



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Disseny i implementació d'un convertidor CC/CC per a una aplicació solar fotovoltaica

MEMÒRIA
TREBALL FI DE GRAU

Autor: David Ruiz Gomez

Director: Víctor Manuel Suñé Socias

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Barcelona, 28 de Setembre del 2021

Jo declaro que,

el treball d'aquesta tesi és completament el meu propi treball,

cap part d'aquesta tesi de grau no s'extreu del treball d'altres persones sense donar-los crèdit.

S'han citat clarament totes les referències.

Entenc que una infracció d'aquesta declaració em deixa sotmès a les accions disciplinàries previstes per la Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTECH.

David Ruiz Gomez 24/09/2021

Índex

| | | |
|---------|---|----|
| 1. | Motivació | 1 |
| 2. | Objectius | 1 |
| 3. | Abast | 2 |
| 4. | Alguns dels problemes que presenta la generació d'energia elèctrica | 3 |
| 4.1. | La demanda d'energia elèctrica..... | 3 |
| 4.2. | El sistema de tarifació del consum domèstic..... | 4 |
| 4.3. | Solucions? | 5 |
| 5. | Fons d'energia renovables..... | 6 |
| 5.1. | Les fonts d'energia renovables a Espanya | 7 |
| 6. | Emmagatzematge de l'energia | 8 |
| 6.1. | Estudi de les diferents tecnologies d'emmagatzematge d'energia | 8 |
| 7. | Font d'alimentació sostenible..... | 11 |
| 7.1. | Descripció tècnica d'un panell solar | 11 |
| 8. | Bateries electroquímiques | 15 |
| 8.1. | Tipus de bateries electroquímiques | 15 |
| 8.2. | Selecció del tipus de bateria electroquímica | 19 |
| 9. | Control de càrrega d'una bateria Àcid-Plom..... | 22 |
| 9.1. | Tecnologia pel control de càrrega | 23 |
| 10. | Dispositiu d'emmagatzematge escollit..... | 26 |
| 11. | Dimensionat del Panell Solar | 31 |
| 11.1. | Panell solar escollit..... | 35 |
| 11.1.1. | Característiques principals del panell..... | 37 |
| 12. | Circuit Integrat | 40 |
| 12.1. | Bq2031 | 40 |
| 12.2. | LT3652..... | 46 |
| 12.3. | Elecció del controlador..... | 50 |
| 13. | Desenvolupament del disseny | 52 |
| 13.1. | Configuració del la BMS o controlador de càrrega..... | 53 |
| 13.2. | Elecció dels components | 65 |
| 13.3. | Simulació..... | 66 |
| 13.3.1. | LTSpice Panells Solars..... | 67 |
| 13.3.2. | LTSpice Bateria..... | 69 |
| 13.4. | Comprovació dels càlculs amb LTSpice | 70 |
| 14. | Execució del disseny | 83 |
| 14.1. | KiCad | 83 |
| 14.2. | Muntatge..... | 95 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 15. | Proves de Funcionament | 99 |
| 15.1. | Hipòtesis i recomanacions..... | 104 |
| 16. | Conclusions | 105 |
| 17. | Referències Bibliogràfiques | 106 |

Índex d'il·lustracions

| | |
|--|----|
| Il·lustració 1 de Mannan Singh. Duck Curve..... | 3 |
| Il·lustració 2 de PepeEnergy. Franges horàries amb la nova discriminació horària | 4 |
| Il·lustració 3 de Energia i Sociedad. Corba producció consum..... | 5 |
| Il·lustració 4 de Bester. Panells Solars..... | 6 |
| Il·lustració 5 de Conversation. Font d'energia Eòlica | 6 |
| Il·lustració 6 de ComoFunciona. Pressa Hidràulica..... | 6 |
| Il·lustració 7 de Acciona. Planta de biomassa..... | 7 |
| Il·lustració 8 de Piensa en Geotermia. Planta Geotèrmica..... | 7 |
| Il·lustració 9 de FOC. Gràfica actual any 2021 de la generació d'energia..... | 7 |
| Il·lustració 10 de Joan Rocabert UPC. Imatge visual de les diferents tecnologies avui en dia disponibles..... | 8 |
| Il·lustració 11 de ee. Planta de bombeig hidroelèctrica..... | 8 |
| Il·lustració 12 Joan Rocabert UPC. Sistema d'emmagatzematge d'energia per aire comprimit... | 9 |
| Il·lustració 13 de Joan Rocabert UPC. Procés de transformació de l'energia amb les bateries químiques..... | 9 |
| Il·lustració 14 de Maxwell. Màxim fabricant d'aquesta tecnologia..... | 9 |
| Il·lustració 15 de Joan Rocabert UPC. Sistema d'emmagatzematge tèrmic..... | 10 |
| Il·lustració 16 de BAINGA S.L. Panell Policristal·lí i monocristal·lí respectivament..... | 12 |
| Il·lustració 17 de SunFields. Localització de punts crítics en corbes Corrent/Potència..... | 13 |
| Il·lustració 18 de Areatecnologia. Corbes de potència /corrent en funció de la intensitat d'un panell de 220W..... | 14 |
| Il·lustració 19. Explicació visual d'una bateria àcid-plom per dins..... | 16 |
| Il·lustració 20 de CONECTROL S.A. Bateria d'àcid plom..... | 17 |
| Il·lustració 21 de culturacientífica. Composició de una bateria Ió-liti..... | 17 |
| Il·lustració 22 de Alibaba. Bateria de Ió-liti..... | 18 |
| Il·lustració 23 de DHgate. Bateria Niquel-Metall Hidrur | 18 |
| Il·lustració 24 de Joan Rocabert. Gràfic comparatiu de corbes de voltatge en funció de la capacitat..... | 21 |
| Il·lustració 25 de dcbBallester. Fases de tensió e intensitat en funció del temps de càrrega de una bateria àcid-plom..... | 23 |
| Il·lustració 26 de RI. Senyals modulars amb diferents temps de treball..... | 24 |
| Il·lustració 27. Zona de treball del controlador amb tecnologia PWM..... | 25 |
| Il·lustració 28. Bateria d'àcid plom utilitzada en el projecte..... | 26 |
| Il·lustració 29. Condicions de les proves de càrrega fetes per el fabricant per extreure els valors nominals..... | 27 |
| Il·lustració 30. Dibuix il·lustratiu sobre la pèrdua d'energia d'una bateria a altes intensitats..... | 27 |
| Il·lustració 31. Corbes de descàrrega extretes del full tècnic de la bateria..... | 28 |
| Il·lustració 32. Gràfic de càrrega extret del full tècnic del dispositiu..... | 29 |
| Il·lustració 33. Obtenció de la intensitat mínima quan la bateria esta completament carregada..... | 30 |
| Il·lustració 34 de ADRASE. Mapa solar de la península ibèrica..... | 32 |
| Il·lustració 35 de ADRASE. Mapa de la península ibèrica ampliat..... | 32 |
| Il·lustració 36 de SemanticScholar. Gràfic ESH..... | 33 |
| Il·lustració 37 de ADRASE. Irradiació mensual a la ciutat de Terrassa..... | 34 |
| Il·lustració 38 de Phaesun. Panells solars escollits..... | 36 |
| Il·lustració 39. Gràfic corrent-voltatge de dos panells en paral·lel..... | 38 |
| Il·lustració 40. Gràfic corrent-voltatge de dos panells en sèrie..... | 38 |
| Il·lustració 41. Esquema del xip BQ2031 | 40 |
| Il·lustració 42. Mode de càrrega del xip..... | 41 |
| Il·lustració 43. Algorisme de càrrega Two-steps Voltage..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Il·lustració 44. Llindars de temperatura. | 42 |
| Il·lustració 45. Configuració de SNS i TS. | 43 |
| Il·lustració 46. Configuració del voltatge de flotació de la bateria. | 44 |
| Il·lustració 47. Esquema de connexió del temporitzador. | 45 |
| Il·lustració 48. Regulació de freqüència de commutació. | 46 |
| Il·lustració 49. Esquemàtic del total de pins. | 48 |
| Il·lustració 50. Divisor de tensió en Vfb. | 49 |
| Il·lustració 51. Configuració Rsense. | 49 |
| Il·lustració 52. Configuració dels pins SW i BOOST. | 50 |
| Il·lustració 53. Mesures en mm del LT3652 (esquerra) i BQ2031(dreta) respectivament. | 51 |
| Il·lustració 54. Conexió del prototip. | 52 |
| Il·lustració 55. Disseny sense valors ni convertidor CC/CC. | 53 |
| Il·lustració 56. Divisor de tensió. | 53 |
| Il·lustració 57. Divisor de tensió en Vin_reg. | 54 |
| Il·lustració 58. Divisor de tensió SHDN. | 54 |
| Il·lustració 59. Divisor de tensió Vfb. | 54 |
| Il·lustració 60. Forward voltage a 10 mA del led Vermell. | 55 |
| Il·lustració 61. Configuració LEDS. | 55 |
| Il·lustració 62. Configuració timer. | 56 |
| Il·lustració 63. Configuració Intensitat del corrent màxim. | 56 |
| Il·lustració 64 de Instrumentació Electrònica UPC. Corbes de treball de la NTC i la RTD. | 57 |
| Il·lustració 65. Configuració NTC. | 58 |
| Il·lustració 66. Valors teòrics del disseny sense el convertidor CC/CC. | 59 |
| Il·lustració 67. Convertidor Buck. | 60 |
| Il·lustració 68. Regulador lineal i voltatge en borns de la càrrega. | 60 |
| Il·lustració 69. Càrrega i descàrrega del voltatge i corrent d'un condensador. | 61 |
| Il·lustració 70. Càrrega i descàrrega del corrent de l'inductor i voltatge en borns de la càrrega. | 62 |
| Il·lustració 71. Modes de conducció MCD (esquerra) i MCC (dreta) respectivament. | 62 |
| Il·lustració 72. Inserció sense valors del convertidor Buck CC/CC. | 63 |
| Il·lustració 73. Disseny del controlador i el CC/CC Buck amb valors ideals. | 64 |
| Il·lustració 74. Disseny del controlador amb els valors comercials. | 66 |
| Il·lustració 75. Modelat ideal de un PV. | 67 |
| Il·lustració 76. Modelat del PV 1D2R (nom tècnic del modelat) amb resistències paràsites. | 67 |
| Il·lustració 77. Disseny LTSpice dels PVs. | 67 |
| Il·lustració 78. Simulació extreta del disseny del PV. | 68 |
| Il·lustració 79. Modelat proposat per simular la bateria. | 69 |
| Il·lustració 80. Simulació RC a 25 ms. | 70 |
| Il·lustració 81. Mapa complet de la simulació. | 70 |
| Il·lustració 82. Voltatge Vin de 19.88v. | 71 |
| Il·lustració 83. Duty cycle del 57% en el costat esquerra del senyal. | 73 |
| Il·lustració 84. Arrissat de corrent de 224.7mA, senyal blava amb $I_{l,max}=1.093A$ i $I_{l,min}=868.96mA$ | 74 |
| Il·lustració 85. Duty cycle del 75% en el costat dret del senyal. | 75 |
| Il·lustració 86. Arrissat de corrent de 168.108mA, senyal blava amb $I_{l,max}=1.064A$ i $I_{l,min}=896.26mA$ | 76 |
| Il·lustració 87. Punts de treball dels càlculs establerts. | 77 |
| Il·lustració 88. Procés de tensió de la bateria. | 78 |
| Il·lustració 89. Càrrega Normal, LED blau encès i LED Vermell apagat. | 79 |
| Il·lustració 90. Error per excés de temperatura, LED blau i vermell en on. | 80 |
| Il·lustració 91. Esquemàtic complet del disseny del sistema en LTSpice. | 81 |
| Il·lustració 92. "Footprint" d'una resistència de orifici passant. | 83 |

| | |
|---|-----|
| Il·lustració 93. Disseny Esquemàtic PCB. | 84 |
| Il·lustració 94. Llistat de referències dels "footprints". | 85 |
| Il·lustració 95. Adaptador en físic i el seu disseny en "footprint". | 86 |
| Il·lustració 96. Cara superior (Top) de la placa PCB. | 87 |
| Il·lustració 97. Cara inferior (Bottom) de la PCB. | 88 |
| Il·lustració 98. Mapa Gerber de la capa superior (Top). | 89 |
| Il·lustració 99. Mapa Gerber de la cara inferior (Bottom). | 90 |
| Il·lustració 100. Mapa/llegenda del Trepants necessaris per a la realització de la impressió de la PCB. | 91 |
| Il·lustració 101. Vista 3D de la capa superior de la PCB. | 92 |
| Il·lustració 102. Capa inferior en 3D de la PCB. | 93 |
| Il·lustració 103. Projecció isomètrica de la PCB. | 94 |
| Il·lustració 104. PCB impresa per la UPC, cara superior (Top). | 96 |
| Il·lustració 105. Soldadura de la PCB en el laboratori. | 97 |
| Il·lustració 106. Cara Bottom del procés de soldadura. | 98 |
| Il·lustració 107. Placa de proves del controlador de càrrega. | 99 |
| Il·lustració 108. Placa de proves alimentada amb LED blau encès indicant que hi ha un procés de càrrega. | 100 |
| Il·lustració 109. Segon muntatge en placa de proves. | 100 |
| Il·lustració 110. Commutació del senyal i voltatge constant de la bateria a 12.7V. | 101 |
| Il·lustració 111. Proves utilitzant el "pack" de resistències en paral·lel. | 101 |
| Il·lustració 112. Instrumentació utilitzada al laboratori per realitzar les proves de monitorització. | 103 |

Índex de Taules

| | |
|---|----|
| Taula 1. Característiques a tindre en compte segons la família de bateries. | 16 |
| Taula 2. Dades extretes i agrupades de tota la recopilació d'informació i l'estudi de les bateries electroquímiques. | 20 |
| Taula 3. Avaluació de cada tecnologia segons el diferents criteris escollits. | 20 |
| Taula 4. Bateria Àcid Plom apropiada amb un 77% segons el VTP. | 20 |
| Taula 5. Dades generals extretes de la bateria. | 30 |
| Taula 6. Potència requerida dels panells per cada més de l'any. | 35 |
| Taula 7. Actualització de la Taula 6. | 36 |
| Taula 8. Especificacions del panell solar. | 37 |
| Taula 9. Configuració dels panells en Sèrie. | 37 |
| Taula 10. Configuració dels panells en Paral·lel. | 37 |
| Taula 11. Configuració del corrent mínim. | 44 |
| Taula 12. Repartició del temps que utilitza el temporitzador. | 45 |
| Taula 13. Sistema lògic del xip. | 48 |
| Taula 14. Resum i conclusions dels punts forts comentats. | 51 |
| Taula 15. Voltatge màxim i mínim segons la temperatura. | 56 |
| Taula 16. Especificacions dels components del Buck. | 64 |
| Taula 17. Valors normalitzats de les series E12 i E6. | 65 |
| Taula 18. Comparació de modelat simulat amb els valors dels panells. | 68 |
| Taula 19. Llistat de Material. | 82 |
| Taula 20. Especificacions principals de la PCB. | 86 |

1. Motivació

Avui en dia, la sostenibilitat en el món en general és un tema de caràcter preocupant, porta ja uns anys volent-se instal·lar en la societat per millorar el nivell de vida de les persones i del món en general. Les energies renovables estan creixent exponencialment cada vegada de manera més normalitzada en la societat.

En moltes comunitats de veïns o habitatges unifamiliars, en l'actualitat, ja es pot veure l'explotació d'aquests dispositius als terrats de les cases o als propis jardins en els casos de qui disposen de gran quantitat de terreny amb bones condicions de lluminositat. D'aquí uns anys, segons dades de IRENA (Agència Internacional d'Energies Renovables), per al 2050, s'espera que la capacitat acumulada d'energia solar a nivell mundial sigui dues i tres vegades superior a les d'ara, i és un aspecte motivador per a fer una recerca i entendre com funciona el procés per carregar una bateria mitjançant el sol.

Per aquest motiu, s'ha realitzat aquest treball d'investigació, que tracta d'entendre i dissenyar un dispositiu capaç de regular la càrrega de potència provinent d'un panell solar fotovoltaic, i fer-la arribar de manera correcta a un dispositiu d'emmagatzematge d'energia com és el cas d'una bateria d'àcid-plom i en un futur, poder-li treure partit a les múltiples aplicacions que ens dona l'electrònica de potència.

2. Objectius

- Estudi d'alguns dels problemes que presenta la generació d'energia elèctrica.
- Estudi de la generació d'energia solar mitjançant panells solars fotovoltaics.
- Estudi dels diferents sistemes d'emmagatzematge d'energia per tal d'escollir el més adequat i poder fer una correcta implementació del seu ús.
- Disseny i implementació d'un convertidor/regulador de càrrega mitjançant un panell solar i fer l'emmagatzematge de l'energia en una bateria electroquímica.

3. Abast

- Estudi d'alguns dels problemes que presenta la generació d'energia elèctrica.
- Estudi de la generació d'energia solar mitjançant panells solars fotovoltaics.
- Estudi dels diferents sistemes d'emmagatzematge d'energia.
- Selecció de la bateria.
- Dimensionat dels panells solars
- Anàlisi dels circuits integrats (CI) per fer el control de la càrrega de la bateria.
- Anàlisi d'un convertidor CC/CC.
- Disseny i simulació dels diferents components que intervenen en el procés de càrrega: bateria, panell Solar i CI amb el programa "LTSpice".
- Disseny de la PCB amb el programa "KiCad".
- Muntatge i soldadura d'una PCB i implementació en placa de proves.
- Conclusions i proves finals de funcionament.

4. Alguns dels problemes que presenta la generació d'energia elèctrica

La generació d'energia elèctrica presenta, entre d'altres i al nostre entendre, un triple problema.

En primer lloc, està basada encara en una part molt important en la transformació d'energies d'origen no renovable. Això té un impacte indiscutible a tots els nivells.

Un segon problema és la no homogeneïtat de la demanda d'energia elèctrica.

El tercer problema està relacionat amb el segon i és el sistema de tarifació amb discriminació horària del consum domèstic.

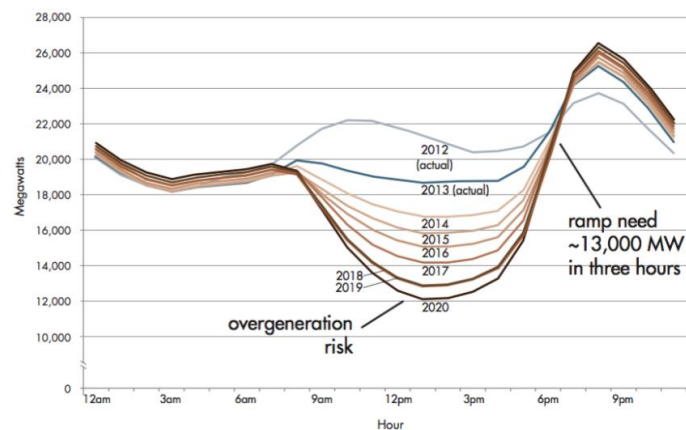
4.1. La demanda d'energia elèctrica

En el món actual la tecnologia avança considerablement i la població creix de manera exponencial. Això provoca que la demanda d'electricitat sigui un condicionant a tindre en compte, ja que també, aquesta demanda segueix pujant de manera exponencial amb les noves formes de convida en la societat, cada vegada amb l'energia elèctrica més present en les nostres vides. L'arribada del vehicle elèctric n'és un clar exemple.

La demanda d'energia elèctrica no és homogènia sinó que tendeix a concentrar-se en les dites hores puntes (per exemple, la finalització de la jornada laboral). Aquesta concentració pot provocar inestabilitats en el sistema de generació

El problema està en que la generació de l'energia per part de les centrals nuclears i de la resta de plantes de combustió, no és un fet fàcil de gestionar. Pel bon funcionament i una llarga vida útil de les indústries, estan obligades a estimar la demanda necessària d'energia requerida, i subministrar-la amb una producció constant, per a obtenir també una rendibilitat econòmica més elevada, i solucionar els pics de màxima demanda amb les energies renovables.

Quant la demanda d'energia és superior a la producció generada per les plantes, les empreses renovables poden subministrar l'energia necessària per abastir les necessitats, però llavors, quan passa al contrari, que la demanda és inferior a la producció, les centrals perden gran part l'energia sobrant, perquè no poden estar modificant constantment la quantitat d'energia que produeixen.



Il·lustració 1 de Mannan Singh. Duck Curve.

El canvi sobtat de passar d'una escassa demanda d'energia per part de les centrals de combustió, a estar obligades al moment de modificar la seva producció es nomena corba d'ànec i es mostra en la Il·lustració 1. Succeeix sobre les 6 de la tarda, quant les energies solars ja deixen de produir al seu màxim rendiment i la totalitat de la població comença a arribar a les seves cases, posen a carregar els automòbils, els aparells electrònics, a fer les feines de la casa i la demanda augmenta considerablement. Aquest fet, li provoca a les empreses subministradores tindre que augmentar la producció sobtadament, i provocar una inestabilitat greu a la xarxa elèctrica general, la qual cosa comporta alts costos i el propi desgast del material industrial (Mannan Singh 2018).

Com s'ha dit al començament, s'ha de tindre en compte que aquesta demanda anirà en augment, i és un problema que s'ha de solucionar o si més no pal·liar. Una de les mesures pal·liatives emprades, ha sigut obligar a la població a, suposadament, racionalitzar el consum domèstic d'energia, penalitzant, mitjançant el sistema de tarifació, el consum que es considera excessiu. Resta confirmar si és l'opció més adequada.

4.2. El sistema de tarifació del consum domèstic

Amb el recent inconvenient del canvi de tarifació en el rebut de la llum, es fa quasi impossible compaginar el treball i el descans personal amb una reduïda taxa de llum mensual, quan abans no es requeria d'un horari fixat per fer les feines de casa. Una vegada finalitzada la jornada laboral, les persones podien organitzar-se a la seva manera i poder després disposar del dia complet per destinar-ho a fer les activitats que més els hi interessava. Ara, en canvi, moltes vegades s'està subjecte a respectar les franges dels preus establerts pel govern i les companyies subministradores de llum, la qual cosa provoca un sobre estrès i una minoració del descans personal i col·lectiu (Tarifaluzhora 2021).

Però no hi havia una tarifa opcional amb una discriminació horària?

Fins el 1 de juny del 2021, aquesta tarifa de discriminació horària era opcional, Ara, aquesta tarifa és obligatoria per a la gran majoria dels consumidors.



Il·lustració 2 de PepeEnergy. Franges horàries amb la nova discriminació horària

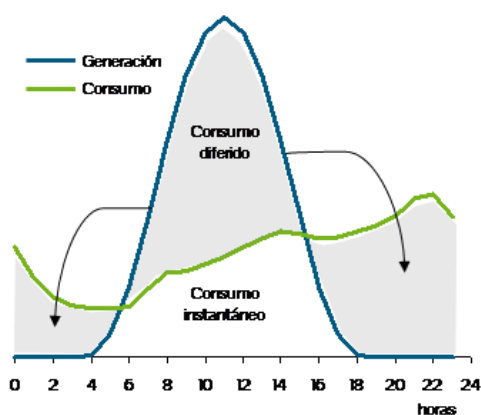
Hi ha tres franges horàries (Il·lustració 2). *Valle*, la franja horària més econòmica, *llano*, una mica més cara, i *punta*, la més cara.

