

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***TRESNA ELEKTRONIKOENTZAKO KARGAGAILU
FOTOVOLTAIKO BATEN DISEINUA,
SIMULAZIOA ETA PROTOTIPAKETA***

Ikaslea: Jorge, Aristorena, Asier

Zuzendaria: Otaegi, Aizpeolea, Aloña

Ikasturtea: 2020-2021

Data: Bilbon, 2021eko ekainaren 25ean

Laburpena

Gradu amaierako lan honetan tresna elektronikoentzako kargagailu fotovoltaiko bat fabrikatu da. Prototipaketara heltzeko, aurretik kargagailuaren diseinua gauzatu da eta gero, simulazioa burutu da.

Modulu garrantzitsuenak diseinatu ahal izateko alternatibarik egokienak aztertu eta aukeratu dira, besteak beste, bateria mota, eguzki-zelula mota eta mikrokontrolagailua.

Jarraian, 18650 Litio lonezko bateriaren karga eta deskarga kontrolatuko dituen karga erregulatzailerak diseinatu da ATmega 328P mikrokontrolagailua erabiliz. Gailuak kargatzeko, irteerako zirkuitu jasotzailea (boost) diseinatu da bateriaren 3,7 V-ak 5 V-era igotzen dituen eta 2 A-ko korronea emateko gai dena. Proteus erabilia software bidezko simulazioa egin da eta horren ostean, zirkuituak bateratu eta inplementazio fisikoa burutu da funtzionamendu egokia ziurtatuz.

Gainera, bateriaren tentsio neurgailua eta eguzki-zelulak ematen duen korrone neurgailuak garatu dira. Horrekin batera, OLED pantaila batean lortutako balio esanguratsuak bistaratu dira mikrokontrolagailuak duen I2C protokolaz baliatuz.

Puntu horretatik abiatuz, zirkuitu guztiak PCB batera pasatu dira, PCB-aren fabrikazio prozesua ikasiz. Halaber, prototipoa eramangarria izateko, 3D inprimagailu bat erabiliz karkasa bat egin da.

Azkenik, proiektu osoaren funtzionamendua aztertu eta funtzionamendu egokia ziurtatu da. Honekin, prototipoa era egokian tresna elektroniko ezberdinak kargatzen dituela eta hau fabrikatzea nahiko merkea dela ondorioztatu da. Gainera, graduan zehar landu ez diren hainbat teknika ikasi dira, hala nola, 3D inprimagailu baten funtzionamendua ikastea eta PCBak egitea.

Laburbilduz, proiektu honetan gailu elektroniko ezberdinak karga dezakeen zirkuitu bat muntatu da, bateriaren karga eta deskarga egokia kudeatu dezakeena eta OLED pantaila batean bateriaren karga ehuneko zein karga korronea bistaratzen dituen.

Gako-hitzak: Kargagailua, tresna elektronikoak, energia fotovoltaikoa, karga erregulatzailerak, DC-DC bihurgailu jasotzailea.

Resumen

En este trabajo de fin de grado se ha fabricado un cargador fotovoltaico para aparatos electrónicos. Para poder hacer el prototipo, previamente se ha realizado el diseño del cargador y después se ha realizado la simulación.

Primeramente, se han analizado las mejores alternativas de los módulos más importantes, así como el tipo de batería, el modelo de célula solar y el microcontrolador.

A continuación, se ha diseñado el regulador de carga que gestionará la carga y descarga adecuada de la batería Li-Ion 18650, utilizando el microcontrolador ATmega 328P. Por otra parte, para cargar los dispositivos se ha diseñado un circuito elevador (boost) que eleva los 3,7 V de la batería a 5 V y es capaz de dar una corriente de 2 A. Posteriormente, se han realizado diferentes simulaciones con Proteus, para después unificar los circuitos y realizar la implementación física.

Además, se han desarrollado el medidor de tensión de la batería y el medidor de corriente de carga proporcionado por la célula solar. Seguidamente, se han visualizado los valores significativos obtenidos en una pantalla OLED utilizando el protocolo I2C que contiene el microcontrolador. Una vez llegados a este punto, todos los circuitos se han impreso en una PCB, aprendiendo dicho proceso de fabricación. Asimismo, para que el prototipo sea portátil, se ha realizado una carcasa utilizando una impresora 3D.

Por último, se ha analizado el correcto funcionamiento de todo el proyecto y se ha llegado a la conclusión de que el prototipo es capaz de cargar correctamente diferentes aparatos electrónicos y que su fabricación es relativamente económica. Además, se han aprendido diversas técnicas que no se han trabajado durante el grado, tales como el estudio del funcionamiento de una impresora 3D y la elaboración de PCBs.

En resumen, en este proyecto se ha fabricado un circuito capaz de cargar diferentes dispositivos electrónicos, gestionar la carga y descarga óptima de la batería y visualizar en una pantalla OLED tanto el porcentaje como la corriente de carga de la batería.

Palabras clave: cargador, aparatos electrónicos, energía fotovoltaica, regulador de carga, convertidor elevador DC-DC.

Abstract

In this end-of-degree project, a photovoltaic charger for electronic devices has been manufactured. To get to the prototype, before the design of the charger has been carried out and then the simulation has been performed.

First, the best alternatives of the most important modules have been analysed and selected, as well as the type of battery, the solar cell model and the microcontroller.

Then, the charge regulator that will manage the proper charging and discharging of the 18650 Li-Ion battery has been designed, using the ATmega 328P microcontroller. Also, a boost circuit has been designed that raises the 3.7 V of the battery to 5 V and is able to give a current of 2 A to charge the devices. Afterward, different simulations have been carried out with Proteus, to later unify the circuits and do the physical implementation.

In addition, the battery voltage meter and the charge current meter provided by the solar cell have been developed. Then, the significant values obtained were displayed on an OLED screen using the I2C protocol contained in the microcontroller. At this point, all the circuits have been printed on a PCB, learning the fabrication process. Also, in order to make the prototype portable, a case has been made using a 3D printer.

Finally, the correct functioning of the whole project has been analysed and it has been concluded that the prototype is able to charge correctly different electronic devices and that it is relatively cheap to manufacture. Besides, several techniques have been learned that have not been worked during the degree, such as the study of the operation of a 3D printer and the elaboration of PCBs.

In summary, in this project a circuit capable of charging different electronic devices, managing the optimal charge and discharge of the battery and displaying on an OLED screen the percentage and the current of the battery charge has been fabricated.

Keywords: charger, electronic devices, photovoltaic energy, charge regulator, DC-DC boost converter.

Aurkibidea

1.	Sarrera	1
1.1	Proiektuaren motibazioa.....	2
1.2	Proiektuaren onurak	3
1.3	Dokumentazioaren egituraketa	4
2.	Helburuak	5
3.	Kargagailuaren moduluak	7
4.	Oinarri teorikoak	8
4.1	Eguzki erradiazioa	8
4.2	Efektu fotovoltaikoa.....	9
4.3	Zelula fotovoltaiko motak.....	11
4.4	Karga erreguladoreak	14
4.5	Litio bateriak	16
4.6	DC/DC bihurtzaileak.....	19
4.7	Mikrokontrolagailuak.....	22
5.	Alternatiben analisia	24
5.1	Eguzki zelula	24
5.1.1	Alternatiben deskribapena	24
5.1.2	Alternatiben azterketa.....	25
5.2	Bateria	27
5.2.1	Alternatiben deskribapena	27
5.2.2	Alternatiben azterketa.....	28
5.3	Mikrokontrolagailua	30
5.3.1	Alternatiben deskribapena	30
5.3.2	Alternatiben azterketa.....	31
6.	Diseinua.....	34
6.1	Karga erregulatuak	35
6.1.1	Karga erregulatuak behe mailako diseinua	35
6.1.2	Simulazioa.....	36
6.1.3	Prototipaketa fisikoa	40
6.1.4	Osagai elektronikoak	41

6.2	DC/DC boost bihurgailua	44
6.2.1	Boost bihurgailuaren behe mailako diseinua	44
6.2.2	Simulazioa	47
6.2.3	Prototipaketa fisikoa	50
6.2.4	Osagai elektronikoak	52
6.3	Tentsio eta korrante neurgailuak	54
6.4	OLED pantaila	56
6.5	ATMega 328P mikrokontrolagailuaren programazioa	57
7.	Prototipoaren fabrikazioa	63
7.1	PCB diseinua	63
7.2	Karkasaren diseinua	71
8.	Prototipoaren funtzionamenduaren egiaztapena	74
9.	Gantt diagrama	77
10.	Aurrekontua	81
10.1	Giza baliabideen aurrekontua	81
10.2	Beharrezko materialen aurrekontua	81
10.2.1	Laborategiko tresna eta ekipamendua	82
10.2.2	Software lizentzien aurrekontua	82
10.2.3	Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua	83
10.3	Aurrekontu totala	85
11.	Ondorioak	87
12.	Bibliografia	89

Irudien aurkibidea

1. Irudia: Prototipoaren modulu ezberdinen eskema	7
2. Irudia: Erradiazio motak erasotzearen arabera [6]	9
3. Irudia: Zelula fotovoltaiko baten eskema [8]	10
4. Irudia: Zelula fotovoltaiko baten I-V kurbaren grafikoa [9].....	11
5. Irudia: Eguzki zelula ezberdinen arteko itxura fisikoa [13].....	13
6. Irudia: PWM eta MPPT erregulatzailen arteko aldea IV kurban adierazita [15]	16
7. Irudia: Litio bateria baten karga faseak [18]	18
8. Irudia: Boost zirkuituaren eskema elektrikoa.....	20
9. Irudia: Boost bihurgailuaren bi egoerak	20
10. Irudia: Ezkerrean, VL eta Vo tentsioen, eskuinean iL korrontearen eta behean diodoaren korrontearen grafikoa	22
11. Irudia: Kargagailua osatzen duten moduluen eskema	34
12. Irudia: DC/DC buck zirkuituaren diseinua	36
13. Irudia: Proteus 8 programan simulatutako buck zirkuitua.....	36
14. Irudia: Harilaren (gorria) eta kondentsadorearen (berdea) korronteen grafikoa ..	38
15. Irudia: Transistorearen (berdea) eta diodoaren (gorria) korronteen grafikoa	39
16. Irudia: Kargako tentsioaren (gorria) eta PWM seinalearen (urdina) grafikoa	39
17. Irudia: Buck zirkuitu erreduktorea protoboard batean montatuta	40
18. Irudia: Buck zirkuituaren irteerako tentsioaren balioa osziloskopioan ikusita	41
19. Irudia: Eguzki zelula fotovoltaikoa.....	41
20. Irudia: Buck zirkuiturako aukeratutako 100 uH-ko harila	42
21. Irudia: BD139 trantsistorea	42
22. Irudia: 1N4007 diodoa	43
23. Irudia: 100 µF-ko kondentsadore elektrolitikoa.....	43
24. Irudia: DC/DC boost zirkuituaren diseinua	45
25. Irudia: MC34063-aren Boost egitura	46
26. Irudia: Inplementatutako boost zirkuituaren eskema	48
27. Irudia: Harileko korrontearen (gorria) eta PWM seinalearen (berdea) grafikoa ...	49
28. Irudia: Transistoreko (urdina), diodoko (gorria) eta harileko korronteen (berdea) grafikoa	49
29. Irudia: Irteerako tentsioaren (berdea) eta PWM seinalearen (urdina) grafikoa....	50
30. Irudia: Boost zirkuitu jasotzailearen inplementazio fisikoa	51

31. Irudia: Boost zirkuituaren irteerako (laranja) eta sarrerako (urdina) tentsioen balioa osziloskopioan ikusita	51
32. Irudia: MC34063A integratua	52
33. Irudia: TIP41 C transistorea	53
34. Irudia: MBR3045PT diodoa	53
35. Irudia: 1 k Ω (ezkerrean) eta 0,22 Ω (eskuinean) erresistentziak	54
36. Irudia: 470 μ F (ezkerrean) eta 680 pF (eskuinean) boost zirkuituarentzako kondentsadoreak	54
37. Irudia: Bateriaren tentsio neurgailuaren eskema	55
38. Irudia: Korrante neurgailuaren eskema	55
39. Irudia: 0,96 hazbeteko OLED pantaila	56
40. Irudia: Erregulatzaile linealaren eskema elektrikoa	57
41. Irudia: Programazioaren fluxu diagrama	58
42. Irudia: OLED pantailaren adierazpena	62
43. Irudia: Kargagailuaren eskema elektronikoa osoa	64
44. Irudia: Diseinatutako PCBaren Layout-a	65
45. Irudia: PCBaren 3D modelo birtuala	66
46. Irudia: Lehenengo pausoa: Insoladora erabiliz pistak plakan grabatu	67
47. Irudia: Bigarren pausoa: Errebeladorearekin erretxina disolbagarria kendu	67
48. Irudia: Hirugarren pausoa: Disoluzio azidoarekin soberan dagoen kobrea kendu ..	68
49. Irudia: Laugarren pausoa: Insoladoran sartu eta gero, pisten gaineko erretxina kendu	69
50. Irudia: Bostgarren pausoa: PCBaren koroak zulatu	69
51. Irudia: Tentsio zatitzailearen layout-a ezkerrean eta fabrikatutako PCBa eskuinean	70
52. Irudia: PCB fabrikazioaren emaitza alde bietatik.	70
53. Irudia: Karkasaren tapa eta gorputza Solid Edge-n diseinatuta	71
54. Irudia: Karkasa bi piezak bateratuta	72
55. Irudia: Karkasaren eratze prozesua 3D inprimagailua erabilia	73
56. Irudia: Karkasa osatzen duten piezak	73
57. Irudia: Korrante neurgailuaren funtzionamendu azterketa	74
58. Irudia: Boost zirkuituaren funtzionamendu azterketa karga gabe	75
59. Irudia: Gailu ezberdinen karga prozesuaren funtzionamenduaren azterketa	76
60. Irudia: Tresna elektronikoentzako kargagailuaren prototipoa	76

61. Irudia: Gantt-en diagrama 80

Taulen aurkibidea

1. Taula: Bateriaren tentsioaren eta karga ehunekoaren arteko erlazioa	19
2. Taula: Eguzki Plaken arteko konparaketa.....	27
3. Taula: Baterien arteko konparaketa.....	30
4. Taula: Mikrokontrolagailuen arteko konparaketa	33
5. Taula: Giza baliabideen aurrekontua.....	81
6. Taula: Laborategiko tresna eta ekipamenduaren aurrekontua	82
7. Taula: Software lizentzien aurrekontua	82
8. Taula: Karga erregulatzaileren osagaien aurrekontua	83
9. Taula: Boost zirkuituaren osagaien aurrekontua	84
10. Taula: PCB eta karkasaren aurrekontua	85
11. Taula: Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua	85
12. Taula: Beharrezko materialen aurrekontua	85
13. Taula: Aurrekontu totala	86

1. Sarrera

Proiektu honetan, gailu elektronikoentzat energia fotovoltaikoaz hornitzen den kargagailu bat diseinatu eta prototipo fisikoa egingo da.

Azken hamarkadetan, iturri berriztagarrien erabilera asko handitu den arren, gaur egun, gizarteari axola zaion arazo nagusietako bat energia berriztaezinen erauzketak eta erabilerak eragiten duen kutsadura da.

Espainiako Sare Elektrikoaren erakundearen datuen arabera 2020an teknologia berriztagarriek elektrizitate guztiaren %43,6 ekoitzi zuten. 2020ko ekoizpen garbiaren kuota %6,1 igo zen 2019 urtearekin alderatuz. Eolikoa, ekoizpen osoaren %21,7a izan zen. Bestalde, eguzki-energia fotovoltaikoa, urte batetik bestera %65,9 batean hazi da, eta estatuaren elektrizitate ekoizpenaren %6,1a suposatzen du [1].

Mundu mailan energia-kontsumoa eta ekoizpena da, alde handiarekin, giza jardueretatik eratorritako berotegi-efektuko gasen isurketa-iturri handiena. Munduko berotegi-efektuko gasen bi heren inguru berogailu, elektrizitate, garraio eta industriadako erabiltzen diren erregai fosilak erretzeari lotuta daude. Europan, halaber, prozesu energetikoak dira berotegi-efektuko gasen emisioaren erantzule nagusiak. 2015ean Europar Batasuneko emisio guztien %78 energiaren kontsumo eta ekoizpenetik eratorriak izan ziren [2].

Herrialde garatuenetan batez ere, kutsadurari aurre egiteko lege gero eta zorrotzagoak ezartzen hasi dira. Honetaz aparte, munduko hainbat erakundek plan ezberdinak diseinatu dituzte kutsatzaileen kontzentrazioa jaisteko edota garapen jasangarriaren alde egiteko, adibidez Kioto Protokoloa eta Agenda 2030, biak Nazio Batuen Erakundearen eskutik.

Bigarren plan hau, Agenda 2030, 2015ean NBEk onartu zuen eta garapen iraunkorra bermatzeko 17 helburu definitzen zituen [3]. Helburu hauen artean, pobreziarik eta goserik gabeko mundua, pertsonen arteko berdintasuna eta gizarte guztiaren osasuna eta ongizatea daude. Gainera, Euskal Herriko Unibertsitateak bat egiten du garapen

jasangarriko helburuekin, eta Euskara eta euskal kultura eta gaitasun eleanitza garatzearen aldeko helburua gehitzen du.

Bestetik, gradu amaierako lan honekin lotura gehien duten Agenda 2030ko garapen jasangarrirako helburuak honakoak dira: iseinatu behar den kargagailuak eguzki energia erabiltzen du, hortaz, 7. xedearekin lotu daiteke, energia berriztagarri eta ez kutsatzailea erabiltzea hain zuzen. Kargagailua energia fotovoltaikoa erabiltzen duenez, sare elektrikora konektatu behar ez izatea lortzen da. Horrela, energia kontsumo hori aurrezten da, bai ekonomikoki eta baita kutsadurari dagokionez, sare elektrikora ailegatzen den energia ez delako guztiz iturri berriztagarrietatik etortzen.

12. helburuak ere zerikusia dauka garatutako proiektuarekin. Honek, ekoizpen eta kontsumo arduratsuari egiten dio erreferentzia. Gaur egun, gailu elektronikoko berri bat erosterakoan, ia guztiek, sare elektrikora konektatzen den kargagailu bat ekartzen dute. Proiektu honekin, kargagailu horien ekoizpena murriztea lortu nahi da, diseinatutako prototipoak gailu ezberdinentzako baliagarria izango delako.

1.1 Proiektuaren motibazioa

Gailu hau diseinatzeko eta fisikoki inplementatzeko arrazoi nagusia, energia fotovoltaikoa erabiltzen duen aplikazio erreal baten funtzionamendua ikastea izan da, egunerokotasunean erabili daitekeena. Kontuan izanda iturri mota hauek gero eta gehiago erabiltzen direla, garrantzitsua izan daiteke energia fotovoltaikoa batera batean metatzeko zer eraldaketa prozesu eta zer zirkuitu elektriko-elektroniko behar dituen jakitea.

Bestalde, jasangarria eta denon eskura egon daitekeen gailu bat garatu ahal izatea motibazio handi bat izan da proiektua aurrera eramateko. Jasangarria, aurretik aipatutako kutsaduraren sorkuntza ekidin nahi delako eta iturri berriztagarrien alde egin. Denon eskura esaterakoan, bi gauzei egiten zaio erreferentzia, alde batetik ekonomikoa edo ahal bezain merkea izatea eta bestetik, azpiegitura falta, eta horren ondorioz sare elektrikorik gabeko herrialde ez garatuenetan, mota hauetako gailuak erabili ahal izatea.

Azkenik, Euskal Herriko Unibertsitateak (EHU), ikasle zein ikertzaile Agenda 2030 eta garapen jasagarria kontuan hartzen duten lanak egitera sustatzen ari dira, hortaz, proiektu hau aukera ona da graduan zehar lortutako ezaguera horiek txertatzeko.

1.2 Proiektuaren onurak

Eguzki energiaren hornitutako kargagailu honen garapenak, hainbat onura izan ditzake. Jarraian proiektuaren onura tekniko, ekonomiko, sozial eta ingurumenarekiko onurak azalduko dira.

Onura teknikoei dagokionez, kargagailu mota hauek oraindik ez dira oso erabiliak. Egia da azken urteotan, bateria eramangarriak edo “powerbank” deiturikoak gero eta gehiago ikusten direla, baina eguzki energia erabiltzen dituztenak ez dira ohikoenak, gainera merkatuan daudenak gaur egun nahiko garestiak dira eta sare elektrikoetik kargatzen dira.

Bestetik, bateriaren bizi zikloa handitzeko, erregulatuzailearen efizientzia ahalik eta altuena izatea saiatuko da, plaka fotovoltaikoak sortutako energia, energia elektrikoan bihurtzeko.

Onura ekonomikoei dagokionez, lehen aipatu bezala, gaur egun merkatuan dauden mota honetako gailuek prezio altua dute eta ezin ditu edonork erosi. Hortaz, proiektu honen bitartez, prototipo merke eta eskuragarri bat egitea posiblea dela demostratu nahi da. Horretarako, beharrezko osagaiak ahalik eta merkeen eskuratuko dira, eta ahal izatekotan batzuk beste aparatu batzuetatik berrerabiliko dira, garapen jasagarrian ere eragina izanik.

Alderdi sozialari erreparatzen badiogu, aurreko azpi puntuan esan bezala “denon eskura” egon daitekeen gailu bat diseinatuko da, bai ekonomikoki arrazoizkoa den prezio bat izanez, eta bestetik herrialde azpigaratuenetan erabili ahal izateko, sare elektrikoaren falta dagoen lekuetan, gailuak kargatzeko prototipo hau izanik.

Azkenik, ingurumenarekiko onurak ditugu. Lehena, energia iturri berriztagarri bat erabiltzea da, energia fotovoltaikoa hain zuzen. Sare elektrikoarekiko menpekotasunik ez izatean, energia elektrikoa aurrezten da, hein handi batean zentral termiko edo iturri

ez berriztagarrietatik sortzen dena. Gainera, proiektu honetan garapen jasagarria bultzatu nahi denez, prototipo honekin mota askotako gailuak kargatu ahal dira, hortaz, gailu horiek guztiek ekartzen dituzten kargagailuak aurreztu genitzake, ekoizpena murriztuz eta prozesu horiek sortzen duten kutsadura ekidinez.

1.3 Dokumentazioaren egituraketa

Proiektu honen memoria teknikoa hainbat puntutan bananduta egongo da. Lehenik eta behin, proiektuaren helburuak zehaztuko dira, hau da, lana burutzerakoan lortu nahi diren xede ezberdinak. Jarraian, kargagailu fotovoltaikoaren moduluak azalduko dira, dokumentazioaren gainerako puntuak errazago ulertu eta antolatu daitezzen.

Laugarren puntuan, oinarri teorikoak egongo dira. Bertan, proiektuarentzat beharrezkoak diren jakintza guztiak azalduko dira atalez atal. Bestetik, bostgarren puntuan modulu bakoitzaren osagai garrantzitsuenen alternatiben analisisa egingo da, soluzio posibleak aztertuz eta egokiena aukeratuz.

Gero, proiektuaren atalik garrantzitsuena azalduko da, diseinua hain zuzen. Puntu honetan, kargagailu elektronikoaren modulu ezberdinen diseinu, simulazio eta inplementazioa egingo da.

Bestetik, zazpigarren puntu bezala, prototipoaren fabrikazioa egongo da, bertan PCBa eta karkasaren sorkuntza nolakoa izango den azalduko da. Behin, prototipoa fabrikatu eta gero, 8. puntuan prototipoaren funtzionamenduaren egiaztapena burutuko da.

Horren ostean, Gantt-en diagrama aurkeztuko da, proiektuaren planifikazioa azalduz. Gero, hamargarren puntuan, proiektuaren aurrekontua atalez atal azalduko da.

Bukatzeko, ondorioetan, proiektuak eragindako ekarpenak eta etorkizunerako hobekuntzak adieraziko dira.

2. Helburuak

Tresna elektronikoentzako kargagailu fotovoltaiko baten diseinua, simulazioa eta prototipaketari buruzko lan honek hiru helburu nagusi ditu: lehenengoa, prototipo fisikoaren simulazioa egitea, bigarrena inplementazio fisikoa garatzea eta azkenekoa, graduan zehar landu ez diren hainbat aspektu jorratzea eta erabiltzen ikastea.

Lehenengoa, energia fotovoltaikoarekin kargatzen den kargagailu eramangarri bat simulazio bidez diseinatzea izango da. Helburu honen barruan, hainbat azpi helburu daude, hala nola, bateria era eraginkor batean kargatzeko eta bizi zikloa ahalik eta handiena izateko erregulatuak optimo bat garatzea, mikrokontroladore bat programatuz. Bestalde, bateria galkarga eta gain deskargetatik babestuko dituen diseinua egitea lortu nahi da.

Bigarren helburua, behin simulazio emaitzak onargarriak direnean, prototipo fisikoa inplementatzea izango da. Horretarako, Proteus programa erabilita, zirkuitu elektroniko ezberdinak PCB batera pasatuko dira, lehenik eta behin, software bidez layouta eginez eta gero txartela fabrikatuz. Azpi helburu bezala, kalkulu teorikoetatik eta software simulaziotik lortutako emaitzak prototipo fisikoak emandako emaitzekin bat etortzea edo oso antzekoak izatea lortu nahi da.

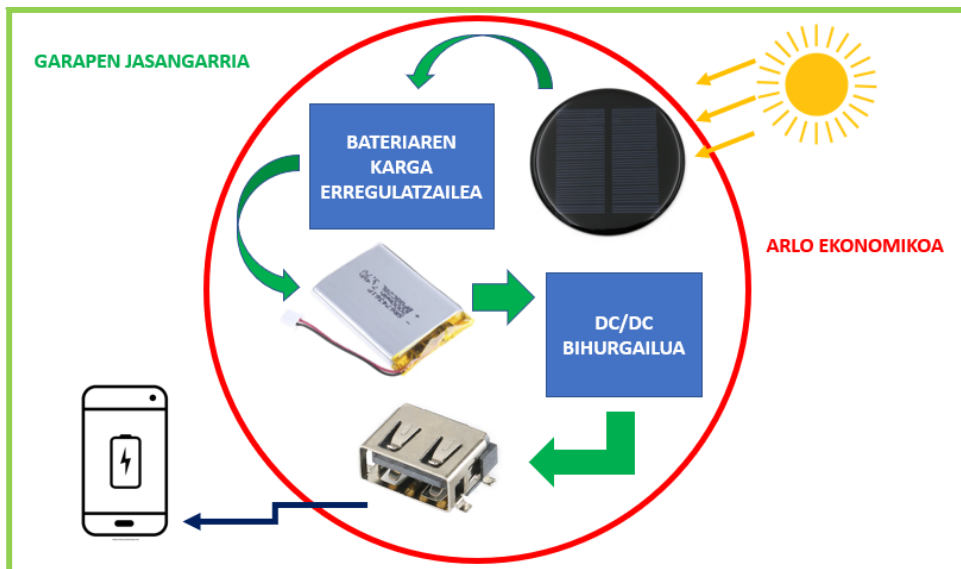
Hirugarren helburua, graduan zehar landu ez diren teknika edo aspektu berri batzuk erabiltzen ikastea izango da. Adibidez, aurretik aipatutako Proteus programa, kargagailuaren simulazioa egiteko eta aurrerago PCB-a diseinatzeko. Bestetik, prototipo osoa karkasa baten barruan montatuko da, eramangarria izateko asmoarekin. Karkasa hori CAD diseinu programa baten bitartez garatuko da, gero 3D inprimagailu batek pieza fisikoki inprimatu dezan. Metodo honekin, 3D inprimagailu batek nola funtzionatzen duen ikasiko da, diseinu fasetik inplementazio faseraino.

Bukatzeko, helburu teknikoak ez diren arren, proiektuan zehar bi aspektu izango dira kontuan. Alde batetik, gradu amaierako lan honek garapen jasangarriko helburuak betetzea eta bestetik mota honetako kargagailu bat merkea edo ekonomikoa izan daitekeela demostratzea. Garapen jasangarriko helburuen artean, alde batetik, energia garbia erabiltzea eta bestetik, ekoizpen eta kontsumo arduratsua izatearena lortu nahi

dira, prototipoak eguzki energia erabiliko delako eta mota askotako gailuak kargatzeko kapaza izango delako.

3. Kargagailuaren moduluak

Gradu amaierako lan hau ulertu dadin, lehenik eta behin, ginetik bada ere, aurrerago garatuko diren moduluak zeintzuk diren ulertu beharra dago. Hurrengo irudian, prototipoa osatuko duten modulu ezberdinen krokisa ikus daiteke.



1. Irudia: Prototipoaren modulu ezberdinen eskema

Lehenengo, eguzki-panelak, argi izpiak jasoko ditu korrante eta tentsio bat sortaraziz. Energia elektriko hori bateriara eramateko karga erregulatzaila bat diseinatuko da. Alde batetik, bateriaren karga egokia ziurtatzeko, bere bizi zikloa ahalik eta handiena izan dadin eta bestetik, eguzki panelak eragindako tentsioa bateriak kargatzeko behar duen tentsiora egokitzeko.

Bestetik, DC/DC bihurgailu jasotzaile bat diseinatuko da, bateriak ematen duen tentsioa A motako USB-ak behar duen tentsioa baino baxuagoa izango denez tentsio hau handiagoa bihurtzeko. Horrela, irteeran nahi den tentsioa lortuko da tresna elektronikoak kargatu daitezten.

Prototipoa ahalik eta merkeena egiten saiatuko da, osagaien aukeraketa egoki baten bitartez. Bukatzeko, diseinua jasangarria izatea ere bilatuko da.

4. Oinarri teorikoak

Puntu honetan, diseinatu nahi den kargagailu fotovoltaikoaren inguruko oinarrikoak diren atal teorikoak azalduko dira. Horrela, diseinua egiterako orduan prototipoa osatzen duten elementu ezberdinen funtzionamendu eta ezaugarriak zeintzuk diren ezagutzea lortuko delarik.

4.1 Eguzki erradiazioa

Eguzki erradiazioa, eguzkiak igorritako energia, espazio osotik norabide guztietan hedatu egiten da uhin elektromagnetikoen bitartez [4]. Erradiazio elektromagnetiko mota hau, eguzkiaren nukleoaren barruan hidrogenoaren erreakzioek fusio nuklearra dela medio igorritako energia da.

Erradiazioa izpi infragorritz, argi ikusgaiaz eta izpi ultramoretik osatutako dago bereziki [5]. Hala ere, atmosferako gasek uhin ultramore gehienak xurgatu egiten dituzte, lurrazalera ailegatzea eragotziz.

