tornar al menú principal
    print("

def print_actual(rd): #Impressió de les dades actuals del dispositiu i la seva
configuració
    now = rd.split("/")
    print("
    print("          DADES ACTUALS DEL DISPOSITIU
    print("
    print(" Hora:" + now[0] + ":" + now[1] + "      Data:" + now[2] + "/" +
    now[3] + "/" + now[4])
    print(" Magnitud: " + now[5] + " MPSAS      (*)")
    print(" Temperatura: " + now[6] + " °C")
    print(" Humitat: " + now[7] + " %")
    print("
    print("          ")
    print(" Freqüència dades: " + now[8] + " minuts")
    print(" Llindar de magnitud: " + now[9] + " MPSAS")
    print("          ")
    print("\n (*) Passats 30\"") tornar a executar l'eina \"INFO\"")
    print("      per obtenir una magnitud correcta.")

print("\n--> Iniciant el sistema.. ")
arduino = serial.Serial('COM3', 9600, timeout = 1) #Connexió serial amb el dispositiu
time.sleep(1)
print("--> Connectat al port sèrie del dispositiu! ")
time.sleep(1)
print_menu()
time.sleep(1.8)

while 1:
    try:
        send = input("\nIntrodueix una acció (\n\"m\" per visualitzar el menú) >> ")

        if (send == 'j'): #Funció per depurar el que hagi al port sèrie (oculta a l'usuari)
            rd = arduino.read(20000).decode().strip() #Llegim el que ens arriba per port sèrie
            print (rd)

        if (send == 'm'): #Mostra el Menú a petició de l'usuari
            time.sleep(1)
            print_menu()
            time.sleep(1.8)
```

```

if (send == "l"): #Acció LIST: Descarrega l'històric de dades emmagatzemat al
                 dispositiu
    arduino.write(bytearray(send,'ascii')) #Enviem per port sèrie el caràcter que hi
    arduino.flush()                       #ha a la variable send
                                           #Esperem a que la transmissió de dades
                                           #s'hagui fet correctament
    fitxer=open('mesures.csv', 'w')       #Obrim o creem el fitxer en cas que no
                                           existeixi
    print("Important dades de la microSD del dispositiu...")
    time.sleep(2)
    rd = arduino.readline(200).decode().strip()
    print("--> " +rd)
    while(rd):                             #Llegim línia a línia i mostrem per pantalla
        rd = arduino.readline(200).decode().strip()
        if(rd):
            print("--> " +rd)
            fitxer.write(rd + '\n')        #Guardem al fitxer les dades que ens arriben
        else:
            fitxer.close()                 #Tanquem el fitxer
            print("No hi ha més dades!")

if (send == "n"): #Acció INFO: Mostra les dades actuals i la configuració del
                 dispositiu.
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    print ("Demantant les dades actuals al dispositiu...")
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    print_actual(rd)

if (send == "s"): #Acció DELETE: Esborra l'històric de dades del dispositiu
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    print ("Esbarrant l'històric de dades del dispositiu...")
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)

if (send == "q"): #Acció EXIT: Surt del programa
    sys.exit(0)

if (send == "t"): #Acció TOOLS: Entra al submenú de configuració de paràmetres del
                 dispositiu
    while (send != "q"):
        print_menu_tools()
        send = input("\nIntrodueix paràmetre a canviar >> ")

        if (send == "a"): #Acció HOUR: Canvia el paràmetre <<HORA>>
            hora = -1
            while (hora<0 or hora>23):
                hora=int(input("\nIntrodueix l'hora en el rang 0-23 hores: "))
            time.sleep(1)
            hora = str(hora)
            arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
            arduino.flush()
            time.sleep(1)
            print ("Canviant l'hora a la configuració del dispositiu...")
            arduino.write(bytearray(hora,'ascii'))
            time.sleep(2)
            rd = arduino.read(200).decode().strip()
            if(rd):
                print("--> " +rd)
            time.sleep(2)

        if (send == "e"): #Acció MINUTE: Canvia el paràmetre <<MINUTS>>
            minute= -1
            while (minute<0 or minute>59):
                minute=int(input("\nIntrodueix els minuts en el rang 0-59 minuts: "))
            time.sleep(1)
            minute = str(minute)
            arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
            arduino.flush()
            time.sleep(1)
            print ("Canviant els minuts a la configuració del dispositiu...")
            arduino.write(bytearray(minute,'ascii'))
            time.sleep(2)

```

```

rd = arduino.read(200).decode().strip()
if(rd):
    print("--> " +rd)
time.sleep(1)

if (send == "i"): #Acció DAY: Canvia el paràmetre <<DIA>>
    dia = -1
    while (dia<1 or dia>31):
        dia=int(input("\nIntrodueix el dia en el rang 1-31: "))
    time.sleep(1)
    dia = str(dia)
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(1)
    print ("Canviant el dia a la configuració del dispositiu...")
    arduino.write(bytearray(dia,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)
    time.sleep(1)

if (send == "o"): #Acció MONTH: Canvia el paràmetre <<MES>>
    mes= -1
    while (mes<1 or mes>12):
        mes=int(input("\nIntrodueix el mes en el rang 1-12: "))
    time.sleep(1)
    mes = str(mes)
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(1)
    print ("Canviant el mes a la configuració del dispositiu...")
    arduino.write(bytearray(mes,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)
    time.sleep(1)

if (send == "u"): #Acció YEAR: Canvia el paràmetre <<ANY>>
    ani= -1
    while (ani<0 or ani>99):
        ani=int(input("\nIntrodueix el any en el rang 0-99: "))
    time.sleep(1)
    ani = str(ani)
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(1)
    print ("Canviant el any a la configuració del dispositiu...")
    arduino.write(bytearray(ani,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)
    time.sleep(1)

if (send == "x"): #Acció FREQUENCY: Canvia el paràmetre <<FREQUENCIA DE PRESSEJA
DE DADES>>
    freq= -1
    while (freq != 15 and freq != 30 and freq!=45 and freq!=60 and freq!=2):
        print("\nFREQUÈNCIES: 15minuts 30minuts 45minuts 60minuts")
        freq=int(input("Introdueix la freqüència de pressa de dades: "))
    time.sleep(1)
    freq = str(freq)
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(1)
    print ("Canviant la freqüència de pressa de dades del dispositiu...")
    arduino.write(bytearray(freq,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)

```

```

time.sleep(1)
if (send == "y"): #Acció MAG_LIMIT: Canviar el paràmetre <<LLINDAR DE
                 MAGNITUD>>
    mag_limit= -1
    while (mag_limit<16.00 or mag_limit>22.00):
        mag_limit=float(input("Introdueix la magnitud límit desitjada (16-22
                               MPSAS): "))
    time.sleep(1)
    mag_limit = str(mag_limit)
    arduino.write(bytearray(send,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(1)
    print ("Canviant la magnitud límit del dispositiu...")
    arduino.write(bytearray(mag_limit,'ascii'))
    arduino.flush()
    time.sleep(2)
    rd = arduino.read(200).decode().strip()
    if(rd):
        print("--> " +rd)
    time.sleep(1)

except arduino.SerialTimeoutException:
    print ("\nConnexió fallida amb el dispositiu\n")
    time.sleep(1)

arduino.close()

```