La distribució dels preus està organitzada segons l'activitat de les persones. L'horari més econòmic (tarifa *valle*) està fixat per la nit, de 00h a 08h, que és quan les persones solen descansar. Per tant, si es vol que aquesta tarifa s'apliqui per als aparells de major consum en la franja horària més econòmica, no hi ha altre remei que reduir les hores de descans pròpies i, tenint en compte la contaminació acústica que molts d'aquests aparells de "gran consum" generen (per exemple, rentadores de roba), provoquen un malestar pel veïnat en general.

És un canvi on es tindrà que estudiar la seva ètica per part del govern i les companyies elèctriques, que són les més interessades en obligar a la població a canviar els hàbits de consum per tal de poder-se seguir lucrant al mateix ritme de fa uns anys.

4.3. Solucions?

Els tres problemes potser podrien si més no pal·liar-se augmentant significativament la generació d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables (solar fotovoltaica, eòlica, etc) i implantant sistemes d'emmagatzematge. Aquests sistemes actuarien com a buffer, deixant que la generació es dugués a terme quan les fonts ho permetessin (quan hi ha sol en el cas de l'energia solar fotovoltaica, quan fa vent en el cas de l'energia eòlica, etc) i que el consum es produís quan els usuaris ho necessitessin, sense haver de recórrer a una tarifació amb una discriminació horària del consum domèstic.



Il·lustració 3 de *Energia i Sociedad*. Corba producció consum.

Això es pot veure reflectit en el gràfic de la Il·lustració 3, es veu un rang horari de 00h a 24h, un dia complet, i dues corbes, on la blava representa la producció diària d'un panell solar, i la verda, la demanda diària d'una localització geogràfica en concret, on al mig dia, quan la llum solar està més amunt i la força del sol és màxima, s'aprecia com la producció del panell fa un pic, és aquí on intervenen les bateries, tota aquesta energia sobrant (l'àrea superior a la corba del consum) és emmagatzemada en ella, per després, quan el sol comenci a caure, donar servei a la resta del dia i ajudar a les indústries de combustió, per no tindre que modificar de manera tan sobtada la seva producció. Aquest exemple, es pot extrapolar a la resta de plantes renovables, i també, a la pròpia producció de les indústries contaminants. Si aquesta tecnologia millora i es posa més en practica, arribarà un moment on la xarxa elèctrica no tindrà problemes d'alteracions.

5. Fonts d'energia renovables

Les fonts d'energia considerades renovables més destacades són l'energia solar fotovoltaica, l'energia eòlica, l'energia hidràulica, l'energia provinent de biomassa i l'energia geotèrmica.

Solar Fotovoltaica: És potser de les fonts d'energia més comuns avui en dia en la societat, i per aquest motiu és de les que més està reduint els seus costos d'instal·lació. Aprofita la llum solar per transformar-la en electricitat, per lo tant, una font amb reserves infinites d'energia. És ideal per a tot tipus de projectes o situacions, ja que s'adapta molt bé a diferents entorns de treball i projectes a gran o petita escala. L'inconvenient que pot produir, és que únicament estarà disponible quant hi hagi llum solar, llavors, per la nit o en dies nuvolats, no produiran energia per la gent que requereix d'electricitat.



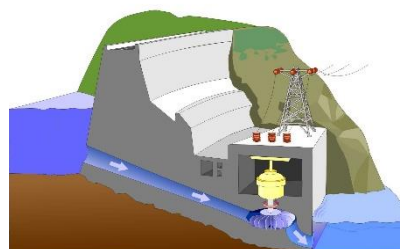
Il·lustració 4 de Bester. Panells Solars

Eòlica: És l'encarregada de transformar l'energia que transmet el vent cap a les aspes en energia elèctrica, dit d'una altre manera, l'energia mecànica que provoca el moviment rotatiu de les aspes, és lo que fa generar electricitat. Solen ser plataformes de dimensions molt grans, situades en punts estratègics on el vent destaca per la seva intensitat, però també, es poden trobar a escala més reduïda generadors petits a nivell domèstic no tan habituals. Cada vegada és més normal trobar els parcs eòlics situats a l'interior del mar, ja que és on el vent ataca amb major força, degut a que no es troba amb obstacles i a nivell paisatgístic i visual és menys contaminant. Un inconvenient és a l'hora d'estimar les dades de producció a llarg termini, degut a que és difícil deduir la força del vent i la durada d'ell mateix, per lo tant, hi haurà moments on no es produirà res, i quan es produeixi, serà complicat que es faci en períodes d'alta demanda elèctrica.



Il·lustració 5 de Conversation. Font d'energia Eòlica

Hidràulica: És l'energia que obtenim a l'aprofitar les corrents o el moviment de l'aigua, generalment de rius, per convertir-la després en energia elèctrica. En l'actualitat, a on es pot veure de forma més clara l'explotació hidràulica és a les preses. Aquest tipus d'instal·lacions es troben en zones de grans desnivells i bastant plujoses, on a causa del famós cicle de l'aigua, és pràcticament inesgotable. També, algunes preses destinades al magatzem d'energia utilitzen bombes d'aigua per pujar-la fins a d'alt de tot, de tal forma, que sempre es tindrà energia preparada per ser explotada quant sigui necessària.



Il·lustració 6 de ComoFunciona. Pressa Hidràulica

Biomassa: És un mètode on s'aprofita tot lo que la naturalesa dona, la biomassa és la matèria d'origen orgànic, vegetal o animal que es pot utilitzar per a fins energètics. Amb processos químics, es poden arribar a transformar aquests restos en productes com Biogàs, Biodièsel o Bioalcohol per obtenir energia sostenible. Aquest procés es coneix com a Bioenergia.



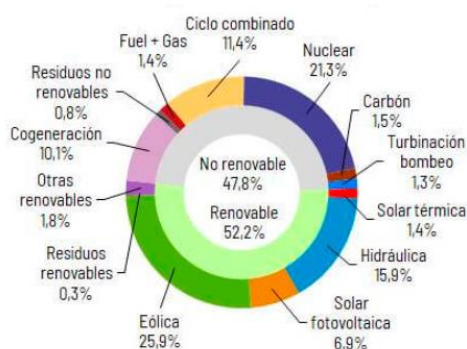
Il·lustració 7 de Acciona. Planta de biomassa.

Geotèrmica: És l'energia que s'obté de la calor interna de la terra, es transmet a través de masses rocoses i generen sistemes geotèrmics. A través de l'aigua, a profunditats elevades s'escalfa, i al pujar, provoca diferents reaccions a la superfície. Aquestes reaccions es poden veure en forma de guèiser, aprofitada per termes o el més important, per obtenir energia.



Il·lustració 8 de Piensa en Geotermia. Planta Geotèrmica.

5.1. Les fonts d'energia renovables a Espanya

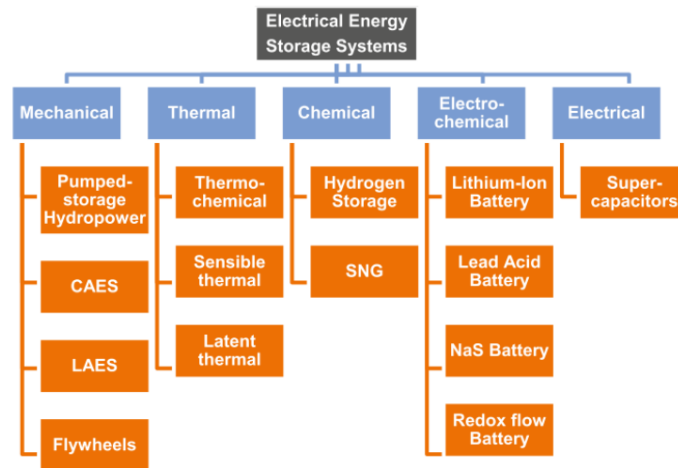


Il·lustració 9 de FOC. Gràfica actual any 2021 de la generació d'energia.

Si es mira 10 anys enrere, Espanya ha fet una millora important en quant a l'obtenció de les energies renovables. Actualment, compta amb el 50% del total generat de forma sostenible com es detalla en la Il·lustració 9, segons dades del diari Expansión. És un punt positiu però amb encara forces aspiracions a seguir creixent al llarg del temps, no és suficient amb la totalitat de les plantes renovables que tenim al nostre país avui en dia, per lo que es necessita encara mantenir una gran quantitat d'empreses de combustió operatives (OTOVO and Fernandez 2021).

6. Emmagatzematge de l'energia

Quant es parla de concentrar una quantitat concreta d'energia en un dispositiu capaç durant un cert temps de donar potència a un aparell elèctric, es tenen únicament en ment les bateries típiques del mòbils, o similars, però en un altre tipus d'encapsulat com les piles per exemple. Això no es així, les diferents maneres de poder emmagatzemar energia cada vegada són més extenses, no únicament hi ha una possibilitat per fer la càrrega d'un dispositiu, es tenen varies alternatives, i és un fet a tindre en compte si s'ha de començar un projecte on es requereixi disposar d'una certa capacitat d'energia.



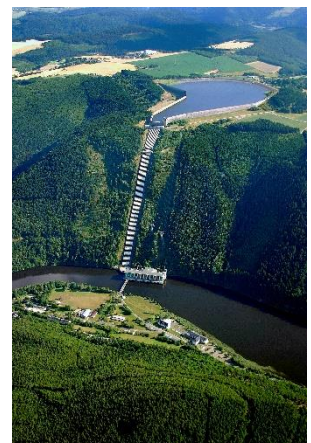
Il·lustració 10 de Joan Rocabert UPC. Imatge visual de les diferents tecnologies avui en dia disponibles.

6.1. Estudi de les diferents tecnologies d'emmagatzematge d'energia

Com s'observa en la Il·lustració 10, hi ha diferents tipus de tecnologies segons com actuen a part de les electroquímiques, que s'estudiaran en major profunditat més endavant.

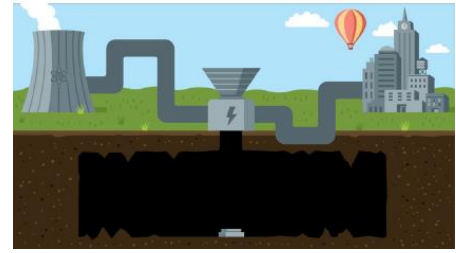
Emmagatzematge Hidroelèctric: S'ha parlat anteriorment en l'apartat de "Fonts d'energia renovables", i és un dispositiu d'emmagatzematge a gran escala, que consisteix en fer pujar l'aigua cap a una pressa a gran altitud per aconseguir la suficient energia potencial. Quan hi ha excessos de demanda a la xarxa elèctrica, es deixa caure l'aigua fent moure unes turbines que donen l'electricitat necessària.

D'aquest procés s'extreu una quantitat molt elevada de potència, per sobre dels 2100MW per tindre una idea. És un sistema amb molts anys d'antiguitat contrastat amb un molt bon funcionament. Al fer un emmagatzematge d'aigua, les seves pèrdues d'energia per inactivitat amb el temps són mínimes, un punt a favor que la destaca molt per sobre de la resta de tecnologies.



Il·lustració 11 de ee. Planta de bombeig hidroelèctrica.

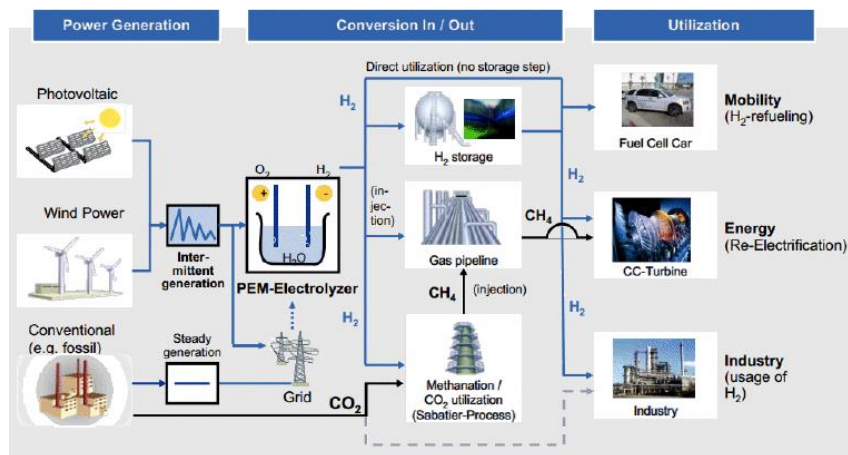
CAES: En anglès, Compressed air energy storage, que vol dir emmagatzematge d'aire comprimit, és de molt gran utilitat quant es té un excés de producció en centrals nuclears, ja que quan això passa, sol ser bastant perillós i s'evita destinant la producció sobrant en forma d'aire a les coves, tanks o canonades especials per quant es concentra una gran quantitat d'aire comprimit, destinar l'energia a la xarxa. També està la variant LAES, que resguarda l'energia en líquid a baixes temperatures, i al escalfar-se, el vapor d'aigua produeix l'energia necessària. són sistemes amb molta capacitat disponible, però per contra, són processos poc eficients i es requereix de zones geogràfiques específiques per instal·lar sistemes d'aquests nivells.



Il·lustració 12 Joan Rocabert UPC. Sistema d'emmagatzematge d'energia per aire comprimit.

Bateries Químiques: És una tecnologia que encara està en desenvolupament en els laboratoris, i consisteix en transformar l'electricitat en hidrogen emmagatzemat en un tanc mitjançant l'electròlisi, per després poder fer una re-electrificació o també, destinar aquest hidrogen per a altres funcions com poden ser la mobilitat o a la indústria.

Com encara està en investigació, s'esperen grans millores, a dia d'avui, sobte en el procés un 40% d'eficiència. Aquest sistema, té un gran potencial en termes d'unitat de massa, lo que vol dir que es poden obtenir molt bones densitats (valors elevats de wats per cada kilogram), és un punt positiu perquè voldrà dir que amb un dispositiu petit, es podrà aconseguir molta energia.



Il·lustració 13 de Joan Rocabert UPC. Procés de transformació de l'energia amb les bateries químiques.

Supercapacitors: El seu funcionament és molt similar a qualsevol condensador que s'utilitza en l'electrònica, es basa en concentrar càrregues electrostàtiques per formar un camp elèctric, i així emmagatzemar l'energia.



Il·lustració 14 de Maxwell. Màxim fabricant d'aquesta tecnologia.

Utilitzar grans capacitors com a eina d'emmagatzematge d'energia, té les seves, com per exemple, l'alta potència que ofereixen en pocs quilograms de pes i la seva ràpida càrrega i descàrrega, lo que els fa ideals per a segons quines aplicacions. Per contra, obtenen molt

poca capacitat, i la seva degradació d'energia per inactivitat és bastant alta. Cada cop més, s'està escollint aquesta tecnologia en aplicacions per donar suport a altres mètodes de càrrega, normalment, complementen a altres tipus de bateries quant es necessita de potència instantània de manera ràpida, ja que altres famílies no donen aquestes prestacions. La seva alta eficiència i durabilitat, les fan ser una molt bona opció, a part, que no requereixen d'un manteniment constant.

Emmagatzematge Tèrmic: Tecnologia que utilitza diferents productes com poden ser líquids, aigua, olis o sals minerals, s'escalfen amb la llum solar dependent del material utilitzat, a major o menor temperatura. Gràcies a la seva combustió es podrà subministrar energia durant un gran període de temps, ja sigui per la nit o pel dia, normalment són complementaries a les plantes fotovoltaïques per ajudar a produir energia i que duri molt més la producció gràcies a la llum solar.



Il·lustració 15 de Joan Rocabert UPC. Sistema d'emmagatzematge tèrmic.

Bateries electroquímiques: Per acabar, un resum previ d'aquesta tecnologia. Es tracta de dispositius que són capaços d'obtenir energia elèctrica a partir de reaccions químiques, o bé, de produir reaccions químiques a través de la introducció d'energia elèctrica.

Les bateries estan constituïdes per cel·les. Hi ha diferents tipus de cel·la depenent del material dels elèctrodes i de l'electròlit (àcid-plom, ió de liti, níquel-metall hidrur). Cada tipus de cel·la té les seves característiques físiques i químiques que la fan diferent a les altres, i el que l'emmarca en una o altre família de bateries electroquímiques (TodoSai 2.0 and Hiper Shops 2016).

Les cel·les es poden agrupar en distintes configuracions o *pacs*, formant diferents valors nominals de voltatge i capacitat depenent de la funció que tinguin destinada.

En els pròxims anys, les bateries serà una tecnologia que augmentarà exponencialment tan en l'àmbit industrial, com en el domèstic, impulsat per les restriccions horàries del govern, sent un medi d'estalvi per a la població, així poder carregar les bateries en hores baixes, on el preu del kWh és econòmic i després poder-les explotar en hores d'alta demanda. Un invent encara en molts casos en investigació, però que a partir d'ara, començarà a ser un concepte cada vegada més normalitzat.

7. Font d'alimentació sostenible

Fins ara, s'han pogut conèixer diverses formes de generar energia de forma sostenible i després poder-la emmagatzemar per no adequar el ritme de producció al ritme del consum.

De totes les fonts d'extracció d'energia analitzades, la més adequada i coneguda per la gent en general és la solar, molt de moda últimament per a alimentar petits i grans sistemes als habitatges per gran part de la població. A més a més, és l'única que entra en l'abast de les possibilitats del projecte per poder fer un prototip i subministrar electricitat cap al dispositiu d'emmagatzematge. En aquest projecte, s'ha escollit generar l'energia mitjançant panells solars fotovoltaics.

7.1. Descripció tècnica d'un panell solar

En aquest apartat es preveu introduir de manera més detallada sobre el mode d'operació i les característiques de les cel·les dels panells solars.

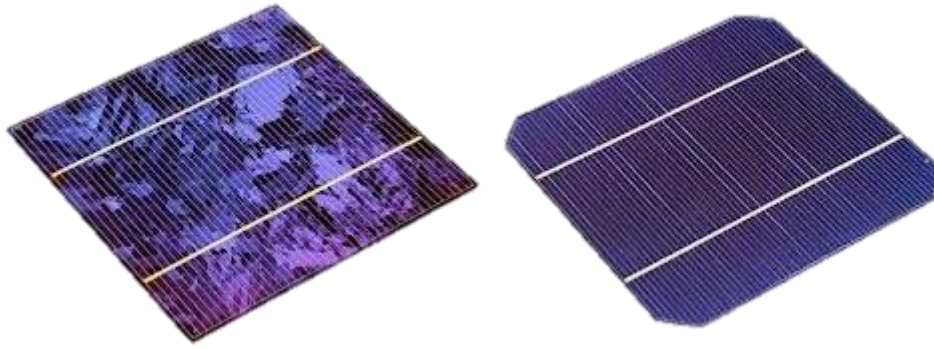
Un punt summament important per el funcionament d'un sistema fotovoltaic és la irradiància que té, i es pot definir com la intensitat energètica mitjana d'una ona electromagnètica en un punt donat. És un valor que varia en el temps i segons en el punt del planeta on s'estigui situat, acostumarà a tindre un valor més elevat o menys. Aquesta propietat en conjunt amb la temperatura i el corrent, fa variar les especificacions energètiques del sistema solar.

Les encarregades de fer la transformació d'energia són les cel·les solars, que són bàsicament una juntura optimitzada per col·lectar energia provinent del sol. Quan els fotons incideixen en les cel·les generant parells d'electrons, aquests provoquen una diferència de potencial. La circulació del corrent modifica la tensió, per lo tant, estan relacionats.

Un panell solar consisteix en la connexió de varies cel·les en sèrie o en paral·lel, la quantitat de cel·les connectades en sèrie, determinarà el voltatge de panell, i les connectades en paral·lel, el corrent que podrà subministrar.

Però en que consisteix una cel·la i com fa per produir energia?

Cada cel·la està composta d'una capa de silici, aquesta, en funció de la seva estructura i la seva pureza, es poden distingir dos tipus de panells solars, els formats per silici monocristal·lí i els formats per silici policristal·lí. La primera variant és d'una millor qualitat, on les cel·les agrupades en aquests tipus de panells estan formades per barres de silici que posteriorment es tallen en oblees, i degut a que les cel·les formen un únic cristall, els electrons disposen d'un major espai de moviment i per conseqüència, generen una eficiència molt elevada. La diferència en els panell policristal·lins esta en l'estructura del silici, les oblees es fabriquen fonent petits fragments d'aquest material semiconductor i degut aquest fet, l'eficiència dels panells policristal·lins és menor, ja que els electrons tenen un menor recorregut de moviment, encara que el seu preu reduït els fa ser l'opció més demandada pels consumidors a dia d'avui en el mercat actual ja que la diferència de producció energètica entre els dos no es del tot critica.

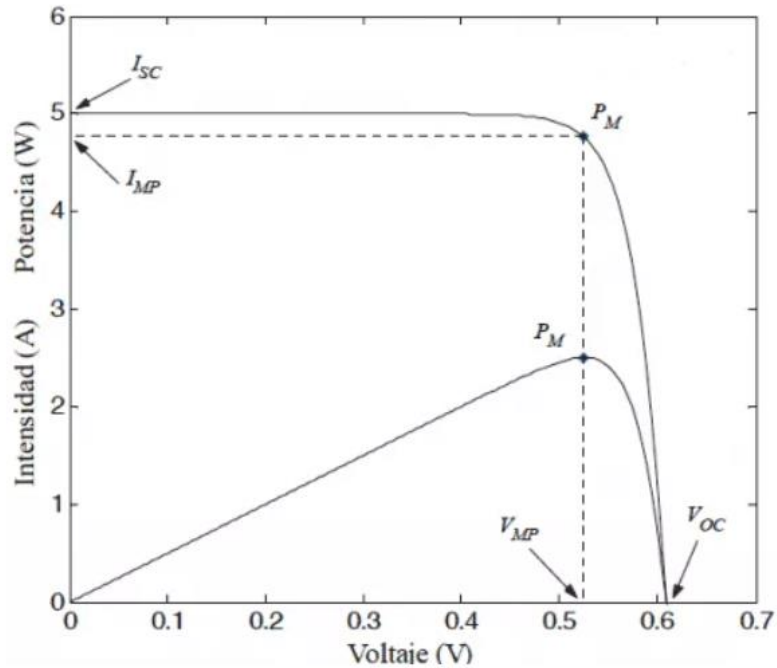


Il·lustració 16 de BAINGA S.L. Panell Policristal·lí i monocristal·lí respectivament.

En la Il·lustració 16 es mostren dos exemples de panells formats per silici, on es pot apreciar fàcilment com està formada l'estructura del silici en cada un dels panells, d'aquesta manera es poden arribar a identificar, en el policristal·lí es pot observar un perfil irregular, en canvi, en el monocristal·lí, es veu un únic cristall homogeni.