Irradiantzia, Lurrera heltzen den eguzki erradiazioa neurtzen duen magnitudea da, honek azalera-unitate bakoitzeko iristen zaion potentzia neurtzen du. Bere unitatea W/m^2 da. Kontuan hartzeko da, eguzki erradiazioa hainbat faktoreen menpean dagoela, hala nola, eguzkiak lurrarekiko duen kokapena, atmosferako ozonoa, hodeiak edota atmosferak momentuan duen ur lurrin kantitatea.

Aurrekoaren ondorioz, eguzki erradiazioak hainbat eratan eraso dezake Lurrean. Orokorrean hiru modutan sailkatzen da eguzki erradiazioa erasotze moduen arabera, 2.irudian ikus daitekeen bezala, eguzki erradiazio zuzena, eguzki erradiazio difusoa eta islatutako erradiazioa. Panel fotovoltaikoek jasotzen duten erradiazioa hiru hauen batuketa izango da.

Eguzki erradiazio zuzena, atmosferan desbiderapenik jasan gabe eguzkitik lurrazalera ailegatzen den energia da. Bestetik, atmosferak erradiazioa desbideratzen duenean difusoa deritzo. Azkenik, islapeneko erradiazioa, lurrazala erasotzen duen eta desbideratuta irteten den energia da. Islapeneko erradiazioa zuzenki lotuta dago

albedoarekin. Albedoa edozein gainazalek harengan eragiten duen erradiazioarekiko islatzen duen erradiazio-ehunekoa da.



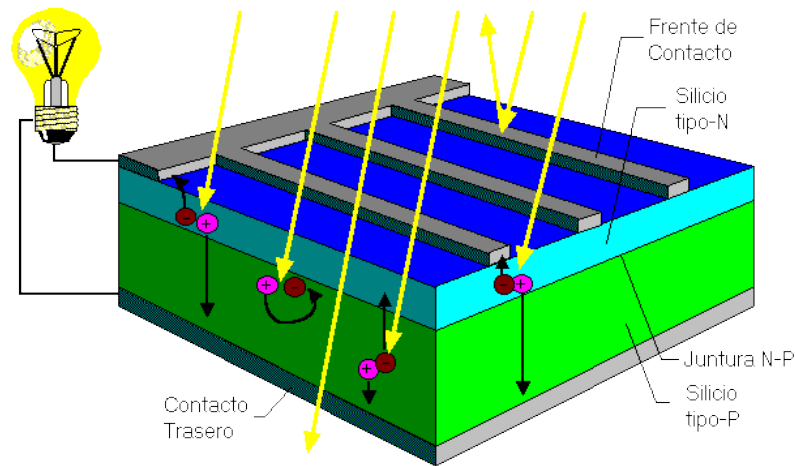
2. Irudia: Erradiazio motak erasotzearen arabera [6]

4.2 Efektu fotovoltaikoa

Efektu fotovoltaikoa korrante elektriko bat sortzen duen efektu fotoelektrikoa bezala defini daiteke [7]. Hortaz, panel fotovoltaikoek efektu honen bitartez elektrizitatea sortzen dute.

Hitzak esaten duen bezala foto (argia) voltaica (elektrizitatea), eguzki argia elektrizitatean eraldatzen duten panelak dira. Panel hauek zelula deituriko unitate txikiagotaz osatuta daude elkarren artean lotuta daudenak. Fotoiek edo argi izpiek elektroi libreak erasotzen dituztenean korrantea sortzen dute.

Zelula fotovoltaiko bakoitza sandwich moduko unitate bat da, material erdieroaleko, orokorrean silizioko, bi kapaz osatuta dagoena. Eguzki argiak panela erasotzen duenean, honek argiaren parte bat xurgatu egiten du material erdieroalera joaten dena. Material erdieroaleko kapa bakoitza ezberdina da, lehenengoa N motakoa da eta bestea P motakoa, bien artean NP juntura bat sortuz. 3. irudian zelula baten eskema ikus daiteke.



3. Irudia: Zelula fotovoltaiko baten eskema [8]

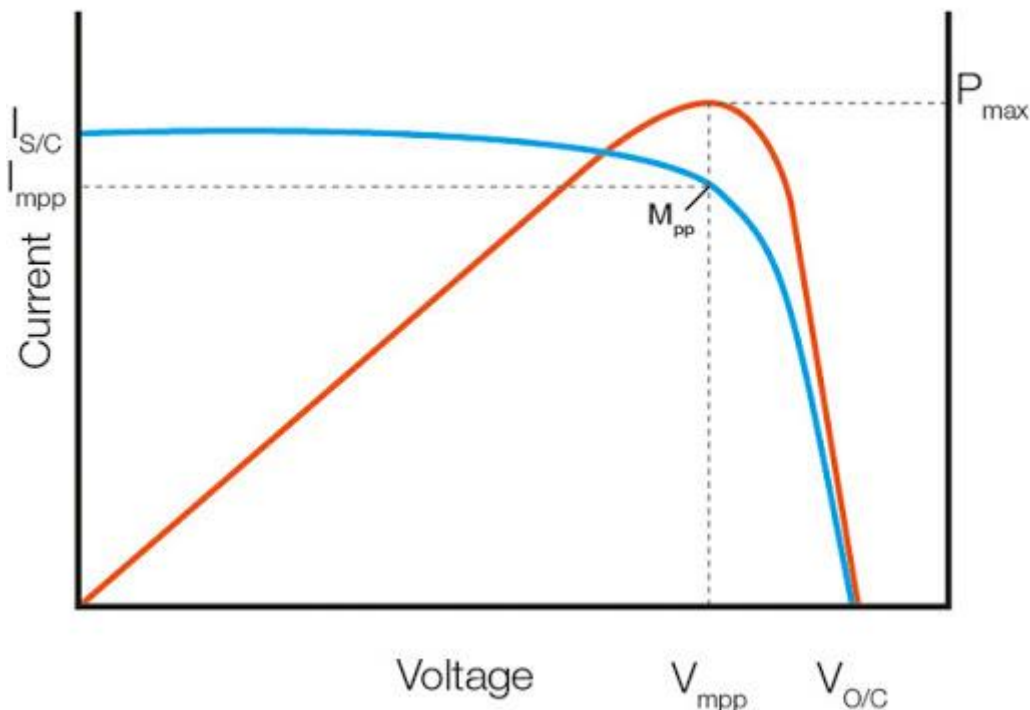
Garrantzitsua da jakitea N motakoa edo P motakoa izateak zer esan nahi duen, elektrizitatea nola sortzen den ulertzeko. Silizio atomo batek 14 elektroitu ditu hiru geruza ezberdinetan. Lehenengo bi geruzak, erdigunetik hurbilenak, erabat beteta daude, hortaz, balentzia geruza erdi beteta dauka, hau da, lau elektroitu ditu zortzi beharrean, horregatik ahal izatekotan beste silizio atomo batekin elkartuko da azken geruza hori betetzeko, egitura kristalinoa lortuz. Hau horrela izanda, elektroitu guztiak partekatuta daudenez ez litzateke korronterik sortuko. Horregatik silizioa dopatu egiten da, N motakoetan adibidez fosforoa gehitu egiten da, 5 elektroitu dituena, elektroitu askeak izanez.

Bestetik P motako junturetan boroa gehitzen zaio adibidez (3 elektroitu dituena), honekin hutsuneak sortuz, elektroituaren aurkako karga dutenak, hau da positiboa.

PN juntura bat sortzerakoan energia aplikatu ezean zaila da elektroituak alde batetik bestera igarotzea, diodo baten antzera jokatuz. Fotoiak zelula erasotzen duenean elektroitu-hutsune pareak askatzen ditu, hau PN junturatik gertu ematen bada eta fotoiak energia nahikoa badu elektroitu bat N aldera joango da eta hutsune bat P aldera, desoreka bat sortuz. Kanpotik bide bat jarritz gero elektroitu hori P aldera bueltatuko da, elektrizitatea sortuz. Korronte honek eta PN junturan dagoen eremu elektrikoak (zelularen tentsioa eragiten duena), zelularen potentzia emango du.

Panel fotovoltaiko baten ezaugarri nagusietako bat sortu dezakeen potentzia maximoa da, eta panelak puntu horretan lan egitea izango da egokiena. Potentzia

maximo hori nondik datorren ulertzeko I-V korrante-tentsio kurba aztertu behar da. Kurba hau panel fotovoltaiko guztien ezaugarri orrietan agertu ohi da, informazio baliagarria ematen duelako.



4. Irudia: Zelula fotovoltaiko baten I-V kurbaren grafikoa [9]

Aurreko irudiari erreparatuz, I_{SC} zirkuitu laburreko korronea da, zirkuitu laburra ematerakoan lortzen den korronek altuena da. V_{OC} zirkuitu irekiko tentsioa da, panelaren borneetan konexiorik ez dagoenean, hau da, korronek ez dagoenean lortzen den tentsio maximoa adierazten du. V_{MPP} eta I_{MPP} balioen arteko biderketak panelak sortu dezakeen potentzia maximoa da, hots, P_{MAX} .

4.3 Zelula fotovoltaiko motak

Silizioa lurrazaleko bigarren elementurik ugariena da, eta gehien bat meategietatik kuartzo (SiO_2) moduan erauzten da. Silizioari ematen zaion tratamenduaren arabera silizio monokristalinoa edo polikristalinoa eratzen da.

Kuartzotik silizio purua ateratzen da eta behin urtuta molde batzuetan bota egiten da ingot (lingotea) deiturikoak osatuz. Lingotea geruza finetan mozten da, eta prozesu

kimiko batzuk eta gero zelula fotovoltaikoak eratzen dira. Gaur egun, hiru zelula/panel fotovoltaiko nagusi bereizten dira, monokristalinoak, polikristalinoak eta amorfoak.

➤ **Panel monokristalinoak**

Eguzki-panel monokristalinoak ezaugarri tekniko bikainak ditu normalean hodeiak, ekaitzak eta temperatura maximoak oso altuak ez dituzten klimetan [10]. Eguzki-panel monokristalinoek ez dute gain berokuntza oso ongi jasaten eta temperaturak baxuak direnean eguzki-erradiazio gehiago xurgatu dezakete. Polikristalinoekin alderatuz beraien errendimendua pixka bat altuagoa da.

Panel hauen ezaugarri nagusietako bat kolore beltza edo urdin iluna da. Silizioa urtu eta gero pixkanaka urtu egiten da silizioko kristalaren konposizioan eragina izanez. Zelula monokristalinoak silizioko kristal mota bakar batez osatuta daude, hau da, kristala egin denean, siliziozko kristalaren hazkundera kontrolatu da norabide bakar batean sor dadin, kristalaren osagai guztien lerrokatze nahiko perfektua lortuz.

Lehen esan bezala, silizio monokristalinoa lingote zilindrikoetan sortzen da. Gelaxka fotovoltaiko monokristalinoen fabrikazio-kostuak murrizteko eta haien errendimendua optimizatzeko, bloke zilindrikoen lau aldeak mozten dira siliziozko xaflak egiteko.

Azkenik, esan beharra dago, normalean panel monokristalinoak polikristalinoak baino garestiagoak direla, lehenengoen fabrikazio prozesua konplexuagoa baita.

➤ **Panel polikristalinoak**

Eguzki-panel polikristalinoek monokristalinoekin alderatuz erresistentzia handiagoa dute gainberotzearekiko, eta haien funtzionamendua ezin hobea da klima beroetan, eguzki-panel polikristalinoek abiadura handiagoan xurgatzen baitute beroa [11].

Plaka hauek siliziozko kristal batzuen lotura dira. Eguzki-panel polikristalinoa osatzen duten silizio polikristalinozko zelulak, zelula monokristalino bat artifizialki hoztuz sortzen dira. Jarraian, silizioa zatitu egiten da kristal indibidualak eratuz. Prozesu hori guztia silizioa blokean dagoenean egiten da, eta gero plakatan mozten da, hau da, eguzki-panel polikristalinoetan ikusten ditugun modulu fotovoltaikoetan.

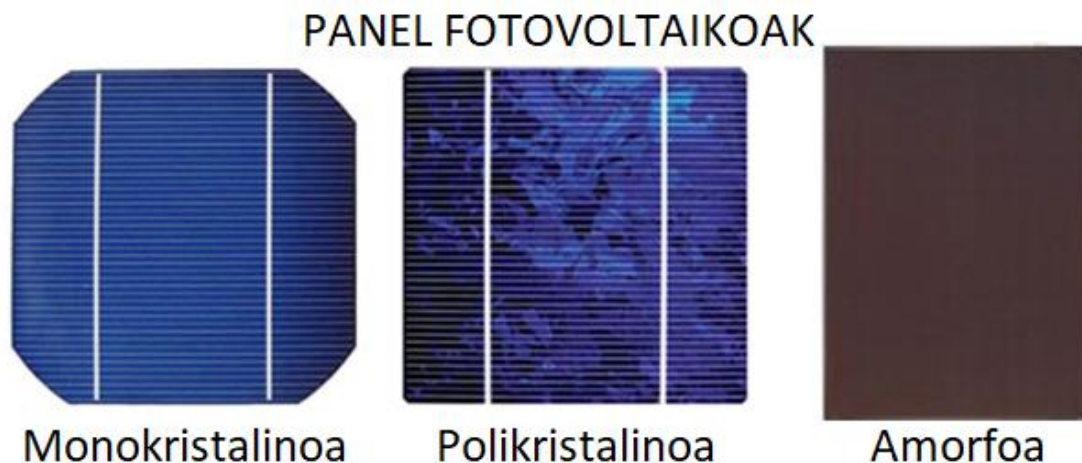
Monokristalinoak ez bezala, panel hauek urdin argi kolorea daukate eta zelula bakoitza guztiz errektangeluarrak dira. Haien eraginkortasuna monokristalinoena baino txikiagoa da. Abantaila bezala, monokristalinoak baino merkeagoak izaten dira.

➤ Panel amorfoak

Panel amorfoek aurretik azaldutako panelekin alderatuz fabrikazio-metodo ezberdina daukate [12]. Mota honetako panelak, siliziozko amorfo geruza fin bat (ez kristalinoa) gainazal barietate handi baten gainean jarriz egiten dira. Horrela, esan dezakegu zelula amorfoak silizioa oraindik kristalizatu gabe dagoenean sortzen direla

Gelaxken lodiera berrogeita hamar aldiz murrizten denez, lehengaietan aurrezpen handiak izateko aukera ematen du. Mota honetako panelak, kolore homogeneoa dauka, beste bietatik bereiziz. Honek zelulen arteko konexioa ikusgarria ez izatea eragiten du.

Silizio amorfoko moduluek ohiko kristalinoek baino erradiazio difuso gehiago hartzen dute, eta gainera, leku beroetan portaera hobea daukate. Horrelako eguzki-panelak merkeenak; beraz, horrelako panelen alde egingo da instalazio merkeagoa nahi izanez gero, kontuan hartuz polikristalinoak eta monokristalinoak baino eraginkortasun gutxiago dutela ere.



5. Irudia: Eguzki zelula ezberdinen arteko itxura fisikoa [13]

4.4 Karga erreguladoreak

Eguzki karga erreguladoreak eguzki plakatik bateriara doan tentsioa edo korronea kontrolatzen duten gailu elektronikoak dira [14]. Ezinbestekoak izaten dira bateriaren bizi-zikloa luzatu nahi bada eta hiru betekizun nagusi dituzte: Bateria babestu gainkarga edo gain deskargetatik, gauetan bateriaren deskarga ekiditea eta bateria gaintentsioetatik babestea.

Lehenengo kasuan bateria erabat kargatuta badago, erregulatzailerak panelekiko konexioa etengo du, bateriak gehiegi ez kargatzeko. Alderantziz, karga ehuneko jakin batetik behera jaisten denean, kontsumo-sarearekiko konexioa mozten du.

Bigarren kasuan, erregulatzailerak modulu fotovoltaikoen sarrera-tentsioa neurtuz gaua dela edo itzaletan dagoela detektatzen du, bateriaren gain deskargak saihesteko. Hori detektatzen duenean, sarrera deskonektatzen du, bateriaren korroneak plaka fotovoltaikoetara zirkulatzea saihesteko. Oinarritzko soluzio gisa, alderantzizko korronearen zirkulazioa saihesten duen diodo bat erabiltzen du.

Hirugarren kasuan, baterien sarreretan, gaintentsioak gerta daitezke, adibidez, eguzki-gelaxketako lan-tenperatura asko jaisten denean. Erregulatzailerak bateriak babesten ditu kalte egin diezaieketen gaintentsio horietatik. Gainera, eguzki-moduluek bateriek baino tentsio nominal handiagoak izaten dituzte bateriaren karga zuzena ziurtatzeko.

Erregulatzailerak bateriaren egoera kontrolatzen du, bateriaren tentsioa bornetan neurtuz. Tentsio horretatik abiatuta, karga eta deskargaren kontrola garatzen da, sorgailu fotovoltaikoa konektatuz edo deskonektatuz. Instalazio fotovoltaikoetan bi karga erregulatzailer mota erabiltzen dira: PWM bidezko erregulatzailerak eta MPPT erregulatzailerak. Jarraian bakoitzaren ezaugarriak aztertuko direlarik.

➤ PWM erregulatzailerak

"Dena" edo "ezer ez" ere deituak. Merkatuan agertu ziren lehen karga-erreguladoreak izan ziren, eta bateriaren karga-kontrola "on-off" sistema baten arabera egiten dute, elementu elektronikoaren konmutazioaren bitartez. Karga-erreguladore

simple bat da, eguzki-panel fotovoltaikoen eta bateriaren arteko etengailu bat bezala jarduten duena.

Panel fotovoltaikoak eguzki-kargako PWM erreguladore bati konektatuta daudenean, hauek bateriaren tentsioan lan egitera behartuak daude, honek, panel fotovoltaikoen potentzia maximoko puntuarekiko errendimendu galerak eragiten ditu, normalean puntu honen tentsioa bateriarena baino altuagoa baita.

Bateria kargatzen den heinean eguzki-kargaren erregulatzailerak panel fotovoltaikoen eta bateriaren arteko kontaktua ixten eta irekitzen du, pultsuen zabalera aldatuz, bateria gainkargatu ez dadin.

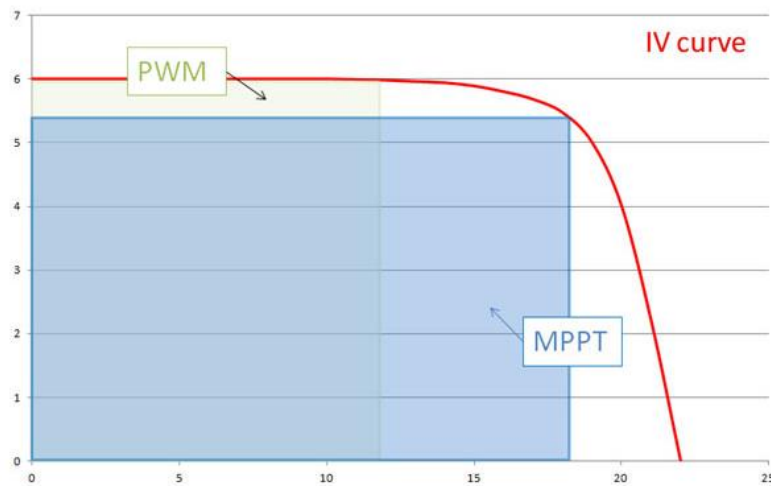
Eguzki-karga erregulatzailer mota honen abantailak sinpletasuna eta prezioa dira. Bestetik, desabantaila nagusia errendimendua galtzea da. MPPT karga-erreguladore batekin alderatuta, hau da, PWM karga-erreguladore batek energia gutxiago aterako du eremu fotovoltaiko batetik MPPT karga-erreguladore batek baino. Hau eguzki panel handietan ematen da, energia handia sortzen dutenetan. Panel txikietan berriz, ez da horren esanguratsua

➤ **MPPT erreguladoreak**

MPPT (Maximum Power Point Tracking) siglak, potentzia puntu maximoaren jarraitzailea esan nahi du. Puntu horrek irteera-potentzia maximoa ematen duten tentsio eta korronteen balioei egiten die erreferentzia.

Kontrol-mota horrek korronte-mugagailu bat du, bateriek onartzen duten gehieneko korrontea ez gainditzeko. MPPT erreguladore batek panelaren tentsioa modulatzeko eta konektatutako baterien ezaugarrietara egokitzen du, horretarako DC-DC bihurgailu erreduktore bat erabiliz.

Erreguladore hauekin panel fotovoltaikoei errendimendu hobe ateratzen zaie. PWM-ak baino garestiagoak izan arren, ekoizpen energetikoa %30ean hobetzea lortzen dute.



6. Irudia: PWM eta MPPT erregulatzailen arteko aldea IV kurban adierazita [15]

Aurreko irudian, PWM eta MPPT arteko aldea ikus daiteke panel fotovoltaiko baten korrante tentsio kurba aztertzerakoan. Horien erakusgarri da laukizuzen urdinez eta horiz dauden eremuen arteko azalera; izan ere, MPPT erregulatzaila batekin lan egiten denean nabarmen handiagoa den azalera ikus daiteke panelaren potentzia erabilgarria adierazten duena.

4.5 Litio bateriak

Bateriak edo metagailu elektrikoak, bi gelaxka elektrokimiko edo gehiago dituzten gailuak dira, metatutako energia kimikoa energia elektrikoan bihurtzeko gai direnak hain zuzen [16]. Gaur egun, gailu elektronikoetan gehien erabiltzen diren bateriak Litio-Ion bateriak dira, aitzina erabiltzen ziren NiCd (nikel kadmio), NiMH (nikel metal hidruro) edo berunezko bateriak baino gehiago irauten dutelako eta ingurumenarekiko jasangarriagoak direlako, azken hauek, egun gero eta gutxiago erabiltzen dira, oso merkeak izan arren oso kutsakorrek baitira.

Litio-ion bateriek elektrolito bezala litiozko gatza erabiltzen dute, katodoaren eta anodoaren artean gertatzen diren erreakzio elektrokimiko itzulgarriko beharrezkoak diren ioiak lortzen dituen [17].

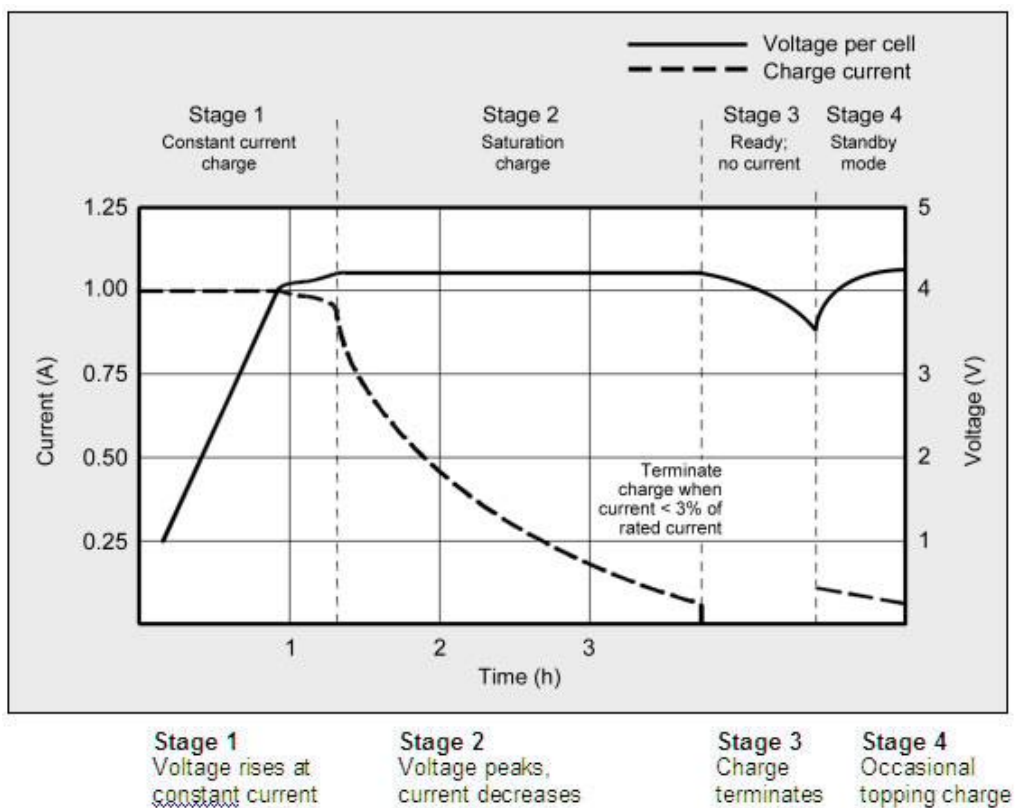
Bateria mota hauen ezaugarri nagusia, nikel eta kadmiozko baterietan baino energia gehiago metatzea lortu dela da, bolumen gutxiago okupatuz. Gainera, kadmioa bezalako material kutsagarriak erabiltzea saihesten da. Bestalde, aspaldi erabiltzen zirenekin

alderatuz memoria efektu askoz txikiagoa daukate eta beraien bizi zikloa handiagoa da. Pisu aldetik, NiCd eta NiMH bateriak baino gutxiago pisatzen dute, hortaz, eramangarriagoak dira. Azkenik, karga abiadura handiagoa dute aurrerago azalduko den bezala.

Hala ere, bateria mota hauek desabantailak dituzte. Bateriara konektatuta dagoen gailu elektronikoa asko erabiltzen denean, bateriaren tenperatura asko igotzen da. Honek eta gelaxkatan dagoen disolbatzaile organikoak bateria hauek oso sukoiak izatea eragiten du. Bukatzeko, nikel kadmio bateriak baino bizi ziklo handiagoak izan arren, haien karga zikloak mugatuak dira.

Litio-Ion bateriekin batera Litio Polimero edo LiPo bateriak daude. Bien ezaugarriak oso antzekoak dira, baina kasu honetan, bateriaren elektrolitoa likidoa izan beharrean gel modukoa da. Hauen ezaugarri nagusia deformagarriagoak direla da, baina kontrari, aurrekoak baino sukoiagoak dira.

Litiozko bateria bat kargatzeko faseak hiru dira, zeinetan korrontearen eta tentsioaren balioak aldatu egiten diren, bateriaren bizi iraupena handitzeko asmoarekin. Kasu honetan 3,7 V-ko bateria bat dela suposatuko da.



7. Irudia: Lizio bateria baten karga faseak [18]

Aurreko irudian ikusten den bezala, baterien karga hainbat fasetan egiten da [19]. Lehenengo fasean tentsioa pixkanaka handituz doa korrontea konstantea den bitartean. 3,7 V-ko bateria bat 4,2 V-era kargatu ohi da normalean. Fase honetan bateria bere kapazitatearen %80ra kargatzen da. Jarraian, bigarren fasean tentsioa konstante mantentzen da korrontea jaisten den heinean, bateriaren kapazitatea %100 izan arte. Intentsitatea jaisten denez fase hau ere mantxoagoa da.

Hirugarren fasean bateria guztiz kargatuta dagoenez korrontea eten egiten da, eta bateria pixka bat deskargatu egiten da. Momentu horretan laugarren fasean sartzen da, *standby* deiturikoa, zeinetan korronte pixka bat ematen zaion tentsio maximora ailegatu dadin. Behin kargatuta dagoenean hirugarren eta laugarren faseen artean geratzen da bateria, kargatzen ari den bitartean.

Behin deskonektatuta, erabilerarekin bateria deskargatzen hasten da, hori gertatzerakoan, borneen arteko tentsioa jaisten da. Hurrengo taulan (Taula 1), bateriaren karga ehunekoaren eta borneko tentsioen arteko erlazioa ikus daiteke.

Gainera, garrantzitsua izango da tentsio minimoa, balore horretatik ez jaitea, bateria kaltetu egiten delako eta eraginkortasuna galtzen duelako [20].

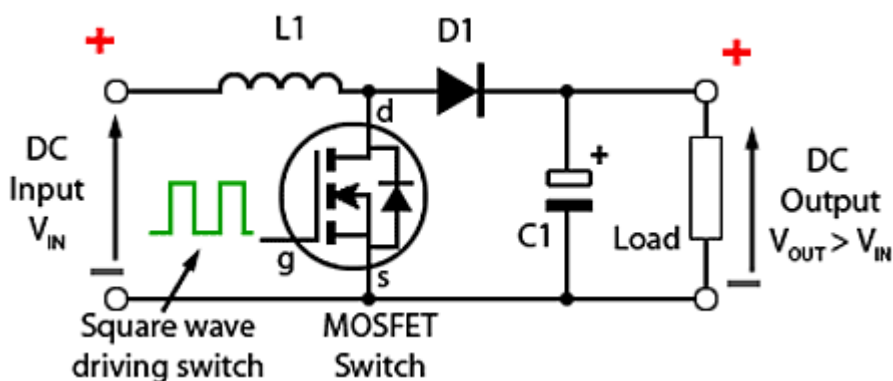
1. Taula: Bateriaren tentsioaren eta karga ehunekoaren arteko erlazioa

Tentsioa (V)	2,8 - 3	3,30	3,60	3,70	3,75	3,79	3,83	3,87	3,92	3,97	4,10	4,20
% karga	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

4.6 DC/DC bihurtgailuak

Garatu nahi den kargagailua beste gailu elektronikoko batzuk kargatzeko gai izan behar denez, A motako USB irteera bat izango du. Bateriaren tentsioa 3,7 V izango direnez eta USB-ra 5 V ailegatu behar direnez DC/DC bihurtgailu jasotzaile bat beharko da. Bihurtgailuak bi motatakoak izan ahal dira, alde batetik linealak eta bestetik konmutatuak. Bihurtgailu lineal batek, erresistentzia bat erabiltzen du tentsioa murrizteko eta irteera-tentsio jakin bat sortzeko eta erregulatzeko. Bihurtgailu konmutatu batek berriz, aldian-aldian sarrerako energia biltegituz eta, ondoren, energia hori irteeran askatuz tentsio ezberdin batean bihurtzen du. Azken hauek, efizienteagoak dira eta energia metatzeko harilak edo kondentsadoreak erabiltzen dituzte.

Kasu honetarako, Boost bihurtgailua erabiliko da, irteeran sarreran baino tentsio handiago bat lortzen duena. Elikadura-iturri konmutatu mota bat da, bi etengailu erdieroale dituena, hots, diodoa eta transistorea, eta energia biltegitatzeko elementuak, kondentsadorea eta harila hain zuzen [21]. Hurrengo irudian Boost zirkuituaren eskema ikus daiteke [22].

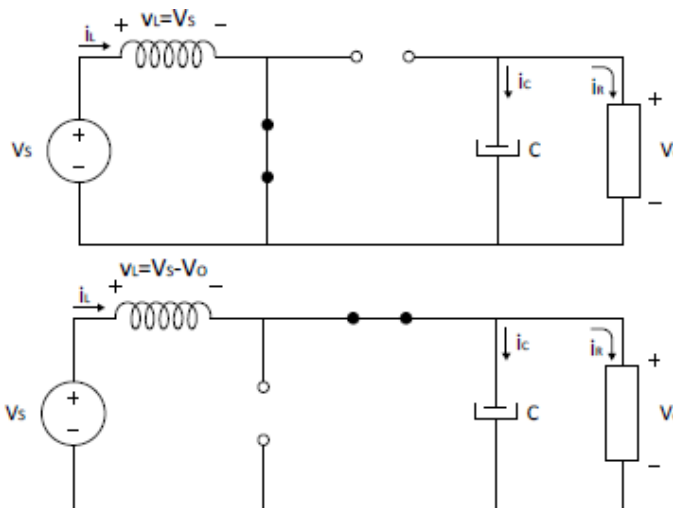


8. Irudia: Boost zirkuituaren eskema elektrikoa

Zirkuitua azertzeko hainbat gauza suposatu beharko dira [23]:

- Zirkuituak erregimen iraunkorren lan egiten du.
- Korronea hariletik etengabe zirkulatzen du.
- Kondentsadorearen balioa oso handia da eta irteerako tentsioa (V_{out}) konstantea da.
- Etengailua itxita dago DT denboran eta irekita periodoaren beste zatia $(1-D)T$
- Osagaiak idealak dira.

Hurrengo irudian ikus daitekeen moduan bi egoera egongo dira. Lehenengoan transistorea itxita egongo da eta bigarrean diodoak eroango du.



9. Irudia: Boost bihurgailuaren bi egoerak

Egoera bakoitza definitzeko, transistoreak asetasunean edo etenduran lan egingo du, PWM seinale bat erabiliz kontrolatuko dena.

Hurrengo formulen garapena ulertzeko, lehenik eta behin, aldagai bakoitza zein den azalduko da.

V_S : Sarrerako tentsioa (Bateriak emandako tentsioa)

V_L : Harilean erortzen den tentsioa

V_O : Irteerako tentsioa edo kargako tentsioa

I_L : Harileko korronea

I_C : Kondentsadoretik doan korronea

I_R : Kargatik doan korronea edo irteerako korronea

L : Induktantzia

C : Kondentsadorearen kapazitatea

T : Periodoa

D : Lan zikloa, Ton dagoen denboraren ehunekoa

R : Kargako erresistentziaren balioa

Behin aldagaiak zeintzuk diren ikusita, zirkuituaren azterketa egin daiteke.

Transistorea eroaten dagoenean tentsioa harilean hurrengo izango da:

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \quad (1)$$

Beraz korronea linealki handitzen denez:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \rightarrow \Delta i_{LON} = \frac{V_S DT}{L} \quad (2)$$

Diodoa eroaten dagoenean berriz:

$$V_L = V_S - V_O = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_O}{L} \quad (3)$$

Eta korronea linealki txikitzen denez:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_O}{L} \rightarrow \Delta i_{LOFF} = \frac{V_S - V_O}{L} (1-D)T \quad (4)$$

Lehenengo baldintza kontuan hartuz, hots, erregimen iraunkorrean lan egiten duela, korronea berdina izango da zikloaren hasieran eta amaieran, beraz:

$$\Delta i_{LON} + \Delta i_{LOFF} = 0 \rightarrow \frac{V_S DT}{L} + \frac{V_S - V_o}{L} (1 - D)T \quad (5)$$

Irteerako tentsioa:

$$V_o = \frac{V_S}{1 - D} \rightarrow V_S \leq V_o \quad (6)$$

Osagaiak idealak direla suposatuz, bateriak emandako batez besteko potentzia eta irteeran lortzen dena berdina izan behar da, hortaz:

$$V_S I_S = V_S I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_S}{1 - D}\right)^2}{R} \rightarrow I_L = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} \quad (7)$$

Hau jakinda, korrante maximoa eta minimoa hariletik hurrengoa izango da:

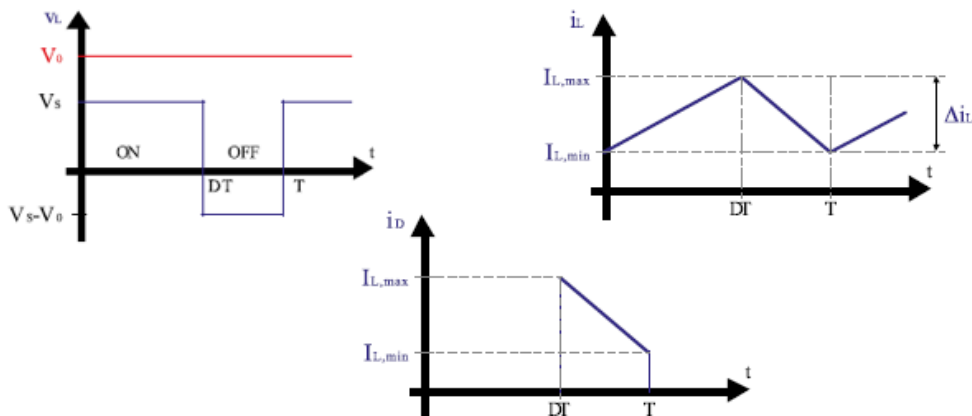
$$I_{Lmax} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} + \frac{V_S DT}{2L} \quad (8)$$

$$I_{Lmin} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} - \frac{V_S DT}{2L} \quad (9)$$

Eta korrantea hariletik beti pasatu behar denez, induktantziaren balioaren balio minimoa hurrengoa izango da:

$$I_{Lmin} = \frac{V_S}{(1 - D)^2 R} - \frac{V_S DT}{2L} > 0 \rightarrow L_{min} = \frac{D(1 - D)^2 R}{2f} \quad (10)$$

Hau jakinda, hurrengo irudian korrante eta tentsioen grafikoak ikus daitezke:



10. Irudia: Ezkerrean, VL eta Vo tentsioen, eskuinean iL korrontearen eta behean diodoaren korrontearen grafikoak

4.7 Mikrokontrolagailuak

Mikrokontrolagailua (μC) programa daitekeen zirkuitu integratu bat da, bere memorian grabatutako aginduak exekutatzeko gai dena [24]. Mikrokontrolagailu batek, ordenagailu edo konputagailu baten hiru unitate funtzional nagusiak ditu:

prozesamendu unitate zentrala (CPU), memoria eta sarrera/irteerako periferikoak. Bestetik, CPU-aren barruan erregistroak, kontrol unitatea eta unitate aritmetiko logikoa (ALU) daude.

Zeregin jakin baten funtzionamendua kontrolatzeko erabiltzen da, eta, bere tamaina txikia dela eta, gobernatzen duen gailuan bertan txertatu ohi da. Memorian aplikazio jakin bat gobernatzeko programa bat baino ez dago.

Mikrokontrolagailuen arkitekturari buruz hitz egiterakoan, bi arkitektura mota aipatu ohi dira [25]. Alde batetik, klasikoa edo Von Neumann eta bestetik gaur egun erabilia den Harvard arkitektura. Lehenengoaren kasuan, memoria bakarra dauka datuak eta aginduak gordetzeko. Memoria horretara bus-sistema bakar batez sartzen da (datuak, kontrola eta helbideak).

Harvard arkitekturak bi memoria independente ditu: bata, instrukzioak baino ez dituena, eta, bestea, datuak soilik dituena. Biek bus-sistema independenteak dituzte eta bi memorietan aldi berean egin daitezke sarbide-eragiketak (irakurtzea edo idaztea).

Memoria hirutan banatuta dago. Programarako memoria (Flash), programako datu edo aldagaietarako memoria (RAM) eta konfigurazioetarako edo konfigurazio ez-lurrunkorretarako memoria (EEPROM).

Bestetik, periferikoak mikrokontrolagailuarekiko "kanpoko" munduarekiko interakzioa ahalbidetzen duten zirkuitu digitalak dira. Bere funtzioa irteera digitalak gaitu edo desgaitzea, sentso analogikoak irakurtzea, terminal digitalekin komunikatzea edo bihurketa digital baten seinale analogikoak ateratzea da.

Hiru periferiko mota daude, sarrera/irteera paralelodun portuak (prozesadorearen bit tamainarekin harremanak), serie komunikaziorako portuak (I2C, USB...) eta periferiko analogikoak, seinale analogikoak digitaletara (ADC) edo seinale digitalak analogiko (DAC) bihurtzen dituztenak.

5. Alternatiben analisia

Kargagailua diseinatzerako orduan garrantzitsua izango da hainbat osagaien ezaugarriak aztertzea aukerarik hoberena hautatzeko. Horretarako, beharrezkoa izango da elementu nagusien alternatiba ezberdinen azterketa eta konparaketa egitea.

Hau kontuan izanik, hurrengo aspektuen deskribapena eta ikerketa egingo da, egokiena aukeratu ahal izateko: Eguzki-zelula, bateria eta erregulatzaila kontrolatuko duen mikro kontroladorea.

Alternatiba ezberdinen analisia egiteko, batura haztatua (BH) deituriko prozedura erabiliko da [26]. Horretarako, aukerarik egokiena zein den erabakitzeke lehenik eta behin, faktore batzuk zehaztuko dira eta bakoitzari pisu bat emango zaio, honek erabakian izango duen garrantziaren arabera. Gero, alternatiba bakoitzaren faktoreei kalifikazio bat esleituko zaie. Azkenik, hurrengo formula erabiliz aukera egokiena zein den zehaztuko da. Alternatiba hoberena, batuketara haztatuaren emaitza altuena duena izango da.

$$BH = \sum_i^n p_i \cdot x_i \quad (11)$$

Non p faktorearen pisua den, x emandako kalifikazioa eta BH batuketara haztatuaren emaitza.

5.1 Eguzki zelula

Kargagailuaren osagai nagusia izango da, eguzki energia, energia elektrikoan bihurtuko duena gero bateria kargatu ahal izateko. Eguzkitik ailegatzen diren argi izpiek edo fotoiek zelula erasotzen dutenean tentsio jauzi bat sortuko dute eta honek erregulatzailerara konektatzerakoan korrante bat eroango du.

Modu honetan, bi eguzki plaka mota desberdinen aukeraketa aztertuko da, bakoitzak dituen abantailak eta desabantailak aztertuz.

5.1.1 Alternatiben deskribapena

Eguzki plakei dagokionez *Mini Panel Solar 4,5 V* eta *Panel Solar 6 V* aztertuko dira.

➤ Mini Panel Solar 4,5 V

Eguzki plaka hau jostailu txikientzat edo lorategietako lanparentzat pentsatuta dagoen plaka borobila da [27]. Aurreko puntuan ikusitako eguzki plaka mota ezberdinak kontuan hartuz, panel hau polikristalinoa da eta 88,5 mm-ko diametroa dauka. Bestetik, 100 mA-ko korronea eta 4,5 V sor dezake, bere potentzia maximoa 0,45 W izanik espezifikazioen arabera. Azkenik bere prezioa 0,62 €-koa da.

➤ Panel Solar 6 V

Aurreko panela bezala, gailu elektroniko txikiak kargatzeko edo energia elektrikoaz hornitzeko diseinatuta dagoen plaka polikristalinoa da [28]. Aspektuari dagokionez, forma zirkularra dauka 80 mm-ko diametroa izanik. Funtzionamendu parametroei dagokionez, 6 V-ko tentsioa eta 350 mA-ko korronea sor dezake, potentzia 2 W izanik. Prezioari erreparatuz gero, unitateko 1,26 €-koa da.

5.1.2 Alternatiben azterketa

Diseinu honetarako plakarik egokiena aukeratzeko orduan faktore hauek kontuan hartuko dira: Tentsio maximoa, korrone maximoa, tamaina eta faktore ekonomikoa edo prezioa.

- Tentsio maximoa: faktore garrantzitsuenetarikoa izango da, eguzki plakak sortzen duen potentzia maximoarekin zuzenki lotuta dagoelako. Ez da komenigarria izango sor dezakeen tentsioa oso altua izatea, bateria kargatzeko ez baitugu tentsio handiegirik behar. Bestetik, oso txikia bada eta galerak ematen badira, bateria kargatzeko tentsio nahikoa ez izatea suerta daiteke.
- Korrone maximoa: aurreko faktorea bezala, panelaren potentzia maximoarekin lotura zuzena dauka. Korronearen balioa zenbat eta altuagoa izan azkarrago kargatu ahalko da bateria, hala ere, oso altua bada kalteak eragin ahal ditu erregulatzailerik edota baterian bertan.
- Tamaina: faktore honek prototipoaren eramangarritasunarekin lotura dauka. Plaka oso handia bada kargagailua deserosoa izango da leku batetik

bestera eramateko, izan ere, plakaren tamainak karkasa nolakoa izango den determinatuko du.

- Faktore ekonomikoa: erosi behar den osagai guztietan bezala prezioa kontuan hartu beharko da, are gehiago, prototipoa ahalik eta merkeena izatea bilatu nahi denean. Aukera ezberdinak aztertu eta gero, eta ezarritako helburuak betetzen dituztela baieztatuta, bata bestearengatik bereizteko parametroa izan daiteke.

Faktore bakoitzari ondorengo pisuak egokitu zaizkio: tentsio maximoa = %30, korrante maximoa = %30, tamaina = %15 eta faktore ekonomikoa = %25 .

Tentsio eta korrante maximoen %30ko pisua eman zaie bakoitzari. Izan ere, biak garrantzi handiko faktoreak dira eguzki plaka baten potentzia ematen baitute. Bestetik, tamainari %15ko pisua egokitu zaio estetikarekin zerikusia duen faktorea delako eta ez kargagailuaren funtzionamenduarekin. Azkenik, prezioari %25ko pisua eman zaio, garrantzitsua izan daitekeelako aukera bat edo bestea aukeratzeko orduan.

Behin faktoreak definitu eta pisuak egokitu direnean alternatiba bakoitza kalifikatu behar da. *Mini Panel Solar 4,5 V* modeloa aztertuko de lehenengo. Tentsio maximoari 6 puntuko kalifikazioa eman zaio, 3,7 V-ko bateria bat kargatzerako orduan eta mikro kontroladorea elikatzerako orduan tentsio eskasa izan daitekeelako. Korrante maximoari dagokionez 7ko nota egokitu zaio 100 mA korrante egokia baita garatu nahi den aplikaziorako. Tamainari dagokionez, 6 puntu eman zaizkio, beste alternatiba baino zerbait handiagoa baita. Faktore ekonomikoa aztertuz, 9ko puntuazioa eman zaio, osagaia nahiko merkea baita.

Jarraian, bigarren modeloa aztertuko da, *Panel Solar 6 V* hain zuzen. Tentsio maximoari 8ko nota egokitu zaio. Bateria kargatzeko eta mikrokontroladorea elikatzeke tentsio egokia ematen duelako. Korrante maximoari erreparatuz gero, 350 mA emateak bateriaren karga denbora murriztu dezake, hortaz, 8 puntuko kalifikazioa lortu du. Tamainari dagokionez, aurreko modeloa baino txikiagoa denez 7 puntuko kalifikazioa eman zaio. Azkenik, prezioari dagokionez 7 puntu eman zaizkio, aurrekoak baino bi aldiz gehiago kostatzen duelako.

Hurrengo taulan, batuketa haztatuaren metodoa aplikatuz, alternatiba bakoitzari emandako kalifikazioak ikus daitezke.

2. Taula: Eguzki Plaken arteko konparaketa

FAKTOREAK	PISUAK	Mini Panel Solar 4,5 V	Panel Solar 6 V
Tentsio maximoa	%30	6	8
Korrante maximoa	%30	7	8
Tamaina	%15	6	7
Faktore ekonomikoa	%25	9	7
BH		7,05	7,6

Behin faktore ezberdinen pisuak eta alternatiba bakoitzari esleitutako kalifikazioa ikusita, Panel Solar 6 V aukeratuko da, kargagailua elikatzeko. Bere tentsio eta korrante maximoak garrantzitsuak izango dira, prezio aldetik garestiagoa izan arren.

5.2 Bateria

Eguzki panelak sortutako energia elektrikoa metatuko duen osagaia da. Elementu honek garrantzi handia dauka, izan ere, bere karga eta deskarga era kontrolatu batean egitea ezinbestekoa izango delako. Alde batetik, bateriaren bizi zikloa handitzeko eta bestetik, era ez kontrolatu batean egin ezean bateriak eztanda egiteko arriskua duelako.

Gauzak horrela, bi bateria mota desberdinen aukeraketa analizatuko da, bakoitzak dituen ezaugarriak aztertuz.

5.2.1 Alternatiben deskribapena

Bi motako metagailuak aztertuko dira, lehenengoa Li-Ion 18650 (Litio Ion) bateria eta bestea LiPo 603450 (Litio Polimero) bateria.

➤ Li-Ion 18650

Bateria serie hauek litio ionezko metagailuak dira [29]. Kapazitateari dagokionez, aplikazio honetarako 9900 mAh-ko bateria aukeratu bada ere, 500 eta 9900 mAh-ko kapazitateen artean dauden bateriak aurki daitezke. Kasu honetan 3,7 V-ko tentsio nominala duena aukeratu da, forma zilindrikoa duena, ohiko pila bat bezala. Prezio aldetik, unitateko kostua 1,77 €-koa da.

➤ LiPo 603450

Mota honetako bateriak litio polimerozkoak dira [30]. Kasu honetan 1200 mAh-ko kapazitatea duen bateriaren azterketa egitea erabaki da, kapazitate handiagokoak asko garestitzen zirelako. Hala ere, aurreko kasuan bezala kapazitate askotako bateriak aurki daitezke. Berriz ere, 3,7 V-eko tentsiodun metagailua aukeratu da, forma errektangular laua duena. Faktore ekonomikoari erreparatuz, 7,32 €-ko prezioa dauka.

5.2.2 Alternatiben azterketa

Bateria hoberena aukeratzeko orduan hurrengo faktore hauek aztertuko dira: kapazitatea, arriskugarritasuna, forma eta faktore ekonomikoa.

- Kapazitatea: faktore garrantzitsua izango da, izan ere, bateriaren ahalmenak gero (bateriaren karga ziklo batean) kargatu ahalko diren tresna elektroniko kopuruarekin erlazioa duelako. Kapazitatea txikiegia bada, kargagailuak ezin izango du tresna elektroniko bat baino gehiago kargatu, bestalde, handiegia bada, denbora asko emango du %100-era kargatzen.
- Arriskugarritasuna: faktore honi dagokionez faktore kritikoa izango da. Oinarri teorikoetan ikusi den bezala, litio polimerozko bateriek eztanda egiteko aukera gehiago dute kargatzeko modua egokia ez bada. Litio ionezkoak berriz, lehertzeko arriskua badute ere, fidagarriagoak dira kargatzeko modua pixkat irregularra denean.
- Forma: garrantzi handia duen faktorea da, izan ere, gero zirkuitu guztiak ahalik eta espazio txikienean sartzea ezinbestekoa izango da prototipoa eramangarria egin nahi bada. Polimerozkoen forma lauak abantaila handia ematen dute, litio ionezkoak berriz, desorosoagoak suerta daitezke.

- Faktore ekonomikoa: honek berriz ere inportantzia handia izango du. Kargagailua merkea egin nahi bada erreparatu beharreko faktorea izango da. Alternatiba ezberdinak aztertu eta gero, eta eskatutako ezaugarriak betetzen dituztela baieztatuta, bata bestearengatik bereizteko faktorea izan daiteke.

Faktore bakoitzari ondorengo pisuak eman zaizkio: Kapazitatea = %35, arriskugarritasuna = %30, forma = %15 eta faktore ekonomikoa = %20 .

Kapazitateari pisurik handiena eman zaio, %35, izan ere, aipatu bezala, kargagailua eraginkorra izan behar da beste tresna batzuk kargatzeko. Arriskugarritasunari %30ko pisua egokitu zaio, azkenean, prototipoa segurua ez bada, edo akats batengatik bateriak lehertzen badu arriskutsua izan daiteke erabiltzailearentzat. Bestetik, formari %15ko pisua eman zaio eroso izan behar baita kargagailua muntatzerako orduan. Azkenik, faktore ekonomikoari %20ko pisua aitortu zaio, garrantzitsua izan daitekeelako alternatiba bat edo bestea aukeratzeko garaian.

Behin faktore bakoitza azalduta eta pisua esleitua, eguzki panelekin egin den bezala, alternatiba bakoitza kalifikatuko da. Lehenik eta behin, Li-Ion 18650 bateria aztertuko da. Kapazitateari 7 bat eman zaio, ez delako oso altua baina tresna elektronikoko arrunt bat kargatzeko aukera ematen du. Arriskugarritasunari ere, 8 puntuko nota egokitu zaio, esan bezala litio ionezkoak litio polimerozkoak baino arrisku gutxiago dutelako. Bestalde, formari 6 bat eman zaio, zilindro forma deserosoa izan daitekeelako zirkuitua muntatzerako eta antolatzerako garaian. Bukatzeko, prezioari 9 puntuko kalifikazioa eman zaio, nahiko merkea delako bateria mota hau.

Bigarren alternatiba aztertuz gero, *LiPo 603450* hain zuzen, kapazitateari 5 puntuko kalifikazioa eman zaio, 1200 mAh oso urria delako gaur egungo tresna elektronikokoak kargatzeko. Bestetik, arriskugarritasunari, 7 puntu egokitu zaizkio, karga erregulatu egoki bat diseinatzea helburua bada ere, eztanda egiteko arriskua handiagoa da bateria mota hauetan. Formari, 9 puntuko nota eman zaio laua izatea abantaila handia delako zirkuitua egituratzeko garaian. Azkenik, faktore ekonomikoari 5 puntu eman zaizkio, nahiko garestia delako bateriak duen kapazitatearentzat.

Hurrengo taulan, alternatiba bakoitzaren kalifikazioa ikus daiteke faktore bakoitzaren arabera eta batuketa haztatuaren metodoa aplikatuta.

3. Taula: Baterien arteko konparaketa

FAKTOREAK	PISUAK	Li-Ion 18650	LiPo 603450
Kapazitatea	%35	7	5
Arriskugarritasuna	%30	8	7
Forma	%15	6	9
Faktore ekonomikoa	%20	9	5
BH		7,55	6,2

Faktore ezberdinen pisuak eta alternatiba bakoitzari esleitutako kalifikazioa aztertu eta gero, Li-Ion 18650 bateria aukeratuko da. Kapazitate altuagoak eta arriskugarritasun txikiagoak garrantzi handiagoa baitute deserosoa izan daitekeen forma zilindrikoa baino. Gainera, prezio aldetik, beste aukera baino merkeagoa da.

5.3 Mikrokontrolagailua

Osagai honek bateriaren karga eta deskarga modu eraginkor batean burutuko du. Bere funtzio nagusiak, erregulatuzailearen eta DC/DC bihurtzailearen PWM seinaleak sortzea eta gainkarga zein gain deskargak ekiditea izango da, bateriak momentu oro duen tentsioa kontrolatuz.

Berriz ere, bi mikrokontrolagailu ezberdin aztertuko dira eta gradu amaierako lan honetarako egokiena dena aukeratuko da.

5.3.1 Alternatiben deskribapena

Jarraian, bi mikrokontrolagailuen ezaugarriak azalduko dira, lehenengoa ATMEGA328P-PU izango da, eta bigarrena Microchip enpresako PIC16F877A.

➤ ATMEGA328P-PU

Mikrokontrolagailu mota hau Arduino Uno txarteletan erabiltzen da, hortaz, prozesu baten bitartez, Arduino txartel horietaz baliatuz mikroa programatu daiteke gero PCB batean jartzeko [31]. 8 biteko kontrolagailua da 32 kB-ko flash programa memoria duena eta 2 kB RAM memoria. Lan frekuentzia maximoa 20 MHz-koa da. Bestetik, 6 kanal ditu PWM seinaleak sortzeko eta hiru tenporizadore, bat 16 bitekoa eta bi 8 bitekoak. 1,8 V eta 5,5 V artean elikatu daitekeen mikrokontrolagailua da, bere prezioa, 2,25 €-koa izanik.

➤ PIC16F877A

Microchip enpresako mikrokontrolagailu hau 8 bitekoa da [32]. Bere programa memoria flash motakoa da 14,3 kB espazioa duena. RAM memoriari erreparatuz gero, 368 B-koa da. Lan frekuentzia maximoa 20 MHz-koa da eta 2 kanal ditu PWM seinaleak sortzeko. Aurrekoak bezala, hiru tenporizadore ditu, bat 16 bitekoa eta bi 8 bitekoak. Elikadura tentsioa 4 V eta 5,5 V artean dauka, bere prezioa 5,42 €-koa izanik.

5.3.2 Alternatiben azterketa

Garatu nahi den kargagailuarentzat egokiena izango den mikrokontrolagailua aukeratzeko hurrengo faktoreak aztertuko dira: programa memoria, PWM seinale kopurua, elikadura tentsio tartea, eta faktore ekonomikoa.

- Programa memoria: faktore honek garrantzia izango du garatu beharreko programaren arabera. Memoriaren espazioa txikia bada, programa sartzeko beharrezkoa den espazioa ez izateko arriskua dago. Bestetik, programa memoria oso handia bada, mikrokontrolagailua ez litzateke era eraginkor batean erabiliko.
- PWM seinale kopurua: erregulatzailerak eta DC/DC bihurgailua kontrolatzeko ezinbestekoak diren PWM seinaleak sortu beharra dago. Horretarako, gutxienez 2 PWM seinale lortu beharko dira, bakoitza independenteki funtzionatuko duena, lan ziklo eta frekuentzia ezberdinetan lan eginez.
- Elikadura tentsio tartea: mikrokontrolagailua elikatu beharra dago funtziona dezan. Bateriari konektatuta joango denez, eta honen tentsioa deskargatu

ahala aldatuz joango denez, garrantzitsua izango da elikadura tartea nahiko zabala izatea, mikroaren funtzionamendua ziurtatzeko.

- Faktore ekonomikoa: aurretik esan bezala, prezioa garrantzitsua izango da aztertutako alternatibek beharrezko ezaugarriak betetzen dituzten bitartean. Kargagailua ahalik eta merkeena egin nahi bada, faktore ekonomikoari erreparatu beharra dago.

Faktore bakoitzari hurrengo pisuak egokitu zaizkio: Programa memoria = %35, PWM seinale kopurua = %20, Elikadura tentsio tartea = %30 eta faktore ekonomikoa = %15.

Programa memoriari pisu gehiena eman zaio, %35, mikrokontrolagailuan programatu nahi deneko kodea garrantzitsua eta ezinbestekoa delako kargagailu osoaren funtzionamendurako. Bestetik, elikadura tentsio tarteari %30ko pisua eman zaio, mikrokontrolagailuaren funtzionamendua bermatu behar delako bateriaren tentsioa txikia denean, hortaz, elikadura tartea handia izatea komenigarria da. Bestetik, PWM seinale kopuruari %20ko pisua egokitu zaio, faktore garrantzitsua delako erregulatzailerak eta Boost bihurtzaileak kontrolatzeko. Bukatzeko, faktore ekonomikoa erabakigarria izan daitekeenez %15ko pisua eman zaio.

Faktore bakoitza azaldu eta pisua egokitu eta gero, alternatiba bakoitza kalifikatuko da, geroago batuketa haztatu metodoa aplikatzeko. Lehenengo alternatibari dagokionez, ATMEGA 328P-PU, programa memoriari 8 puntuko nota eman zaio, 32 kB memoria nahiko handia delako programatu nahi deneko kodigarentzat. Elikadura tentsio zabala duenez 1,8 - 5,5 V-ekoa hain zuzen, 8 puntuko kalifikazioa eman zaio ere. Bestetik, 6 PWM seinale sortu ditzakeenez eta minimoa 2 denez, 6 puntuko nota egokitu zaio, 4 PWM seinale aprobetxatu gabe utziko lirakeelako. Azkenik, prezioari dagokionez, 9 puntuko kalifikazioa eman zaio mikrokontrolagailua nahiko merkea delako.

Bestalde, bigarren alternatiba aztertuz gero, programa memoriari 7 puntuko nota eman zaio. 14,3 kB nahikoa izan beharko litzatekeelako programarentzat, hala ere, aurrekoa baino txikiagoa denez, kalifikazio baxuagoa lortu du. Bestetik, elikadura tartea txikia duenez 4 puntuko kalifikazioa egokitu zaio, bateriaren tentsioa jaisten denean

mikrokontrolagailuaren funtzionamendu egokia ezin delako ziurtatu. PWM seinale bi sortu ahal dituen 9 puntuko kalifikazioa eman zaio, era eraginkor batean bi kanalak aprobetxatuko liratekeelako. Azkenik, faktore ekonomikoari 6 puntuko nota eman zaio, nahiko garestia delako, kargagailuaren azkeneko prezioan eragin nabarmena izanik.

Jarraian, batuketa haztatuaren metodoa aplikatuz, alternatiba bakoitzari emandako kalifikazioak ikus daitezke taula honetan.

4. Taula: Mikrokontrolagailuen arteko konparaketa

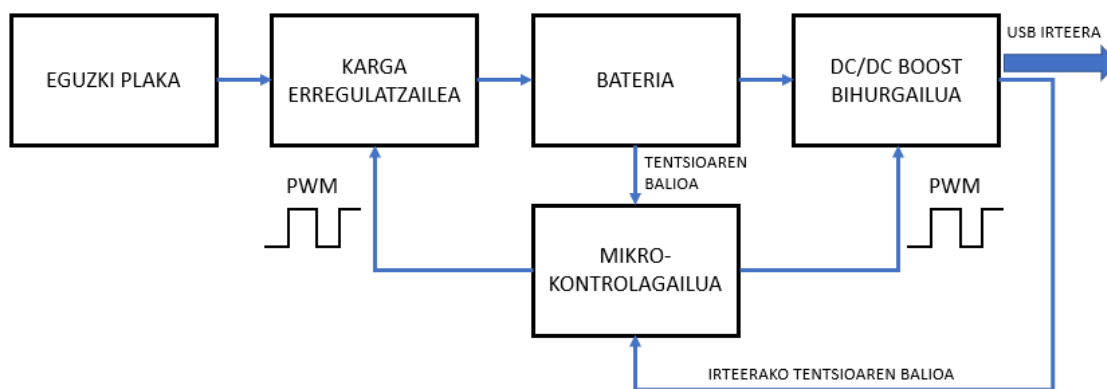
FAKTOREAK	PISUAK	ATMEGA 328P- PU	PIC16F877A
Programa memoria	%35	8	7
PWM seinale kopurua	%20	6	9
Elikadura tentsio tarteak	%30	8	4
Faktore ekonomikoa	%15	9	6
BH		7,75	6,35

Emaitzak ikusita, gradu amaierako lan honetarako egokiena den mikrokontrolagailua ATMEGA 328 P-PU modeloa da. Bere programazioa Arduino Uno txartel baten bitartez egingo da, Arduino softwarea erabiliz. Programa memoria handia eta elikadura tentsio zabalak edukitzeak abantailak ematen ditu bere funtzionamendua egokia izateko garaian.