Deixant de banda la seva estructura cristal·lina, els dos tipus de panells treballen igual, el silici és un material semiconductor totalment estable amb quatre electrons a la seva capa de valència més externa. Per una part, es dopa una capa de silici amb un altre material semiconductor com pot ser el fòsfor, que té cinc electrons a la seva capa final de valència i per conseqüència, li sobra un electró sempre, per l'altre part, un s'afegeix una capa de silici amb un altre semiconductor com el bor, que té tres electrons a la seva capa de valència i per conseqüència, li falta un.

Això és lo que se'n diu un semiconductor NP, el tipus N són els semiconductors dopats amb electrons, i el de tipus P són els dopats amb forats esperant l'arribada d'un electró per establitzar-se químicament, lo que provoca com s'ha comentat abans, que amb la força dels fotons impactant sobre les cel·les fotovoltaïques, facin moure els electrons sobrants generant una diferència de potencial, això provoca el moviment d'una càrrega cap a la zona del semiconductor P.

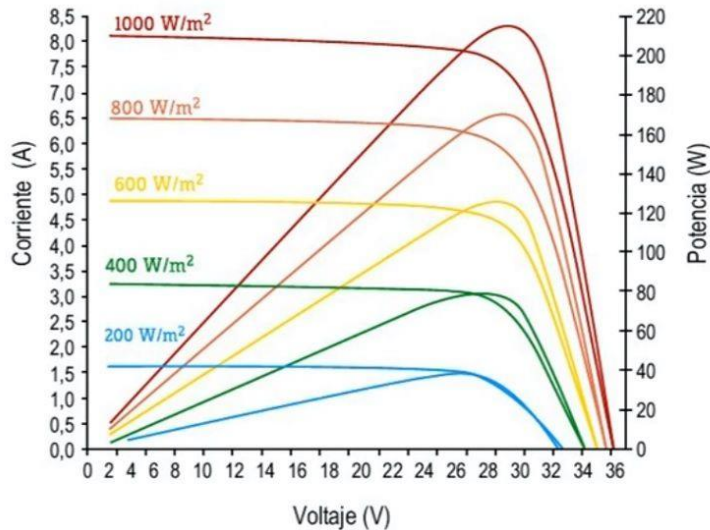


Il·lustració 17 de SunFields. Localització de punts crítics en corbes Corrent/Potència.

Per tal de poder entendre correctament la Il·lustració 18 que es mostra més endavant, es detallen a continuació els punts més crítics per poder analitzar el gràfic energètic d'un panell solar a una certa irradiància, tots els punts definits estan reflectits en la Il·lustració 17:

- I_{sc} o Intensitat de curtcircuit, és el valor de màxima intensitat del panell quan el voltatge és de 0 volts.
- V_{oc} o Voltatge en circuit obert, és quant el voltatge és màxim, es produeix en l' instant en que el corrent per el panell és nul.
- Punt de màxima potència, és el punt on el panell subministra la potència màxima, aquest valor és únic i sempre s'intenta estar allà per treure la major eficiència.
- V_{mp}, és el voltatge i I_{mp} és el corrent on la potència del panell és màxima.

Les corbes de comportament d'un panell solar són similars tinguin una irradiància o un altre:



Il·lustració 18 de Areatecnologia. Corbes de potència /corrent en funció de la intensitat d'un panell de 220W.

Com s'aprecia en la Il·lustració 18 d'un panell de 220W de potència, es pot veure la dependència del corrent en front del voltatge per a distintes intensitats d'irradiància, per un costat, es mostra el gràfic de potència del panell, que són les corbes puntiagudes, on el punt de màxima potència es troba en la cima de la corba. Es pot observar com la màxima potència del panell depèn del voltatge que tingui en aquell moment. També es pot veure, que encara que la intensitat pugi o baixi per culpa de la irradiància, el punt de màxima potència sempre coincideix sobre els 28 volts, i que a l'hora de poder exprimir al màxim la potència del panell, facilita molt el treball, ja que únicament s'haurà de trobar quin és el punt de treball on la potència és màxima i a partir d'aquest valor aportat pel fabricant, aproximar-ho a les altres corbes de corrent-voltatge per a diferents irradiàncies, l'error com s'aprecia serà mínim. Més endavant es parlarà d'una tecnologia que incorpori alguns reguladors de càrrega que ajudin a trobar aquest punt de màxima potència (Areatecnologia and Rodriguez 2020).

8. Bateries electroquímiques

Totes les tecnologies d'emmagatzematge esmentades en l'apartat de "Estudi de les diferents tecnologies d'emmagatzematge d'energia" són de gran grandària i no eficients per a projectes d'una mida reduïda, a excepció dels supercapacitors, que podrien ser contemplats com a una alternativa en un altre projecte on no es requereixi d'una gran capacitat d'energia, i les bateries electroquímiques, tecnologia escollida per fer l'emmagatzematge de l'energia generada.

En aquesta secció es descriuran els tres tipus de bateries electroquímiques i es justificarà el tipus escollit.

8.1. Tipus de bateries electroquímiques

Es poden diferenciar per una sèrie d'aspectes que es detallen a continuació en la Taula 1, i que s'han de tindre en compte a l'hora de triar la família desitjada per a qualsevol projecte segons les necessitats que es requereixin:

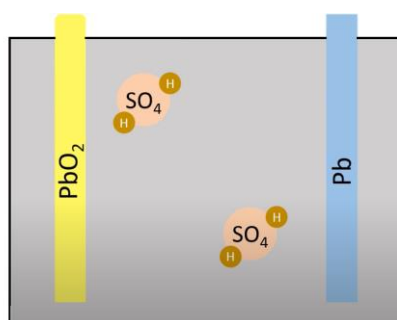
| Característiques | Descripció detallada |
|----------------------------|--|
| Família | Depenent de la tecnologia que s'utilitzi tindrà diferents propietats que s'han estudiat i tindre en compte. |
| Preu | No totes les famílies de bateries costen lo mateix, i és un terme a tindre molt en compte a l'hora de començar a comercialitzar un prototip. És recomanable saber si realment el sobre cost d'una bateria serà rentable a la llarga. |
| Eficiència | Valor que indica l'aprofitament que s'obté de la bateria del total produït. |
| Voltatge nominal | Cada família de bateries es caracteritza per requerir d'un voltatge de referència que indica en quines franges es treballa, per poder fer paccs, s'ha de tindre en compte el voltatge nominal per arribar a la tensió desitjada, de lo contrari, es podria fer malbé el producte que es volgués alimentar. |
| Self-discharge | És la energia total que perd la bateria quant no està sent utilitzada en un cert rang de temps, per exemple, pot ser donat en un dia sencer sense activitat. |
| Cicles de Vida | Totes les famílies de bateries tenen el seu desgast en el temps, és un valor aproximat de les vegades que es podrà carregar la bateria sense veure reflectit un canvi en les seves propietats. |
| Temps de vida | A part del cicles, el pas del temps també deteriora les propietats físiques i químiques de la bateria, per lo tant, cada família sol tindre un temps de vida aproximat en base a les seves característiques. |
| Energia Especifica (Wh/kg) | Un concepte ja mencionat és la densitat de la bateria, en altres paraules, la quantitat d'energia que es pot emmagatzemar en un kg de massa, o sigui, la seva capacitat energètica. |

| | |
|---------------------------|---|
| Potència Específica(W/kg) | A priori es pot pensar que és un aspecte molt similar que l'anterior, dons en les bateries no ho és tant, pot haver una tecnologia amb molta energia, que puguis obtenir una capacitat enorme però per contra, amb una potència no tan elevada o a la inversa, per aquest motiu, els fabricants solen especificar els dos valors a les seves fitxes tècniques del producte. |
|---------------------------|---|

Taula 1. Característiques a tindre en compte segons la família de bateries.

Sempre és recomanable entrar en detall en totes les possibilitats abans d'escollir un producte, per aquest motiu, s'ha realitzat l'estudi de cada una de les diferents famílies per després, amb la informació obtinguda de la Taula 1, poder valorar la millor solució:

Àcid Plom: Són les principals bateries utilitzades fins a dia d'avui ja que és una tecnologia que porta en el mercat molts anys d'experiència. Amb un intercanvi d'electrons, l'ànode, que farà de terminal positiu, constituït per Òxid de Plom (PbO_2) i l'elèctrode negatiu o càtode, que farà de terminal negatiu de la bateria, fet de plom metàl·lic (Pb), a part, també al interior hi ha una substància conductora anomenada electròlit que omplirà l'espai entre els terminals feta d'una dissolució d'àcid sulfúric en aigua (SO_4)(Il·lustració 19). Aquets components provoquen un intercanvi d'electrons quant es connecta una càrrega entre terminals del pol negatiu al positiu, rodejant els propis connectors internament d'una crosta de sulfat, que a la que comença a ser molt gruixuda ja no s'obté més energia. També succeeix quant el SO_4 passa a ser aigua neutre. Al carregar la bateria es fa el proces a l'inversa, els electrons que estan concentrats al terminal positiu, es desplacen cap al terminal negatiu un altre vegada, i el sulfat comença a desaparèixer un altre cop fins que es completa la càrrega, a la vegada, l'aigua comença a transformar-se en SO_4 un altre cop (ProCiencia 2020).



Il·lustració 19. Explicació visual d'una bateria àcid-plom per dins.

El voltatge nominal d'aquestes bateries sol ser del 2.04 volts per cel·la, aquesta tensió no és ni la mínima ni la màxima admissible, ja que totes aquestes bateries tenen un rang funcional el qual poden treballar depenent el percentatge de càrrega que incorporen, és cert que en les bateries àcid-plom no són gens recomanable descarregar-les al màxim, fet important a tindre en compte ja que si passa algun cop, es poden sulfatar del tot i les bateries es tindran que descartar. Si s'escull finalment aquesta tecnologia, s'ha d'estar previngut i donar una solució a aquest problema.

També, un fet a tindre en compte, és la sobre càrrega de la bateria, si se li exigeix un voltatge per sobre de les seves prestacions màximes, pot derivar en l'extracció de gasos inflamables que són malignes i perillosos per a l'esser humà, i també s'ha de fixar una solució.

Els aspectes més positius a valorar són, el preu econòmic que tenen respecte a altres tecnologies, el poc manteniment que requereixen i l'alta disponibilitat d'estoc a l'hora de voler adquirir una bateria d'àcid plom, això les fa ser una molt bona solució de cara a projectes senzills que no requereixen d'alta eficiència de treball (entre el 70% i el 92%) (Rocabert 2021; SolarPlak 2020).

Propietats més generals:

- Densitat d'energia: (30 – 50) Wh/kg
- Potència: (75 – 300) W/kg
- Uns 1000 cicles de treball i entre 5 i 8 anys de vida
- (5-8) Wh/euros

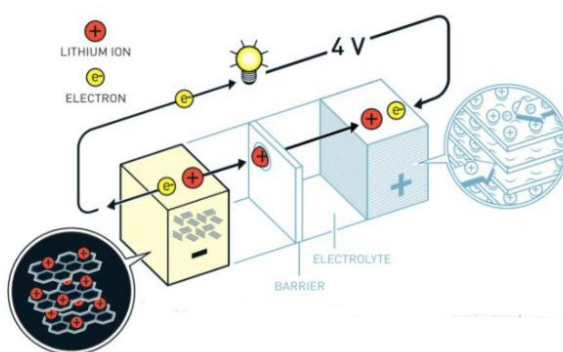


Il·lustració 20 de CONECTROL S.A. Bateria d'àcid plom.

Ió-Liti: L'altre alternativa comú a l'hora de emmagatzemar energia són les de liti, amb majors números d'eficiència energètica, la fan ser més útils en certs projectes respecte a les de àcid-plom.

Com en el cas anterior amb la bateria d'àcid-plom, la de liti, actua d'una manera semblant i amb el mateix objectiu, el de fer moure els electrons d'un pol a l'altre per generar energia, però utilitzant una altre estratègia ja que està fabricada amb diferents materials.

El material principal, el liti, té tendència a perdre un electró, per aquesta raó és un producte altament reactiu, la gracia d'aquestes bateries és que aquest element alcalí quant forma part d'un òxid metàl·lic és un material bastant estable, lo que el fa ideal per a poder-lo manipular (CulturaCientífica and Garcia Bello 2020).



Il·lustració 21 de culturacientífica. Composició de una bateria Ió-liti.

La composició de la bateria com s'observa en la Il·lustració 21, està formada per dues seccions, a la dreta, on estan els electrons amb l'òxid metàl·lic quant la bateria està descarregada, i a l'esquerra, on estan els electrons quant està carregada juntament amb el grafit, que és un material aïllant per emmagatzemar el liti amb els electrons. La secció que separa les dues parts és una capa electrolítica amb una malla interna que evita el pas dels electrons d'un costat a l'altre, obligant a aquests a passar per la càrrega externa. Quant es carrega la bateria, els electrons comencen a creuar externament cap al grafit i una vegada emmagatzemats a la part dreta de la bateria, aquets,

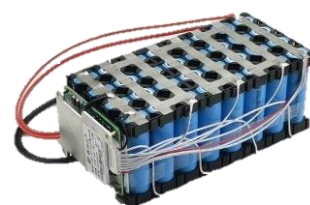
atrauen al liti que si pot creuar la capa separadora. Aquesta, té també una funció protectora en cas de produir-se un curtcircuit. La descàrrega de la bateria es produeix a la inversa desfent el camí fet anteriorment (Centro de Comunicación de las ciencias 2019).

És una tecnologia que a part de tindre una eficiència més elevada, també ho és el seu voltatge unitari per cel·la, lo que la fa més fàcil d'arribar a cert valor col·locant menys unitats en sèrie que amb altres tecnologies. S'està parlant d'un voltatge de 3,7V aproximadament, a part dues de les característiques que la diferencien més de la resta, que és en la capacitat tan elevada que poden extreure i la densitat tan bona que ofereixen, les fa ideals per a projectes de mobilitat on es requereix de poc pes i llarga duració d'energia.

Per contra, es parla d'una bateria amb uns costos bastant elevats en comparació amb altres famílies, on per a certs projectes potser no surt del tot rentable invertir en elles. També s'ha de tindre en compte elements de protecció com en el cas de les bateries d'àcid-plom per no superar certs voltesges o altes intensitats. Aquesta bateria encara presenta un nivell d'auto descàrrega per inactivitat encara bastant elevat, ja que està en procés de millora en uns anys.

Propietats més generals:

- Densitat d'energia: (75-200) W/kg
- Potència: (150 – 315) W/kg
- Uns 1600 cicles de treball
- (2,5 - 5) Wh/euros



Il·lustració 22 de Alibaba. Bateria de Ió-liti.

Niquel-Metall Hidrur: Fa deu anys eren les bateries per excel·lència per a el transport i la mobilitat gràcies a les seves propietats semblats a les de Ió-liti, amb la sortida al mercat d'aquesta darrera tecnologia van començar a perdre protagonisme.

Funcionen de forma molt similar a les de liti però amb la diferència que en el seu pol negatiu està formada d'una aleació d'hidrur metàl·lic i en el seu pol positiu de Oxihidròxid de Níquel (NiOOH), també amb una separació central electrolítica que fa de aïllament i protecció.

Aquests diferents materials proporcionen un voltatge de cel·la d'uns 1,2V, un valor força baix comparat amb la resta de famílies, on també acumula un nivell d'auto descàrrega mensual bastant elevat d'un 20%.

Aquesta tecnologia aconsegueix treure i millorar una bateria similar feta de Cadmi, que produeix una enorme toxicitat al ser reciclades. Les seves propietats generals són bastant bones, tenen una bona capacitat d'energia, una bona densitat, un notable rendiment energètic i aguanten molt bé temperatures baixes per sota dels -35°C (Berlanga 2020; Rocabert 2021).

Propietats més generals:

- Densitat d'energia: Per sobre dels (50-90) W/kg
- Potència: (150 – 300) W/kg
- Eficiència: (70-90) %
- Uns 1500 cicles de treball
- (1.5 - 7) Wh/euros



Il·lustració 23 de DHgate. Bateria Niquel-Metall Hidrur

8.2. Selecció del tipus de bateria electroquímica

Si amb tot lo comentat anteriorment s'ha deixat entreveure una clara disposició cap a les bateries electroquímiques, la família en concret no s'ha arribat a encarar l'opció adequada, ja que s'ha donat a conèixer el funcionament amb els punts forts i febles de cada tecnologia per arribar a saber més, poder fer una investigació profunda, aprendre com actuen i poder estar segurs de la millor tecnologia a escollir.

Cada família de les exposades té les seves avantatges i desavantatges, i segons les necessitats del projecte es decantarà una com la millor alternativa. Per fer-ho, s'utilitzarà el mètode après a la matèria de Metodologia i Orientació de Projectes anomenat VTP (*Valor Tècnic Ponderat*), mitjançant una taula "Excel" d'ajuda.

Primerament, s'han d'exposar les necessitats més importants a tindre en compte per al projecte i donar-les un valor d'importància, això, lo que provocarà serà aconseguir fer una mitjana pro mig amb les qualitats totals de cada tecnologia i poder tindre una visó més general de la millor opció. Per aquest projecte, s'han escollit sis aspectes a tindre en compte, el més important a l'hora de poder decantar-se per una bateria serà el preu, amb un pes del 35% ja que al ser un projecte universitari és un aspecte el qual s'ha de tindre en compte al no disposar de molt pressupost per realitzar el treball. Després, seguidament amb un 25%, la capacitat que té cada tecnologia de poder emmagatzemar l'energia en els períodes d'inactivitat per tal de no malgastar cap Wh que es produeixi, ja que moltes vegades aquesta producció es farà en condicions d'escassa lluminositat i no serà un treball fàcil per als panells solars. Amb un 15%, la capacitat de la bateria, perquè ha de ser una tecnologia capaç de poder subministrar energia durant una llarga quantitat de temps i es requereix d'uns valors elevats, al igual que l'eficiència, la bateria tindre un bon procés de transformació de l'energia química en energia elèctrica. I per acabar, amb un pes poc significatiu d'un 5%, ja que seran aspectes no rellevants, el temps de vida útils del producte i el voltatge nominal. Els temps de vida útils de la majoria de tecnologies són similars, i depenen molt sovint de l'ús que se li doni i en quines condicions que es treballi, per aquest motiu, no s'ha considerat un fet crític per a decantar una o altre tecnologia, i el projecte al requerir d'una potència petita, el voltatge nominal de cel·la tampoc serà cap punt altament crític.

Una vegada definits els pesos dels criteris, es valoraran segons les necessitats del projecte, per justificar aquesta presa de decisions i poder realitzar una elecció justificada, s'atribuiran valors del 1 al 3 en tots els criteris segons les propietats analitzades de cada tecnologia, agrupades a la Taula 2. Aquesta part serà universal i es recolliran els valors fent l'estudi pertinent per poder fer la valoració. Valor de 1, una puntuació baixa i valor de 3, una puntuació excel·lent, en cap cas es podrà repetir el mateix valor a dues tecnologies, així s'obtindrà una clara diferenciació comparativa.

Per tal d'ajustar de manera coherent els valors i que no surti cap resultat erroni en els càlculs, s'han recopilat totes les dades investigades respecte a les 3 famílies comentades anteriorment per després poder fer l'anàlisi de pesos adequat.

| | Àcid Plom | Ió-Liti | NI-MH |
|----------------------|------------------|----------------|--------------|
| Preu Wh/euros | 5 - 8 | 2.5 - 5 | 1.5 - 7 |
| Eficiència % | 70 - 90 | 85 - 98 | 70 - 90 |

| | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|
| Auto-Descàrrega %/mes | 4 | 10 | 20 |
| Cicles de vida | 1000 | 1600 | 1500 |
| Vida Útil YEARS | 3 - 20 | 5 - 15 | 5 - 20 |
| Energia Específica Wh/kg | 30 - 50 | 75 - 200 | 50 - 90 |
| Potència Específica W/kg | 75 - 300 | 150 - 315 | 150 - 300 |
| Densitat d'Energia Wh/LITRES | 50 - 100 | 200 - 620 | 60 - 150 |

Taula 2. Dades extretes i agrupades de tota la recopilació d'informació i l'estudi de les bateries electroquímiques.

Ara si, d'acord amb la informació obtinguda a la Taula 2, es poden aproximar valors atributius a cada criteri escollit fa un instant per donar-los una qualificació apropiada i després fer els càlculs pertinents.

| | Àcid Plom | Ió-Liti | NI-MH |
|-----------------------------------|-----------|---------|-------|
| Preu | 3 | 1 | 2 |
| Capacitat | 1 | 3 | 2 |
| Cicles de vida | 1 | 3 | 2 |
| Eficiència | 1 | 3 | 2 |
| Descarrega per inactivitat | 3 | 2 | 1 |
| Voltatge nominal | 2 | 3 | 1 |

Taula 3. Avaluació de cada tecnologia segons el diferents criteris escollits.

Es pot apreciar a la Taula 3 el recopilament de totes les valoracions dels criteris que es recullen per escollir la bateria electroquímica apropiada. Totes les notes estan d'acord amb la informació mostrada tant en la Taula 2 com en tot lo comentat anteriorment en l'apartat de "Tipus de bateries electroquímiques". A continuació s'adjunta la taula VTP amb els càlculs realitzats i poder observar la millor alternativa.

| | CRITERI | PES | Àcid Plom | | Ió-Liti | | NI-MH | |
|----------------------------|-------------------|--------|-----------|--------|---------|-------|--------|-------|
| | | G | P | PXG | P | PXG | P | PXG |
| Preu | 1 | 35,00 | 3,00 | 105,00 | 1,00 | 35,00 | 2,00 | 70,00 |
| Capacitat | 2 | 15,00 | 1,00 | 15,00 | 3,00 | 45,00 | 2,00 | 30,00 |
| Cicles de vida | 3 | 5,00 | 1,00 | 5,00 | 3,00 | 15,00 | 2,00 | 10,00 |
| Eficiència | 4 | 15,00 | 1,00 | 15,00 | 3,00 | 45,00 | 2,00 | 30,00 |
| Descarrega per inactivitat | 5 | 25,00 | 3,00 | 75,00 | 2,00 | 50,00 | 1,00 | 25,00 |
| Voltatge nominal | 6 | 5,00 | 2,00 | 10,00 | 3,00 | 15,00 | 1,00 | 5,00 |
| | Suma (pxg) | 100,00 | 225,00 | | 205,00 | | 170,00 | |
| | VTP | | 0,75 | | 0,68 | | 0,57 | |

Taula 4. Bateria Àcid Plom apropiada amb un 77% segons el VTP.

Observant la Taula 4, primerament, es fa el càlcul de PXG, que és la multiplicació de dels pesos que s'han assignat a cada criteri per la qualificació obtinguda en cada tecnologia:

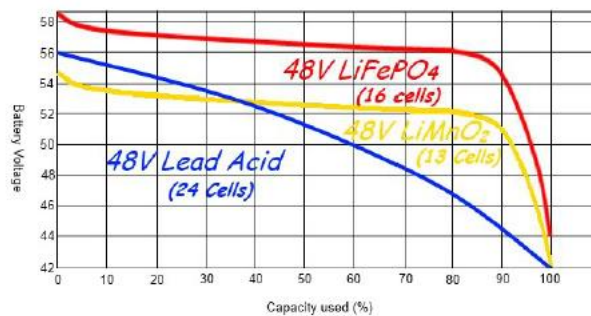
$$PXG = G * P \Rightarrow Preu = 35 * 3 = 105;$$

A continuació, és fa el sumatori de tots els resultats PXG obtinguts “Suma (PXG)” per calcular el percentatge sobre 100 i saber la qualificació total:

$$\sum PXG = 105 + 15 + 5 + 15 + 75 + 10 = 225;$$

$$VTP = \frac{\text{Suma}(PXG)}{\sum G * P_{max}} = \frac{225}{100 * 3} = 0.75 = 75\%;$$

Encara que l'anàlisi general de les dues tecnologies has sortit amb una valoració positiva semblat, l'algoritme aplicat, ha donat la bateria d'àcid plom com la millor opció per utilitzar en el projecte. La seva excel·lent viabilitat econòmica que era un dels principals requeriments, i al ser una tecnologia que en prestacions d'energia es defensa força bé, ha acabat decantant la balança.



Il·lustració 24 de Joan Rocabert. Gràfic comparatiu de corbes de voltatge en funció de la capacitat.

Un aspecte que la reforça bastant bé, és la seva corba de descàrrega comparada amb les altres, com s'observa en la Il·lustració 24, on es veu com les de liti tenen una activitat molt constant i és un problema, ja que es faria molt més costos i difícil poder monitoritzar l'estat de càrrega de la bateria, ja que la variació de voltatge és mínima i produiria un error molt més gran que en la corba d'àcid plom on el canvi de voltatge amb la capacitat és més notable i facilita una visualització més consistent de la seva autonomia.

9. Control de càrrega d'una bateria Àcid-Plom

Per poder carregar una bateria de manera correcta i assegurar una llarga eficiència el màxim temps possible, s'ha de regular l'energia provinent del panell solar i a la vegada fer un seguiment del propi dispositiu d'emmagatzematge.

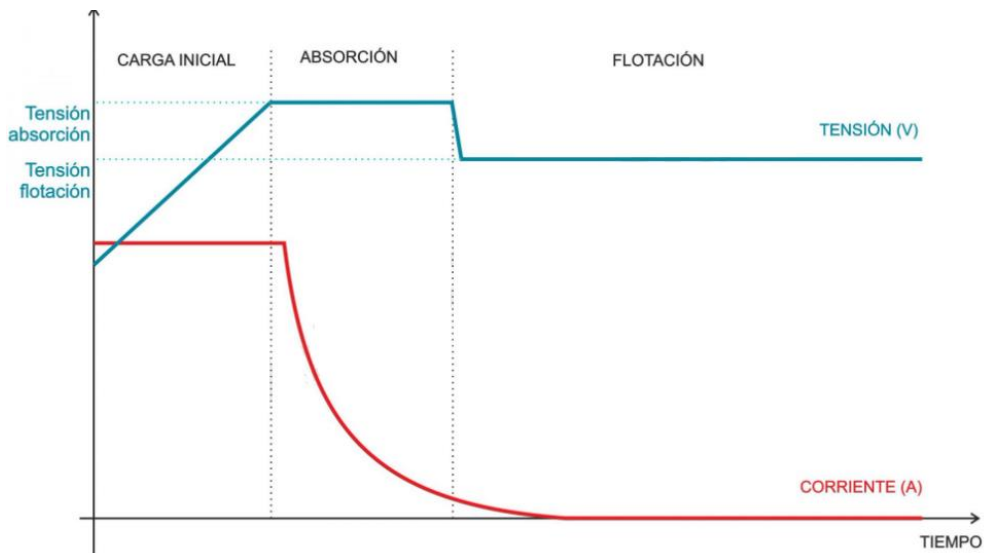
Una correcta regulació aportarà:

- Evitar sobrecàrregues de la bateria, limitant la tensió de fi de càrrega.
- Evitar descàrregues profundes o excessos de voltatges.
- Evitar descàrregues de la bateria cap als panells.
- Evitar excessos de temperatura.
- Evitar fuites o curtcircuits.
- Obtenir un millor rendiment de l'energia.
- Obtenir un bon procés de càrrega per la bateria.

Aquest últim terme és molt important, si es vol que la bateria àcid-plom perduri en el temps, s'ha de fer seguint un procés de càrrega. Aquest procés, es realitza mitjançant el control dels paràmetres d'intensitat (I) i Voltatge (V) que s'injecten. El regulador controla l'estat de la bateria mesurant en el borns del propi dispositiu d'emmagatzematge. A partir dels valors de tensió mesurats es desenvolupa una estratègia de control de la càrrega. Rastrejant els valors de la bateria, el regulador es capaç de connectar o desconnectar el generador fotovoltaic i modificar el seu punt de treball automàticament per fer el control òptim desitjat.

S'ha de tindre en compte, que els valors mesurats de tensió en els borns de la bateria es poden arribar a alterar per una baixada o pujada de la seva temperatura, la majoria de reguladors disposen d'un sensor intern capaç de mesurar la temperatura de la bateria i corregir les alteracions.

El circuit integrat que s'utilitzarà per fer el control de càrrega, té que tindre en compte que s'estarà carregant una bateria d'àcid plom, on per fer una correcta càrrega són necessàries tres fases d'alimentació. A continuació, en la Il·lustració 25, s'adjunta un gràfic on s'explica en que consisteixen cada una de les etapes.



Il·lustració 25 de dcbBallester. Fases de tensió e intensitat en funció del temps de càrrega de una bateria àcid-plom

Etapa anomenada Bulk o càrrega inicial: Es refereix a la primera fase, quant la bateria està total o parcialment descarregada i entra en contacte amb el corrent elèctric, començant a emmagatzemar l'energia. El que passa en aquesta fase és que el corrent que viatja cap a la bateria es subministra a la màxima intensitat programada. Això dona lloc a una pujada de voltatge, arribant ràpidament a la tensió d'absorció de 14,4V en la majoria de les bateries. En aquest punt, la bateria ja ha arribat al 80-90% aproximadament de la seva càrrega. Molts models de circuits integrats en aquesta etapa aporten una fase de pre-càrrega de manera opcional, on comproven l'estat de la bateria abans de començar la càrrega a corrent màxim.

Etapa d'absorció: El que passa en aquesta fase, és que la velocitat de càrrega disminueix fins que la bateria es carrega per complet per evitar que el voltatge continuï pujant, aproximadament, es diu que aquesta etapa ha finalitzat quant el corrent disminueix fins al 3% de la seva capacitat. El voltatge a la bateria segueix sent de 14,4 V (el límit de absorció), amb això, el que s'aconsegueix és la recuperació de l'electròlit en cas que s'hagi patit alguna alteració. En general, l'electròlit es pot haver vist afectat si la bateria ha estat durant un llarg període de temps totalment descarregada abans de subministrar-li energia. En aquest cas, l'etapa d'absorció serà més llarga per tal d'arribar al 100% de la càrrega.

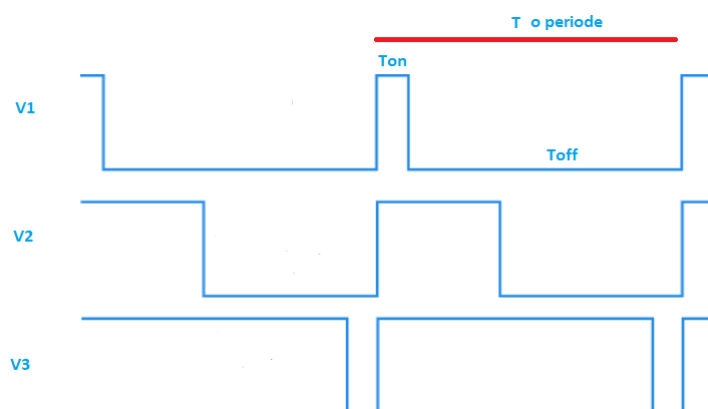
Etapa de flotació: És l'última fase de càrrega d'una bateria. La tensió disminueix fins als 13,6 V aproximadament i subministra el corrent necessari per tal de que el dispositiu d'emmagatzematge es mantingui en "stand by", així evitar que no es produeixi una auto descarrega progressiva (Ballester 2020).

9.1. Tecnologia pel control de càrrega

Principalment, si es vol fer el disseny de càrrega per alimentar una bateria d'àcid plom, es disposen actualment de dos models de xips que es diferencien bàsicament per un aspecte en

concret que ara s'explicarà, els anomenats col·loquialment PWM i els MPPT, ja que els MPPT també utilitzen per tal de regular la tensió i el corrent, el control de la modulació per amplada de pulsacions:

PWM: En anglès Pulse Width Modulation, és una senyal d'ona quadrada que modifica el voltatge mitjà sense variar la freqüència del senyal. Això o fa gràcies a que no sempre el temps del senyal que està en alta impedància, serà el mateix que el que està en baixa impedància, podent així modificar el temps de treball del senyal.



Il·lustració 26 de RI. Senyals modulars amb diferents temps de treball.

En la Il·lustració 26, es pot observar uns exemples de senyals PWM amb la mateixa freqüència però amb diferents cicles de treball, començant per d'alt, de 10%, 40% i 90%, anant el voltatge mitjà de menys a més.

El cicle de treball, per que quedi reflectit d'una manera més clara, és el tant per cent del total del període on la senyal es troba en alta impedància, contra més gran sigui el cicle de treball, més temps estarà en alta impedància. Llavors, com s'ha comentat que la freqüència no varia, si el cicle de treball augmenta, "Ton", augmentarà i per contra "Toff" disminuirà (Gomez 2020):

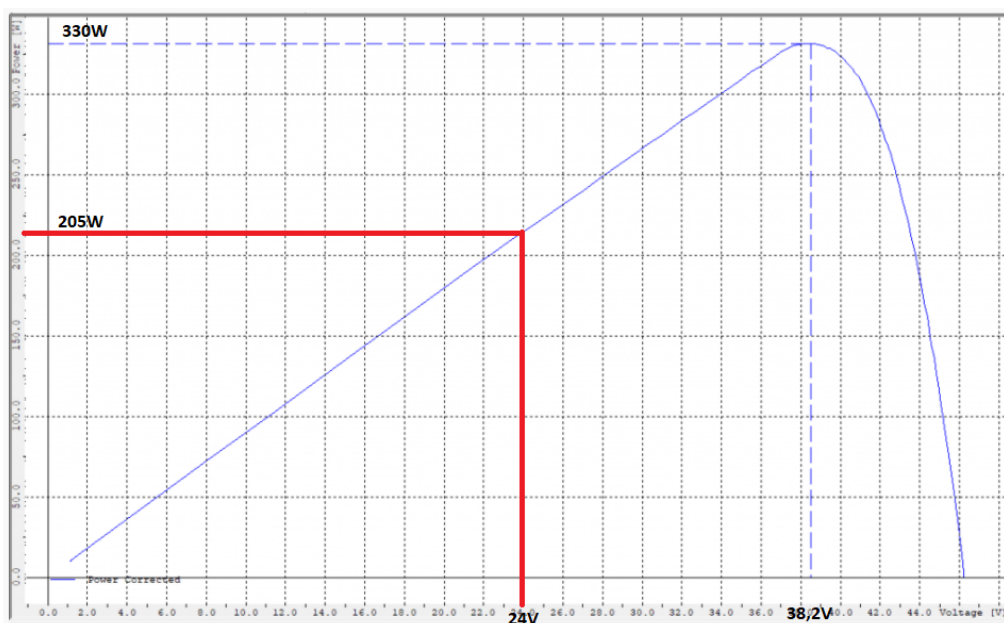
$$CT = \frac{T_{on}}{T_{TOTAL}} * 100;$$

Aquest tipus de senyals es poden aconseguir mitjançant un dispositiu programable com pot ser arduino, amb senyals de 8 bits des de (0 a 255), o tal i com es farà en aquest projecte, amb un circuit integrat.

MPPT: Maximum Power Point Tracker en anglès, no únicament fa una regulació de la tensió i del corrent amb la tecnologia PWM mencionada fa un moment, si no que també, aprofitant la modulació per amplada de pols, incorpora una tecnologia que com el seu nom indica, fa el seguiment de la corba de potència mostrada en la Il·lustració 18, on mitjançant un algoritme

realitza el seguiment i fixa el punt de treball del panell, on el dispositiu genera la màxima potència de producció per tal de millorar l'eficiència.

En un principi, pot semblar una tecnologia innecessària perquè es pot arribar a la conclusió que un PWM convencional fa la mateixa funció. Amb un exemple pràctic, s'intentarà fer veure la utilitat que tenen els controladors amb el seguiment del punt de potència màxim (Atersa 2020).



Il·lustració 27. Zona de treball del controlador amb tecnologia PWM.

Si s'escull un controlador sense MPPT, s'ha de tindre en compte que a l'hora de fer la càrrega, es disposi d'una bona irradiància i lluminositat per tal de no tenir problemes d'energia, ja que quant es comença a carregar, el panell treballarà sempre en el punt d'operació de la bateria. Per posar un exemple, si es té un panell de 330W, on el punt V_{mp} està a uns 38V i es vol alimentar una bateria de 24V, es desaprofitarà una gran quantitat de potència com es pot veure en la Il·lustració 27:

Com la bateria és de 24V, el panell estaria treballant en aquest voltatge i en conseqüència, en condicions ideals d'irradiància a $1\text{kW}/\text{m}^2$, s'estaria desaprofitant un 38% del total de la potència.

$$P_{desaprofitada} = \left(1 - \frac{P_{TREBALL}}{P_{MAX}} \right) * 100 = \left(1 - \frac{205W}{330W} \right) * 100 = 37.87\%;$$

Amb la tecnologia MPPT es faria un seguiment del senyal i s'estaria treballant en els 38.2V, ja que és el punt de màxima potència i d'aquesta manera s'obtidria la producció més elevada possible, de 330W que ofereix el panell en condicions òptimes d'irradiància.

Més endavant es realitzarà l'estudi de dos xips per realitzar la càrrega de la bateria d'àcid-plom i amb tota la informació mostrada fins ara sobre el funcionament dels panell, la bateria i les tecnologies que poden incorporar els xips, es farà molt més entenedor tot plegat.

10. Dispositiu d'emmagatzematge escollit

Per tal de realitzar un bon procés de disseny i elecció del material, es convenient escollir primerament la bateria, i un cop sabent les condicions que ens requerirà el dispositiu d'emmagatzematge, adaptar aquestes necessitat a un panell compatible. Un cop escollits i analitzats, es podrà començar a fer el disseny del control de càrrega.

A continuació es presenta el dispositiu utilitzat en el projecte per emmagatzemar l'energia que prové de la font renovable i la diposita en "stand by" fins que una càrrega externa requereixi d'alimentació.



Il·lustració 28. Bateria d'àcid plom utilitzada en el projecte.

La bateria d'Àcid Plom escollida (Il·lustració 28) és estreta del laboratori de la UPC, ja que estava disponible per al projecte i quadrava amb les necessitats, per aquest motiu s'ha decidit aprofitar-la, tot i així, es tindrà en compte en el pressupost final.

Consta de sis cel·les connectades en sèrie que donen una capacitat total de 7 Ah, suficient per fer proves de càrrega i donar servei a aparells electrònics de poca potència, com per exemple la telefonia mòbil.

$$\text{Voltatge Nominal Bateria} = V_{\text{cel·la}} * N = 2v * 6 = 12v;$$

Com les cel·les de les bateries estan en sèrie, el voltatge de cada unitat es suma per donar una totalitat nominal de 12V, que és lo que indica en la Il·lustració 28 on apareix la bateria. Si les cel·les estiguessin en paral·lel, el voltatge total seria el de la cel·la però creixeria de manera lineal la intensitat, s'augmentaria la capacitat nominal, d'aquesta manera es poden extreure multituds de configuracions sèrie-paral·lel per donar servei a tot tipus de dispositius.

Per tal de poder analitzar bé el dispositiu i poder definir correctament els paràmetres, s'ha d'analitzar de forma correcta el full tècnic i tindre en compte que els valors que donen poden varia segons la temperatura i la velocitat de càrrega o descàrrega que se li apliqui.

Per saber en quines condicions estan extretes aquestes dades s'ha de mirar el valor justament després del arrova en el fill tècnic del dispositiu o en la pròpia bateria, aquest indicatiu es pot

trobar en la majoria de fabricants. En aquest cas, el producte apareix en format temporal, indicat com es pot apreciar en la Il·lustració 28 que apareix 20HR. Si s'obre el full tècnic del producte ho menciona després de l'arrova com s'ha comentat fa un instant.

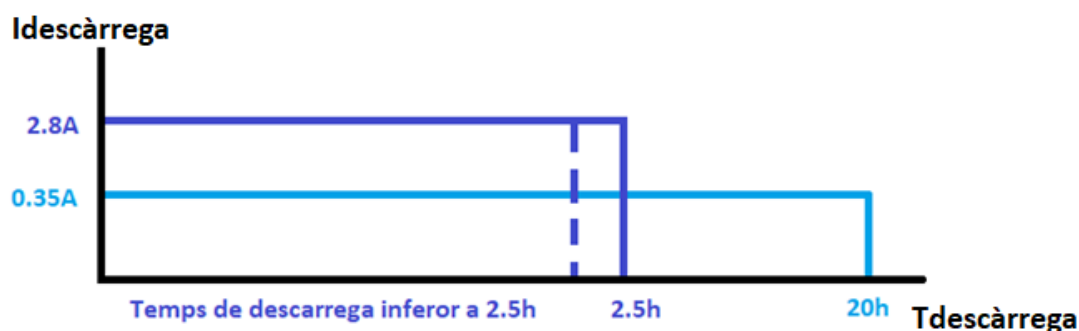
7.0Ah@20hr-rate to 1.80V per cell @25°C

Il·lustració 29. Condicions de les proves de càrrega fetes per el fabricant per extreure els valors nominals.

Quina informació es pot treure d'això?

La Il·lustració 29 indica principalment que les proves de càrrega s'han fet a temperatura ambient (25°C), i que la capacitat nominal de 7Ah s'ha estret amb una descàrrega profunda fins als 1.8 volts, amb una durada de 20 hores i a una intensitat constant de 0.35A.

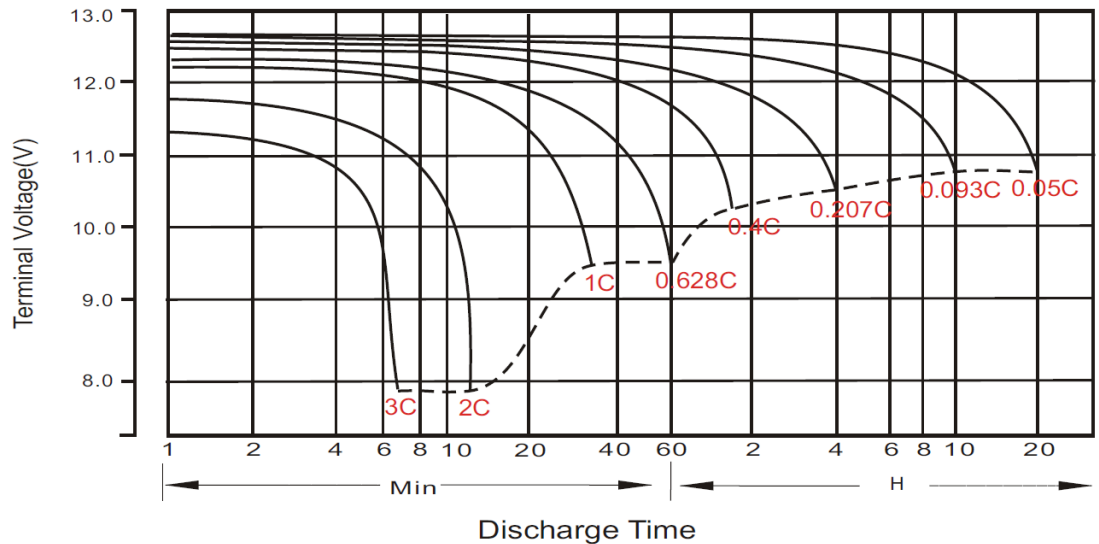
$$\text{Intensitat} = \frac{7Ah}{20h} = 0.35A;$$



Il·lustració 30. Dibuix il·lustratiu sobre la pèrdua d'energia d'una bateria a altes intensitats.

Aquest valor ens indica que si es descarrega a una intensitat superior a 0.35A, la bateria perdrà energia ja que no és ideal. Com és mostra en la Il·lustració 30, si es vol fer una descàrrega constant a C/2.5 on es subministra 2.8A cap a un dispositiu extern, al ser una intensitat superior a la establerta pel fabricant, el temps real de descàrrega serà inferior als càlculs realitzats, il·lustrat en la imatge amb una línia discontinua que simbolitza el temps real que trigarà en descarregar-se per complet. Quan es treballa però amb intensitats petites, les pèrdues de capacitat són insignificants.

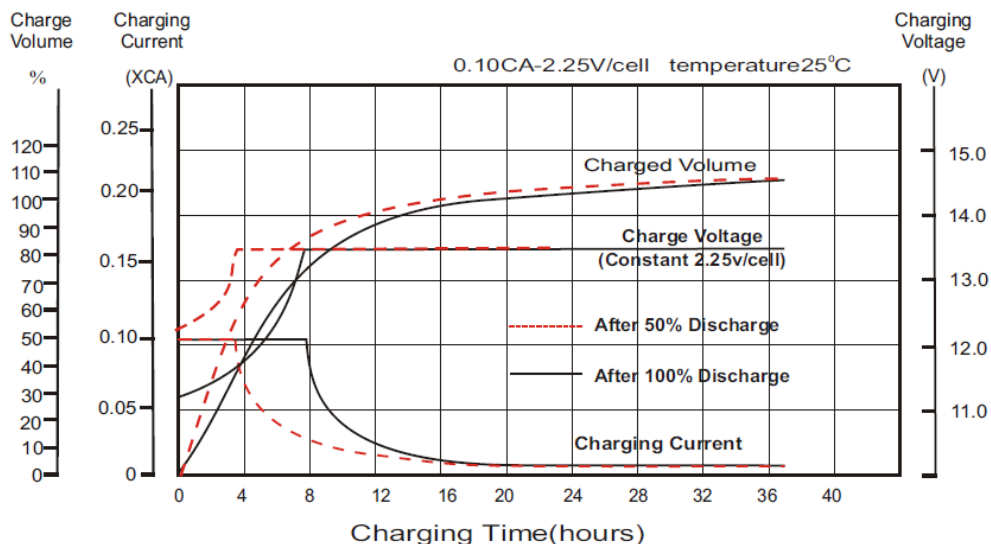
Mencionar per clarificar un concepte important que apareix en la majoria de fulls tècnics. Quant es parla de bateries o aparells d'emmagatzematge d'energia, per mencionar a la intensitat que es carrega o es descarrega una bateria, s'utilitza la nomenclatura de "C/2.5" per exemple, o també el cas de 0.4C, es a dir, el temps el qual la bateria es carregarà o es descarregarà per complet (temps de 2.5h). És una nomenclatura normalitzada que es farà servir bastant en aquest projecte. Si es vol saber la intensitat a la que es refereix, únicament s'ha de substituir la C, per la capacitat de la bateria, en aquest cas 7Ah/2.5h, que dona un valor de 2.8A.