6. Diseinua

Puntu honetan kargagailu fotovoltaikoaren modulu ezberdinen azalpen zehatza egingo da. Diseinuan kontuan hartutako erabakiak azaldu, kalkuluak zehatzu, simulazioen emaitzak aztertu eta prototipaketa fisikoa ikusiko dira. Bestetik, azpi-zirkuitu bakoitza inplementatzeko beharrezko osagaiak ere azaldu eta deskribatuko dira, haien ezaugarri nagusiak plazaratuz.

Lehenik eta behin, alde batetik, kargagailu fotovoltaikoaren modulu bakoitza zein den eta bere eginkizuna zein den gogoratu beharko da, eta bestetik, nola konektatzen edo harremantzen den gainontzeko moduluekin. 11. Irudian kargagailuaren eskema ikus daiteke.



11. Irudia: Kargagailua osatzen duten moduluen eskema

Eguzki plakak eragindako tentsioa karga erregulatzailerara konektatzen da. Diseinatuko den karga erregulatzailera aurrerago zehatzago ikusiko den bezala MPPT motakoa izango da, azken finean buck DC/DC bihurgailu batez sortutakoa. Karga erregulatzailerekin bateriak kargatuko da. Karga kontrolatzeko, mikrokontrolagailuak bateriak uneoro duen tentsioa kontrolatuko du eta horren bitartez PWM seinalea doitu du, buck zirkuituaren lan zikloa aldatuz.

Bestetik, DC/DC boost bihurgailua irteerako tentsioa 5 V-koa izatea arduratuko da, gailuak USB bidez kargatu ahal izateko, kontuan izanda bateriaren tentsio izendatua 3,7 V-ekoa dela. Hau kontrolatzeko eta tentsioa erregulatzeko, mikrokontrolagailuak bihurgailuaren irteerako tentsioa kontrolatuko du, eta karga erregulatzaileran bezala, lan-zikloa doitu du irteerako tentsioa konstante mantenduz.

6.1 Karga erregulatzailea

Atal honetan eguzki plaka eta bateriaren arteko karga erregulatzailea azalduko da. Alde batetik behe mailako diseinua zehaztuko da, bestetik simulazio emaitzak aztertu eta azkenik prototipaketa fisikoaren emaitzak alderatuko dira. Bestetik, karga erregulatzailea osatuko duten osagaiak azalduko dira.

6.1.1. Karga erregulatzailearen behe mailako diseinua

Karga erregulatzailea MPPT motakoa izango da, hau da, potentzia puntu maximoan lan egingo duen erregulatzailea, efizientzia ahalik eta handiena izateko. Azken finean, buck zirkuitu erreduktore bat izango da, sarrerako tentsioa eguzki zelulak entregatutakoa izanik eta irteerako tentsioa bateria kargatzeko beharrezkoa izango dena. Sarrerako tentsioa aldatu daitekeenez, erregulatzaileak PWM seinalearen lan zikloa aldatuko du irteeran beti tentsio berdina izateko.

Lan-zikloa, kondentsadorearen eta harilaren balioak zehazteko, parametro batzuk lehenagotik finkatu beharko dira. Kasu honetan sarrerako tentsioa, $V_S = 6 \text{ V}$, bateria kargatzeko irteerako tentsioa, $V_{OUT} = 4,2 \text{ V}$, irteerako tentsio aldaketaren balio maximoa $\Delta V_{OUT} = 20 \text{ mV}$ eta lan frekuentzia $f = 31 \text{ kHz}$ izango dira. Beste alde batetik, eguzki zelulak 200 mA -ko (I_L) korronea emango duela estimatu da, hau da, hariletik pasatuko den korronea. Kalkuluak egin ahal izateko irteerako karga $R_{LOAD} = 10 \Omega$ dela suposatu da

Irteerako eta sarrerako tentsioetatik abiatuz lan-zikloa (D) honela kalkulatzeko da:

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT}}{V_S} = \frac{4,2}{6} = 0,7 \quad (12)$$

Harilaren balio minimoa hurrengoa izango da, kontuan hartuz, hariletik beti korrone positiboa joango dela:

$$L_{MIN} = \frac{(1 - D)V_{OUT}}{2fI_L} = \frac{(1 - 0,7) \cdot 4,2}{2 \cdot 31 \cdot 10^3 \cdot 0,200} = 101,6 \text{ uH} \quad (13)$$

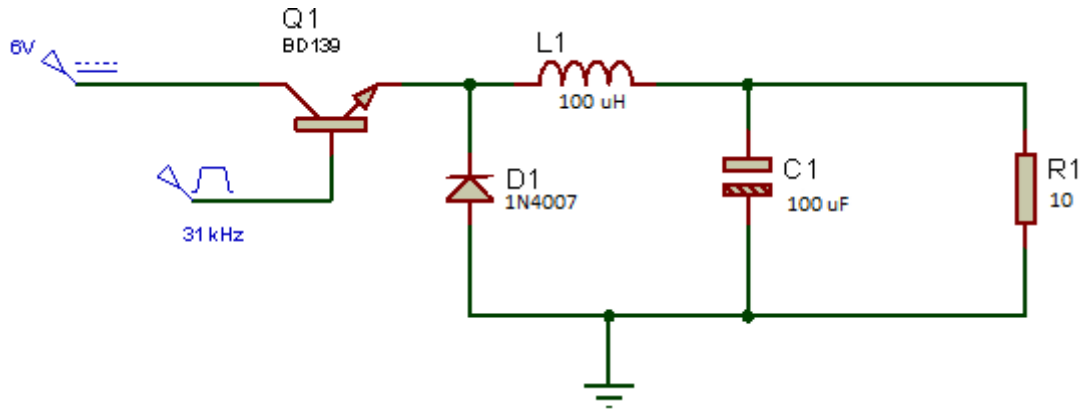
Azkenik, kondentsadorearen balio minimoa hurrengoa izango da:

$$C_{MIN} = \frac{(1 - D)V_{OUT}}{8Lf^2\Delta V_{OUT}} = \frac{(1 - 0,7) \cdot 4,2}{8 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot (31 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,02} = 81,94 \text{ }\mu\text{C} \quad (14)$$

Hau jakinda, zirkuitua muntatzeko beharrezko osagaiak ondorengoak dira:

- 100 μ H-ko harila
- 100 μ C-ko kondentsadorea
- 1N4007 erabilera orokorrerako diodo bat
- BD139 NPN motako transistorea

12. irudian diseinatutako DC/DC buck zirkuitu erreduktorea ikus daiteke:

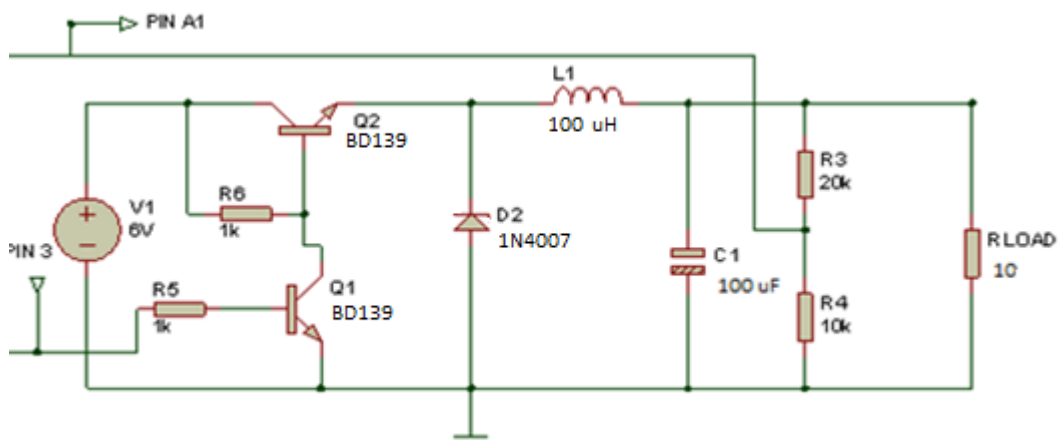


12. Irudia: DC/DC buck zirkuituaren diseinua

6.1.2 Simulazioa

Behin diseinua egin eta gero eta osagai garrantzitsuenen balioak zehaztu eta gero, software bidezko simulazioa egingo da, akatsak aurreikusteko eta zuzentzeko prototipaketa fisikoa egin baino lehen. Horretarako Proteus 8 programa erabili da, simulaziorako aukerak emateaz gain, aurrerago diseinatuko den PCB egiteko ere baliagarria delako.

Hurrengo irudian, karga erregulatzaile osoaren zirkuitua ikus daiteke:



13. Irudia: Proteus 8 programan simulatutako buck zirkuitua

13. irudian ikus daitekeen moduan bi NPN transistore erabili dira (Q1, Q2). Q1 transistorearen basea erresistentzia baten bitartez (R5) mikro kontrolagailura konektatzen da, kasu honetan hirugarren pinera (PIN 3). Bertatik, PWM seinaleak ailegatuko zaizkio 0 eta 5 V arteko balioak hartuko dituztenak. Bi transistore erabiltzerakoan, Q2 transistorea Q1 etenduran dagoenean asetuko da, Q1 asetzean berriz R6 erresistentziatik doan korrante guztia masara bideratuko da, Q2 transistorea etenduran jarriz. Honek, PWM seinalearen lan-zikloa 0,7 izan beharrean, alderantzizkoa izatea eragiten du, hau da, 0,3 inguru. Alderantzizko logika hori ekiditeko, Q2 transistorea PNP motako batengatik aldatu daiteke, horrela, lan-zikloa 0,7koa izango litzateke, kalkulu teorikoetan bezala.

Bestetik, R3 eta R4 erresistentziek tentsio banatzaile bat sortzen dute, mikro kontrolagailuaren sarrera analogiko batera (A1) konektatzen dena, kargan erortzen den tentsioa kontrolatzeko. Aurrerago, mikrokontrolagailuaren programazioa azaltzerakoan, tentsioaren kalkulua nola egiten duen azalduko da.

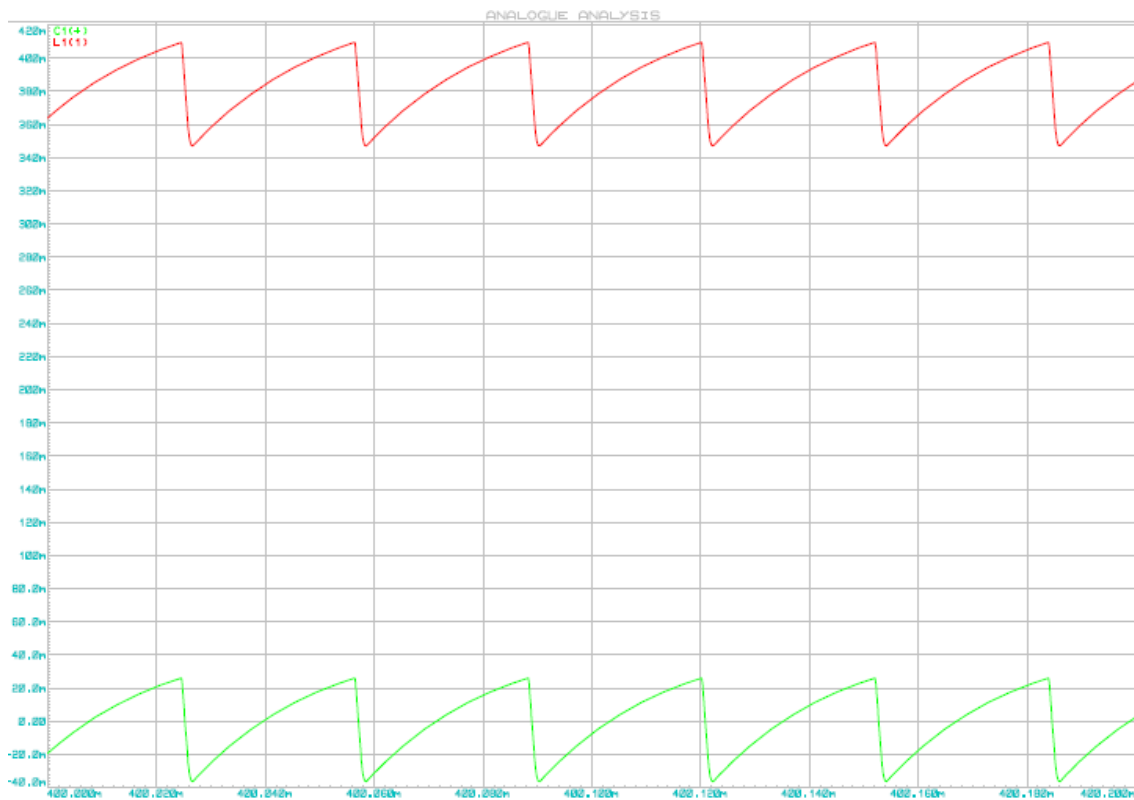
Jarraian hainbat tentsio eta korrante seinaleen grafikoak azalduko dira, kalkulu teorikoekin alderatzeko.

14. irudian ikus daitekeen bezala, alde batetik hariletik pasatzen den korrantea ikus daiteke (kolore berdea). Malda positiboa denean, hots, Q2 transistoretik korrantea pasatzen denean harila kargatuz doa malda konstantearekin. Malda negatiboa denean berriz, Q2 transistorea etenduran dago eta korrantea diodotik pasatzen da, harila deskargatuz. Hariletik doan korrantearen balio maximoa eta minimoa ondorengo formulekin lortu daiteke:

$$I_{Lmax} = V_{OUT} \left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right] = 4,2 \left[\frac{1}{10} + \frac{0,3}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 31000} \right] = 623,22 \text{ mA} \quad (15)$$

$$I_{Lmin} = V_{OUT} \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right] = 4,2 \left[\frac{1}{10} - \frac{0,3}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 31000} \right] = 216,77 \text{ mA} \quad (16)$$

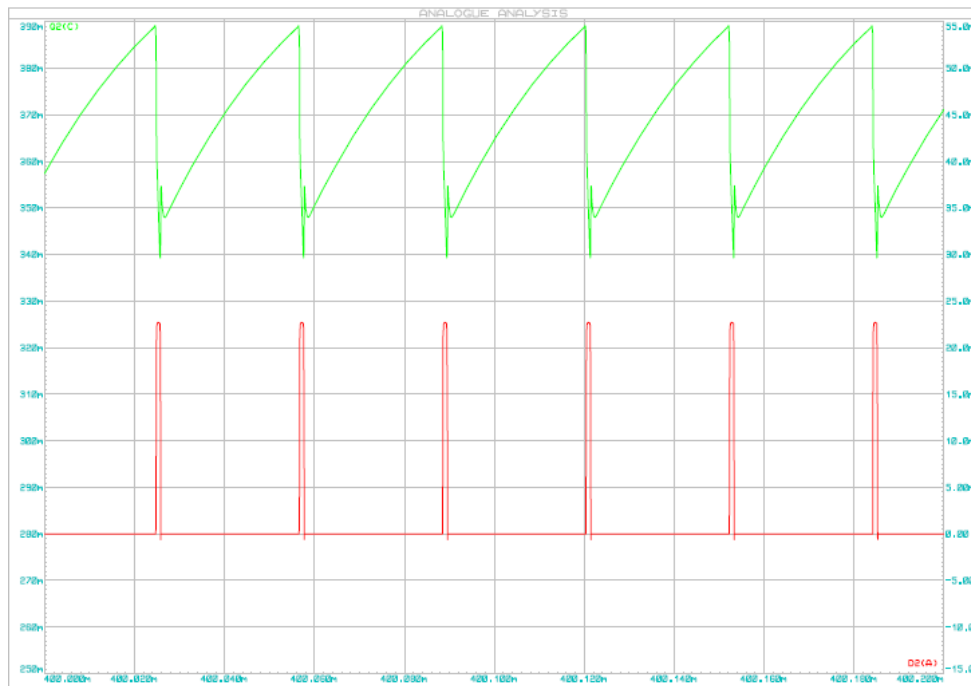
Grafikoarekin alderatuz gero, hariletik doan korrante maximoa 409 mA-koa da gutxi-gorabehera eta korrante minimoa 347 mA. Aldaketa hau, simulazioko osagaiak idealak ez direlako eman daiteke eta kalkulu teorikoetan idealtzat hartu dira.



14. irudia: Harilaren (gorria) eta kondentsadorearen (berdea) korronteen grafikoak

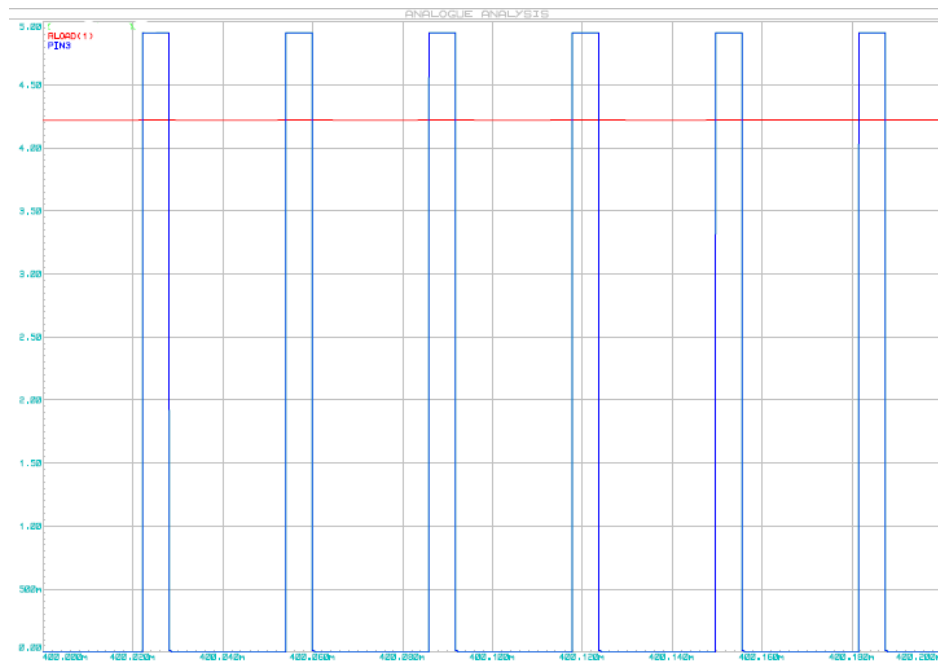
Bestetik, 14. Irudian, kondentsadoretik joaten den korrontea ikus daiteke (kolore gorria). Transistorea asetuta dagoenean malda positiboa dauka, kondentsadorea kargatzen ari delako, eta transistorea etenduran dagoenean malda negatiboa, deskarga fasean dagoelako. Gainera, batz besteko korrontea kondentsadoretik zero dela ikus daiteke.

15. irudian diodotik eta Q2 transistoretik pasatzen diren korrontek agertzen dira. Antzeman daitekeenez transistorea (berdea) eroaten dagoenean diodotik doan korrontea nulua da. Bestetik, diodoa eroaten dagoenean transistoretik doan korrontea zeroa izango da. Aurreko irudiko (14. irudia) harilaren korrontearekin alderatzen bada, harila kargatzen dagoenean transistoretik korrontea eroaten dagoela ikus daiteke, eta harila deskargatzen denean diodoa da eroaten dagoena.



15. Irudia: Transistorearen (berdea) eta diodoaren (gorria) korronteen grafikoak

Bukatzeko, 16. irudian, PWM seinalea (urdina) eta irteerako tentsioa (gorria) ikusten dira. Esan bezala bi NPN transistore erabiltzean, logika alderantzten da, hortaz PWM seinaleak balio baxua duenean (periodoaren %70 gutxi gorabehera) Q2 transistorea aletasunean dago. Berriz, seinaleak balio altua duenean (periodoaren %30 gutxi gorabehera), korrontea diodotik pasatuko da. Bestetik, kargako tentsioa 4,20 V-etan konstante mantentzen dela ikus daiteke.

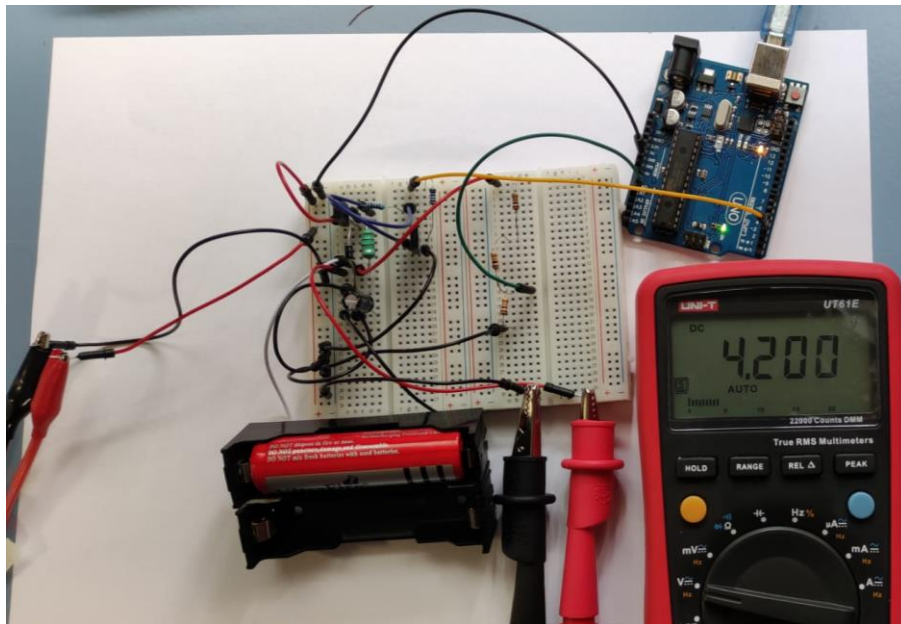


16. Irudia: Kargako tentsioaren (gorria) eta PWM seinalearen (urdina) grafikoak

6.1.3 Prototipaketa fisikoa

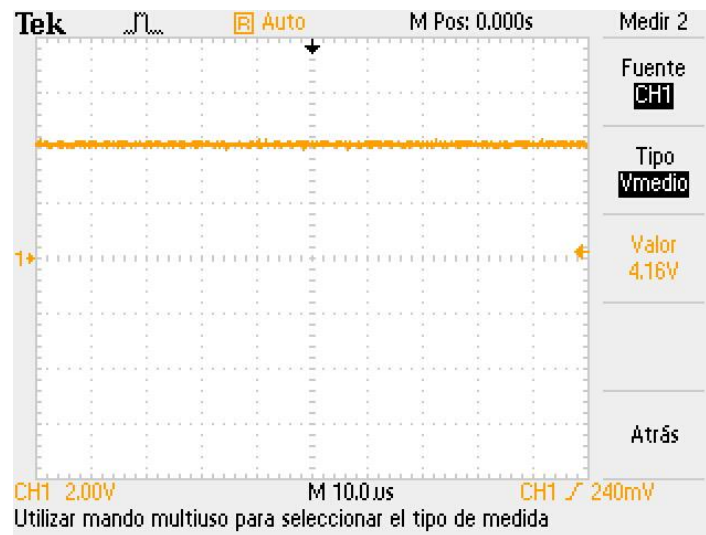
Behin simulazioa burutu eta era egokian funtzionatzen duela ikusi eta gero, laborategian funtzionamendua konprobatuko da. Horretarako, PCB batean inplementatu baino lehen *protoboard* batean zirkuitua muntatuko da akatsak ematen ez dituela ziurtatzeko.

17. irudian simulazioan erabilitako zirkuitua protoboard batean muntatuta ikus daiteke. Gainera, karga bezala erresistentzia bat jarri beharrean, eguzki plakak kargatuko duen 18650 bateria konektatu da. Bertan, 4,2 V-eko tentsioa mantentzen duela ziurtatzen da bateria kargatuz. Irudian ikusten den kable horia, arduinoak sortzen duen PWM seinalea da.



17. Irudia: Buck zirkuitu erreduktorea protoboard batean montatuta

Bestetik hurrengo irudian, osziloskopioan irteerako seinalearen balioa ikusten da. Sarrerako tentsioa 6 V-ekoa denean (eguzki plakak eragindako tentsioa) irteeran 4,20 V inguru lortzen dira.



18. Irudia: Buck zirkuituaren irteerako tentsioaren balioa osziloscopioan ikusita

6.1.4 Osagai elektronikoak

Jarrian, Buck zirkuitua inplementatzeko erabilitako osagai elektronikoak aipatuko dira, aukeraketarako eman diren osagai bakoitzaren ezaugarri nagusiak ipiniz.

- Eguzki zelula

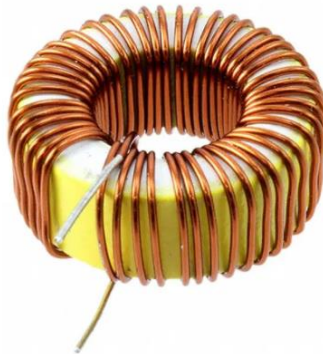
Eguzki zelula hau silizio polikristalinozkoa da eta 6 V-eko funtzionamendu tentsioa dauka. Zirkuitu irekiko tentsioari dagokionez, 6,6 V-ekoa da eta zirkuitu laburreko korrontea berriz 350 mA-koa. 80 mm-ko erradiodun forma zirkularra dauka 2 W-eko potentzia izanik.



19. Irudia: Eguzki zelula fotovoltaikoa

- Harila

100 μH -ko potentziatzko induktore toroidala aukeratu da. Bere lan maiztasun handiena 100 kHz-koa da eta hariletik zeharkatu dezakeen korrante zuzen maximoa $I_{\text{DC}}=3$ A-koa da. Hariletik korrantea eroaten dagoenean, harilak $R_{\text{DC}}=80$ m Ω erresistentzia maximoa dauka, nahiko txikia dena, bertan tentsio gutxi eroriz. Azkenik, -40 $^{\circ}\text{C}$ - 125 $^{\circ}\text{C}$ tarteko funtzionamendu tenperatura dauka.



20. Irudia: Buck zirkuiturako aukeratutako 100 μH -ko harila

- BD139 trantsistorea

NPN motako bi transistore bipolar aukeratu dira, buck zirkuituaren etengailu gisa. Kolektoretik zeharkatu dezakeen korrante piko maximoa $I_{\text{Cpk}}=3$ A-koa da, eguzki zelulak ematen dituen 200 mA-tatik urrun dagoena. Bestalde, igorle eta kolektorearen arteko tentsio maximoa 80 V-koa da. Asetuta dagoenean igorle eta kolektorearen arteko tentsio erorketa $V_{\text{CE(sat)}} = 0,5$ V-koa da. Bestetik, baseak onartzen duen korrante maximoa 500 mA-koa da. Funtzionamendu tenperatura tartea -65 $^{\circ}\text{C}$ - 150 $^{\circ}\text{C}$ -koa dauka.



21. Irudia: BD139 trantsistorea

- 1N4007 diodoa

Erabilera orokorrerako diodo honek 1 A-ko korrante zuzen maximoa (I_F) jasan dezake, bestetik, anodotik katodora korrantea pasatzen denean, zuzenki polarizatuta dagoenean, terminalen arteko erorketa tentsioa $V_F = 1,1$ V-koa da. Alderantziz polarizatuta dagoenean blokea dezakeen tentsio maximoa $V_R = 1$ kV-koa da eta alderantziz polarizatuta dagoenean $10 \mu\text{A}$ -ko alderantzizko korrantea dauka (I_R).



22. Irudia: 1N4007 diodoa

- Kondentsadore elektrolitiko

100 μF -ko kondentsadore elektrolitiko aukeratu da, 25 V-ko tentsio zuzena jasan dezakeena. Funtzionamendu tenperatura tartea $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ - $105 \text{ }^\circ\text{C}$ -koa da.



23. Irudia: 100 μF -ko kondentsadore elektrolitiko

Aipatu beharra dago, eguzki-zelula izan ezik osagai guztiak RS Online web orrialde berdinekoak direla [33].

6.2 DC/DC boost bihurgailua

Boost bihurgailua bateriak ematen duen tentsioa handitzeaz arduratuko da, irteeran egongo den USB portura tentsio altuago eta konstante bat izateko. Portu horretatik gailu ezberdinak kargatu ahaliko dira. Aurreko atalean bezala, DC/DC bihurgailuaren behe mailako diseinua, software bidezko simulazioa, inplementazio fisikoa eta beharrezko osagaiak azalduko dira.

6.2.1 Boost bihurgailuaren behe mailako diseinua

A) MIKROKONTROLAGAILU BIDEZKO BOOST BIHURGAILUA

Esan bezala, DC/DC bihurgailu jasotzaile honek bateriaren tentsioa handituko du, gailuek kargatzeko beharrezkoa duten tentsio altuagoa lortzeko. Boost bihurgailuak duen transistorea asetzeko edo etenduran jartzeko PWM seinale bat erabiliko da, PWM seinaleak duen lan-zikloaren arabera, tentsio handiagoak edo baxuagoak lortuko dira irteeran. Lan-ziklo hori kontrolatzeko mikrokontrolagailuak irteerako tentsioa uneoro neurtuko du, PWM seinalearen *duty-cycle*-a aldatuz.

Osagai ezberdinen balioak definitu ahal izateko hainbat parametro aurretik finkatu beharko dira. Sarrerako tentsioa $V_S = 3,7-4,2$ V artean egongo da (bateriaren tentsioa hain zuzen), irteerako tentsioa $V_{OUT} = 5$ V-koa izango da eta PWM seinalearen frekuentzia $f = 31$ kHz. Irteerako tentsioaren aldaketa maximoa $\Delta V_{OUT} = 50$ mV-koa izango da. Kalkuluak egin ahal izateko irteerako karga bezala $R_{LOAD} = 10 \Omega$ hartu dira, erresistentzia txikia korrontea altuagoa izan dadin. Datu hauek jakinda, lan-ziklo maximoa (D_{MAX}) eta minimoa (D_{MIN}), harilaren induktantziaren balio minimoa (L_{MIN}) eta kondentsadorearen balioa aukeratuko dira (C).