Il·lustració 31. Corbes de descàrrega extremes del full tècnic de la bateria.

Com es pot apreciar en la Il·lustració 31, el fabricant mostra el procés de descàrrega de la bateria a diferents intensitats constants, 3C, 2C, 1C.... Es pot veure clarament com si s'integra cada una de les corbes que es mostren, la primera començant per l'esquerra, obtindrà un àrea molt més inferior a la de la corba de més a la dreta. Aquesta àrea que formen les corbes és la capacitat. Aquí queda reflectit com contra més intensitat se li demani a un dispositiu d'emmagatzematge, menys capacitat d'energia s'obté per part de la bateria.

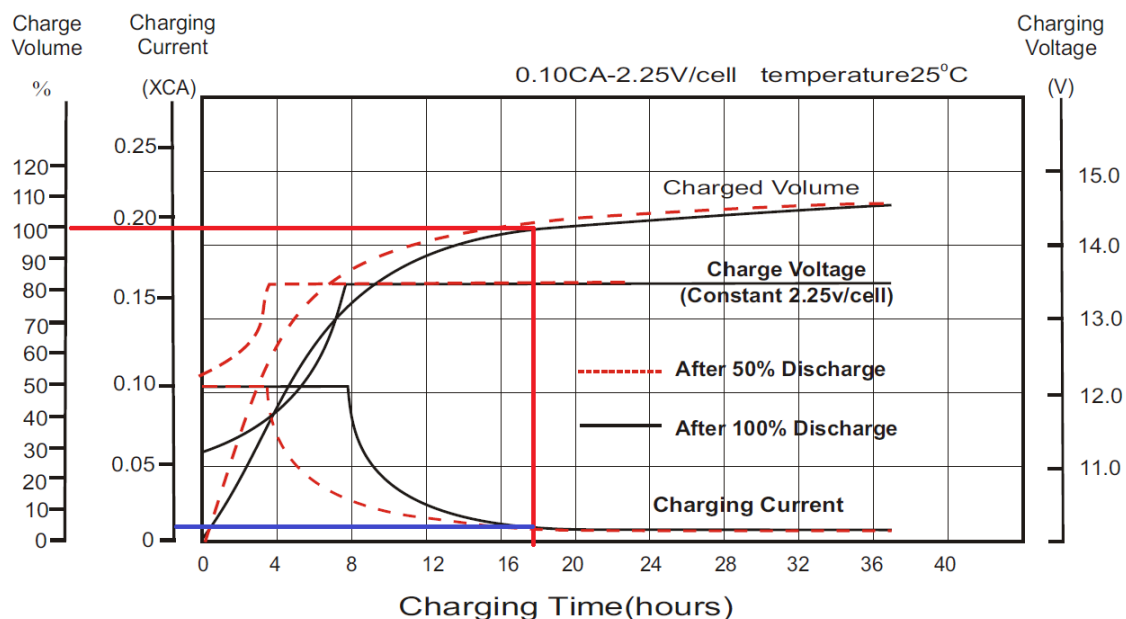
Sabent això, l'objectiu principal d'aquest projecte no és la descàrrega sinó la càrrega, ja que la descàrrega de la bateria està pensada per a que sigui l'usuari qui la faci. Una decisió important a l'hora d'establir paràmetres per a la realització del procés de càrrega comentat anteriorment en l'apartat del "Control de càrrega d'una bateria Àcid-Plom", és la decisió de la intensitat màxima que es subministrerà a la bateria. Aquesta, no pot ser massa elevada, ja que es vol aconseguir una bateria eficient i duradora en el temps, i si s'escull un corrent massa gran, de més de 2.1A segons el fabricant, no es conservaran durant molt de temps les propietats químiques del dispositiu d'emmagatzematge. Per aquest motiu s'escull una càrrega d'1A, ja que és un valor raonable i entra dintre del rang permès pel fabricant.



Il·lustració 32. Gràfic de càrrega extret del full tècnic del dispositiu.

Al fer la càrrega i per poder fer una bona estimació i simulació, s'ha de saber quan es pot considerar que la bateria està completament descarregada. El mètode utilitzat serà mirant el voltatge en borns de la bateria, en altres paraules, segons el voltatge que tingui el dispositiu d'emmagatzematge. El full tècnic del fabricant, com s'observa en la Il·lustració 32 extreta del "datasheet", on es pot apreciar el procés de càrrega en concret d'aquesta bateria. El volum de la capacitat serà del 0% quan el voltatge de la bateria sigui de 10V, això indicarà que la bateria està descarregada completament i és important no baixar mai més per sota d'aquest valor, ja que es començarien a fer mal bé el dispositiu.

Un altre valor important per al disseny que es pot extreure de la Il·lustració 32, és el valor mínim de corrent que indicarà al controlador que ja s'ha completat el procés de càrrega de la bateria i per conseqüència està al màxim de la seva capacitat. Com s'ha comentat anteriorment en l'apartat de "Control de càrrega d'una bateria Àcid-Plom", en l'etapa d'absorció on el voltatge es manté constant i el corrent comença a reduir-se, es té un llindar de corrent a partir del qual la bateria està completament carregada i es passa a l'etapa de flotació per fer un correcte manteniment de l'energia emmagatzemada.



Il·lustració 33. Obtenió de la intensitat mínima quan la bateria esta completament carregada.

Aquest valor segons el gràfic que es torna a mostrar en la Il·lustració 33, és d'uns 0.01C i 0.02C aproximadament, lo que correspon a un rang entre 70mA i 140mA. Per obtenir el valor, primerament, s'ha d'agafar el punt de la corba de capacitat al 100% (Charge Volume) il·lustrada en color vermell, i un cop obtingut el punt de treball, referenciar el valor corresponent en la corba d'intensitat il·lustrada en color blau (Charging Current), que com no mostra el valor exacte de corrent, s'ha agafat un rang aproximat de valors possibles i més endavant al estudiar el circuit integrat que s'encarregarà de regular tots el paràmetres s'analitzarà la seva compatibilitat.

S'ha de comentar que aquest gràfic correspon a una càrrega de manteniment, ja que si s'observa el voltatge final, assoleix un valor entorn als 13.5V, que segons el fabricant, correspon a una càrrega de manteniment. Per lo tant, el gràfic per a una càrrega cíclica, que és la que es preveu en aquest projecte, al no tenir aquest representat en el "datasheet" del producte, s'han realitzat aquestes estimacions pertinents, on el valor mínim d'intensitat per al la finalització del procés, es suposa que serà el mateix per als dos tipus de càrrega.

El rang que disposa la bateria per fixar el punt de seguretat i no sobre passar el voltatge màxim permès, com es pot apreciar en la Il·lustració 28, va dels 14.4V als 15V. Per al projecte, s'ha escollit fixar aquest valor, al mínim aconsellat de 14.4V per un tema de seguretat.

| Voltatge mínim | Voltatge màxim | Intensitat de càrrega màxima | Intensitat amb bateria carregada | Capacitat |
|----------------|----------------|------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 10v | 14.4v | 1A | 70mA – 140mA | 7Ah |

Taula 5. Dades generals extretes de la bateria.

11. Dimensionat del Panell Solar

Per tal de poder fer un bon disseny del sistema i acabar tenint un producte eficient, s'ha de fer un estudi de les necessitats i justificar de manera raonada les dimensions dels panells solars, ja que és lo més car del projecte i seran els encarregats de proporcionar tota l'energia.

Primer de tot, per saber quines són les necessitats d'energia que es requereixen, es farà una estimació del consum que demanarà la bateria per realitzar una càrrega completa. Al no poder obtenir de la Il·lustració 32 el temps de càrrega, s'utilitzarà la capacitat que ens facilita el fabricant de 7Ah de la següent manera:

$$P = V * I = V * \frac{C}{t};$$

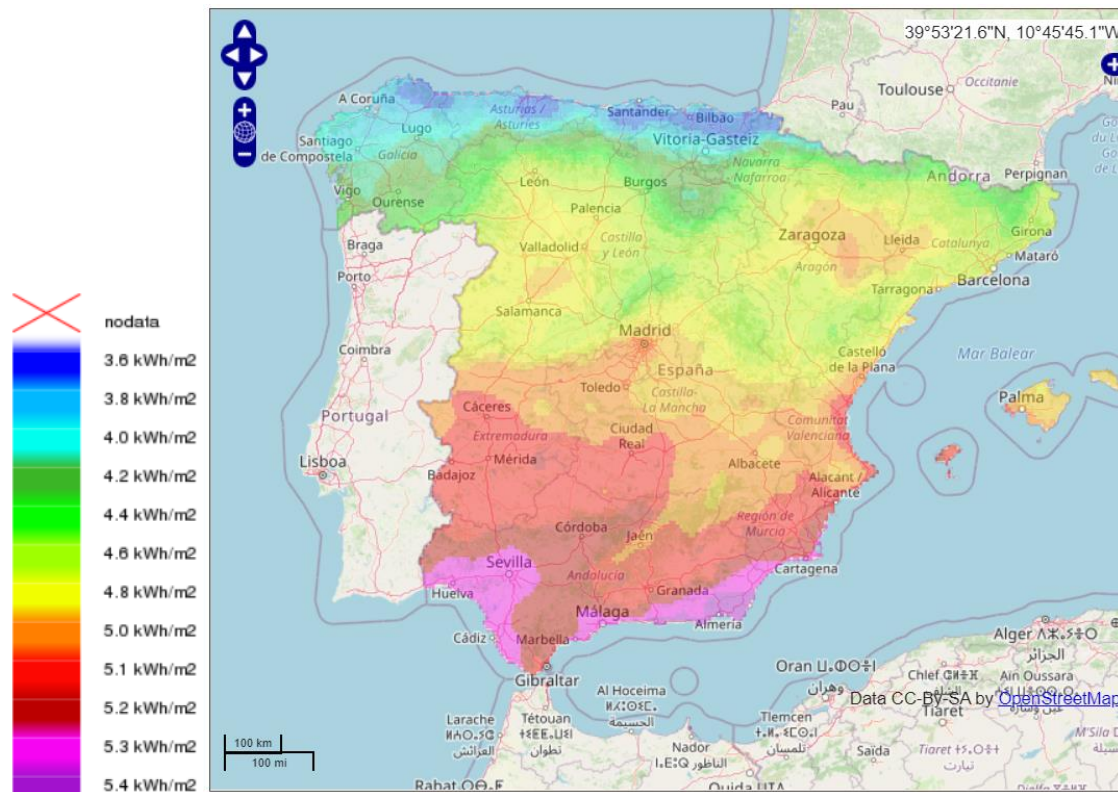
$$E = P * t = V * \frac{C}{t} * t = 14.4V * 7Ah = 100.8 Wh;$$

Si es suposa com a hipòtesis un rendiment unitari del procés, per tal de completar la càrrega de la bateria, es necessiten 100.8Wh d'energia. Ara, ja es pot estimar la potència necessària que caldrà obtenir dels panells solars.

L'elecció del voltatge de 14.4V en el càlcul de l'energia obtinguda en el procés de càrrega, es degut a que com és una energia potencial. S'ha de tindre en compte que els 14.4V són una diferència entre l'energia potencial dels electrons a la bateria i l'energia potencial en un punt fictici infinitament lluny. Llavors, el punt positiu d'aquesta energia és que no té en compte el camí seguit per arribar al seu objectiu (els 14.4V), sinó de la diferència entre el valor inicial i el final.

Com per aquest projecte, el càlcul de l'energia parteix d'una càrrega nul·la d'electrons (bateria a capacitat 0%), i es finalitza la càrrega completa (bateria al 100% de la seva capacitat), aquesta, al començament serà nul·la, lo que vol dir que únicament s'ha de tindre en compte l'energia final de la bateria, es a dir, els 14.4V * 7Ah (Suñé Socias 2021).

Per tal de poder estimar la potencia que podran generar els panells, serà necessari realitzar un estudi previ de la irradiància solar en el nostre país. S'extrauran dades anuals a nivell nacional, perquè com s'ha comentat, és un dels factors claus per poder estimar la potència requerida. A continuació és mostren dades de la agencia ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Solar de España).



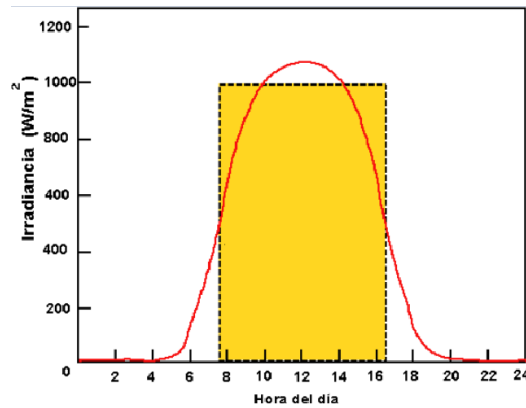
Il·lustració 34 de ADRASE. Mapa solar de la península ibèrica.

Es veu reflectit a les fotografies estretes de la pàgina oficial del ministeri de ciència e innovació, les dades d'irradiància anuals, recollides diàriament per fer una mitjana amb tots els resultats recopilats. Com a Terrassa és on estan situat els laboratoris de prova, s'ha ampliat el mapa de criteris fins a fixar la localització. Com es veu en la Il·lustració 35, predomina la tercera tonalitat verdosa començant per d'alt a la llegenda corresponent, a una irradiació de 4.6 kWh/m^2 (Gobierno de España 2021).



Il·lustració 35 de ADRASE. Mapa de la península ibèrica ampliat.

L'objectiu d'obtenir la irradiació en kWh/m^2 és per calcular l'ESH (En anglès Equivalent Solar Hours), és un paràmetre que serveix per estimar la disponibilitat de llum solar eficient durant el dia en una regió en concret, en altres paraules, el total d'hores diàries que tindran llums els panells a una irradiància de 1000 W/m^2 , que es la irradiància normalitzada pels fabricants.



Il·lustració 36 de SemanticScholar. Gràfic ESH.

La raó principal d'obtenir aquest valor, és per no tindre en compte hores en les quals el sol no produeixi energia suficient com per subministrar el corrent i el voltatge necessari al sistema. Es pot apreciar en la Il·lustració 36, per un costat, la irradiància que és la línia vermella, i per sota, la irradiació que és l'energia. Aquesta corba que representa la intensitat de la llum, comença a incrementar sobre les 4-5 a.m, però fins que no arriba cap a les 8 a.m, és una potència molt baixa que no és recomanable tindre en compte, de igual forma quant el sol se'n va cap a la nit. Per aquest motiu, es fa una estimació del total produït a una irradiància genèrica de $1\text{kW}/\text{m}^2$ i poder normalitzar i comparar l'estimació amb altres zones geogràfiques. La fórmula per fer-ho és la següent (Falconi 2018; Martínez, Rodríguez, and Castro 2017):

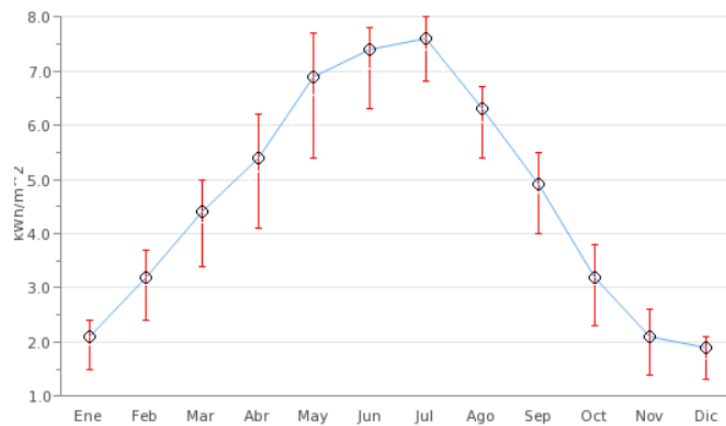
$$ESH = \frac{\text{Irradiació Terrassa}}{\text{Irradiància global (kW/m}^2)} = \frac{4.6 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4.6 \text{ h};$$

Com s'aprecia, per obtenir l'ESH s'ha de dividir la irradiació global analitzada a Terrassa, per la irradiància estàndard de $1000\text{W}/\text{m}^2$, on s'obté una disponibilitat general anual de llum solar pic d'un es 4.6 hores diàries. Ara, juntament amb la demanda d'energia que requereix un cicle complet de càrrega, ja es pot obtenir la potència total que es requereix, únicament falta fixar un requisit de temps en el qual es vol que aquest procés de càrrega es dugi a terme. Per aquest projecte s'ha decidit que el procés es pugi assolir en menys d'un dia, ja que es lo més pràctic per tal de comercialitzar el prototipi i fer veure als consumidors que el sol s'aprofita diàriament:

$$P_{pv} = \frac{E_{procés}}{\text{requisit de càrrega} * ESH} = \frac{100.8 \text{ Wh}}{1 \text{ dia} * 4.6 \text{ h/dia}} = 21.91 \text{ W};$$

Al dividir el consum total de càrrega de la bateria, pel temps total que estan rebent llum i generant energia en un dia, dona una potència requerida del panell de 21.91 W.

Com és normal, al estiu és tindran moltes més hores de llum solar en comparació amb l'hivern, però per poder fer un anàlisi coherent, s'ha de fe una mitjana anual, ja que es preveu que el sistema pugui funcionar per a tots els mesos de l'any, si més no, a continuació es mostra el nivell d'irradiació de Terrassa:



| (kWh/m ²) | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Percentil 75 | 2.4 | 3.7 | 5.0 | 6.2 | 7.7 | 7.8 | 8.0 | 6.7 | 5.5 | 3.8 | 2.6 | 2.1 |
| Valor medio | 2.1 | 3.2 | 4.4 | 5.4 | 6.9 | 7.4 | 7.6 | 6.3 | 4.9 | 3.2 | 2.1 | 1.9 |
| Percentil 25 | 1.5 | 2.4 | 3.4 | 4.1 | 5.4 | 6.3 | 6.8 | 5.4 | 4.0 | 2.3 | 1.4 | 1.3 |

Il·lustració 37 de ADRASE. Irradiació mensual a la ciutat de Terrassa.

Amb aquestes dades mensuals mostrades en la Il·lustració 37, es pot fer un càlcul estimatiu mitjançant una taula “Excel” per veure en quins mesos el sistema podrà estar amb falta de insuficiència energètica per realitzar el seu treball, i en quins mesos, gràcies a l’elevada irradiància solar, el panell anirà sobrat per subministrar la potència requerida, aquests càlculs es mostren en la Taula 6.

$$Potencia\ Requerida = \frac{E_{procés}}{Temps\ de\ Sol\ Pic};$$

$$E_{procés} = 100.8Wh; \quad P_{pv} = 21.91W;$$

| | Irradiació (kWh/m ²) | Temps de Sol pic (h) | Potencia Requerida (W) | | Dies de càrrega |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|-----------------|
| Gener | 2,1 | 2,1 | 48,0 | -26,1 | 2,19 |
| Febrer | 3,2 | 3,2 | 31,5 | -9,6 | 1,44 |
| Març | 4,4 | 4,4 | 22,9 | -1,0 | 1,05 |
| Abril | 5,4 | 5,4 | 18,7 | 3,2 | 0,85 |
| Maig | 6,9 | 6,9 | 14,6 | 7,3 | 0,67 |
| Juny | 7,4 | 7,4 | 13,6 | 8,3 | 0,62 |
| Juliol | 7,6 | 7,6 | 13,3 | 8,6 | 0,61 |
| Agost | 6,3 | 6,3 | 16,0 | 5,9 | 0,73 |
| Setembre | 4,9 | 4,9 | 20,6 | 1,3 | 0,94 |
| Octubre | 3,2 | 3,2 | 31,5 | -9,6 | 1,44 |

| | | | | | |
|-----------------|-----|-----|------|-------|------|
| Novembre | 2,1 | 2,1 | 48,0 | -26,1 | 2,19 |
| Desembre | 1,9 | 1,9 | 53,1 | -31,1 | 2,42 |

Taula 6. Potència requerida dels panells per cada més de l'any.

Com és normal, en els mesos de més frescor li costarà molt més poder arribar als mateixos valors de producció que a l'estiu, i es requerirà de moltes més hores de sol per proveir a la bateria d'energia tal i com es mostra en la Taula 6. Tot i això, els resultats obtinguts són força bons ja que entren dins dels valors esperats. Ara és pot veure de primera mà el problema que es té amb les fonts renovables quant es tenen excessos de producció o requeriments d'energia tal i com s'ha comentat anteriorment en l'apartat "Alguns dels problemes que presenta la generació d'energia elèctrica", ja que es veu lo malament que fa sentir al estiu, tenir que malgastat energia i al hivern, tenir que estar dement aquesta. Per això s'ha emfatitzat lo important que són les bateries o altres tipus de sistemes d'emmagatzematge comentats anteriorment en l'apartat "Estudi de les diferents tecnologies d'emmagatzematge d'energia" per tal de poder suplir aquestes necessitats en temps de pobresa energètica, ja sigui solar com és aquest cas, eòlica, hidràulica etc....

11.1. Panell solar escollit

Encara que s'ha pogut calcular la potència que es requereix, no vol dir que es tingui disponible un panell solar en stock amb la producció exacta que es necessita, això passa en tots els projectes, que quan passes a la practica i comences a plasmar el disseny realitzat en el marc teòric, després, un cop fets els càlculs i passar a adquirir el material, s'ha de modificar i adaptar de la millor forma possible al stock disponible en aquest moment i als propis fabricants dels dispositius.

Primer de tot, en el mercat es venen al consumidor dos tipus principals de panells, de 36 i 72 cel·les, anomenats panells aïllats, ja que estan dissenyats per treballar en instal·lacions autònomes amb les bateries.

Per un costat, es tenen els panells de 12 volts nominals que corresponen als de 36 cel·les mencionats fa un instant, aquests, són capaços d'abastir un rang de potències des dels 5W als 140W.

Els de 72 cel·les, consten d'un voltatge nominal de 24 volts i són capaços d'arribar a rangs de potència bastant més elevats com és normal, dels 150W als 200W.

Aquestes cel·les es connecten en sèrie on cada una de elles pot generar uns 0.5V, el de 36 cel·les arribant als 18V, i el de 72 cel·les arribant als 36V. Encara que són anomenats de 12 i 24 volts. El motiu principal perquè després el seu voltatge sigui superior, es degut a les pèrdues que es generen en tots els sistemes en un menor o major grau. Utilitzant panells amb un voltatge més elevat, es podrà estar segur de que per exemple, sempre arribaran 12 volts aproximats a la bateria i no es quedaran curts de voltatge. Per bateries de 24 volts lo mateix.

Requerint uns 21.91W de potència, contemplant el stock disponible a RS (màxim distribuïdor de material elèctric a Espanya), que és la pàgina on es pot aconseguir a millor preu el material, ja que és on la universitat té una col·laboració i els costos surten amb preus de transport molt baixos. S'ha escollit comprar dos panells de 20W cada un, fent una suma de 40W totals. Aquesta decisió s'ha pres a conseqüència de que les altres configuracions de panells en RS no eren idònies i els càlculs realitzats s'han fet a un rendiment ideal, tenint en compte, a part, que no sempre el panell treballarà amb una irradiància ideal per poder proporcionar els 40W màxims establerts pel fabricant.

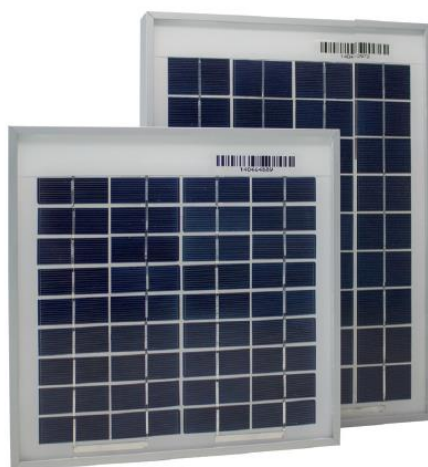
L'altre opció de compra, era comprar un panell de 5W i l'altre de 30W, però el panell de trenta wats, té unes dimensions ja massa grans per fer un transport correcte, lo que els portat a ser una alternativa inviable. Per aquest motiu s'ha decidit optar per la primera proposta (20W + 20W).

Amb aquest augment de potència mínimament obligat per la disponibilitat de panells en el mon comercial, s'ha hagut d'augmentat la potència calculada uns 18.1W, fent un total de 40W que s'obtindran finalment en condicions optimes d'irradiància. Amb aquest augment, les condicions en èpoques fredes milloraran, però per altre banda, es desaprofitarà molta més energia al llarg del any. A continuació, en la Taula 7, es mostren les dades de potencia requerides al llarg de l'any a conseqüència el nou augment de potencia.

| | Irradiació (kWh/m ²) | Temps de Sol pic (h) | Potencia Rquerida (W) | | Dies de càrrega |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|--------------------|
| Gener | 2,1 | 2,1 | 48,0 | -8,0 | 1,20 |
| Febrer | 3,2 | 3,2 | 31,5 | 8,5 | 0,79 |
| Març | 4,4 | 4,4 | 22,9 | 17,1 | 0,57 |
| Abril | 5,4 | 5,4 | 18,7 | 21,3 | 0,47 |
| Maig | 6,9 | 6,9 | 14,6 | 25,4 | 0,37 |
| Juny | 7,4 | 7,4 | 13,6 | 26,4 | 0,34 |
| Juliol | 7,6 | 7,6 | 13,3 | 26,7 | 0,33 |
| Agost | 6,3 | 6,3 | 16,0 | 24,0 | 0,40 |
| Setembre | 4,9 | 4,9 | 20,6 | 19,4 | 0,51 |
| Octubre | 3,2 | 3,2 | 31,5 | 8,5 | 0,79 |
| Novembre | 2,1 | 2,1 | 48,0 | -8,0 | 1,20 |
| Desembre | 1,9 | 1,9 | 53,1 | -13,1 | 1,33 |

Taula 7. Actualització de la Taula 6

Es pot observar en la Taula 7, gràcies a l'augment de potència, la disminució en els dies necessaris per tal d'obtenir una càrrega completa, lo que ha provocat el canvi d'estats a color verd de quatre mesos ressaltats en un color fosc més notable.



Il·lustració 38 de Phaesun. Panells solars escollits.

Els dos panells escollits són de la marca Phaesun, ja que és un fabricant amb bones observacions i molt ben valorada pel distribuïdor de RS. A part ofereix unes dimensions coherents amb la potència que subministra. Es mostren en la Il·lustració 38.

11.1.1. Característiques principals del panell

| Pmax (W) | Voc (V) | Isc (A) | Vmp (V) | Imp (A) | Volum (i, w, h) |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| 20 | 22 | 1.32 | 17 | 1.18 | (455, 380, 34)mm |

Taula 8. Especificacions del panell solar

En la Taula 8, es detallen les especificacions per a un dels dos panells, ara, depenent com es connectin entre ells, donaran uns o altres valors. Hi ha dues formes de fer-ho, en sèrie i en paral·lel, s'ha de decidir en quina de les dues configuracions fixar els panells:

Configuració sèrie:

| | Panell 1 | Panell 2 | Configuració Sèrie |
|-------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| Pmax | 20 W | 20 W | 40 W |
| Voc | 22 V | 22 V | 44 V |
| Isc | 1,32 A | 1,32 A | 1,32 A |
| Vmp | 17 V | 17 V | 34 V |
| Imp | 1,18 A | 1,18 A | 1,18 A |

Taula 9. Configuració dels panells en Sèrie.

Configuració paral·lel:

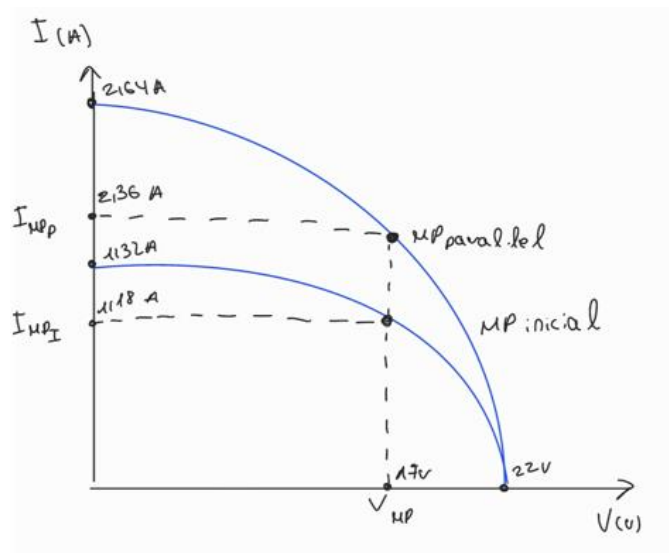
| | Panell 1 | Panell 2 | Configuració Paral·lel |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Pmax | 20 W | 20 W | 40 W |
| Voc | 22 V | 22 V | 22 V |
| Isc | 1,32 A | 1,32 A | 2,64 A |
| Vmp | 17 V | 17 V | 17 V |
| Imp | 1,18 A | 1,18 A | 2,36 A |

Taula 10. Configuració dels panells en Paral·lel.

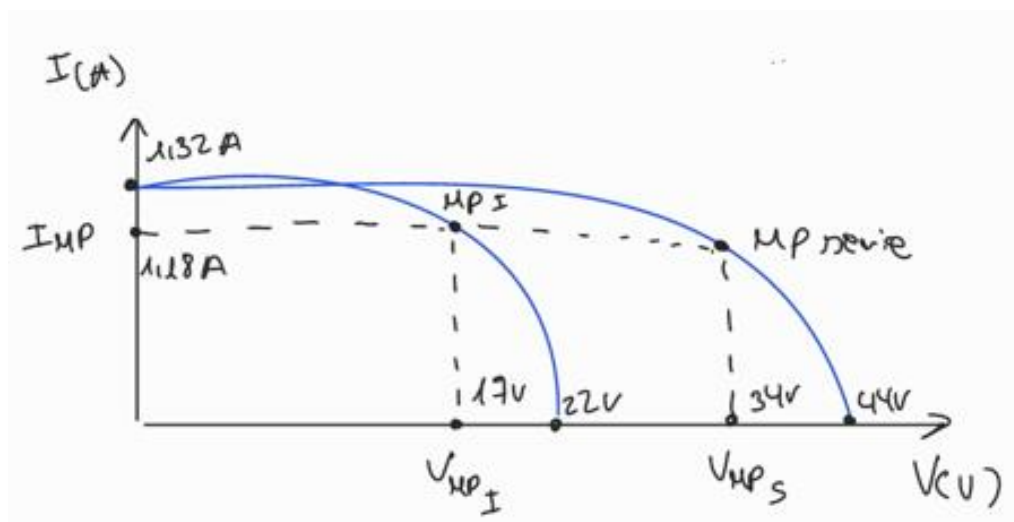
Amb aquestes dues taules (Taula 9 i Taula 10), es pot apreciar com la millor opció per fer la connexió dels panells seria en paral·lel, ja que és innecessari incrementar el voltatge pic per sobre

dels 17 V, i ens és convenient augmentar la intensitat per tindre marge de seguretat a l'hora de carregar la bateria.

Es pot veure reflectit més en detall el comportament dels panells solars a continuació amb els dos exemples gràfics (Il·lustració 39 i Il·lustració 40).



Il·lustració 39. Gràfic corrent-voltatge de dos panells en paral·lel



Il·lustració 40. Gràfic corrent-voltatge de dos panells en sèrie.

Com s'ha estat comentat anteriorment en l'apartat de "Descripció tècnica d'un panell solar", el factor principal que fa que un panell subministri més o menys energia és la irradiància que pot produir el sol, aquesta, actua sobre el panell augmentant o disminuint el corrent de sortida. Es pot recordar en la Il·lustració 18, on apareixen varies irradiàncies desde els 1000W/m^2 fins als 200W/m^2 , i això provoca que amb poca irradiància, alomillor, el panell no arribi a poder subministrar la intensitat de sortida desitjada.

Al tenir fixada en el model una càrrega màxima constant d'1A, es pot veure que com a màxim, en el punt de potència més elevat del panell, es produiran 1.18A en condicions ideals, si es connecten els panells en sèrie, es pot apreciar en la Il·lustració 40, que a la mínima que baixi la irradiància, que és un fet que passi amb molta probabilitat, ja no es disposarà d'intensitat suficient per carregar la bateria. En canvi, si s'observa la Il·lustració 39 on estan els panells connectats en paral·lel, es té molt més marge per a que la irradiància baixi sense baixar de l'intensitat programada d'1A. Aquesta és la raó principal per la qual és millor la connexió en paral·lel en aquest projecte en concret.

12. Circuit integrat per al control de càrrega de la bateria

Amb tota aquesta informació ara interioritzada, s'analitzaran dos tipus de controladors amb un diferent funcionament cadascun, que actualment estan en el mercat, per aprendre com actuen, i decidir quin dels dos serà l'encarregat de fer funcionar la bateria amb els panells escollits.

12.1. bq2031

És un xip integrat altament personalitzable a distintes situacions de càrrega com es podrà veure a continuació, tant en càrregues cícliques com de manteniment. S'alimenta a una tensió de 5V aproximadament i treballa a una freqüència no fixada, on el dissenyador del sistema pot escollir la més idònia per al projecte segons les seves necessitats.

Compte amb tres algoritmes de càrrega, més endavant s'explicarà quin serà l'utilitzat en cas d'agafar aquest xip:

- Two-Step Voltage
- Two-Step Current
- Pulsed Current

El CI, a part, consta d'una gran quantitat de pins per tal de poder, fixar els diferents valors crítics que intervenen en el control de càrrega de la bateria, poder fer un control dels paràmetres per estar sempre en condicions segures de càrrega i poder també externalitzar la informació cap a l'usuari. A continuació, s'explica en detall en que consisteix cada un dels pins i com configurar-los.

Descripció dels pins de configuració del xip:

TMTO= Determina el màxim temps de càrrega.

FLOAT= Fixa el voltatge de flotació de la bateria mitjançant un divisor de tensió.

BAT=Detector de voltatge de la bateria.

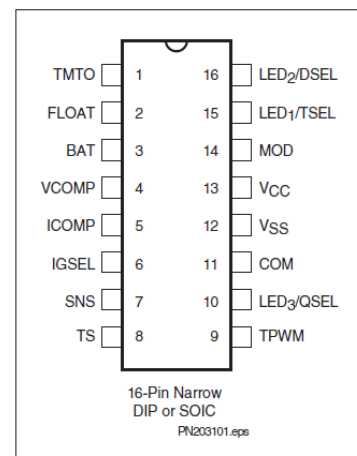
VCOMP= Se li connecta un condensador o un R-C per estabilitzar el voltatge.

ICOMP= Se li connecta un condensador o un R-C per estabilitzar el corrent.

IGSEL= Pin per fixar la intensitat mínima i finalitzar la càrrega màxima en un tipus de regulació anomenada pel fabricant "regulació de voltatge a dos passos", i el manteniment del corrent en un altre tipus de regulació anomenada "regulació de corrent a dos passos".

SNS= Es mesura el corrent que entra a la bateria a través d'una resistència connectada al seu born negatiu.

TS= Pin per a la connexió d'un mesurador de temperatura extern a la bateria.



Il·lustració 41. Esquema del xip BQ2031

TPWM= Pin que serveix per fixar la freqüència de commutació amb un condensador extern.

QSEL=Conjuntament amb el pin TSEL, es selecciona l'algoritme de càrrega (Voltatge a dos passos, Corrent a dos passos), comentat abans.

COM= Sortida d'alta impedància comuna per als leds.

VSS= GND.

VCC= Alimentació del xip integrat a 5V.

MOD= Sortida del corrent en forma de pulsacions, en estat alt deixa passar el corrent, en estat baix el talla.

LED1-3= Són els estats de sortida del LEDs.

DSEL= Controla amb els tres leds l'estat actual de càrrega.

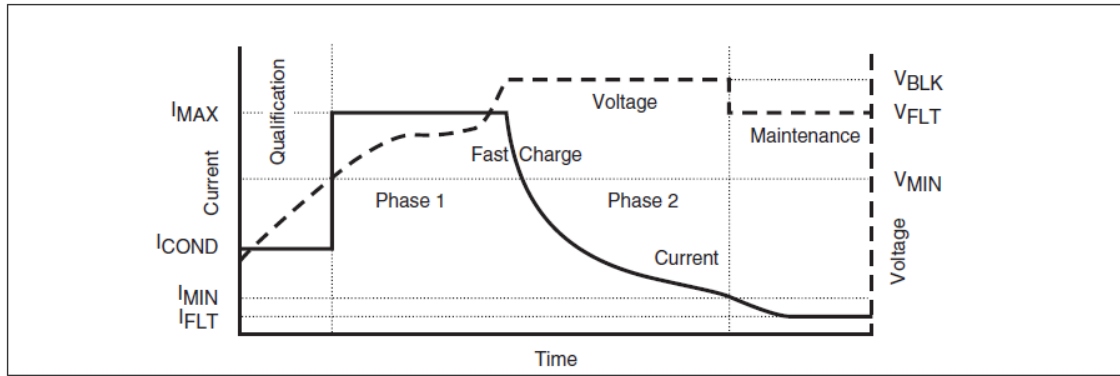
TSEL= Conjuntament amb el QSEL, selecciona l'algoritme de càrrega.

Configuració del mode de càrrega:

| Algorithm/State | QSEL | TSEL | Conditions | MOD Output |
|-------------------------|------|-----------------------|--|---------------------------|
| Two-Step Voltage | L | H/L ^{Note 1} | - | - |
| Fast charge, phase 1 | | | while $V_{BAT} < V_{BLK}$, $I_{SNS} = I_{MAX}$ | Current regulation |
| Fast charge, phase 2 | | | while $I_{SNS} > I_{MIN}$, $V_{BAT} = V_{BLK}$ | Voltage regulation |
| Primary termination | | | $I_{SNS} = I_{MIN}$ | |
| Maintenance | | | $V_{BAT} = V_{FLT}$ | Voltage regulation |
| Two-Step Current | H | L | - | - |
| Fast charge | | | while $V_{BAT} < V_{BLK}$, $I_{SNS} = I_{MAX}$ | Current regulation |
| Primary termination | | | $V_{BAT} = V_{BLK}$ or $\Delta^2V < -8mV$ ^{Note 2} | |
| Maintenance | | | I_{SNS} pulsed to average I_{FLT} | Fixed pulse current |
| Pulsed Current | H | H | - | - |
| Fast charge | | | while $V_{BAT} < V_{BLK}$, $I_{SNS} = I_{MAX}$ | Current regulation |
| Primary termination | | | $V_{BAT} = V_{BLK}$ | |
| Maintenance | | | $I_{SNS} = I_{MAX}$ after $V_{BAT} = V_{FLT}$; $I_{SNS} = 0$ after $V_{BAT} = V_{BLK}$ | Hysteretic pulsed current |

Il·lustració 42. Mode de càrrega del xip.

En els pins QSEL i TSEL com s'ha mencionat abans, és pot configurar el mode de càrrega en el qual el xip farà actuar de manera diferent en la presa de decisions a l'hora de donar alimentació a la bateria. Com es pot apreciar en la Il·lustració 42, depenent si està configurat a nivell alt o baix, en els pins s'obté una configuració o un altre.



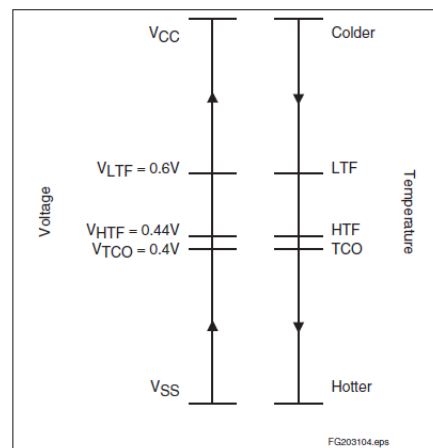
Il·lustració 43. Algoritme de càrrega Two-steps Voltage.

En cas d'escollir aquest model de xip, es programaria amb l'algoritme de Two-Step Voltage (QSEL en alta impedància indiferentment de lo que hi hagi a TSEL), ja que és el procés més semblant a lo que es tenia previst en un primer moment que seria el procés de càrrega de la bateria (Il·lustració 43), un corrent màxim constant fins arribar a un voltatge pre definit i seguidament reduir el corrent per mantenir el voltatge a 14.4V fins a un valor mínim d'intensitat on la bateria passi a un estat de flotació, on es baixa la intensitat per fer el manteniment de la càrrega, si es vol conèixer quins són els altres dos models de càrrega, es pot mirar en l'Annex 1 del projecte, on apareix el full tècnic del producte.

Monitorització de la temperatura:

Es el primer requisit que comprova el xip a l'hora de començar una càrrega a través del voltatge dissipat per una resistència (RT2), connectada en paral·lel amb un termistor entre els pins SNS i TS vistos anteriorment en la Il·lustració 41. El controlador mesura la temperatura gràcies a la variació del valor òhmic de la resistència, i per conseqüència també el seu voltatge.

Segons el voltatge que hi hagi entre els dos pins mencionats fa un instant, s'estarà dintre o fora del rang permès. HTF és el llindar on ha d'arribar la bateria després d'haver superat la temperatura màxima de treball TCO per tornar a habilitar la càrrega, i LTF és el valor mínim de temperatura a la que pot treballar el xip, és recomanable que les resistències siguin de l'1% de tolerància per fixar de manera precisa el llindar de temperatures. A continuació es mostren els valors de voltatge que utilitza el controlador per predir la temperatura tal i com es mostra en la Il·lustració 44.



Il·lustració 44. Llindars de temperatura.

$$V_{TCO} = 0.4 * V_{CC};$$

$$V_{HTF} = 0.44 * V_{CC};$$

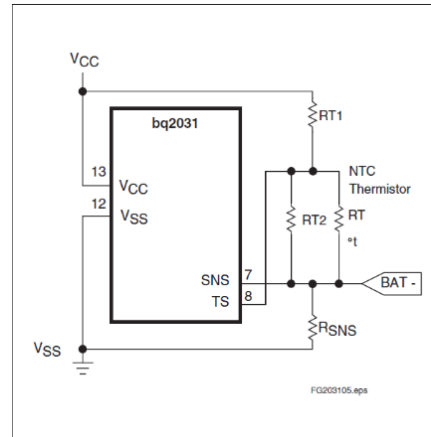
$$V_{LTF} = 0.6 * V_{CC};$$

Tots els voltatges de referència que utilitza el Bq2031, estan calibrats per un coeficient de temperatura de $-3.9\text{mV}/^\circ\text{C}$ normalitzat a 25°C , cada variació respecta els 25°C , el controlador farà la pròpia regulació dels voltatges interns.

En el esquema que mostra el datasheet del controlador (Il·lustració 45), es poden apreciar dues resistències connectades en paral·lel (RT2 i la NTC), en sèrie amb RT1 i RSNS, en la imatge adjunta, es pot comprovar com s'haurien de configurar els pins TS i SNS amb el termistor apropiat.

$$0,6 * V_{CC} = \frac{V_{CC} - 0.250v}{1 + \frac{RT1 * (RT2 + R_{LTF})}{RT2 * R_{LTF}}};$$

$$0,44 = \frac{1}{1 + \frac{RT1 * (RT2 + R_{HTF})}{RT2 * R_{HTF}}};$$



Il·lustració 45. Configuració de SNS i TS.

Són les fórmules necessàries per escollir de manera correcta els valors dels components que intervenen en la configuració, R_{LTF} i R_{HTF} són els valors de resistència que adopta la NTC en els valors de llindars de la temperatura. Suposant un valor inicial per exemple de RT1, es calcula RT2, i R_{SNS} , on s'explicarà més endavant detalladament.

Si no es desitja incorporar un termistor en el controlador, únicament s'ha de fixar RT1 i RT2 a $100\text{k}\Omega$ cada resistència, és una manera d'enganyar al xip i fixar-li un voltatge apropiat entre V_{TCO} i V_{LTF} . En el cas que s'incorpori un termistor, per saber si s'està fora de rang, el xip utilitzarà el LED 3 i esperarà a que la temperatura torni a entrar en els rangs permesos per apagar-lo, i pugui retornar el procés de càrrega a on estava prèviament.

Pre condicions de carga que fa el controlador:

Si la temperatura és correcta, abans de començar la càrrega normal, per temes de seguretat i comprovacions prèvies, el microxip té un estat de càrrega que consta de dues fases.

- Fase 1: Proporciona un Voltatge $V_{float} + 0.25\text{V}$, si el corrent que entra a la bateria no arriba al valor de I_{cond} fixat per la fórmula que es mostra a continuació en un cert temps, el xip es posarà en estat de "fault".

$$I_{cond} = \frac{I_{max}}{5};$$

- Fase 2: Si la fase 1 s'ha completat, es deixa passar un cert temps i es fixa el corrent al valor de I_{cond} , si la tensió no arriba a un voltatge mínim establert pel xip en un cert temps, passarà a estar en estat de "fault".

Una vegada en aquest estat, el xip no torna a la normalitat fins que no es reinicia V_{cc} o detecti una nova inserció de bateria, un cop fet, es comença el procés de verificació una altra vegada.