Oinarri teorikoetan ikusi den bezala, aurreko balioak ondorengo formuletatik atera daitezke.

$$V_{OUT} = \frac{V_S}{1-D} \rightarrow D = \frac{V_{OUT} - V_S}{V_{OUT}} \quad (17)$$

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} - V_{SMIN}}{V_{OUT}} = \frac{5 - 3,7}{5} = 0,26 \quad (18)$$

$$D_{MIN} = \frac{V_{OUT} - V_{SMAX}}{V_{OUT}} = \frac{5 - 4,2}{5} = 0,16 \quad (19)$$

Aurreko formuletan ikus daiteke, lan-zikloa handituz joango dela bateriaren tentsioa jaitsi ahala irteeran 5 V mantentzeko.

Harilaren balio minimoa hurrengoa izango da, kontuan hartuz, hariletik beti korrante positiboa joango dela:

$$L_{min} = \frac{D_{MAX}(1 - D_{MAX})^2 R}{2f} = \frac{0,26 \cdot (1 - 0,26)^2 \cdot 10}{2 \cdot 31000} = 31 \mu H \quad (20)$$

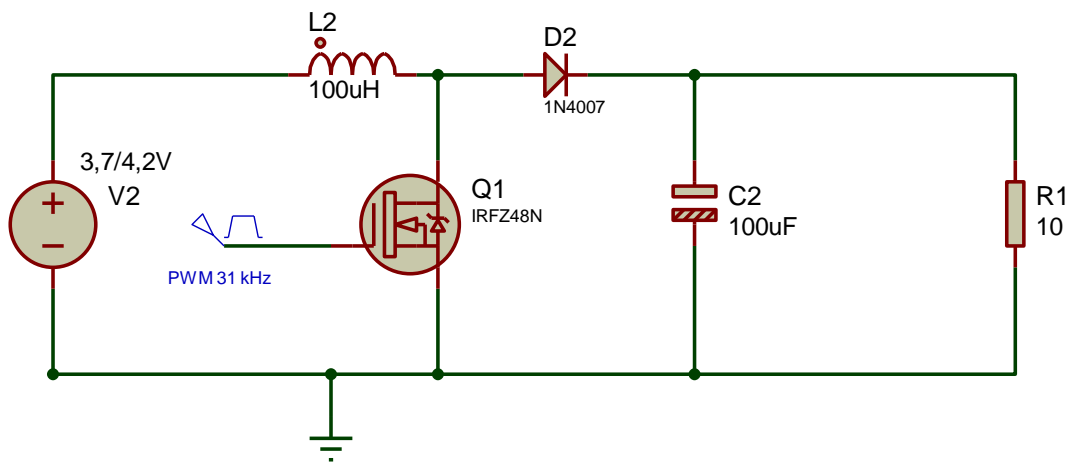
Kondentsadorearen balio minimoa irteerako tentsio aldaketa kontuan hartuz hurrengoa izango da:

$$C_{min} = \frac{D_{MAX} \cdot V_{OUT}}{R \cdot f \cdot \Delta V_{OUT}} = \frac{0,16 \cdot 5}{10 \cdot 31000 \cdot 0,05} = 85,8 \mu F \quad (21)$$

Hau jakinda, zirkuitua muntatzeko beharrezko osagaiak ondorengoak dira:

- 100 uH-ko harila
- 100 μC-ko kondentsadorea
- 1N4007 erabilera orokorrerako diodo bat
- IRLZ48N logic level mosfet transistorea

24. irudian diseinatutako DC/DC buck zirkuitu erreduktorea ikus daiteke:



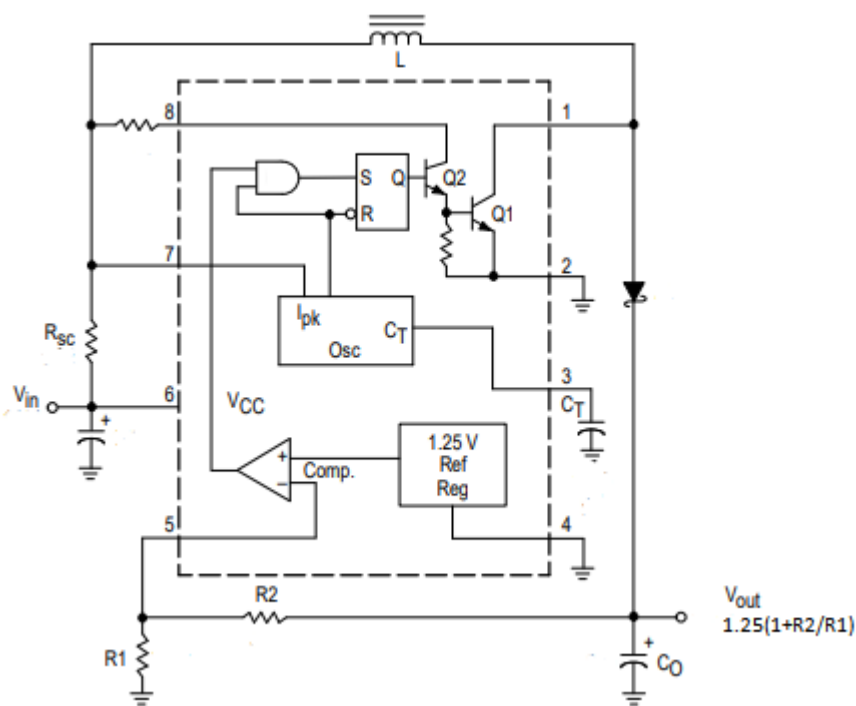
24. Irudia: DC/DC boost zirkuituaren diseinua

Zirkuitu honek simulazioan arazorik eman ez dituen arren irteeran 5 V lortuz, inplementazio fisikoa burutu denean, korrante asko eskatzen duen gailu bat konektatzerakoan sarrerako tentsioa erori egiten da eta mikrokontrolagailua ez da gai tentsio hori 5 V-etan konstante mantentzeko. Osagai ezberdinak probatu dira arazoa konpontzeko baina efizientzia oso txikia da.

Orduan, aplikazio hauetarako prestatuta dagoen zirkuitu integratu jasotzaile bat erabiltzea pentsatu da, hain zuzen ere, MC34063 integratua. Hemendik aurrera, diseinua, simulazioa eta prototipaketa fisikoa integratu eraginkorrago honekin egingo da.

B) MC34063 INTEGRATU BIDEZKO DISEINUA

Esandako zirkuitu integratuak, hiru funtzionamendu modu ditu: Buck zirkuitu bezala, Boost zirkuitu jasotzaile bezala eta tentsio alderantztaile bezala. Kasu honetan Boost moduan erabiliko da. Zirkuitu integratuak behar bezala funtzionatzeko behar dituen osagaien kalkulua egiteko, MC34063aren *datasheet*-ean dauden formulak erabiliko dira.



25. Irudia: MC34063-aren Boost egitura

Aurreko irudian, MC34063 integratuak behar dituen osagaiak eta zirkuituarekiko konexioak ikus daitezke. Horretarako, aldezturik hainbat parametro definitu beharko dira. Sarrerako tentsio minimoa $V_{IN(MIN)} = 3,5 \text{ V}$, irteerako tentsioa $V_{OUT} = 5 \text{ V}$, irteerako etengailuaren saturazio-tentsioa $V_{SAT} = 1,5 \text{ V}$, diodoaren zuzeneko tentsio erortzea $V_F = 0,5 \text{ V}$. Nahi den irteera-korrontea $I_{OUT} = 1 \text{ A}$, hautatutako V_{IN} eta I_{OUT} balioetan nahi den gutxieneko irteera-komutazioaren maiztasuna $F_{MIN} = 50 \text{ kHz}$ eta irteerako tentsioaren aldaketa maximoa V_{RIPPLE} .

Behin parametroak definitu eta gero, osagaien balioak kalkulatu ahalko dira hurrengo formulak erabiliz:

$$t_{on}/t_{off} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN(MIN)}}{V_{IN(MIN)} - V_{SAT}} = \frac{5 + 0,5 - 3,5}{3,5 - 1,5} = 1 \quad (22)$$

$$t_{on} + t_{off} = \frac{1}{f} = \frac{1}{50000} \text{ s} \quad (23)$$

$$t_{off} = \frac{t_{on} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1} = \frac{1}{1 + 1} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad (24)$$

$$t_{on} = t_{on} + t_{off} - t_{off} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad (25)$$

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on} = 400 \text{ pF} \quad (26)$$

$$I_{pk(\text{switch})} = 2 \cdot I_{OUT} \cdot \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4 \text{ A} \quad (27)$$

$$R_{sc} = \frac{0.3}{I_{pk(\text{switch})}} = 75 \text{ m}\Omega \quad (28)$$

$$L_{min} = \frac{V_{IN(MIN)} - V_{SAT}}{I_{pk(\text{switch})}} \cdot t_{on} = \frac{3,5 - 0,5}{4} \cdot \frac{1}{100000} = 7,5 \text{ }\mu\text{H} \quad (29)$$

$$C_O = \frac{I_{OUT} \cdot t_{on}}{V_{ripple}} = \frac{1 \cdot 1/100000}{0,02} = 500 \text{ }\mu\text{F} \quad (30)$$

Non,

t_{on} = Boost bihurgailuak sortzen duen PWM seinalea aktibatuta dagoen ziklo denbora,

t_{off} = Boost bihurgailuak sortzen duen PWM seinalea aktibatuta dagoen ziklo denbora,

C_T = Denbora konstantea finkatzen duen kondentsadorearen balioa,

$I_{pk(\text{switch})}$ = Etengailuaren piku korrontea,

R_{sc} = Shunt erresistentzia,

L_{min} = Harilaren balio minimoa,

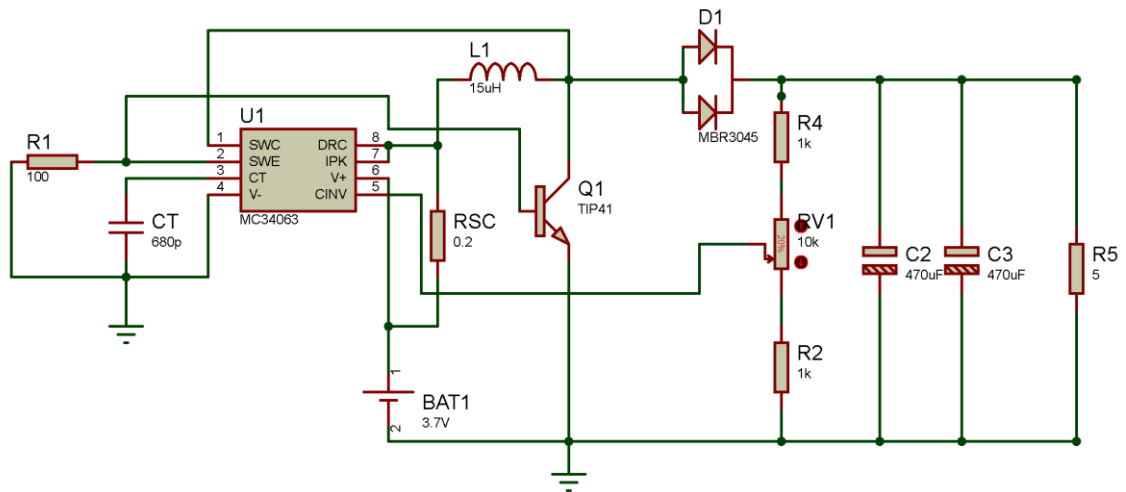
C_O = Irteerako kondentsadorearen balioa.

6.2.2 Simulazioa

Berriz ere, DC/DC bihurgailu jasotzailearen diseinu egokia egin eta gero MC34063 zirkuitu integratua erabiliz, software bidezko simulazioa egingo da, inplementazio fisikoa egin baino lehen emaitzak egokiak diren hala ere ikusteko. Buck bihurgailuarekin egin den bezala, Proteus 8 programa erabiliko da.

26. irudian, inplementatutako boost bihurgailua ikus daiteke. Irteerako korrontea 1,5 A baino handiagoa izan daitekeenez (gehienez 2 A), Q1 transistorea erabili beharra

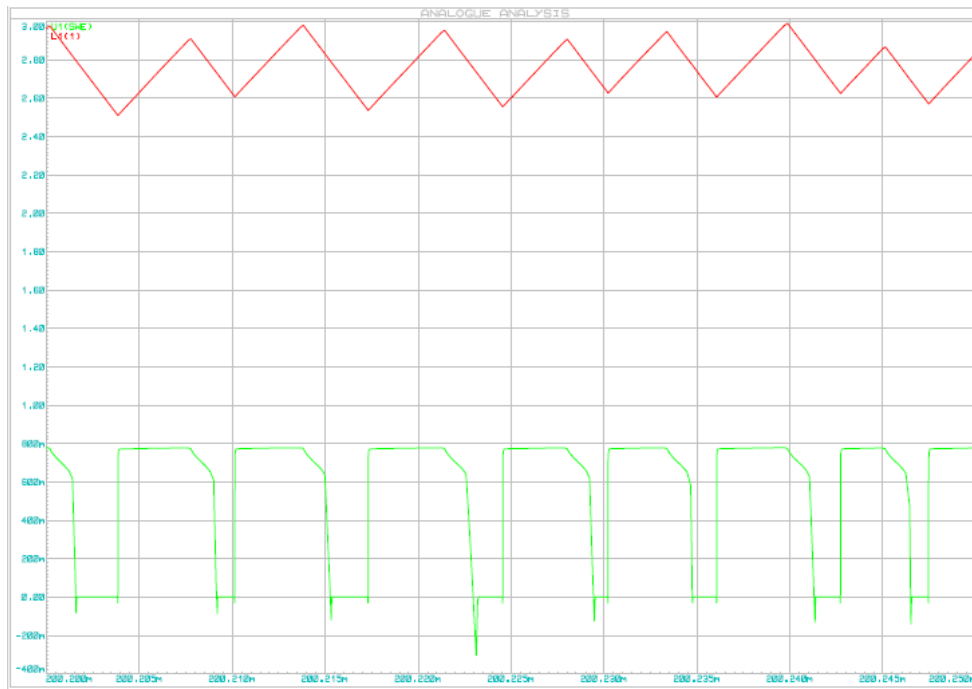
dago etengailu gisa. R transistorearen pull down erresistentzia da bat baino ez da. Erresistentziaren helburua transistorea off egoeran dagoenean honen basean 0 V-eko tentsioa dagoela ziurtatzea da.



26. Irudia: Inplementatutako boost zirkuituaren eskema

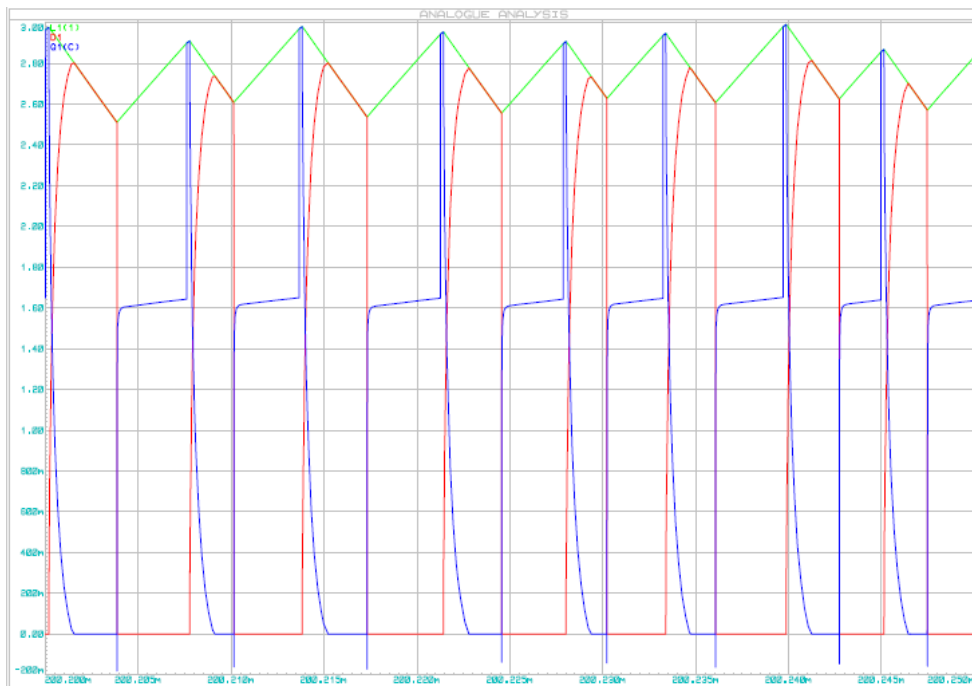
Hurrengo grafikoan hariletik doan korrontea eta sortutako PWM seinalea ikus daiteke, SWE pinetik ateratzen dena. Antzeman daitekenez PWM seinaleak balio altua duenean harila kargatu egiten da, korrontearen balioa igoz. Bestalde, PWM seinaleak balio baxua duenean harila deskargatu egiten da, hariletik doan korrontearen malda negatiboa izanda.

Bestetik, harilaren korrontea 3 A eta 2,5 A artean oszilatzen duela antzematen da. Balio hauek nahiko konstante mantentzen dira karga asko aldatzen ez den bitartean. Kargak korronte oso gutxi xurgatzen badu harileko korrontea txikiagoa izango da, eta korronte asko xurgatuz gero korrontea handiagoa izango da. Praktikan 5 Ω-eko erresistentzia erabili da 1 A inguruko korrontea xurgatu dezan.



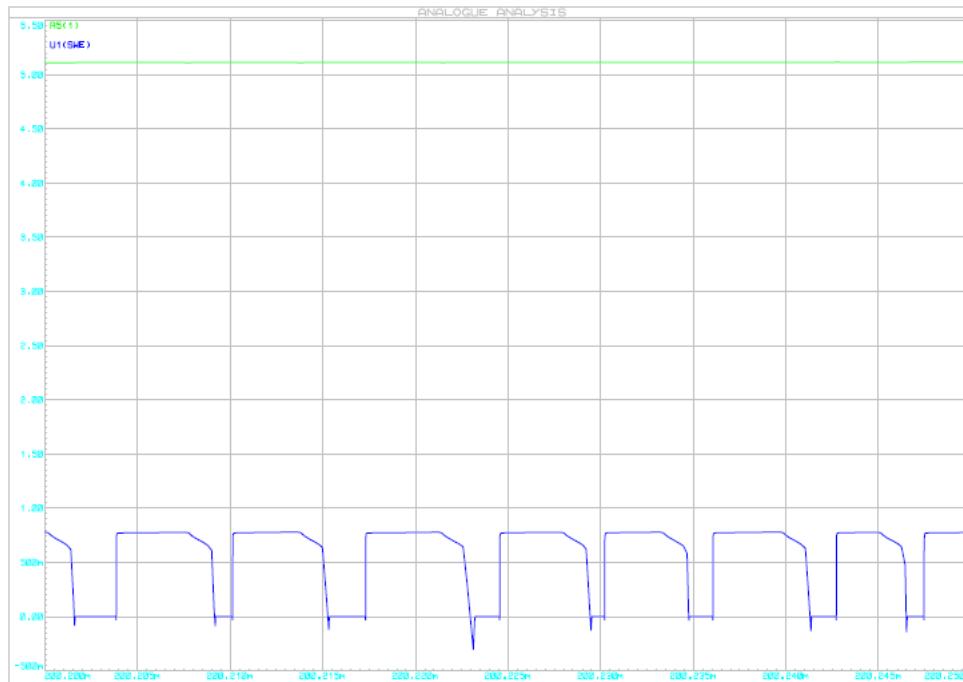
27. Irudia: Harileko korrontearen (gorria) eta PWM seinalearen (berdea) grafikoak

Bestetik, 28. irudian ikus daitekeen moduan, Q1 transistorea asetuta dagoenean (PWM seinalea balio altuan) diodotik ez da korronteirik eroaten, berriz, Q1 transistorea etenduran dagoenean (PWM seinalea balio baxuan), diodoak korrontea eroaten du.



28. Irudia: Transistoreko (urdina), diodoko (gorria) eta harileko korronteen (berdea) grafikoak

29. irudian irteerako tentsio zuzena eta MC34063A integratuak sortutako PWM seinalea ikus daiteke. Tentsioa guztiz zuzena antzematen da, hau da, irteerako kondentsadoreen ondorioz oszilazioak ez dira nabaritzen. Grafikoari erreparaturaz, tentsioa 5 V baino handiagoa da, hau nahita egin da, izan ere, errealitatean gailu bat konektatzean beti tentsio erorketa txiki bat dago.

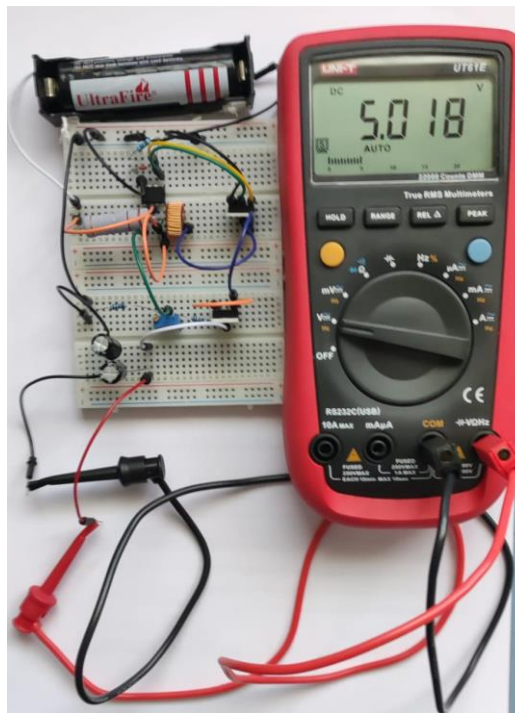


29. Irudia: Irteerako tentsioaren (berdea) eta PWM seinalearen (urdina) grafikoak

6.2.3 Prototipaketa fisikoa

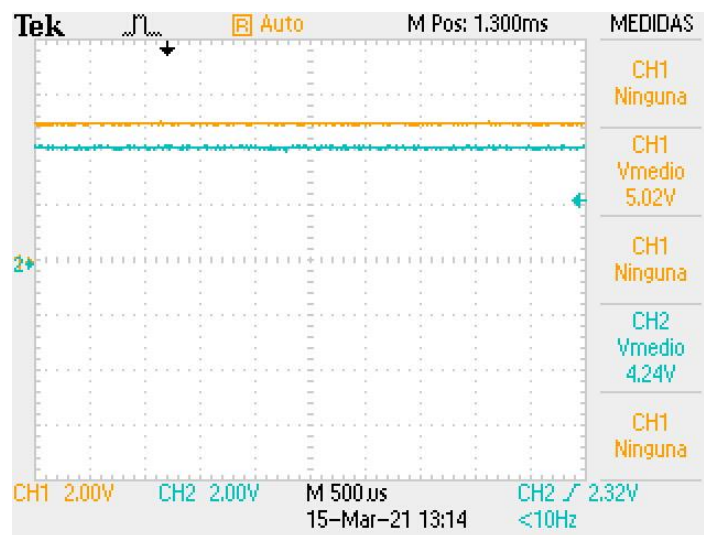
MC34063 zirkuitu integratuarekin Boost zirkuituaren simulazioa egokia dela ziurtatu eta gero, inplementazio fisikoa egin behar da, errealitatean ongi dabilela konprobatzeko. Aurreko kasuan bezala, PCB-an zuzenean fabrikatu baino lehen, protoboard batean zirkuitu osoa muntatuko da eta emaitzak aztertuko dira.

30. irudian simulazioko zirkuitu berdina protoboard-ean muntatuta ikusten da. Alde batetik, proiektuan erabiliko den 18650 bateria erabili da elikadura iturri gisa. Bestetik, potentziometroa doitu egin da MC34063 integratuak berrelkadura seinalearen bidez irteerako tentsioa 5 V-etan mantentzeko.



30. Irudia: Boost zirkuitu jasotzailearen implementazio fisikoa

Bestetik, hurrengo irudian, osziloscopiaok emandako seinaleen adierazpena ikus daiteke. Alde batetik, kolore laranja irteerako tentsioa 5 V ingurukoa dela antzematen da eta bestetik, kolore urdinez, sarrerako tentsioa (bateriarena), 4,24 V-koa hain zuzen.



31. Irudia: Boost zirkuituaren irteerako (laranja) eta sarrerako (urdina) tentsioen balioa osziloscopiaan ikusita

6.2.4 Osagai elektronikoak

Karga erregulatzailerekin bezala, Boost zirkuitua inplementatzeko erabilitako osagai elektronikoak deskribatuko dira, hauek egokiak izatea eragin duten ezaugarriak azalduz.

- MC34063A

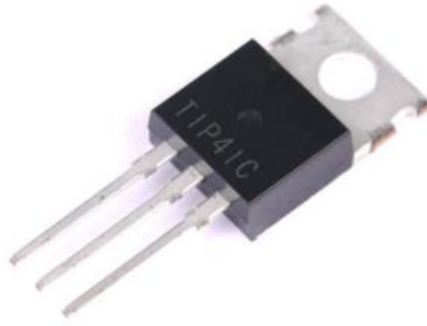
Boost zirkuituaren osagai nagusia da, aurretik aipatu den moduan, hiru funtzionamendu modu ditu: zirkuitu jasotzaile, zirkuitu erreduktore eta tentsio alderanzgailu bezala. Bestetik, 3 V eta 40 V arte sarrerako tentsioa onartzen du, aukeratutako bateriarentzat egokia dena. Lan frekuentzia maximoa 100 kHz-ekoa da, eta boost moduan lan egiten duenean %87,7-ko efizientzia dauka batz bestea. Bestetik, jasaten duen tenperatura tartea 0 °C eta 70 °C artekoa da.



32. Irudia: MC34063A integratua

- TIP41C transistorea

NPN motako potentziatzko transistore bipolarra aukeratu da etengailu gisa. Kolektoreko korrante maximoa $I_C = 6$ A-koa da, jasan beharko dituen 3 Ampereak baino bi aldiz altuagoa. Igorle eta kolektorearen arteko tentsio maximoa $V_{CE} = 100$ V-koa da. Bestalde, transistorea asetuta dagoenean kolektore eta igorlearen arteko tentsio erorketa $V_{CE(sat)} = 1,5$ V-ekoa da. Azkenik, -65 °C eta 150 °C arteko lan tenperatura dauka.



33. Irudia: TIP41 C transistorea

- MBR3045PT diodoa

Katodo komuneko bi diodoz osatuta dagoen Schottky diodoa da. Honekin, diodo bakarretik hainbeste korrante ez joatea lortzen da. 30 A-ko korrante zuzen maximoa jasan dezake (I_F). Gainera, zuzenean polarizatuta dagoenean, kapsulatutik erortzen den tentsio maximoa $V_{FMAX} = 0,6$ V-ekoa, oso baxua, tentsio galera txikia izateko. Alderantzizko polarizazioan, 30 V blokeatzeko gai da (V_R). Lan tenperatura tartea -65 °C eta 175 °C artekoa da.



34. Irudia: MBR3045PT diodoa

- Erresistentziak

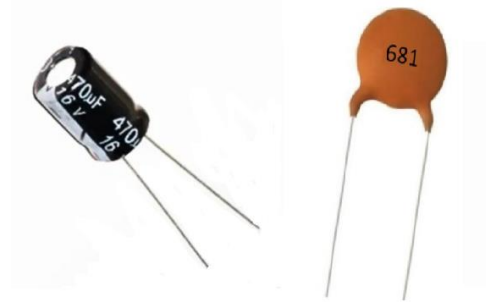
Boost zirkuitu honetan bi erresistentzia erabiliko dira. Alde batetik, transistorea etenduran dagoenean 0 V-eko tentsioa izan dezan $1/4$ W eta 1 k Ω -eko pull down erresistentzia. Bestetik, $0,220$ Ω -eko 5 W-ko zementuzko shunt erresistentzia, MC34063 integratuak korrantea neurtu dezan.



35. Irudia: 1 k Ω (ezkerrean) eta 0,22 Ω (eskuinean) erresistentziak

- Kondentsadoreak

Denbora konstantea mugatuko duen kondentsadore zeramikoa (CT) 680 pF-ko kondentsadorea izango da. Irteerako kondentsadoreak berriz, irteerako tentsioaren uhindura kontrolatuko dutenak hain zuzen, 470 μ F-ko bi kondentsadore elektrolitiko izango dira.



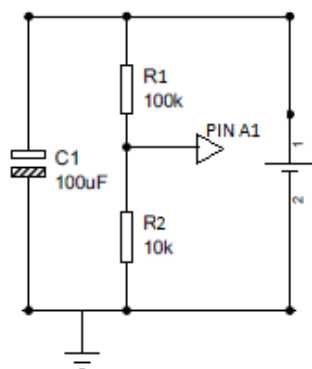
36. Irudia: 470 μ F (ezkerrean) eta 680 pF (eskuinean) boost zirkuituarentzako kondentsadoreak

Aipatu beharra dago osagai guztiak RS Online web orrialde berdinekoak direla [34].

6.3 Tentsio eta korrante neurgailuak

Kargagailuaren funtzionamendua egokia dela ziurtatzeko, bateriaren tentsioa neurtuko duen eta eguzki-zelulak uneoro ematen ari den korrontea neurtuko duen sentsoreak diseinatu behar dira.