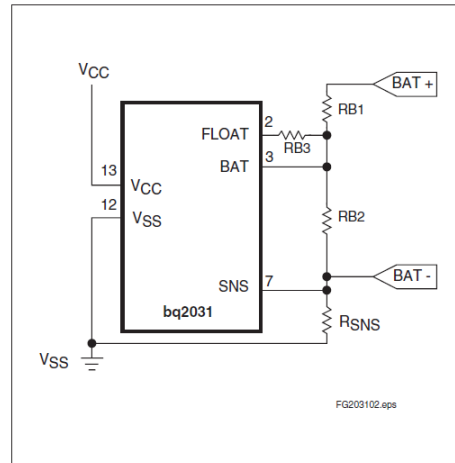
Configuració FLOAT:

Amb un divisor de tensió entre els dos borns de la bateria, es fixa la tensió de flotació (Vflt), podent fer el control. Es connecta una resistència (Rsns) entre el born negatiu de la Bateria i el Gnd, per mesurar el corrent i fixar un valor màxim d'intensitat a través del control de tensió que entra en el pin SNS (Il·lustració 46).

$$RB1 = RB2 \left(\frac{(N * Vflt)}{2.2v} - 1 \right);$$

$$RB3 = \frac{RB1}{\frac{N * Vblk}{2.2v} - 1 - \frac{RB1}{RB2}};$$

$$Imax = \frac{0.250v}{Rsns};$$



Il·lustració 46. Configuració del voltatge de flotació de la bateria.

A les fórmules, el valor de N és el nombre de cel·les que disposa el dispositiu d'emmagatzematge. Segons el proveïdor del controlador, el rang de resistència entre els borns positiu i el negatiu de la bateria, a de ser de entre 150kΩ i 1MΩ, per tal de no crear un soroll excessiu.

El bq2031 destina dos paràmetres de regulació a que el voltatge de la bateria no pugi ni baixi d'un cert límit, aquest dos paràmetres són VHCO (Hight-voltatge cutoff) i VLCO (low-voltatge cutoff), quant el controlador detecta que la tensió no està dins del rang de treball, fa una transició al estat de "fault" i ho interpreta com que no hi ha bateria connectada, a continuació es mostren els llindars que utilitza el xip per saber l'estat del voltatge de la bateria.

$$VHCO = 0.6 * Vcc;$$

$$VLCO = 0.8v;$$

Corrent mínima de càrrega:

El controlador dona tres opcions de valors en funció de la intensitat màxima al qual el carregador passarà de la fase d'absorció, on se l'estarà subministrant els 14.4V aproximadament, a la fase de flotació o manteniment, on se li començarà a subministrar una tensió de flotació apropiada i un corrent mínim per fer el manteniment de càrrega limitat per Icond.

| IGSEL | I _{MIN} |
|-------|----------------------|
| 0 | I _{MAX} /10 |
| 1 | I _{MAX} /20 |
| Z | I _{MAX} /30 |

Taula 11. Configuració del corrent mínim.

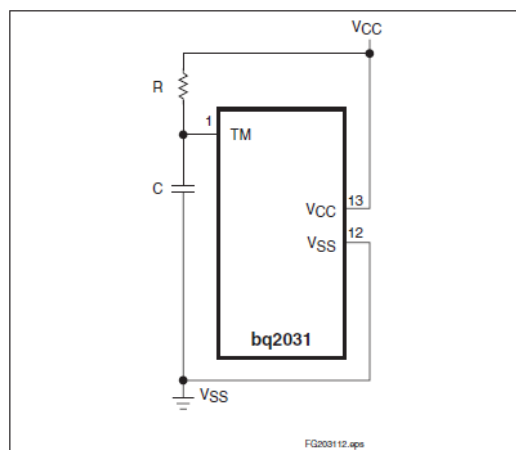
Mitjançant el pin IGESSEL, quan el corrent sigui igual al valor seleccionat en la Taula 11, el xip passarà a la fase de flotació.

Temps màxim de càrrega:

El bq2031 dona la possibilitat d'afegir un temps de càrrega per donar un extra de protecció i fiabilitat al procés, afegint una resistència en sèrie amb el condensador entre Vcc i Vss (GND) (Il·lustració 47).

El comptador comença en la primera càrrega a corrent màxim, i finalitza en la transició de la fase 1, a la fase 2 de regulació de tensió. Es poden observar aquestes dues fases en la Il·lustració 43.

Per fer fixar el temps del comptador, s'utilitza la següent fórmula amb la resistència en kΩ i el condensador en μF. Un valor coherent pel capacitor segons el fabricant és de 0.1 μF.



Il·lustració 47. Esquema de connexió del temporitzador.

$$T(\text{hores}) = 0,5 * R * C;$$

| Symbol | Parameter | Minimum | Typical | Maximum | Unit |
|------------------|--|---------|-----------------------|---------|-------|
| t _{MTO} | Maximum Time Out range | 1 | - | 24 | hours |
| t _{QT1} | Qualification time-out test 1 | - | 0.02t _{MTO} | - | - |
| t _{QT2} | Qualification time-out test 2 | - | 0.16t _{MTO} | - | - |
| t _{DV} | -Δ ² V termination sample frequency | - | 0.008t _{MTO} | - | - |
| t _{HO1} | Qualification test 2 hold-off period | - | 0.002t _{MTO} | - | - |
| t _{HO2} | Bulk-charge hold-off period | - | 0.015t _{MTO} | - | - |

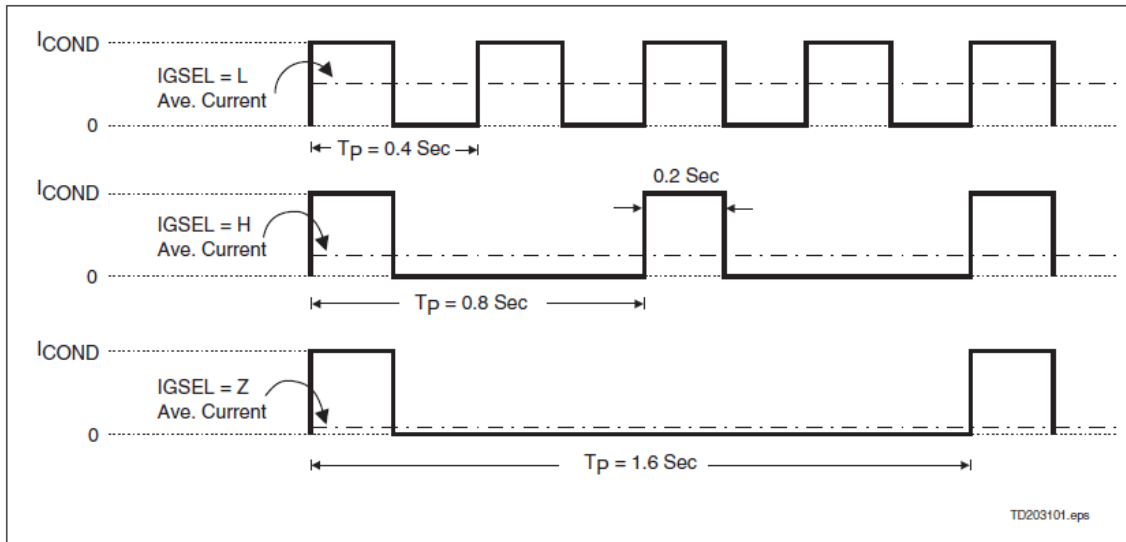
Taula 12. Repartició del temps que utilitza el temporitzador.

Si finalitza el temps del controlador i està programat l'algoritme de corrent polsant, el xip es posarà en estat fault (error), i s'esperarà a la col·locació d'una nova bateria. En canvi, si l'algoritme seleccionat és el de Voltatge o corrent a dos passos, el controlador farà una transició al estat de flotació. En el cas de que la temperatura de la bateria surti dels rangs, el temporitzador es parará, però no es farà un reset. Tots els altres temporitzadors, com es pot apreciar en la Taula 12, estan en funció del MTO (Maxim Time Out).

Les bateries antigues o excessivament utilitzades, poden crear alteracions o pics de tensions allargats que poden portar a una ràpida transició de fase de càrrega, per aquest motiu, el controlador disposa d'un temps anomenat hold off (H_{HO1} i H_{HO2}), que desactiva per un cert temps tots els criteris de voltatge a excepció dels de fora de rang (V_{HCO} i V_{LCO}), de tal manera que els pics momentanis no alterin la càrrega al principi de la primera fase (Bulk), ni al principi de la pre-càrrega del segon test.

Regulació de la càrrega:

El transistor del CC/CC que s'instal·li, serà regulat pel senyal polsant provinent del pin 14 (MOD).



Il·lustració 48. Regulació de freqüència de commutació.

Per fixar la freqüència de pulsacions que surten de pin MOD, s'ha de connectar un condensador des del pin TPWM del controlador a massa seguint la següent fórmula. Com es pot veure en la Il·lustració 48, segons la freqüència fixada pel condensador, el període del senyal de sortida serà més gran o menys.

$$Freq(kHz) = \frac{0.1}{C_{PWM}}$$

La freqüència en kHz i el Condensador en μF . Un valor recomanat pels fabricants del controlador seria fixar una freqüència de 100kHz.

Per tal de prevenir oscil·lacions a la sortida del MOD, es convenient instal·lar als pins VCOMP i ICOMP, un condensador o un condensador-resistència de tal forma de fer un filtratge de la senyal.

12.2. LT3652

És un controlador que pot operar en rangs de tensió d'entrada de entre 5V i 32V, amb una corrent màxima fixable externament de fins a 2A, i amb un voltatge de flotació capaç de fer el manteniment fins als 14.4V.

Aquest CI només implementa un únic algorisme de càrrega que a continuació s'explicarà en detall i té una freqüència de treball fixada ja de forma pre-definida pel fabricant a 1MHz.

Aquest CI, a part, incorpora una regulació que permet monitoritzar i modificar el corrent d'entrada provinent del panell, si la tensió que es subministrada al CI baixa per sota d'un valor fixat mitjançant un divisor de tensió, per evitar que el voltatge caigui per sota d'aquest valor programat, el controlador redueix la intensitat del corrent màxim fixat que se li subministra a la bateria. Amb això, evita que el voltatge caigui per sota del punt de màxima potència dels panells solars i es pugui mantenir aproximadament en aquesta zona de treball per generar la màxima producció possible. El fabricant del xip esmenta aquesta regulació com a una tecnologia MPPT, però no és del tot cert, ja que en cap moment fa un rastreig de la corba de treball del panell solar per trobar quin és el punt amb la potència màxima. Lo que fa, com s'ha comentat anteriorment a la teoria en la Il·lustració 18, es suposar que el punt de màxima potència es mantindrà sempre en el mateix voltatge i com s'ha pogut veure, és bastant cert, ja que s'ha comentat que encara que la irradiància baixi, el punt de màxima potència no variarà pràcticament, i es pot arribar a suposar que és sempre el mateix voltatge de referència.

Aquest model també incorpora un temporitzador, però en aquest cas de manera opcional, que s'utilitza per comprovar la pre-càrrega i el temps que la bateria es manté donant alimentació.

Procés de funcionament de l'algoritme de càrrega:

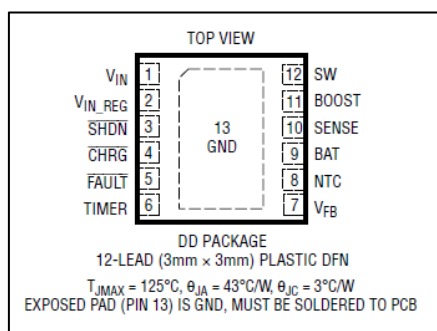
Al connectar una nova bateria al sistema, si es té configurat el temporitzador, es disposarà d'una pre-càrrega de seguretat quan el voltatge en el pin V_{FB} , que és el pin numero 7 que es mostra en la Il·lustració 49, estigui per sota dels 2.3V de referència, que consisteix en el subministrament d'una intensitat constant d'un 15% de la càrrega màxima programada (I_{sense}), fins que el voltatge assoleixi el 70% de la tensió màxima programada ($V_{BAT(FLT)}$). I_{sense} i $V_{BAT(FLT)}$ són dos variables que s'aniran comentant al llarg de l'explicació del controlador i fan referència al corrent que circula cap a la bateria i al voltatge de la bateria processat per un divisor de tensió.

Si no s'assoleix aquest voltatge en un temps en concret, 1/8 del temps total del "timer" programat, el xip donarà la bateria com errònia, i fins que no es reemplaci per una nova o es reiniciï, el dispositiu no començarà un altre càrrega.

Si la bateria supera el voltatge de referència establert, el dispositiu començarà a subministrar a la bateria el corrent màxim establert prèviament de manera constant (I_{sense}). Un cop la bateria arriba al voltatge màxim, el corrent es començarà a disminuir progressivament per mantenir una tensió constant en la bateria (valor fixat prèviament ($V_{BAT(FLT)}$)), i si es té el temporitzador programat, una vegada transcorregut el temps total, si el voltatge a superat el 97.5% del total establert prèviament, el xip es posarà en mode "stand by" i es reduirà el corrent fins a 85 μ A per fer el manteniment.

En cas contrari, el temporitzador es tornarà a reiniciar per fer un nou cicle de càrrega fins que es pugui sobrepassar el valor. Si el "timer" no està programat, el procés passarà a "stand by" un cop el corrent (I_{sense}) baixi al 10% de la intensitat màxima programada, en aquest cas, el valor ja ve prefixat pel fabricant i no es pot modificar.

Descripció dels pins de connexió del xip:



Il·lustració 49. Esquemàtic del total de pins.

V_{in} = És el valor de voltatge d'entrada, té que ser 3.3V més gran que el voltatge màxim de la bateria ($V_{BAT(FLT)}$) per a una posada en marxa fiable, i pot treballar fins a un màxim de 32V.

V_{in-reg} = Quant el voltatge de referència està per sota de 2.7V en aquest pin, el corrent màxim es redueix. Per tant, es pot fixar un voltatge mínim de treball amb un divisor de tensió, d'aquesta manera, el controlador pot trobar el punt de màxima potència de manera estimada. Si no es requereix aquesta funcionalitat, es pot connectar el pin a V_{in} .

SHDN = El pin té un voltatge de referència de 1.2V, quant la tensió està per sota d'aquest valor, totes les funcions de càrrega estan desactivades. Si el voltatge cau per sota de 0.4V, el controlador entra en un mode apagat on el corrent es redueix a 15µA.

CHRG/FAULT = Són pins d'estat per indicar a la bateria si s'està carregant, si hi apareix un error de bateria o si s'està fora del rang de temperatures. Afegint un led, es pot visualitzar l'estat del controlador. S'ha de tindre en compte que els pins suporten un corrent màxim de 10mA. Segons com estigui la impedància dels pins, es pot organitzar un sistema lògic per exterioritzar la informació segons es mostra en la Taula 13.

| CHARG | FAULT | Estat d'indicació |
|-------|-------|---|
| 17V | 17V | Sense càrrega, bateria completa o controlador apagat. |
| 17V | 0V | Falla de bateria, no es pot arribar al valor indicat de flotació. |
| 0V | 17V | Càrrega normal. |
| 0V | 0V | Bateria fora dels rangs de temperatura normal, o en pausa. |

Taula 13. Sistema lògic del xip.

TIMER = Es té la possibilitat de incorporar un condensador entre el pin Timer i Gnd, així de la mateixa manera que en el anterior controlador poder afegir un comptador de seguretat com s'ha comentat abans. Un valor de condensador recomanat per al comptador és de 0.68µF, si el comptador no es necessita, únicament s'ha de portar el pin fins a Gnd.

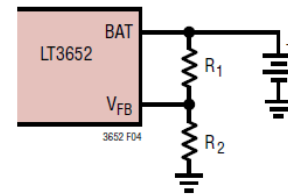
$$t_{PRE} = C_{timer} * 5,5 * 10^5;$$

$$t_{TOC} = C_{timer} * 4,4 * 10^6;$$

V_{FB} = Gràcies a un divisor de tensió(II·lustració 50), connectant una resistència R1, de la bateria al pin V_{FB} , i R2 de V_{FB} a Gnd, es podrà fixar un valor màxim de flotació de 14.4V com s'ha comentat abans. El voltatge de referència del pin és de 3.3V. Les equacions per fixar els valors de les dues resistències són les següents:

$$R1 = \frac{V_{BAT(FLT)} * 2,5 * 10^5}{3,3};$$

$$R2 = \frac{R1 * 2,5 * 10^5}{R1 - (2,5 * 10^5)};$$



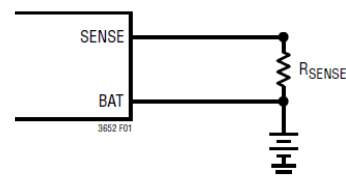
II·lustració 50. Divisor de tensió en V_{fb} .

NTC= Si es vol fer un control de la temperatura, es aconsellable incorporar un termistor. El que recomana el fabricant per assegurar un correcte funcionament és el model: 10kΩ, B=3380 NTC, connectat des de el propi pin, fins a Gnd, però es pot utilitzar qualsevol altre resistència tèrmica si no es pot aconseguir aquesta. El rang de voltatge permès en el pin va de 0,29V (40°C), fins a 1,36 (0°C). Si s'està fora del rang, la càrrega es desactiva i els pins CHARG i FAULT mencionats abans es posen a baixa impedància. Si el comptador està habilitat, quant no s'estigui en el rang apropiat de temperatura, es posarà en pausa, quant torni la temperatura correcta, la càrrega i el "timer" reprendran els seus processos. Si no es desitja la NTC, s'ha de deixar el pin sense connectar a cap lloc.

BAT= Connectar un condensador de 10µF desde la bateria a Gnd és aconsellable per algunes aplicacions. Aquest pin fa de voltatge de referència per a la detecció del corrent i es connecta directament a la bateria.

SENSE= Per detectar el pro mig d'intensitat que hi ha en el moment, s'instal·la una resistència entre els pins BAT i SENSE (II·lustració 51). La màxima intensitat correspon a 100mV a través del resistor. Quant el cycle de càrrega ha acabat, el valor d'intensitat per els pins BAT i SENSE disminueix fins a 0.85µA per evitar una descàrrega de la bateria, a continuació es mostra la fórmula per arribar al valor òptim de resistència i poder fixar la intensitat màxima de la bateria.

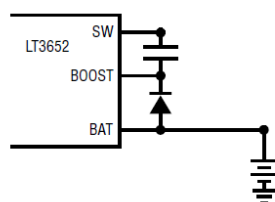
$$R_{sense} = \frac{0.1}{I_{CHG(MAX)}};$$



II·lustració 51. Configuració R_{sense} .

BOOST= Aquest pin facilita la saturació del transistor del commutador. Connectant un condensador d'1µF des del pin BOOST al pin SW i un díode rectificador amb l'ànode connectat

a la tensió de sortida de la bateria i el càtode connectat al pin BOOST, fa que així, la tensió del condensador de desacoblament s'actualitzi.



Il·lustració 52. Configuració dels pins SW i BOOST.

SW= És el pin de sortida del interruptor del controlador, i correspon a l'emissor d'un transistor, aquest, treballa amb una freqüència fixada a 1MHz. Quan el pin està activat, treu la senyal que entra pel pin Vin, referenciat en la Il·lustració 49.

12.3. Elecció del controlador

Els dos controladors tenen la mateixa utilitat i les dues opcions en un principi anirien correctament en el projecte, ja que actuen de manera força similar, encara que amb les seves diferències tècniques.

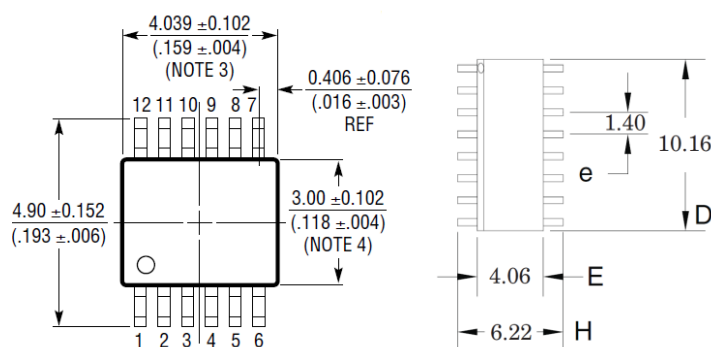
Com s'ha comentat en un apartat anterior (Dispositiu d'emmagatzematge escollit), s'ha estat parlant de una intensitat mínima on es podia establir que la bateria havia arribat al 100% de la seva capacitat total. Una vegada vist i analitzat els dos xips, es pot afirmar que els dos són compatibles amb aquest paràmetre, ja que si recordem, s'ha establert un rang de finalització de càrrega entre 70mA i 140mA (Taula 5), i segons els xips, en el BQ2031, si IGEL es fixa a "GND", la intensitat mínima serà un 10% de la intensitat màxima d'1A (Taula 11) i en el LT3652, com a norma general, el xip termina la càrrega al 10% del valor màxim de corrent programat d'1A com s'ha comentat en l'apartat de "LT3652". Per lo tant, aquest valor equival a 100mA i correspon a un valor permès dintre del rang establert per la bateria escollida.

Partint d'aquí, per començar, l'energia d'entrada amb la que treballen els dos controladors és diferent, el LT3652, treballa amb un rang d'entrada dels 5V als 32V que aconsegueix aguantar. En canvi, el BQ2031 únicament treballa a baixes tensions, a 5V recomanats pel fabricant. Una solució seria incorporar un altre CC/CC per reduir el voltatge d'entrada o si més no, afegir un reductor lineal de tensió, lo que implica més ineficiència, més pes, més temperatura i per conseqüència, un controlador més voluminós.

Un altre diferència característica està situada a la sortida de la senyal en el controlador. En el BQ2031 es necessària la incorporació d'un MOSFET que faci d'interruptor, on la sortida del senyal seria la porta que habiliti el transistor per deixar el pas de corrent cap a la bateria. En canvi, en el LT3652, no es necessita, ja que el controlador incorpora l'interruptor de pas d'energia de manera interna.

Per altra banda, es pot apreciar com el BQ2031 disposa de més pins d'entrada, e implica que sigui un controlador amb moltes més opcions de configuració, ja siguin els tres tipus d'algoritmes diferents de càrrega on el controlador varia dràsticament el funcionament en cada cas, com també,

la disposició dels leds o la possibilitat de modificar la freqüència del dispositiu, podent-se variar amb un condensador que en el cas del LT3652 està fixat a 1Mhz.



Il·lustració 53. Mesures en mm del LT3652 (esquerra) i BQ2031(dreta) respectivament.