Lehenik eta behin, bateriaren tentsioa neurtzeko, diseinatutako buck zirkuituaren amaieran tentsio zatitzaile bat ipiniko da. Tentsio zatitzaile hau beharrezkoa da erabiliko den ATmega 328P mikrokontrolagailuak onar dezakeen sarrerako tentsio maximoa bateriarena baino txikiagoa delako. Hurrengo irudian tentsio zatitzailearen itxura ikus daiteke:



37. Irudia: Bateriaren tentsio neurgailuaren eskema

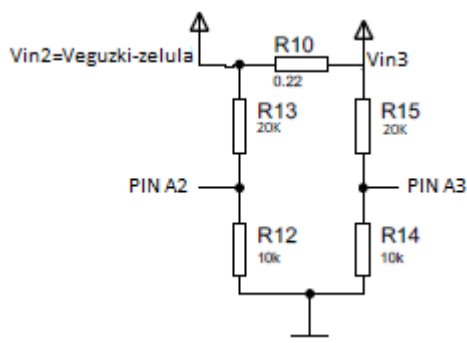
C1 kondentsadorea karga erregulatzailaren irteerako kondentsadorea da. Bateriaren tentsioa jakiteko, lehenik eta behin A1 pin analogikora doan tentsioa jakin beharko da. Horretarako, jakinik mikrokontrolagailuaren ADC-a 10 bitekoa dela (0 eta 1023 arteko balioa itzuliko du) eta elikadura tentsioa 3,3 V-ekoa, hurrengo adierazpena erabilia tentsio zatitzailearen irteerako tentsioa kalkulatu daiteke:

$$v_{out_1} = \frac{output * 3,3}{1024} (V) \tag{31}$$

Irteerako tentsioa izanda, bateriaren tentsioa jakiteko, tentsio zatitzailearen formula erabiliko da, sarrerako tentsioa kalkulatzeko duena (Vin):

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} V_{in} (V) \rightarrow V_{bat} = V_{in} = V_{out} \cdot \frac{R1 + R2}{R2} (V) \tag{32}$$

Bestetik, eguzki-zelulak ematen ari den korrontea neurtzeko, karga erregulatzailaren sarreran, balio izendatu txikiko erresistentzia bat ipiniko da, bertatik tentsio asko ez erortzeko. Tentsio zatitzailearen adierazpen berdina erabiliz, erresistentziaren borne bakoitzean tentsioa neurtuko da, kasu honetan A2 eta A3 pin analogikoak erabilia. Hurrengo irudian, korrante neurgailuaren eskema ikus daiteke:



38. Irudia: Korrante neurgailuaren eskema

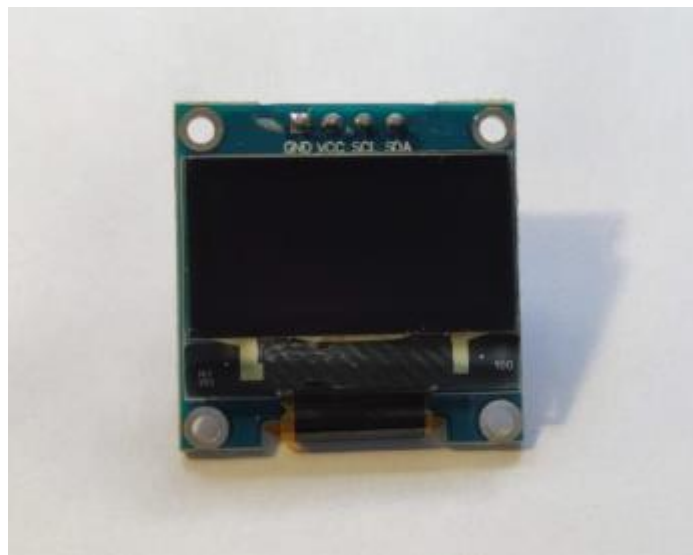
Behin muturretako tentsioa kalkulatu denean, erresistentziaren balioa ezaguna denez, Ohm-en legea aplikatuz R10 erresistentzia zeharkatzen duen korrontea kalkulatu daiteke, hau da, eguzki-zelulak ematen duen korrontea.

$$A_{in} = \frac{v_{in_2} - v_{in_3}}{0.22} \cdot 1000 \text{ (mA)} \quad (33)$$

6.4 OLED pantaila

Garatuko den prototipoari OLED pantaila txiki bat gaineratuko zaio, 0,96 hazbetekoa hain zuzen. OLED pantaila honek I2C serie protokoloa erabiltzen du datuak mikrokontrolagailutik bidali eta bertatik jasotzeko. Protokolo sinkrono honek bi eroale baino ez ditu erabiltzen, SCL busetik erlojuaren seinaleak bidaltzen dira eta SDA busetik datuak.

Datuentzat eroale bakarra erabiltzeak maisuak eta morroiak kable berdina erabiltzen dutela esan nahi du informazioa elkar trukatzeko. Maisuak (mikrokontrolagailua) erloju seinaleak sortuko ditu datuak bidaltzeko. Hurrengo irudian OLED pantaila ikus daiteke:



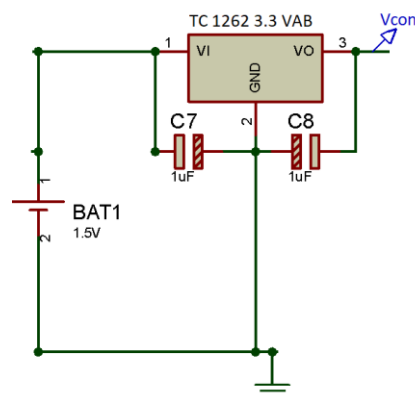
39. Irudia: 0,96 hazbeteko OLED pantaila

Kasu honetan, OLED pantaila aurreko puntuan neurtutako balioak bistaratzeko erabiliko da. Alde batetik, bateriaren tentsioaren ehunekoa bistaratuko da eta bestetik eguzki-zelulak ematen ari den korrontea edo bateriaren karga korrontea.

6.5 ATmega 328P mikrokontrolagailuaren programazioa

Kontrolagailua, prototipoaren atalik garrantzitsuenetarikoa da, bertatik zirkuitu osoaren kontrola egiten baita. Hortaz, garrantzitsua izango da era egoki batean elikatzean. Aukeratutako bateriaren tentsioa 4,2 V-etik 3,3 V-era pasatu daitekeenez, beharrezkoa izango da mikrokontrolagailua elikatzerako orduan tentsio erregulatzaile bat ipintzea.

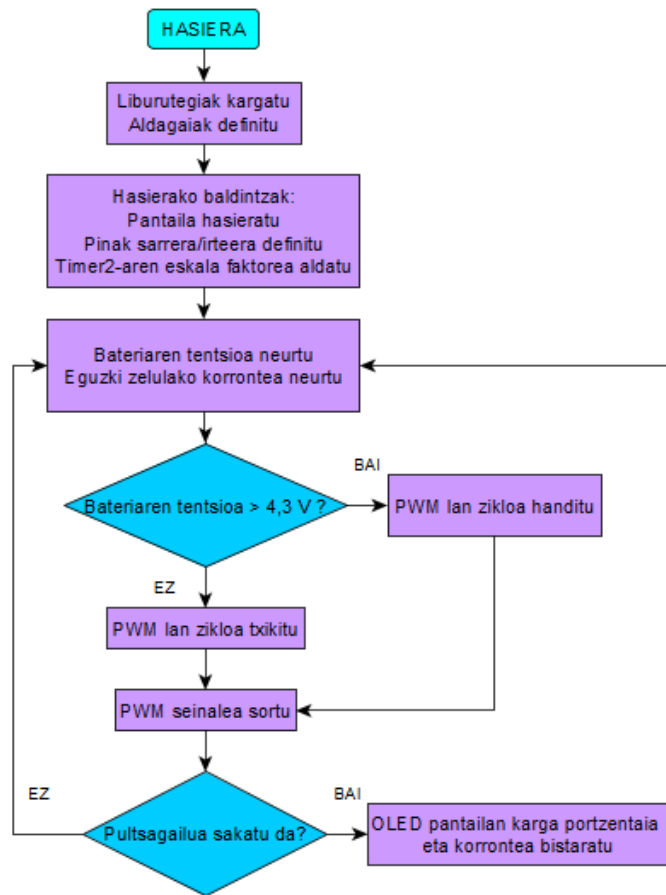
Kasu honetarako, TC1262 erregulatzaile lineala aukeratu da. Bere irteeran 3,3 V konstante emango ditu mikrokontrolagailuaren funtzionamendu egokia ziurtatuz [35]. 40. irudian erregulatzaile linealaren eskema ikus daiteke.



40. Irudia: Erregulatzaile linealaren eskema elektrikoa

Behin, karga erregulatzailearen Buck zirkuitua eta gailu elektronikoak kargatzeko beharrezkoa den Boost zirkuitua diseinatu direnean, mikrokontrolagailuaren programazioa azalduko da atalez atal.

Hurrengo irudian mikrokontrolagailuko programazioaren fluxu diagrama ikusten da, aurrerago dagoen azalpena era errazago eta eskematiko batean uler dadin.



41. Irudia: Programazioaren fluxu diagrama

Proiektu honetan, Arduino Uno plakak eramaten duen ATmega 328P kontrolagailua erabili da. Mikrokontrolagailua programatzeko Arduinok duen IDE-a erabiliko da eta gero plakatik kenduko da, garatutako prototipoan ipintzeko. Lan eremu honek erraztasuna ematen baitu goi mailako programazioa egiteko. IDEak berak, C++ programazio lengoian idatzitako kodea konpilatu eta mikrokontrolagailura igotzen du Arduino Uno txartel bat erabiliz serie komunikazioaren bitartez.

Programatutako kodearekin hasteko, lehenik eta behin, beharrezko liburutegiak kargatuko dira. Kasu honetan, OLED pantaila funtzionatzeko beharrezko hiru liburutegiak kargatzen dira *#include* aginduaren bitartez. Jarraian, konstanteak diren hiru aldagai definituko dira, pantailaren funtzionamendua bermatzeko liburutegiak behar dituenak. Liburutegiak eta aldagai horiek sortu eta gero, *oled* deituriko objektua sortuko da, liburutegiak duen funtzioa erabiliz, aurrerago pantailan datuak aurkeztu ahal izateko.

```
#include <Wire.h> //I2C busa erabili ahal izateko liburutegia
#include <Adafruit_GFX.h> // Display grafikoetarako liburutegia
#include <Adafruit_SSD1306.h> // SSD1306 driverraren liburutegia

#define ZABALERA 128 //OLED pantailaren px zabalera
#define ALTUERA 64 // OLED pantailaren px altuera
#define OLED_RESET 4 //Beharrezko datua liburutegiarentzat

Adafruit_SSD1306 oled(ZABALERA,ALTUERA,&Wire,OLED_RESET);
```

Bestetik, programan zehar erabiliko diren aldagai global ezberdinak definituko dira. Alde batetik, *vout* eta *vin* aldagaiak daude, horiekin, mikrokontrolagailuak neurtutako tentsioa (*vout*) eta tentsio banatzailearen formularen bitartez (R1 eta R2 aldagaiekin), bateria kargatzen ari den tentsioa (*vin*) ikus daiteke.

```
float vout = 0.0; //Vout tentsio banatzailearen balioa definitu
float vin = 0.0; //Vin tentsio banatzailearen balio erreala definitu
float R1 = 100000.0; // R1(100K)tentsio banatzailearen erresistentzia
float R2 = 10000.0; // R2 (10K)tentsio banatzailearen erresistentzia
```

Vout2, *vout3*, *vin2* eta *vin3* aldagaiekin R10 erresistentzian erortzen den tentsio diferentzia neurtuko da, bertatik errotan dagoen korronea kalkulatzeko (*ain*). *Feedback* aldagaiak mikrokontrolagailuari egokitutako pin analogikoak dira, neurketa ezberdinak egiteko.

```
float vout2 = 0.0; //Vout2 aldagaia definitu korronea kalkulatzeko
float vout3 = 0.0; //Vout3 aldagaia definitu korronea kalkulatzeko
float vin2 = 0.0; //Vin
float vin3 = 0.0; //Vin

float ain=0.0; //Eguzki plakak ematen ari den korronea definitu
int feedback = A1; //Feedback A1 pin analogikoa definitu
int feedback2 = A2; //Feedback2 A2 pin analogikoa definitu
int feedback3 = A3; //Feedback3 A3 pin analogikoa definitu
int Puls01 = 2; //Pulsgailuaren 2 pin digitala definitu
```

PWM aldagaiak, PWM seinalea aterako den pin digitala adierazten du. "*pwm*" aldagaiak PWM seinalearen hasierako lan zikloaren balioa zehaztuko du. Bere balioa 127 izango da, hau da, %50 hasierako lan-zikloa, izan ere irteera digital baten balioak 0 eta 255 artean daude, 8 biteko bihurtzailearen ondorioz hain zuzen.

```
int PWM = 3; //PWM seinalea 3 pin digitaletik
int pwm = 127; //PWM-aren DC-aren hasierako balioa
```

Aldagaiak definitu eta gero, *setup* hasierako funtzioa definitu behar da. Bertan, I2C komunikazioa hasi, oled pantaila hasieratu, garbitu eta aurretik definitutako pin ezberdinak sarrera edo irteera moduan definitu behar dira *pinMode* funtzioa erabiliz.

Azkenik, Timer 2 erabiliko da PWM seinalea sortzeko. Ahalik eta maiztasun altuena ipiniko zaio. Horretarako, *TCCR2B* erregistroa aldatuko da, aurre eskala faktorerik txikiena jarriz, hots, 1 balioa.

```
void setup() {
  Wire.begin(); //I2C komunikazioa hasi
  oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //OLED pantaila hasieratu
  oled.clearDisplay(); //OLED pantaila garbitu
  oled.setTextColor(WHITE); //Testu kolorea definitu
  pinMode(feedback, INPUT); //Feedback (A1) pina sarrera moduan
  pinMode(feedback2, INPUT); //Feedback2 (A2) pina sarrera moduan
  pinMode(feedback3, INPUT); //Feedback3 (A3) pina sarrera moduan
  pinMode(PWM, OUTPUT); //PWM (3) pina irteera moduan
  pinMode(Puls01, INPUT); //2 pina sarrera moduan
  TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000001; //3 eta 11 pinen PWM
  maiztasuna 31372.55 Hz
}
```

Hasieratze funtzioa definitu eta gero, *loop* funtzioa definituko da, kontrolagailuak ziklikoki exekutatu duen funtzioa. Lehenengo, *analogRead* funtzioa erabiliz, sarrera analogiko ezberdinen balioak neurtuko dira, 0 eta 1023 arteko balio bat itzuliko duena, ADC-a 10 bitekoa delako. Gero, tentsio eta korrante neurgailuen puntuan azaldutako *vout* ezberdinak kalkulatu dira. ADC-ak bueltatutako balioa tentsiora bilakatuko da, hiruko erregela erabiliz.

```
void loop() {
  float output = analogRead(feedback); //Feedback-aren balioa neurtu
  vout = (output * 3.3) / 1024.0; // Vout kalkulua elikadura
                                tentsioaren menpe
  float output2 = analogRead(feedback2); //Feedback2-ren balioa neurtu
  vout2 = (output2 * 3.3) / 1024.0; // Vout kalkulua elikadura
                                tentsioaren menpe
  float output3 = analogRead(feedback3); //Feedback3-Ren balioa neurtu
  vout3 = (output3 * 3.3) / 1024.0; // Vout kalkulua elikadura
                                tentsioaren menpe
}
```

Bateria 4,2 V-era kargatu ahal izateko *vin* tentsioa kalkulatu beharko da, hau da, bateriaren poloetan dagoen tentsioa. Eguzki-plakaren korrantea kalkulatzeko, erresistentziaren muturretan tentsioa kalkulatu da, korrante neurgailua azaltzerakoan aipatu den bezala.

```
vin = vout / (R2/(R1+R2)); // Vin tentsio banatzailearen kalkulua
vin2 = vout2 / (R2/(R1+R2));
vin3 = vout3 / (R2/(R1+R2));
ain=((vin2-vin3)/0.22)*1000; //korrontearen kalkulua mA-tan
```

Orain, *vin* tentsioa kalkulatu izan eta gero PWM seinalearen lan-zikloa aldatuko da. Buck zirkuituaren diseinuan esan bezala bi NPN transistore erabiltzerakoan lan-zikloaren logika alderantz egiten da. Hortaz, *vin* tentsioa lortu nahi diren 4,2 V-ak baino txikiagoa bada lan-zikloa murriztu egingo da, eta 4,2 V-ak baino handiagoa bada lan-zikloa handituko da, bateriaren gehiegizko karga eta deskarga kontrolatuz. Azkenik, *analogWrite* funtzioa erabiliz PWM seinalea sortuko da.

```
//vin balioa 4.22 baino txikiagoa bada pwm seinalearean duty-cycle
txikitu
if (4.22 > vin){
  pwm = pwm-1;
  pwm = constrain(pwm, 1, 254);
}

//vin balioa 4.22 baino handiagoa bada pwm seinalearean duty-cycle
handitu
if (4.22 < vin){
  pwm = pwm+1;
  pwm = constrain(pwm, 1, 254);
}
analogWrite (PWM,pwm); //PWM seinalea sortu
```

Kodearekin bukatzeko proiektuan jarriko den 0,96 hazbeteko OLED pantailaren kodea azalduko da. Pantailan, bateriaren karga ehuneko eta zelula fotovoltaikoak ematen duen korrantea azalduko dira. Horretarako hurrengo kodea erabiliko da

```
if (digitalRead(Puls01)==HIGH){
  OLED(vin,ain);
}
```

Loop funtzioaren barruan, baldintza berri bat ipiniko da, pultsadore bat gaituta dagoen konprobatzen duena. Gaituta egonez gero, OLED funtzioari deituko zaio, jarraian azaltzen dena.

```
int ehunekoa

void OLED (float vin,float ain){

  ehunekoa=(100/(4.3-3.3))*(vin-3.3)//ehunekoaren kalkulua
  oled.clearDisplay(); // pantaila garbitu
  oled.setCursor(27,15); // 0,0 kordenatuetan
  oled.setTextSize(2); // testuaren tamaina 2
  oled.setTextColor(WHITE); //testuaren kolorea txuria
  oled.print(ehunekoa); //ehunekoa inprimatu
  oled.print(" %");
  oled.setCursor(35,48); // 35,48 koordenatuetan
  oled.setTextSize(2);
  oled.print(ain);
  oled.print(" mA");
  oled.drawRoundRect(15, 0, 88, 42,10, WHITE);//pila irudia marraztu
```

```
oled.fillRect(102,13,12,16,3,WHITE);
oled.drawRect(14, 44, 20, 20,WHITE); // Eguzki plaka irudia marraztu
oled.fillRect(16,46,4,4,WHITE);
oled.fillRect(22,46,4,4,WHITE);
oled.fillRect(28,46,4,4,WHITE);
oled.fillRect(16,52,4,4,WHITE);
oled.fillRect(22,52,4,4,WHITE);
oled.fillRect(28,52,4,4,WHITE);
oled.fillRect(16,58,4,4,WHITE);
oled.fillRect(22,58,4,4,WHITE);
oled.fillRect(28,58,4,4,WHITE);
oled.display(); //aurrekoa ikustarazi
delay(2000); //Bi segundoz pantaila piztuta izan
oled.clearDisplay(); //pantaila garbitu
oled.display();

}
```

Aurreko funtzioak, *vin* tentsioaren eta *ain* korrontearen balioak hartuko ditu. Lehenik eta behin, pantaila garbituko da eta jarraian tentsioaren ehunekoa eta korrontearen balioak pantailan aurkeztuko dira. Pilaren eta eguzki-zelularen irudia egiteko, errektangulu ezberdinak irudikatu dira, aurretik definitutako liburutegiek dituzten funtzioekin. Funtzio hauetan, errektangelua zer koordenatutan hasi behar den eta bere luzera eta lodiera finkatu behar dira. Azkenik, pantaila hiru segundoz piztuta egongo da eta berriz ere pantaila itzaliko da.

Hurrengo irudian pantailaren itxura ikus daiteke:



42. Irudia: OLED pantailaren adierazpena

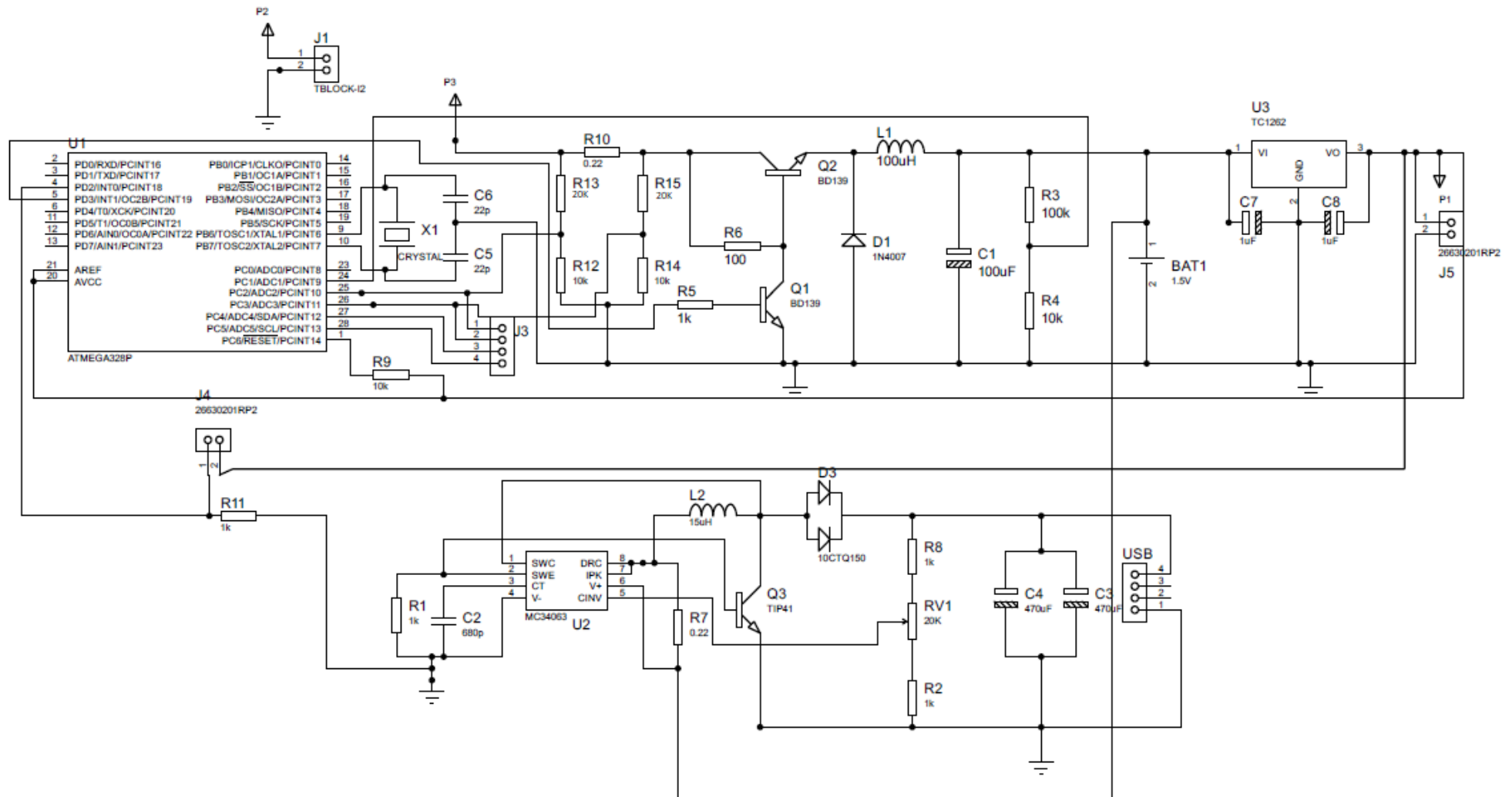
7. Prototipoaren fabrikazioa

Kargagailu fotovoltaikoaren diseinu osoa garatu eta gero, prototipoa fabrikatu behar da. Horretarako, alde batetik aurreko puntuko zirkuitu elektronikoak elkartu behar dira PCB bat eraikitzeko. Bestetik, PCB-a eta plaka fotovoltaikoa eramango dituen euskarria edo karkasa 3D inprimagailu bat erabiliz fabrikatuko da.

7.1 PCB diseinua

Esan bezala, diseinuko azpipuntuetan inplementatutako zirkuituak bateratu behar dira kargagailu osoa eraikitzeko. Simulazioetarako erabili den Proteus 8 programak diseinatutako zirkuituak PCB batera pasatzeko aukera ematen du.

Lehenik eta behin zirkuituak elkartu behar dira 43. irudian ikusten den moduan. Bertan, goiko aldean karga erregulatzaila ikus daiteke, bateria eguzki-zelularen bitartez kargatuko duena. Bestetik, eskuinaldean, tentsio erregulatzaila lineala agertzen da, mikrokontrolagailua era egoki batean elikatuko duena. Behealdean berriz, gailu elektronikoak kargatzea ahalbidetzen duen boost zirkuitua agertzen da eta azkenik, ezkerrean, bloke handi batean, ATmega 328P mikrokontroladorea ikusten da.

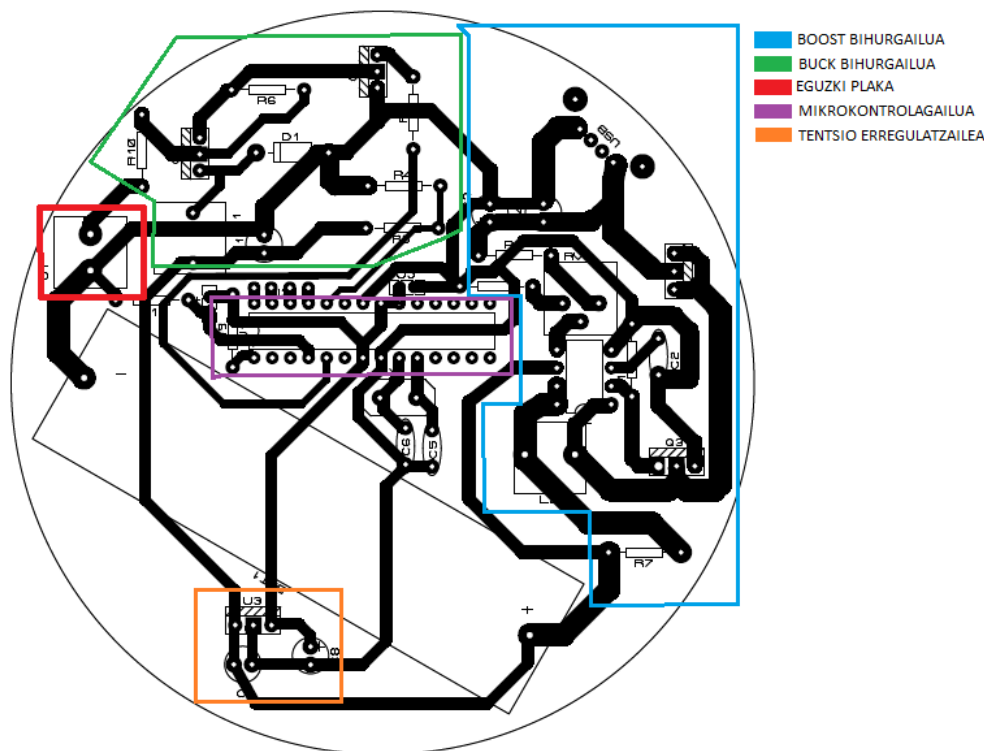


43. Irudia: Kargagailuaren eskema elektroniko osoa

Jarraian, PCB Layout erraminta aukeratuko da eta bertan lehenengo gauza, diseinatutako PCBaren limiteak zehaztea izango da. Behin limiteak definitutakoan osagaiak ipintzen hasi behar da. PCBa eraikitzeko estrategia ezberdinak daude, proiektu honek osagai asko dituenez, lehenik eta behin osagai handiena kokatu da, hots, bateria kokatuko den euskarria.

Osagai handiena kokatu eta gero, Buck zirkuituaren osagaiak kokatu dira eta osagaien arteko pista sortu. Mikrokontrolagailua plakaren erdialdean jarri da, bertatik konexio asko pasatzen direlako eta pista eraikitzea errazagoa delako. Horren ostean, boost zirkuituaren osagaiak kokatu eta hauen arteko pista sortu dira.

Hurrengo irudian, garatutako PCB-aren pisten eta osagaien Layout-a ikus daiteke. Kolorez, zirkuituaren atal garrantzitsuenak borobildu dira, eskemaren parte ezberdinak ezberdinduz.



44. Irudia: Diseinatutako PCBaren Layout-a

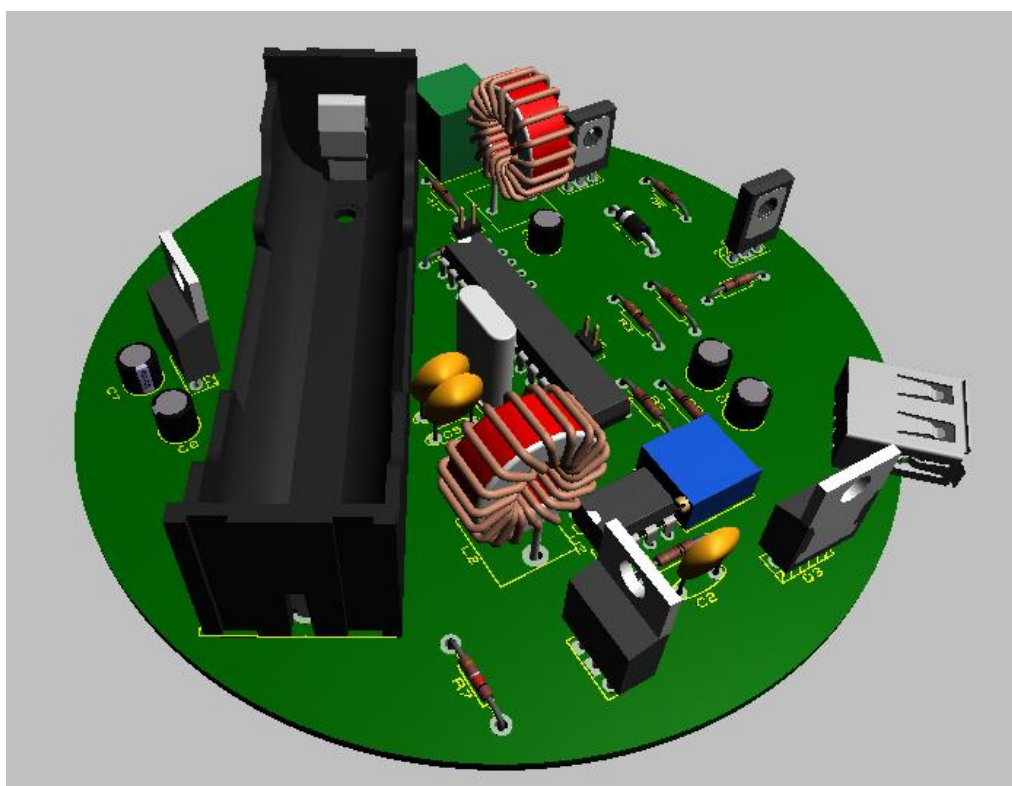
Aipatu beharra dago, pisten lodierak garrantzia handia duela zirkuitu inprimatutik pasatuko den korrontean. Hauek zenbat eta lodiagoak izan korronte gehiago pasatu ahalgo da. Hau kontuan hartu behar da Boost zirkuituan batez ere, izan ere, pista

batzuk 4 A-ko korronea jasan beharko dutelako. Proiektu honen pistak T50 eta T100 tamainen artekoak dira. Lodieraren unitateak thou-ak (th) dira, Erresuma Batuko sistema metrikoko unitatea. Bere baliokidea milimetroekiko ondorengoa delarik:

$$1 \text{ mm} = 39,37 \text{ th} \quad (34)$$

Gainera, programak laguntza moduan plaka eta osagaien 3D modeloa aurkezten du. Bertan, osagaiak nola dauden kokatuta eta beraien arteko espazioa ikus daiteke, errealitatean inplementatzerakoan plaka nola geldituko den aurreikusteko.

42. irudian PCBaren eta osagaien 3D modelo birtuala ikus daiteke.

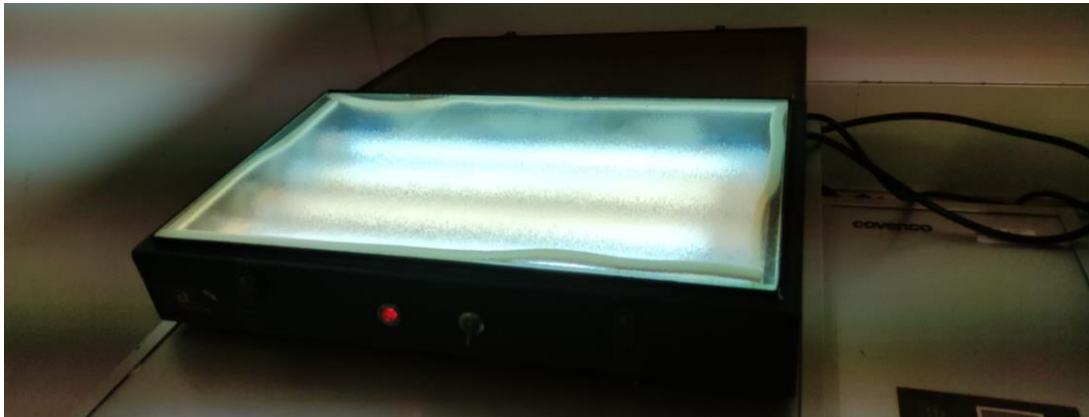


45. Irudia: PCBaren 3D modelo birtuala

Proteus 8 programarekin PCBaren pistak izango direnak ruteatu eta gero, software bidezko eredu hori plaka fisiko batean inplementatu behar da. Horretarako, prozesu bat jarraitu beharko da, amaieran PCB on eta erabilgarri bat izateko. PCBaren sorkuntza sei pauso garrantzitsuenetan ematen da.

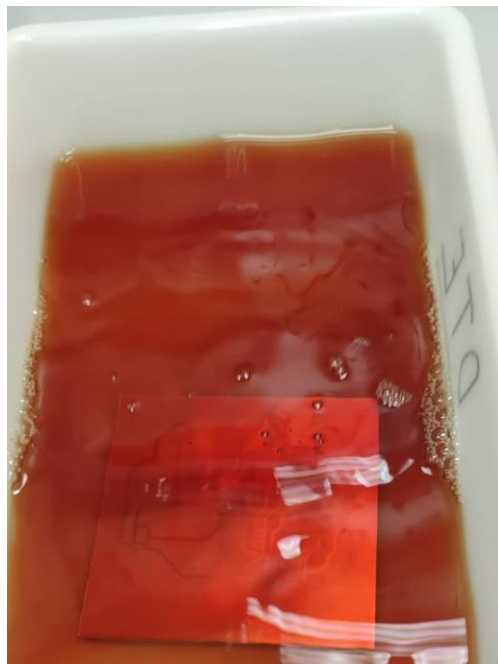
Lehenengo pausoan (ikusi 46. irudia), diseinatutako pistak A4 orri tamainako plastiko garden batean inprimatu behar dira, fotolitoa deiturikoa. Behin fotolitoa prest

dagoenean, pista horiek, plakan markatu edo inprimatu behar dira. PCBaren plakak fotosentikorak dira, hau da, plakaren gainazalean dagoen erretxina argiarekin disolbagarri egiten da. Hortaz, plaka fotolitoaren gainean jarriko da eta insoladora baten laguntzaz, fotolitoak PCBaren pistak izango direnak argitik babestuko ditu eta gainontzeko erretxina disolbagarri bihurtuko da. Prozesu honek lau eta bost minutu artean irauten ditu.



46. Irudia: Lehenengo pausoa: Insoladora erabiliz pistak plakan grabatu

Bigarren pausoa (ikusi 47. irudia), disolbagarria den erretxina plakatik kendu beharko da, horretarako likido errebeladorean sartu beharko da. Pixkanaka, hauts moduko bat agertuko da likidoan, horrek erretxina kentzen ari dela esan nahiko du.



47. Irudia: Bigarren pausoa: Errebeladorearekin erretxina disolbagarria kendu

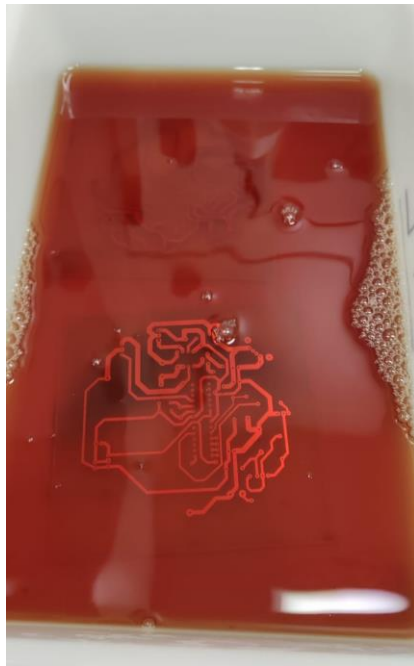
Behin erretxina kendu denean, plaka lehortu beharko da hirugarren pausoa egin baino lehen. Hirugarren pausoa arriskutsuena da (ikus 48. irudia), izan ere, erretxinadun geruza kendu eta gero plakaren kobrea agerian geratzen da. Kobre hau kentzeko azido klorhidriko eta hidrogeno peroxido (ur oxigenatu) disoluzio bat erabiliko da, erlazioa 2:1 izango dena, hau da, bi parte azido hidrogeno peroxido parte bakoitzeko.

Prozesu honetan kontu handiz ibili behar da, azidoaren lurrinak kaltegarriak baitira osasunerako, hortaz, segurtasun neurriak hartu beharko dira eta plaka kontu handiz manipulatu.

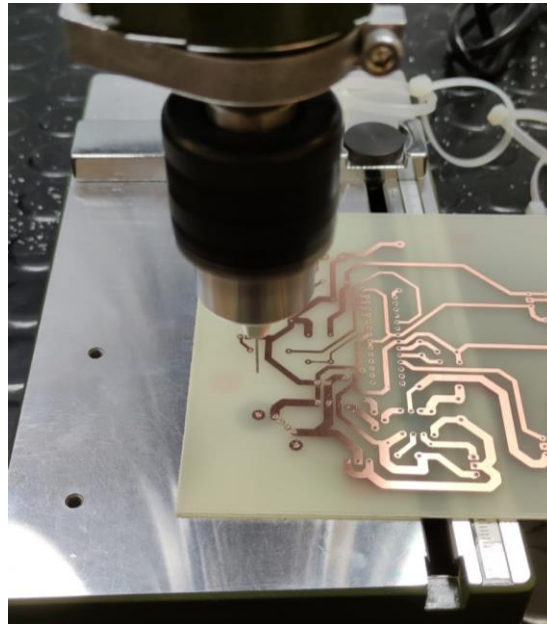


48. Irudia: Hirugarren pausoa: Disoluzio azidoarekin soberan dagoen kobrea kendu

Plaka disoluzio azidoan sartu eta gero, kobredun pistak agerian daudela ikusiko da, baina ezin da ahaztu, fotolitoak pista horiek aurretik babestu dituela. Hortaz, laugarren pausoa (ikus 49. irudia) pista horiei erretxina kendu beharko zaie, horretarako, berriz ere lau-bost minutu artean insoladoran ipiniko da gero, berriz ere errebeladore likidoan sartzeko. Lau pauso hauek egin eta gero PCBaren pistak sortuta egongo dira.



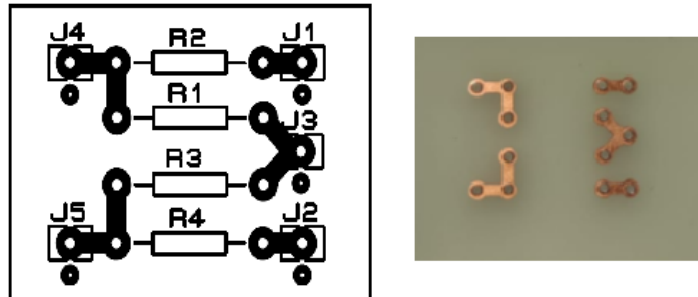
49. Irudia: Laugarren pausoa: Insoladoran sartu eta gero, pisten gaineko erretxina kendu Bostgarren pausoa (ikus 50.irudia), osagai desberdinak PCBan sartu ahal izateko, koroak (zuloak) egin beharko dira. Horretarako, mahaiko taladro bertikal bat erabiliko da, eta banan-banan PCBa zulatu egingo da.



50. Irudia: Bostgarren pausoa: PCBaren koroak zulatu

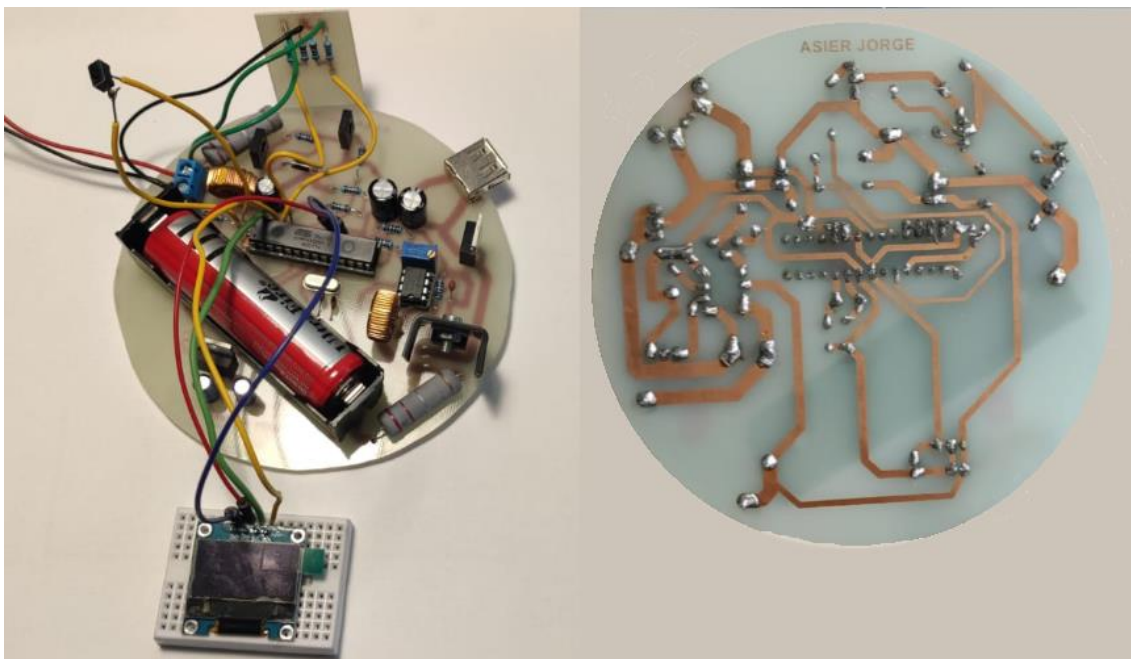
Bukatzeko, osagai guztiak ipini eta gero, PCBra soldatu beharko dira, horretarako eztainua erabiliko delarik.

Prozesu berdina jarraituz, PCB txiki bat egin da, bi tentsio zatitzaileekin, eguzki zelulak ematen duen korrontea neurtzeko. Tentsio zatitzaile hauen irteerak mikrokontrolagailuko pin analogikoetara konektatuko dira, programazioan aipatu den bezala.



51. Irudia: Tentsio zatitzailearen layout-a ezkerrean eta fabrikatutako PCBa eskuinean.

Hurrengo irudian, PCBaren azkeneko pausoa ikus daiteke. Alde batetik, osagaiak nola geratzen diren eta bestetik, pistak eta soldadura gunekak.

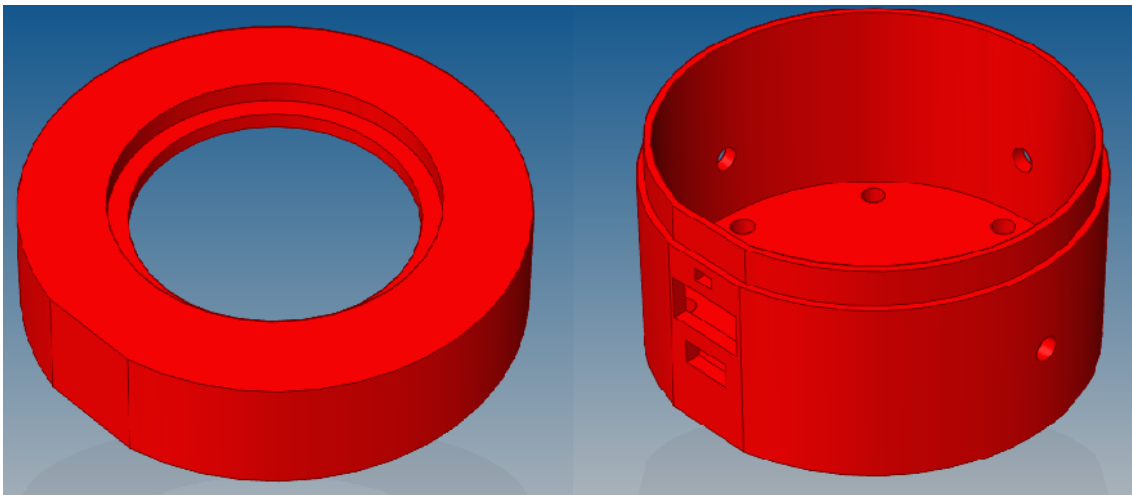


52. Irudia: PCB fabrikazioaren emaitza alde bietatik.

7.2 Karkasaren diseinua

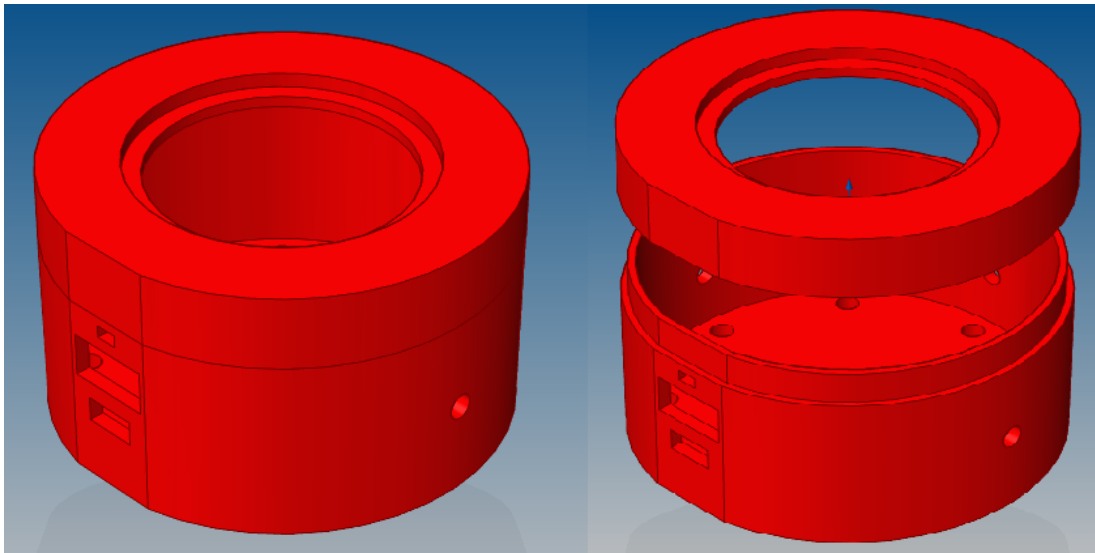
Diseinuarekin bukatzeko, implementatutako zirkuitu, eguzki-plaka eta bateria estalki batean sartuko dira, prototipoa eramangarria eta erosoagoa izateko. Horretarako, 3D inprimagailu bat erabiliz karkasa fabrikatuko da. Honen diseinua egiteko CAD programa bat erabili da, Solid Edge hain zuzen.

Karkasa bi piezaz osatuta egongo da, alde batetik gorputza izango dena, bertan, diseinatutako PCBa, gailu elektronikoak kargatzeko USB portua, OLED pantaila eta azkeneko hau piztuko duen pultsagailua egongo dira. Bestetik, PCBa estaltzeko eta babesteko tapa bat diseinatu da. Bertan bateria kargatuko duen eguzki zelula kokatuko da. Hurrengo irudian diseinatutako karkasaren gorputza eta tapa ikus daitezke.



53. Irudia: Karkasaren tapa eta gorputza Solid Edge-n diseinatuta

Azkenik, hurrengo irudian estalki osoa eta bi piezen arteko lotura ikus daiteke, bi piezek bat egiten dutela konprobatuz. Gorputzak dituen zuloak, barne zirkuituaren beroa errazago ateratzeko pentsatuta daude.



54. Irudia: Karkasa bi piezak bateratuta

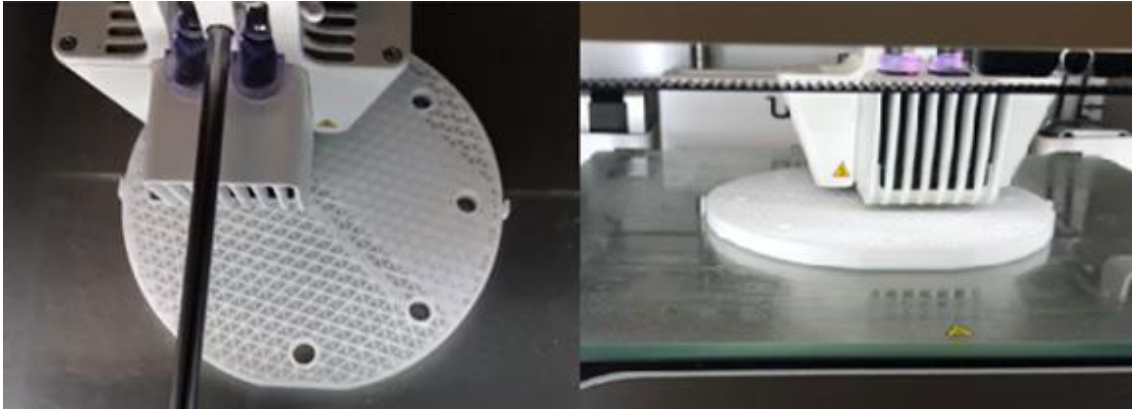
Behin karkasa diseinatu eta gero, 3D inprimagailu batean sortu beharko da. Horretarako, pieza bakoitza banan-banan eraikiko da. Kasu honetan, Inventor programa erabili da sortutako pieza, 3D inprimagailurekin bateragarria den artxibo mota eratzeko.

Inprimatzerako garaian, hainbat parametro definitu behar dira. Alde batetik, eta garrantzitsuena, materiala aukeratzea izango da. Kasu honetarako, PLA (azido polilaktikozko filamentua) aukeratu da. Merkea izateaz gain, material aproposa da inprimagailu hauentzako, izan ere, oso erraz, bigundu eta moldeatzen delako. Gainera, lehengai naturaletatik eratorritako polimero sintetikoa da, aldi berean, konpostagarria dena.

Beste parametroek piezaren eraikuntzarekin zerikusia daukate. Lehenengoa, kapa bakoitzean gaineratuko den material kantitatea izango da, honek amaierako itxuran eta akaberan eragina izango duelarik. Zenbat eta material gehiago gaineratu pasada bakoitzean, emaitza okerragoa izango da. Kasu honetarako, 0,1 mm geruzako gehitzea akordatu da, emaitza fin bat lortuz. Bestetik, piezaren barnea nola eta zer portzentajejan beteko den erabaki behar da. Piezak indar eta pisu asko jasan behar ez duenez, %30eko barne betetzea definitu da, triangelu formak osatuz, pieza zurrunagoa izan dadin.

Beharrezko artxiboa sortzerakoan, 3D inprimagailura eramaten da. Lehenik eta behin, 3D inprimagailua kalibratu eta filamentua zein pieza kokatuko den plaka, berotu beharko dira. Behin prestakuntza bukatuta, materiala gaineratzen hasten da.

Hurrengo irudian, piezaren eraketa 3D inprimagailuak nola egiten duen ikus daiteke:



55. Irudia: Karkasaren eratze prozesua 3D inprimagailua erabilia

Prozesu luzea izan ohi da, akabera ona lortu nahi bada. Kasu honetan karkasaren tapak 19 ordu behar izan zituen eta karkasaren gorputzak 25 ordu inguru. Hurrengo irudian karkasaren emaitza ikus daiteke, bi piezek bata bestearekin ongi bat egiten dutela ziurtatuz.



56. Irudia: Karkasa osatzen duten piezak

8. Prototipoaren funtzionamenduaren egiaztapena

Tresna elektronikoentzako kargagailu fotovoltaikoaren atal guztiak garatu eta gero, honen funtzionamendua ziurtatu behar da, hau baita lanaren helburu nagusia. Hau egiaztatzeko hainbat aspektu hartuko dira kontuan, hala nola, eguzki plakaren funtzionamendu egokia, tresna elektronikoak kargatzeko gaitasuna edota OLED pantailaren funtzionamendua.

Lehenik eta behin, erositako eguzki-zelularen egokitasuna ziurtatu da. Espezifikazioen arabera 6,6 V-eko zirkuitu irekiko tentsioa dauka eta 350 mA-ko zirkuitu laburreko korronea. Multimetraoa erabilia hainbat proba egin eta gero, zirkuitu irekiko tentsioa 6,9 V ingurukoa dela konprobatu da eta zirkuitu laburreko korronea aldiz, espezifikazioak baino zerbait txikiagoa, 310 mA-koa hain zuzen.

Bestetik, diseinatutako korrone neurgailuaren zehaztasuna eta egokitasuna konprobatuko da. Horretarako, eguzki-zelula jarri ordez, sarrerako tentsio bezala elikadura iturri bat erabili da, bertan, momentuoro ematen ari den korronea ikus daitekeelako. Korronearen neurketa guztiz zehatza ez den arren, benetako balioetatik nahiko gertu geratzen da. Errorearen zergatia erabilitako erresistentzien tolerantzietan egon daiteke, erresistentziek ez dutelako balio izendatu zehatza. Esan beharra dago, korronea zenbat eta handiagoa izan, errorea txikiagoa dela antzeman da. Hurrengo irudian, konprobaketaren emaitza ikus daiteke, 10 mA-ko errorea egonda kasu honetan.

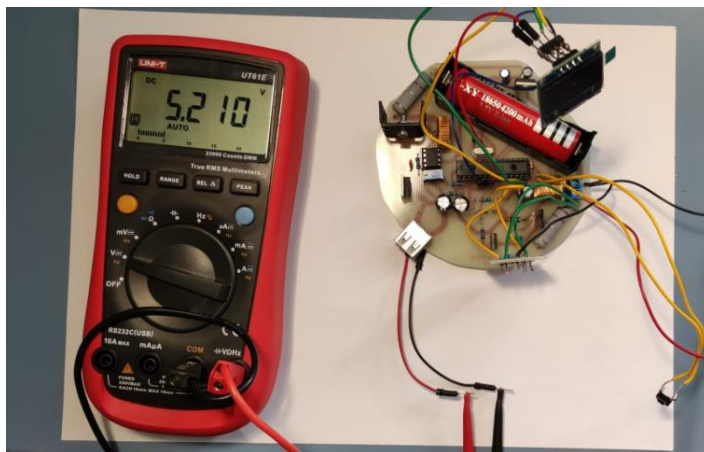


57. Irudia: Korrone neurgailuaren funtzionamendu azterketa

Korronte neurgailua konprobatu eta gero, eguzki-zelula konektatu da elikadura iturria beharrez. Errorea dagoela jakinda ere, bateria zenbat korronterekin kargatzen den jakin daiteke. Hurrengo irudian, egun eguzkitsu batean, bateria 130 mA-ko korrontearekin gutxi gorabehera kargatzen dela ikusten da, buck zirkuitua era egoki batean funtzionatzen duela ziurtatuz.

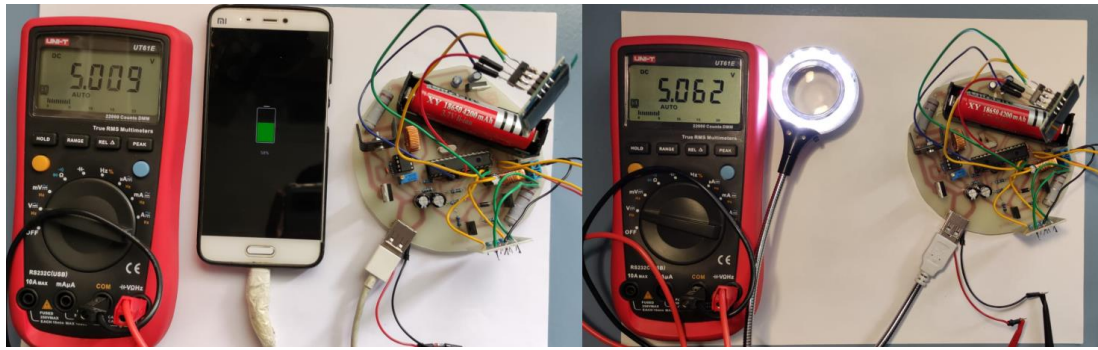
Bestetik, boost zirkuitua ziurtatu behar da. Alde batetik, kargarik gabe dagoenean bere irteerako tentsioa zein den konprobatuko da, eta gero, hainbat gailu jarriko dira tentsio erorketarik dagoen edo ez ikusteko, eta nola ez, hauek kargatzen diren ikusteko.

Karga gabe dagoenean, hau da, ezer entxufatuta ez dagoenean, 5,2 V ematen ditu irteeran, (ikusi 58. irudia). Tentsio hau, potentziometroarekin handitu edo txikiagotu daiteke eta egokia izaten da 5 V baino pixka bat gehiago ematea, karga dagoenean dauden tentsio galera txikiak konpentsatzeko.



58. Irudia: Boost zirkuituaren funtzionamendu azterketa karga gabe

Kargarekin berriz, tentsioa pixka bat erortzen dela antzeman da, baina beti ere 5 V baino gehiago lortuz. Hurrengo irudian, LED lanpara txiki bat eta mugikor bat ikus daitezke. Lanparak argitasun maximoa ematen du USBra konektatzerakoan, eta mugikorra era egokian kargatzen dela konprobatu da.



59. Irudia: Gailu ezberdinen karga prozesuaren funtzionamenduaren azterketa

Bukatzeko, PCB osoa diseinatutako karkasan sartuko da, dena bateratuta egoteko eta guztia batera funtzionatzen duela ikusteko. Aipatu beharra dago, bateriaren ehunekoa ezer entxufatuta ez dagoenean konprobatzea egokiago dela, izan ere, zerbait konektatzerakoan bateriaren tentsioa dezente erortzen da, balio esanguratsua eman gabe.

Hurrengo irudian, prototipo osoa muntatuta dagoenean duen itxura ikus daiteke, eguzki argirik ez dagoenean eta eguzki argia dagoenean. Argia dagoenean, eguzki zelulak funtzionatzen duela ikusten da, korrante neurgailuak kalkulaturakointentsitatea OLED pantailan ikustarazten delako.



60. Irudia: Tresna elektronikoentzako kargagailuaren prototipoa

Proba guztiak egin eta gero, diseinatutako prototipoaren funtzionamendu egokia konprobatu eta bermatu da.

9. Gantt diagrama

Atal honetan, gradu amaierako lan hau burutzeko jarraitutako planifikazioa azalduko da. Antolakuntza hau zeregin ezberdinetan banatu denez, eginbehar hauen helburuak eta aurkeztutako dokumentu, simulazio edo eta inplementazio fisikoa azalduko dira. Azkenik, Gantt-en diagrama aurkeztuko da, aurretik aipatutako zeregin guztiak denboran zehar izan duten bilakaera eta iraupena era grafiko batean ikus daitezten.

Helburua: Gradu amaierako lanaren gaia finkatu, planifikazio orokorra egin eta hasierako egitura tutorearekin adostea.	
Aurkeztekoa: Lan idatziak izango dituen puntu eta azpipuntuen zirriborria.	
1. Zeregina	1.1 Helburua: Gaiaren finkatzea.
	Azpizeregina Aurkeztekoa: Bilera baten bitartez lanaren norainokoa zehaztea.
1.2	Helburua: Kargagailu fotovoltaikoaren funtzionamendua aztertu honen atalak ulertzeko.
	Azpizeregina Aurkeztekoa: Lanaren metodologiaren zirriborria.
Helburua: Dokumentuaren formatua zehaztu eta lana dokumentatzen hasi.	
Aurkeztekoa: Memoria teknikoaren lehenengo hiru puntuak.	
2. Zeregina	2.1 Helburua: Proiektuaren helburuak zehaztea.
	Azpizeregina Aurkeztekoa: Memoria teknikoa. Helburuak.
	2.2 Helburua: Kargagailua modulu ezberdinetan zatitzea, diseinua errazagoa egiteko.
Azpizeregina Aurkeztekoa: Modulu ezberdinen eskema grafikoa eta memoria teknikoa.	
2.3 Helburua: Diseinua egin ahal izateko beharrezko oinarri teoriko guztiak biltzea eta dokumentatzea.	
Azpizeregina Aurkeztekoa: Memoria teknikoa. Oinarri teorikoak.	

3. Zeregina **Helburua:** Kargagailuaren moduluak definitu eta gero, modulu bakoitzean egon daitezkeen osagai garrantzitsuenen alternatiben analisia egitea.

Aurkeztekoa: Memoria teknikoak. Alternatiben analisia.

Helburua: Bateria karga erregulatzailearen Buck zirkuitua diseinatzea.

Aurkeztekoa: Buck zirkuituaren kalkulu teorikoak, simulazioa eta prototipaketa fisikoa.

4.1 **Helburua:** Buck zirkuituko osagaien diseinu teorikoa eta simulazioa.

4.1 **Azpizeregina** **Aurkeztekoa:** Simulazio emaitzak eta Buck zirkuituaren behe mailako diseinua.

4.2 **Helburua:** Inplementazio fisikoa egin eta simulazio emaitzekin alderatu.

4.2 **Azpizeregina** **Aurkeztutakoa:** Inplementazioaren emaitzak laborategian.

4.3 **Helburua:** Osagaien ezaugarriak aipatu eta Buck zirkuitua dokumentatu.

4.3 **Azpizeregina** **Aurkeztutakoa:** Memoria teknikoak. Diseinua. Karga erregulatzailea.

Helburua: Gailu elektronikoak kargatuko dituen Boost zirkuitua diseinatzea.

Aurkeztekoa: Boost zirkuituaren kalkulu teorikoak, simulazioa eta prototipaketa fisikoa.

5.1 **Helburua:** Boost zirkuituaren diseinu teorikoa eta simulazioa egitea.

5.1 **Azpizeregina** **Aurkeztekoa:** Kalkulu eta simulazioen emaitzak mikrokontrolagailua erabilia eta MC34063A erabilia.

5.2 **Helburua:** Inplementazio fisikoa egin eta simulazio emaitzekin alderatu.

5.2 **Azpizeregina** **Aurkeztutakoa:** Inplementazioaren emaitzak laborategian.

5.3 **Helburua:** Osagaien ezaugarriak aipatu eta Boost zirkuitua dokumentatu.

5.3 **Azpizeregina** **Aurkeztutakoa:** Memoria teknikoak. Diseinua. DC/DC Boost bihurgailua.

6. Zeregina

Helburua: ATmega 328P mikrokontrolagailua programatu eta funtzionamendua ziurtatu.

Aurkeztekoa: Memoria teknikoak. Diseinua. ATmega 328P programazioa.

Helburua: PCBaren software bidezko diseinua egin, PCB fisikoa eraiki eta osagaiak soldatu.

Aurkeztekoa: PCBaren pisten eta osagaien layout-a eta prototipoaren funtzionamendua.

7. Zeregina

7.1

Azpizeregina

Helburua: Proteus 8 programaren bidez PCBa ruteatu eta osagaiak kokatu.

Aurkeztekoa: PCB layouta.

7.2

Azpizeregina

Helburua: PCBa tutotearen laguntzarekin dagozkion pausoak jarraituz laborategian nola eraikitzen den ikasi.

Aurkeztutakoa: PCB plaka bukatua.

7.3

Azpizeregina

Helburua: Osagai guztiak soldatu eta funtzionamendua ziurtatu.

Aurkeztutakoa: Osagaiak PCBan soldatuta eta funtzionamendu egokia erakutsi. Memoria teknikoak. Diseinua. PCB diseinua.

8. Zeregina

Helburua: Karkasa Solid Edge programa erabiliz diseinatu eta 3D inprimagailu batekin karkasa eraiki.

Aurkeztekoa: 3D karkasa. Memoria teknikoak. Diseinua. Karkasaren diseinua.

9. Zeregina

Helburua: Proiektua aurrera eramateko aurrekontua egin eta lortutako emaitzekin ondorioak atera.

Aurkeztekoa: Memoria teknikoak. Planifikazioa. Aurrekontua. Ondorioak.

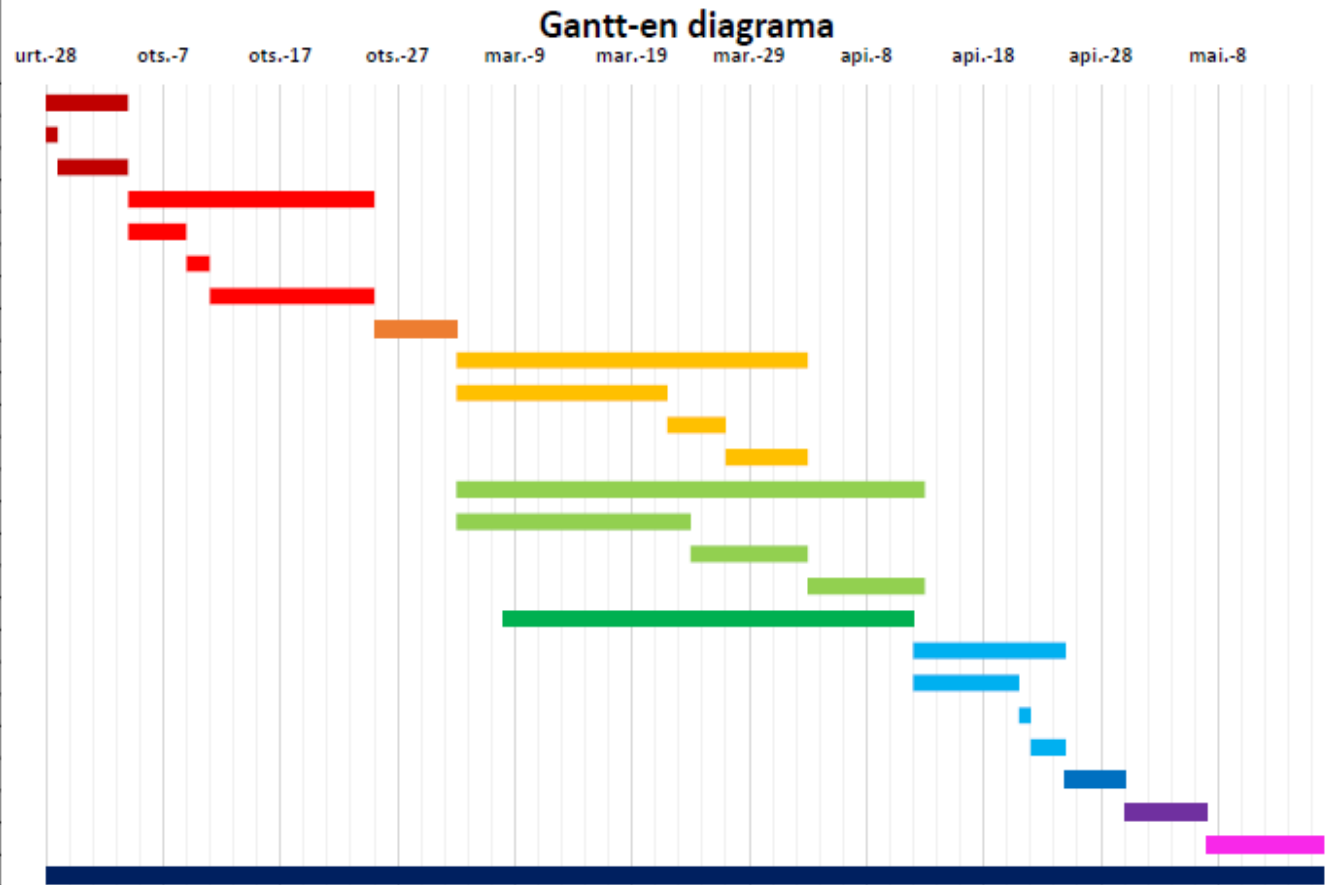
10. Zeregina

Helburua: Prototipoaren funtzionamendu eta osagaien kokapen egokia ziurtatu.

Aurkeztekoa: Amaierako prototipoa.

Hurrengo irudian proiektuaren garapenaren Gantt-en diagrama ikus daiteke.

	Zereginaren izena	Iraupena	Hasiera	Amaiera
1	LANAREN ANTOLAMENDUA	7 egun	urt.-28	ots.-4
1.1	Gaia finkatu	1 egun	urt.-28	urt.-29
1.2	Egitura eta metodologia	6 egun	urt.-29	ots.-4
2	LANAREN DOKUMENTAZIOA	21 egun	ots.-4	ots.-25
2.1	Helburuak	5 egun	ots.-4	ots.-9
2.2	Moduluak	2 egun	ots.-9	ots.-11
2.3	Oinarri teorikoak	14 egun	ots.-11	ots.-25
3	ALTERNATIBEN ANALISIA	7 egun	ots.-25	mar.-4
4	KARGA ERREGULATZAILEA	30 egun	mar.-4	api.-3
4.1	Diseinu teorikoa eta simulazioa	18 egun	mar.-4	mar.-22
4.2	Inplementazio fisikoa	5 egun	mar.-22	mar.-27
4.3	Buck zirkuituaren dokumentazioa	7 egun	mar.-27	api.-3
5	DC/DC BOOST BIHURGAILUA	40 egun	mar.-4	api.-13
5.1	Diseinu teorikoa eta simulazioa	20 egun	mar.-4	mar.-24
5.2	Inplementazio fisikoa	10 egun	mar.-24	api.-3
5.3	Buck zirkuituaren dokumentazioa	10 egun	api.-3	api.-13
6	ATMEGA 328P PROGRAMAZIOA	35 egun	mar.-8	api.-12
7	PCB DISEINUA	13 egun	api.-12	api.-25
7.1	PCB Layout	9 egun	api.-12	api.-21
7.2	PCB eraiki	1 egun	api.-21	api.-22
7.3	PCB eta osagaiak soldatu	3 egun	api.-22	api.-25
8	KARKASA DISEINUA	5 egun	api.-25	api.-30
9	AURREKONTUA ETA ONDORIOAK	7 egun	api.-30	mai.-7
10	AMAIERAKO PROTOTIPOA	10 egun	mai.-7	mai.-17
	LANAREN GARAPENA	109 egun	urt.-28	mai.-17



61. Irudia: Gantt-en diagrama

10. Aurrekontua

Puntu honetan, proiektu honen diseinua, simulazio eta inplementazioa egiteari lotutako kostuak azaltzen dira. Kostu hauek ulergarriagoak egiteko, alde batetik giza baliabideen aurrekontua egingo da, eta bestetik beharrezko materialen aurrekontua.

Aldi berean, beharrezko materialen aurrekontua hiru azpipuntutan banatu da:

- Laborategiko tresna eta ekipamendua
- Software lizentzien aurrekontua
- Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua

10.1 Giza baliabideen aurrekontua

Azpipuntu honetan, proiektua gauzatzeko behar izandako giza baliabideen aurrekontua deskribatzen da. Giza baliabideak bi alderditan banatu dira, alde batetik, ingeniari juniorrak egindako proiektuaren azterketa, diseinua eta memoria teknikoaren idazketa eta bestetik, ingeniari seniorrak lanaren gainean egindako gainbegiratze eta zuzenketaren kontuak azaltzen dira.

5. Taula: Giza baliabideen aurrekontua

GIZA BALIABIDEEN AURREKONTUA				
GIZA BALIABIDE MOTA	KONTZEPTUA	ORDUAK	€/ORDU	PREZIOA GUZTIRA €
Ingeniari juniorra	Azterketa, diseinua eta inplementazioa	500	12	6000
	Memoria teknikoa egitea	100	12	1200
Ingeniari seniorra	Gainbegiratzea	50	25	1250
TOTALA				8.450,00 €

10.2 Beharrezko materialen aurrekontua

Jarraian, proiektuaren azterketa zein inplementazioa egin ahal izateko behar izandako laborategiko ekipamendu, software lizentzia eta material guztiek eragindako kostuak taula ezberdinetan azaltzen dira.

10.2.1 Laborategiko tresna eta ekipamenduaren aurrekontua

Laborategiko tresna eta material bakoitzaren prezioa agertzen bada ere, lan honetarako, material gehienak amortizatuta daude proiektua aurrera eraman baino lehen.

6. Taula: Laborategiko tresna eta ekipamenduaren aurrekontua

LABORATEGIKO TRESNA ETA EKIPAMENDUAREN AURREKONTUA				
MATERIALA	KONTZEPTUA	UNITATEA	€/UNITATE	PREZIOA GUZTIRA €
HP Pavilion x360	Ordenagailua	1	899,00	Amortizatuta
DC power supply HY3003-3	Elikadura iturria	1	139,99	Amortizatuta
Tektronix TDS2002C	Osziloskopioa	1	1750,00	Amortizatuta
JBC CD-2BQE	Soldadura estazioa	1	375,00	Amortizatuta
DSO Insoladora	Insoladora	1	1221,59	Amortizatuta
Ultimaker S3	3D inprimagailua	1	4174,50	Amortizatuta
Altzairuzko broka 0,8 mm	Broka	1	0,77	Amortizatuta
Altzairuzko broka 1 mm	Broka	1	0,77	Amortizatuta
Altzairuzko broka 1,2 mm	Broka	1	0,77	Amortizatuta
Altzairuzko broka 3 mm	Broka	1	0,89	Amortizatuta
TOTALA				Amortizatuta

10.2.2 Software lizentzien aurrekontua

Atal honetan, lanaren idazketa zein simulazioak egin ahal izateko software lizentzia ezberdinen kostuak aurkezten dira.

7. Taula: Software lizentzien aurrekontua

SOFTWARE LIZENTZIEN AURREKONTUA			
SOFTWARE LIZENTZIA	LIZENTZIA MOTA	€/UNITATE	PREZIOA GUZTIRA €
Microsoft Office 2019	Pro plus	14,9	14,9
Proteus 8.10	Profesional	Dohain	0
Solid Edge ST10	Ikaslea	Dohain	0
Arduino IDE	Orokorra	Dohain	0
TOTALA			14,90 €

10.2.3 Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua

Inplementazio fisikoari dagokien hardware eta osagai elektronikoen kostuak era ulergarriago batean azaltzeko, hiru azpipuntutan banatu da, aurretik garatutako moduluekin bat etorritz:

- a) Karga erregulatzaileren aurrekontua
- b) DC/DC boost bihurgailuaren aurrekontua
- c) PCB eta karkasaren aurrekontua

a) Karga erregulatzaileren aurrekontua

Jarraian, karga erregulatzaileren implementazio fisikoa egin ahal izateko beharrezko osagaien kostuak eta unitate kopurua agertzen dira. Karga erregulatzailera kontrolatzeko mikrokontrolagailua behar denez, aurrekontu honen barruan, mikrokontrolagailuaren funtzionamendurako beharrezko osagaiak sartu dira, bai eta honen elikadura zuzen eta konstantea bermatzen duen erregulatzaila lineala ere.

8. Taula: Karga erregulatzaileren osagaien aurrekontua

KARGA ERREGULATZAILEAREN OSAGAIEN AURREKONTUA				
OSAGAI	KONTZEPTUA	UNITATEA	€/UNITATE	PREZIOA GUZTIRA €
6V 2W Solar Panel	Eguzki zelula	1	1,78	1,78
ATMEGA 328P	Mikrokontrolagailua	1	1,82	1,82
BD139	NPN Transistorea	2	0,61	1,22
Ind 100 µH - 3A	Harila	1	0,798	0,798
OR22 5W	Erresistentzia	1	0,09	0,09
100 k 1/4 W	Erresistentzia	1	0,0019	0,0019
10 k 1/4 W	Erresistentzia	4	0,0019	0,0076
20 k 1/4 W	Erresistentzia	2	0,0019	0,0038
1 k 1/4 W	Erresistentzia	1	0,0019	0,0019
100 1/4 W	Erresistentzia	1	0,0019	0,0019
TC1262 3.3 VAB	Erregulatzaila lineala	1	0,62	0,62
XT49S16M VISHAY	16 MHz kristal osziladorea	1	0,65	0,65
Cap 22 Pf	Kondentsadore zeramikoa	2	0,0135	0,027
Cap 100 µF	Kondentsadore elektrolitikoa	1	0,09	0,09
Cap 1 µF	Kondentsadore elektrolitikoa	2	0,087	0,174
1N4007	Diodoa	1	0,162	0,162
KF120-2.54-2P	Terminal blokea	1	0,15	0,15
TOTALA				7,60 €

b) Boost bihurgailuaren aurrekontua

Aurreko puntuan egin den bezala, jarraian, proiektuaren beste modulu garrantzitsuenaren aurrekontua aurkezten da. Bertan, boost zirkuitua inplementatzeko beharrezko osagaien kostua eta kantitatea aipatzeaz gain, gainontzeko tresna elektronikoak kargatuko dituen bateria eta honen euskarria sartu dira.

9. Taula: Boost zirkuituaren osagaien aurrekontua

BOOST ZIRKUITUAREN OSAGAIEN AURREKONTUA				
OSAGAIA	KONTZEPTUA	UNITATEA	€/UNITATE	PREZIOA GUZTIRA €
18650 9900 mAh	Bateria Li-Ion	1	1,77	1,77
Ind 15 μ H	Harila	1	1,5	1,5
MC34063	Boost bihurgailua	1	0,121	0,121
USB-A	USB portua	1	0,101	0,101
0R22 5W	Erresistentzia	1	0,09	0,09
POT 50 k	Potentziometroa	1	0,28	0,28
1 k 1/4 W	Erresistentzia	3	0,0019	0,0057
TIP 41C	Erregulatzailer lineala	1	0,195	0,195
MBR3045CT	Schottky diodoa	1	0,145	0,145
Cap 680 pF	Kondentsadore zeramikoa	1	0,0135	0,0135
Cap 470 μ F	Kondentsadore elektrolitiko	2	0,092	0,184
Bero disipadorea	Bero disipadorea	2	0,24	0,48
TOTALA				4,89 €

c) PCB eta karkasaren aurrekontua

Azpipuntu honetan, PCBaren plaka ez ezik, hau egiteko beharrezko materialen kostuak aurkezten dira hurrengo taulan. Bestetik, karkasaren eraikuntzari buruzko gastuak ipini dira eta azkenik, OLED pantaila sartu egin da, hau, karkasan ipinita joango delako.

10. Taula: PCB eta karkasaren aurrekontua

PCB ETA KARKASAREN AURREKONTUA				
OSAGAIA	KONTZEPTUA	UNITATEA	€/UNITATE	PREZIOA GUZTIRA €
Kobrezko PWB 15X15 cm	PCB plaka	1	3,75	3,75
PLA filamentua 1,75mm 1 kg	3D inprimagailuko materiala	1	12	-
OLED 0,92"	Pantaila	1	1,52	1,52
Sakagailua	Sakagailua	1	0,12	0,12
Eztainua 60/40 100 g	Eztainu bobina	1	9,91	Amortizatuta
0,5 mm -25m Kable zurruna	Kable zurruna	1	4,63	Amortizatuta
Bungard rebeladorea	Rebeladore kimikoa	1	11,92	Amortizatuta
H ₂ O ₂ +HCl	Erasotzaile kimikoa 500 ml	1	13,54	Amortizatuta
TOTALA				5,39 €

Hortaz, hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua horrela geldituko litzateke:

11. Taula: Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua

HARDWARE ETA OSAGAI ELEKTRONIKOEN AURREKONTUA	
Karga erregulatuzailea	7,60 €
Boost zirkuitua	4,89 €
PCB eta karkasa	5,39 €
TOTALA	17,88 €

Bukatzeko, beharrezko materialen aurrekontua ondorengo taulan bateratuta ikus daiteke:

12. Taula: Beharrezko materialen aurrekontua

BEHARREZKO MATERIALEN AURREKONTUA	
Laborategiko tresnak eta ekipamendua	0,00 €
Software lizentziak	14,90 €
Hardware eta osagai elektronikoen aurrekontua	17,88 €
TOTALA	32,78 €

10.3 Aurrekontu totala

Azkenik, aurreko ataletan aztertutako gastu guztiak jarraian dagoen taula bakarrean bateratuko dira. Kontuan hartu behar da, aurreko kostu guztiak BEZ (Balio Erantsiaren Zerga) gabe kalkulatu direla, hortaz, behin gastu guztiak gehitu direnean ehuneko hori gehitu beharko zaio.

13. Taula: Aurrekontu totala

AURREKONTU TOTALA	
Giza baliabideak	8.450,00 €
Beharrezko materialak	32,78€
TOTALA	8.482,78 €
BEZ (%21)	1.781,38 €
TOTALA BEZ barne	10.264,16 €

Laburbilduz, tresna elektronikoentzako kargagailu fotovoltaiko proiektu honen aurrekontua 8482,78 €-koa izango da. Kontuan hartuz, % 21eko BEZa, 10.264,16 € behar izango dira proiektua aurrera eraman ahal izateko.

Aurrekontu osoaren balioa **hamar mila berrehun eta hirurogeita lau** eurokoa da.

11. Ondorioak

Lan honek energia fotovoltaikoz hornitutako tresna elektronikoentzako kargagailu bat diseinatzea eta inplementatzea zuen helburu nagusia. Kasu honetan, elikadura iturri gisa energia berriztagarria erabiltzeaz gain, sare elektrikoarekiko menpekotasuna ez izatea lortu da, edozein lekutan erabiltzeko aukera emanez.

Helburuen atalean aipatutako helburu teknikoei dagokionez, guztiak era batean edo bestean bete direla esan daiteke. Alde batetik, kargagailuak bere barnean duen bateria era eraginkor eta seguru batean kargatzea eta deskargatzea lortu da diseinatutako karga erregulatzailari esker. Gainera, prototipoari gaineratutako OLED pantailak informazio esanguratsua ematen du, bateriaren egoera edota eguzki zelularen funtzionamendua egokia den edo ez adieraziz, korrante neurgailuari esker.

Bestetik, graduan zehar landu ez diren hainbat software eta teknikak ikasi dira lana burutzerakoan. Proteus programa erabiliz, proiektuan zehar diseinatutako zirkuitu guztiak simulatu ahal izan dira, inplementazio fisikoa egin baino lehen akats gehienak ekidituz eta konponduz. Hori guztia gutxi balitz, PCBak egiteko aukera ematen du era erraz eta intuitibo batean.

Gainera, PCB baten fabrikatze prozesua nolakoa den ikasi da, diseinatutako zirkuitu guztiak bateratzeko aukera emanez, prototipoa erosoagoa eta ulergarriagoa bihurtuz. Bestalde, 3D piezak software bidez diseinatu eta inprimagailu berezi bat erabiliz hauek fisikoki nola eraikitzen diren ikusi da. Honekin guztiarekin, zirkuitu guztiak batera egoteak eta 3D inprimagailuarekin fabrikatutako karkasarekin, prototipoa era erraz batean eramangarria izatea lortu da, proiektu honen beste helburu bat lortuz.

Kargagailu honek bestetik, tresna elektroniko ezberdinak kargatzeko aukera ematen du, hala nola, mugikorak, aurikular eramangarriak, beste PowerBank edo bateria portatilak, etab.

Hala ere, proiektuan ere arazoak egon dira. Alde batetik, simulazioetan ongi joaten ziren zirkuitu batzuk fisikoki inplementatzean ez zuten era egoki batean funtzionatzen, adibidez, hasierako Boost zirkuituaren diseinuak. Diseinu honek, mikrokontrolagailua

erabiltzea zuen helburu, baina karga bat konektatzerakoan tentsioa gehiegi erortzen zen, kargak eskatzen zuen korrontea oso altua zelako. Proba asko eta osagai elektroniko ezberdinak probatu eta gero ez zen esperotako emaitza lortu, hortaz, espreski Boost zirkuitu bezala diseinatutako zirkuitu integratua erabiltzea adostu zen. Honekin, funtzionamendu egokia eta gailuak kargatzeko korronte nahikoa ematea lortu da.

Bestaldetik, helburu teknikoak ez diren arren, prototipoa garapen jasagarriko helburuekin bat egitea eta ekonomikoa izatea lortu nahi zen. Behin garatu eta gero, helburu horietariko asko bete direla esan daiteke, hala nola, energia garbia erabiltzen duen dispositiboa da. Gainera, ekoizpen arduratsua bultzatzen du, izan ere, kargagailu honekin hainbat tresna elektroniko energiaz hornitu ahal direnez, kargagailu konbentzionalak ekoiztu behar ez izatea ahalbidetzen du. Bukatzeko, karkasaren materiala konpostagarria dela gogoratu behar da, naturarentzat kaltegarria ez izatea eraginez.

Alderdi ekonomikoari begira, aurrekontu totala, nahiko altua izan arren, prototipo fisikoaren inplementazioa ez da oso garestia, hogei eurokoa gutxi gorabehera. Honek, edozein pertsonentzat eskuragarria izatea ahalbidetzen du, gizartean dauden desberdintasunak murriztuz.

Bukatzeko, helburu nagusiak bete diren arren eta prototipoak ongi funtzionatzen duen arren, etorkizunerako egin daitezkeen hainbat hobekuntza proposatu nahi dira. Alde batetik, aldi berean gailu bat baino gehiago kargatzeko aukera egotea USB irteera bat baino gehiago jarritz. Bestetik, korronte eta tentsio neurgailuen zehaztasuna hobetu daitezke erresistentzia finkoak jarri beharrean potentziometro doigarriak ipiniz. Azkenik, prototipoa pixkat txikiagoa egin daiteke beste bateria mota batzuk erabiliz, Li-Po bateriak adibidez, lauak direnak baino aldi berean era seguru batean kargatzeko arriskutsuagoak izanik.

12. Bibliografia

- [1] Red Electrica de España. *Las renovables alcanzan el 43,6% de la generación de energía eléctrica en 2020, su mayor cuota desde que existen registros*. 2021ko otsailaren 3an
<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/12/las-renovables-alcanzan-el-43-6-por-ciento-de-la-generacion-de-2020-su-mayor-cuota-desde-existen-registros> helbidetik eskuratua.
- [2] Agencia Europea de Medio Ambiente (2021). *La energía y el cambio climático*. 2021ko otsailaren 3an
<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-el-cambio-climatico> helbidetik eskuratua
- [3] Agenda 2030, Gobierno de España (2020) . *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. 2021ko otsailaren 3an
<https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/home.htm> helbidetik eskuratua.
- [4] IDEAM (2014). *Importancia De La Radiación solar*. 2021ko otsailaren 6an
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta> helbidetik eskuratua.
- [5] WIKIPEDIA. *Radiación Solar*. 2021ko otsailaren 6an
https://es.wikipedia.org/wiki/Radiación_solar helbidetik eskuratua.
- [6] Alonso Lorenzo J. A. SunFields Europe (2021). *Radiación Solar*. 2021ko otsailaren 8an
<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/> helbidetik eskuratua.
- [7] Energía Solar (2020). *Efecto Fotovoltaico*. 2021ko otsailaren 8an
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico> helbidetik eskuratua.
- [8] Ciencias de la Computación, Universidad de Chile (2021). *Celda Solar*. 2021ko otsailaren 8an
<https://users.dcc.uchile.cl/~roseguel/celdasolar.html> helbidetik eskuratua.
- [9] Auto Solar. *La curva de intensidad-voltaje y la de potencia-voltaje de un panel solar. El papel del regulador de carga*. 2021ko otsailaren 8an
<https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga> helbidetik eskuratua.
- [10] Auto Solar. *Paneles solares monocristalinos*. 2021ko otsailaren 8an
<https://autosolar.es/paneles-solares/paneles-solares-monocristalinos> helbidetik eskuratua.
- [11] Auto Solar. *Paneles solares policristalinos*. 2021ko otsailaren 8an
<https://autosolar.es/paneles-solares/paneles-solares-policristalinos> helbidetik eskuratua.

- [12] Implica-T Desarrollo Sostenible (2021). *Tipos de Paneles Solares*. 2021ko otsailaren 8an
<https://www.implica-t.com/tipos-de-paneles-solares/> helbidetik eskuratua.
- [13] Eco Fener (2021). *Tipos de Paneles Solares*. 2021ko otsailaren 24an
<https://ecofener.com/blog/tipos-de-paneles-solares/> helbidetik eskuratua.
- [14] AreaTecnología (2020) . *Regulador De Carga Solar*. 2021ko otsailaren 9an
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
helbidetik eskuratua
- [15] EcoSolar (2015). *El Regulador De Carga Solar*. 2021ko otsailaren 9an
<https://www.ecosolaresp.com/el-regulador-de-carga-solar/> helbidetik eskuratua.
- [16] WIKIPEDIA. *Batería (electricidad)* . 2021ko otsailaren 9an
[https://es.wikipedia.org/wiki/Batería_\(electricidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Batería_(electricidad)) helbidetik eskuratua
- [17] El Androide Libre. *Tipos de baterías en móviles: ventajas e inconvenientes*. 2021ko otsailaren 10ean
<https://elandroidelibre.elespanol.com/2018/12/tipos-de-baterias-moviles-ventajas-e-inconvenientes.html> helbidetik eskuratua.
- [18] PortatilMovil(2020). *CARGA DE BATERÍAS LI ION LOS MEJORES MÉTODOS DE CARGA*. 2021ko otsailaren 10ean
https://www.portatilmovil.com/blog/54_carga-baterias-li-ion.html helbidetik eskuratua.
- [19] Baterias de Litio. *Procesos de Carga*. 2021ko otsailaren 10ean
<https://www.bateriasdelitio.net/?p=51> helbidetik eskuratua.
- [20] Le Vapelier (2021). *El Vape y el Acus LiPo*. 2021ko otsailaren 10ean
<http://www.levapelier.com/es/las-baterías-de-lipo-a-la-lupa/> helbidetik eskuratua.
- [21] WIKIPEDIA. *Convertidor elevador*. 2021ko otsailaren 10ean
https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_elevador helbidetik eskuratua
- [22] Prometec (2021). *Fuentes de Alimentación Step Up Boost Converters*. 2021ko otsailaren 10ean
<https://www.prometec.net/boost-converters/> helbidetik eskuratua.
- [23] Bilboko Ingeniaritza Eskola, Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila, Potentzia Elektronikoa (2020). *DC/DC bihurtgailuak*.
- [24] HETPRO (2021). *Microcontrolador – qué es y para que sirve*. 2021ko otsailaren 10ean
<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/> helbidetik eskuratua.
- [25] López G. eta Margni S. (2003). *Funcionamiento de microcontroladores. Introducción al funcionamiento básico de microcontroladores PIC*.
- [26] Santos Pera J.A. eta Perez Manso A. (2008). 6. Kapitulua: Proiektuaren Sormena edo Bideragarritasuna. *Ingeniaritza Proiektuak. Proiektuaren teoria orokorra dokumentazio arautua eta kudeaketa*. Bilbon
- [27] AliExpress, Alibaba Group. 2021ko otsailaren 15ean
<https://es.aliexpress.com/item/32898239302.html> helbidetik eskuratua.

-
- [28] AliExpress, Alibaba Group. 2021ko otsailaren 15ean
<https://es.aliexpress.com/item/33004299331.html> helbidetik eskuratua.
- [29] AliExpress, Alibaba Group. 2021ko otsailaren 15ean
<https://es.aliexpress.com/item/4000633013564.html> helbidetik eskuratua.
- [30] BricoGeek. 2021ko otsailaren 15ean
<https://tienda.bricogeek.com/home/1135-bateria-lipo-1200mah-37v.html>
helbidetik eskuratua.
- [31] RS Online. *Microprocesadores*. 2021ko otsailaren 15ean
<https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/1310276/>
helbidetik eskuratua.
- [32] RS Online. *Microprocesadores*. 2021ko otsailaren 15ean
<https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/4671690/>
helbidetik eskuratua.
- [33] RS Online. *Componentes Electrónicos*. 2021ko maiatzaren
<https://es.rs-online.com/web/> helbidetik eskuratua.
- [34] RS Online. *Componentes Electrónicos*. 2021ko maiatzaren 26an
<https://es.rs-online.com/web/> helbidetik eskuratua.
- [35] Mouser Electronics. *Reguladores de Voltaje LDO*. 2021ko maiatzaren 26an
<https://www.mouser.es/ProductDetail/Microchip-Technology/TC1262-50VAB?qs=npqfqDPP3%2Fy2GSIQUA70qg%3D%3D> helbidetik eskuratua.