En la Il·lustració 53, es veuen reflectits les dimensions dels dos xips. En el cas del LT3652, es té una separació entre pins de 0.65mm, les mesures són en mm i corresponen al número superior de la línia per al LT3652. Es pot apreciar una gran diferència, sobre tot en lo més important, la separació entre pins, el BQ2031 té una distància entre ells el doble de gran.

| LT3652 | BQ2031 |
|-------------------|----------------------------------|
| | Fàcil soldadura |
| Lleuger i discret | |
| | Funcionament senzill i entenedor |
| Eficient | |
| | Flexible |
| Complet | |

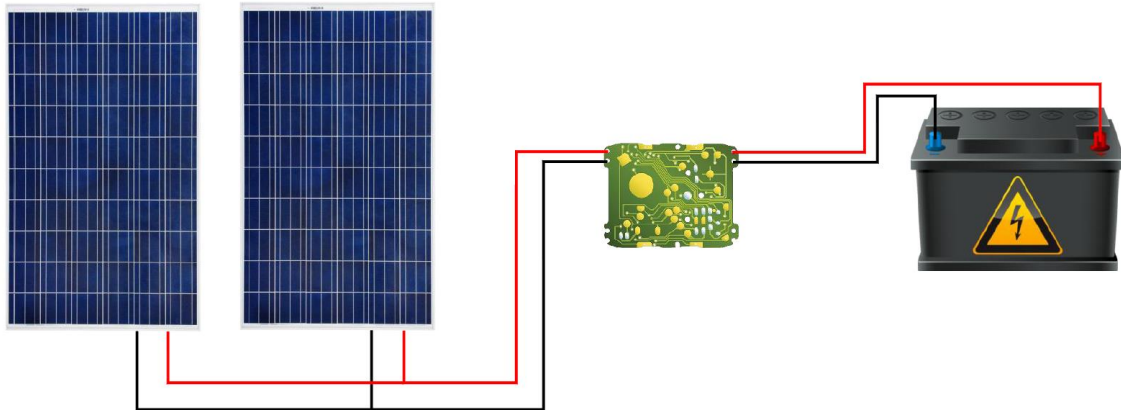
Taula 14. Resum i conclusions dels punts forts comentats.

En la Taula 14 s'extreuen diferents punts positius de cada model, però, si més no, la principal diferència que destaca al LT3652 i per el motiu principal que s'ha acabat escollint, és per la tecnologia MPPT que intenta plasmar, ja s'ha comentat que no és exactament un seguidor del punt màxim de potència però arriba a fer la seva funció i d'una manera més simple. És una tecnologia realment curiosa que garanteix una eficiència de treball molt més elevada i pot vindre molt bé en condicions de escassa lluminositat, encara que aquest fet complica bastant més el disseny i també la seva implementació, ja que s'està parlant d'un xip el doble de petit de cara a fer la soldadura tal i com es pot apreciar en la Il·lustració 53.

13. Desenvolupament del disseny

A partir d'ara, s'explicarà el procés que s'ha dut a terme per fer el disseny del controlador, i els conceptes claus que s'han tingut en compte per poder acabar tenint un dispositiu funcional.

Com s'ha pogut veure fins ara, el projecte consta de tres parts claus, la fase de producció, on es genera l'energia, la de regulació, on es processa i es transmet de forma correcta tota la potència i la de emmagatzematge, on acaba dipositada l'energia generada per els panells solars. A continuació es mostra un esquema on es veurà la disposició del connexionat necessari.

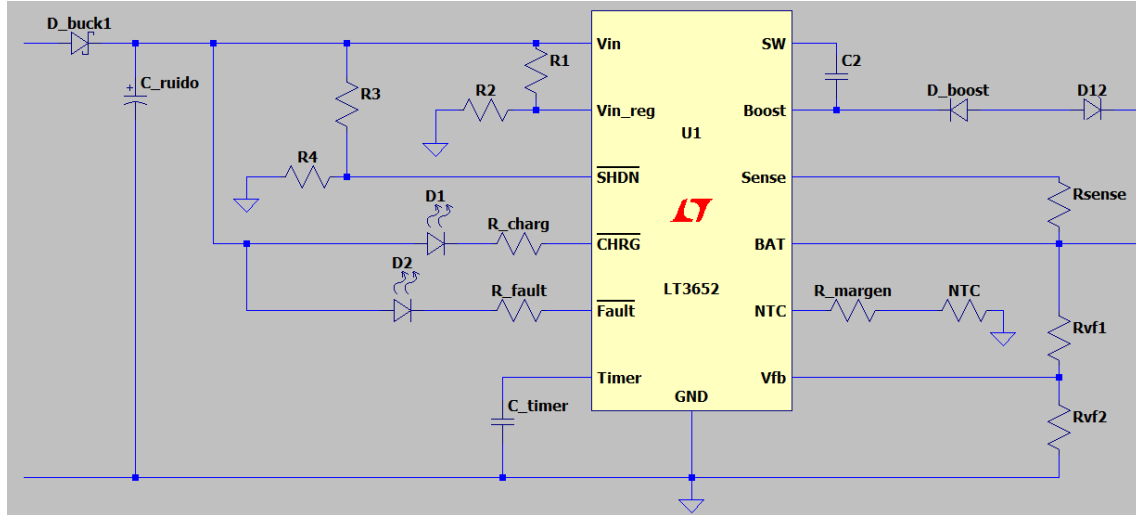


Il·lustració 54. Connexionat del prototip.

Aquesta seria la disposició general del projecte, els dos panells de 20W connectats en paral·lel, podent utilitzar una regleta per fer una connexió més segura evitant curtcircuits i enviar l'energia cap a la BMS (Building Management Service), que estarà en el mig dels dos dispositius per fer el control i poder rebre la informació de tots dos cantons.

13.1. Configuració del la BMS o controlador de càrrega

El component central del sistema serà el circuit integrat, on la totalitat de càlculs i components aniran orientats al seu correcte funcionament i a poder adaptar el xip en aquest projecte.



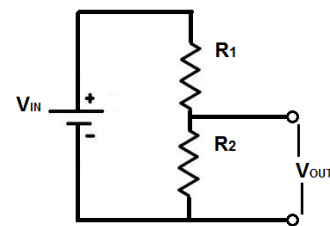
Il·lustració 55. Disseny sense valors ni convertidor CC/CC.

Divisors de tensió:

Per tal de poder analitzar els voltatges que venen del panell i de la bateria, s'ha escollit l'opció de fer-se estudiant el voltatge que tenen aquests dispositius, adaptat a diferents llinars de tensió amb els que treballa el xip seleccionat. Si el voltatge mesurat varia respecte el llinar prefixat pel fabricant, el xip actuarà d'una forma o un altre. A mesura que es vagin explicant els càlculs es farà més entenedor.

La fórmula del divisor de tensió és la següent, representada en la Il·lustració 56:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in};$$



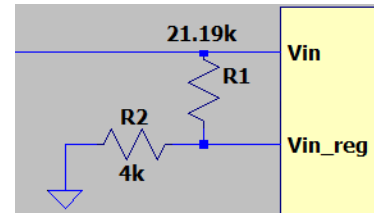
Il·lustració 56. Divisor de tensió.

Es començarà calculant el divisor de tensió que actuarà per fixar el voltatge de referència en el pin \$V_{in_REG}\$ (Il·lustració 49), on el seu llinar de referència està en 2.7V, si el voltatge en \$V_{out}\$ està per sota d'aquest valor fixat, el xip començarà a reduir el corrent d'entrada. Com és el pin que regula el punt de màxima potència, es fixarà el valor \$V_{mp}\$ dels panells, que són 17V i en \$V_{out}\$ els 2.7V que és el llinar establert pel fabricant. Amb aquest dos punts pre-definits, si es suposa un valor de \$R_2\$, és podrà trobar el valor de \$R_1\$ apropiat per a dissenyar el divisor de tensió (Il·lustració 57).

$$V_{in_{REG}} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{IN} \rightarrow R_1 = \frac{R_2}{V_{in_{REG}}} * V_{IN} - R_2;$$

$$R_2 = 4k\Omega;$$

$$R_1 = \frac{4k\Omega}{2.7V} * 17V - 4k\Omega = 21.19k\Omega;$$



Il·lustració 57. Divisor de tensió en Vin_reg.

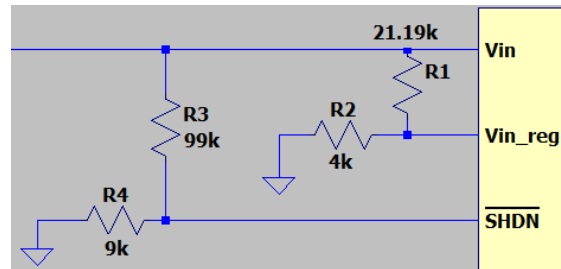
S'escull donar-li un valor a R2, únicament perquè és més fàcil d'aïllar a l'equació, però es podria fer a la inversa i donar-li un valor a R1, és indiferent. Vin_{REG} és el nom que se li dona al pin d'entrada del xip.

El següent divisor de tensió serà per al pin d'entrada SHDN (Il·lustració 58), pin de seguretat on si el voltatge a la sortida del divisor està per sota dels 1.2V, es desconnecta l'alimentació, bàsicament un extra de seguretat per si el voltatge cau molt per sota. Aquest valor es fixarà als 14.4V, ja que el dispositiu és un reductor i no és vol que el voltatge sigui més baix que el de la bateria.

$$R_3 = \frac{R_4}{V_{SHDN}} * V_{IN} - R_4;$$

$$R_4 = 9k\Omega;$$

$$R_3 = \frac{9k\Omega}{1.2V} * 14.4V - 9k\Omega = 99k\Omega;$$



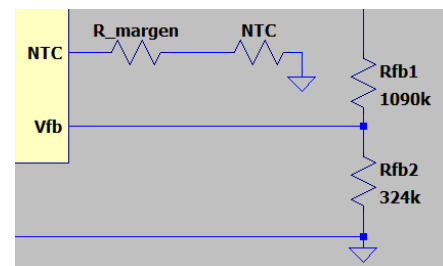
Il·lustració 58. Divisor de tensió SHDN.

Per acabar amb els divisors de tensió, es fixarà el pin del voltatge màxim permès en la bateria (Il·lustració 59), on la tensió fixada pel fabricant és de 3.3V. En aquest valor, la bateria ha d'estar en el seu voltatge màxim, que per aquest projecte serà de 14.4V.

$$R_{FB1} = \frac{R_{FB2}}{V_{FB}} * V_{BAT} - R_{FB2};$$

$$R_{FB2} = 324k\Omega;$$

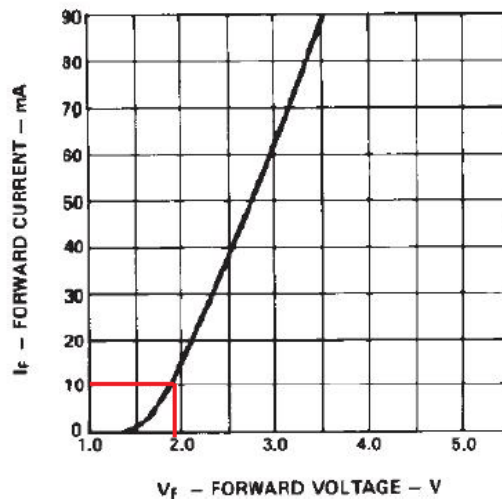
$$R_{FB1} = \frac{324k\Omega}{3.3V} * 14.4V - 324k\Omega = 1.09M\Omega;$$



Il·lustració 59. Divisor de tensió Vfb.

Externalització de la informació cap a l'exterior:

Per tal de poder saber amb més facilitat quina informació vol transmetre el xip, s'utilitzaran dos leds, de color vermell per expressar un error i de color blau per aclarir que s'està carregant. Com en el datasheet s'ha pogut comprovar que aquest dos pins (CHARG i FAULT) no aguanten més de 10mA, s'ha de configurar de tal manera que no sobrepassin aquest corrent.

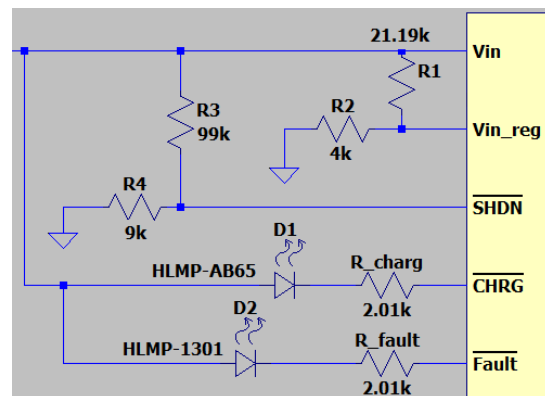


Il·lustració 60. Forward voltage a 10 mA del led Vermell.

El voltatge en circuit obert del panell és de 22V i dels leds que hi ha al laboratori, el vermell que és el que menys consumeix, té una caiguda de potencial als 10mA de 1.9V tal i com s’ha pogut extreure del datasheet, mostrat en la Il·lustració 60:

Per tant, en sèrie amb els leds, anirà una resistència encarregada d’evitar que la intensitat superi aquest corrent màxim establert pel fabricant (Il·lustració 61).

$$R_{LEDS} = \frac{V_{oc} - V_{LED}}{I_{MAX_LED}} = \frac{22V - 1.9V}{10mA} = 2010\Omega;$$

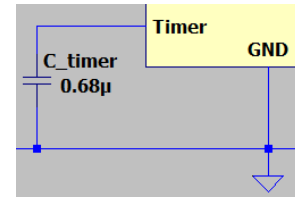


Il·lustració 61. Configuració LEDS.

Temporització de càrrega:

Com es vol aplicar una fase de pre-càrrega al xip per tal d’assegurar el correcte funcionament de la bateria, serà obligatòria la instal·lació d’un condensador que habilitarà el temporitzador (Il·lustració 62). Es vol que el temps sigui de 3 hores per a que es vagi actualitzant de forma progressiva l’estat de la bateria. Per saber de quant a de ser el condensador que s’ha d’aplicar, s’utilitzarà la expressió mostrada anteriorment en l’apartat de “LT3652”, on s’explicava en que consistia la temporització del xip.

$$C_{TIMER} = \frac{3h}{4.4 * 10^6} = 0.68\mu F;$$

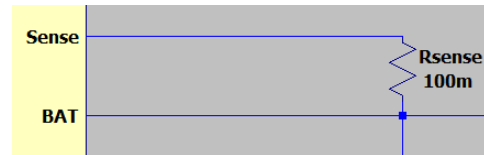


Il·lustració 62. Configuració timer.

Control del corrent:

Per tal de subministrar-li al xip la informació del corrent que s'està subministrant a la bateria, s'utilitzarà una resistència que segons el valor d'intensitat que passi per ella, donarà una caiguda de potencial entre els borns de BAT i SENSE del xip (Il·lustració 63). Aquesta caiguda de potencial serà amb lo que el xip podrà saber el seu estat, si la caiguda màxima de tensió segons el fabricant pot ser de 100mV, aquesta, s'ha igualar a la intensitat màxima de càrrega que s'ha establert per aquest projecte d'1A.

$$R_{SENSE} = \frac{100mV}{1A} = 100m\Omega;$$



Il·lustració 63. Configuració Intensitat del corrent màxim.

Control de la temperatura:

De la mateixa manera que s'ha anat fent en els passos anteriors amb el control dels altres senyals de la bateria o dels panells, per la temperatura es farà de la mateixa manera, amb la mesura del voltatge que doni el controlador, ho associarà una temperatura o un altre i prendrà les decisions oportunes comentades en pàgines anteriors.

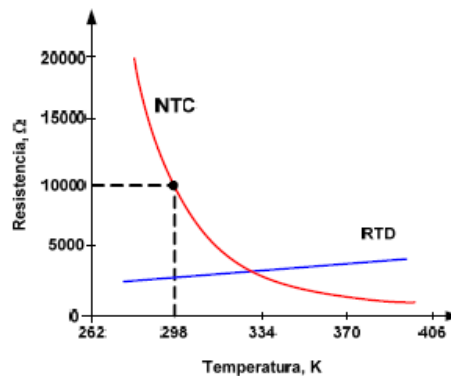
| Rang baix del controlador (0°C) | Rang alt del controlador (40°C) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1.36V | 0.29V |

Taula 15. Voltatge màxim i mínim segons la temperatura.

Com s'indica en la Taula 15, el rang que té disponible la bateria per funcionar correctament va dels 0.29V als 1.36V, fora d'aquests voltatges el xip parará la càrrega. Al estiu, no és del tot difícil que els calors extrems siguin capaços d'arribar als 40 graus, avui en dia fins i tot a Catalunya. Per aquest motiu és una mica contraproduent tindre una temperatura tan justa com a llindar, ja que en molts períodes la bateria deixaria de carregar i s'estarien perdent hores de llum. Per aquest motiu i per poder anar amb més seguretat, s'allargarà el rang 5 graus més per intentar millorar l'eficiència de càrrega.

Per poder entendre la modificació que es farà, primer, s'ha de comprendre com funcionen els sensors resistius per mesurar la temperatura. Principalment dos, on el seu valor òhmic varia segons el calor que faci, són els anomenats RTD o NTC. La diferència més gran està en la seva

corba de treball, la RTD té un comportament lineal i la NTC no lineal, lo que la fa efectiva per la modificació que se li farà.



Il·lustració 64 de Instrumentació Electrònica UPC. Corbes de treball de la NTC i la RTD.

Com es pot apreciar en la Il·lustració 64, a temperatures baixes la resistència del sensor varia de manera molt més exagerada, ja que és una corba exponencial.

Afegint una resistència en sèrie amb la NTC, lo que es farà serà enganyar al controlador, fent-lo pensar que es té un valor òhmic més elevat de lo que realment està donant la NTC, i amb això, a temperatures baixes, no es notarà ja que per molt que vari la resistència, la temperatura es mantindrà pràcticament als 0 graus, però en canvi, com s'observa a temperatures altes, s'incrementarà dràsticament la temperatura i s'allargarà el rang de treball.

A continuació, amb uns càlculs, es farà la comprovació del disseny per veure la diferència que hi ha si s'afegeix la resistència en sèrie amb la NTC, per fer-ho, s'ha de contemplar que per el pin, el xip subministra un corrent de $50\mu A$.

La NTC NCP03XH103E05RL a temperatura ambient ($25^{\circ}C$), subministra un valor òhmic de $10k\Omega$ amb un coeficient B de $3380K$.

$$R_{NTC} = R_0 * e^{B * (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \rightarrow T = \frac{B * T_0}{B + T_0 * \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right)}$$

On R_0 i T_0 , són els valors de resistència i temperatura en condicions normals, i R_{NTC} és el valor de resistència que dona a una temperatura en concret.

Sense resistència en sèrie:

$$R_{xip} = R_{NTC} = \frac{V_{max}}{I} = \frac{1.36V}{50\mu A} = 27.20k\Omega;$$

$$T_{min} = \frac{3380K * (25 + 273)K}{3380K + (25 + 273) * \ln\left(\frac{27.20k\Omega}{10k\Omega}\right)} = 273.84K = 0.84^{\circ}C;$$

$$R_{xip} = R_{NTC} = \frac{V_{min}}{I} = \frac{0.29V}{50\mu A} = 5.80k\Omega;$$

$$T_{max} = \frac{3380K * (25 + 273)K}{3380K + (25 + 273) * \ln\left(\frac{5.80k\Omega}{10k\Omega}\right)} = 313.03K = 40.03^{\circ}C;$$

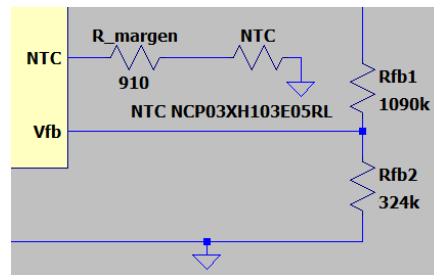
Amb resistència en sèrie de 910Ω:

$$R_{xip} = R_{Serie} + R_{NTC} \rightarrow R_{NTC} = \frac{V_{max}}{I} - R_{Serie} = \frac{1.36V}{50\mu A} - 910\Omega = 26.29k\Omega;$$

$$T_{min} = \frac{3380K * (25 + 273)K}{3380K + (25 + 273) * \ln\left(\frac{26.29k\Omega}{10k\Omega}\right)} = 274.59K = 1.59^{\circ}C;$$

$$R_{xip} = R_{Serie} + R_{NTC} \rightarrow R_{NTC} = \frac{V_{min}}{I} - R_{Serie} = \frac{0.29V}{50\mu A} - 910\Omega = 4.89k\Omega;$$

$$T_{max} = \frac{3380K * (25 + 273)K}{3380K + (25 + 273) * \ln\left(\frac{4.89k\Omega}{10k\Omega}\right)} = 318.06K = 45.06^{\circ}C;$$

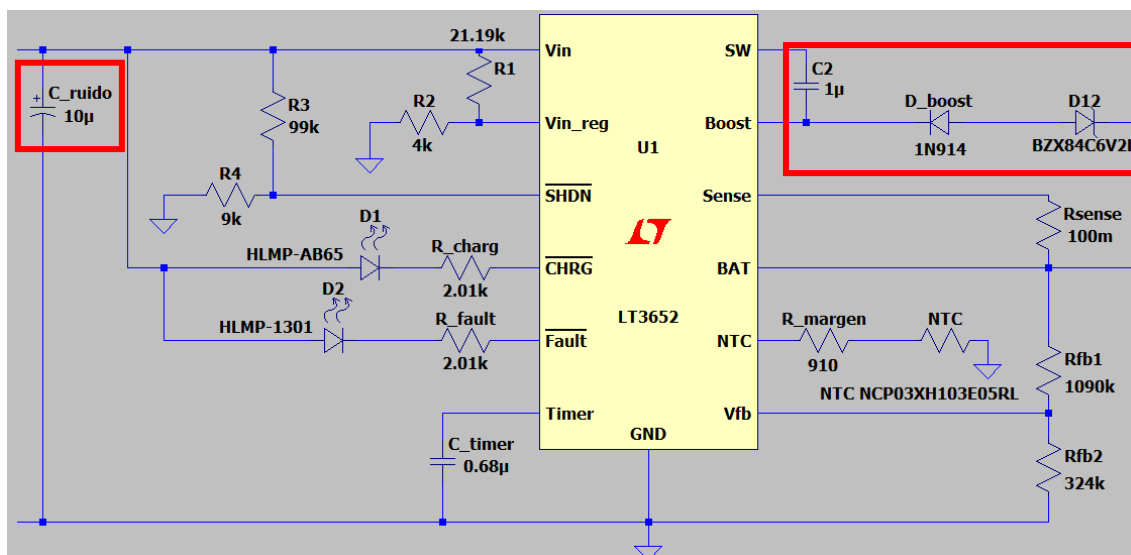


Il·lustració 65. Configuració NTC.

Afegint la resistència de de 910Ω (Il·lustració 65), es pot apreciar que en els 1.36V hi ha hagut únicament un increment de 0.75 graus, i en canvi, en els 0.29V, l'increment ha sigut bastant notable, d'uns 5.03 graus, que és lo que es volia modificar en aquest projecte i d'aquesta manera s'ha pogut corroborar la correcta elecció de la resistència de 910Ω en sèrie amb el termistor.

$$\Delta T_{min} = 1.59^{\circ}C - 0.84^{\circ}C = 0.75^{\circ}C;$$

$$\Delta T_{max} = 45.06^{\circ}C - 40.03^{\circ}C = 5.03^{\circ}C;$$



Il·lustració 66. Valors teòrics del disseny sense el convertidor CC/CC.

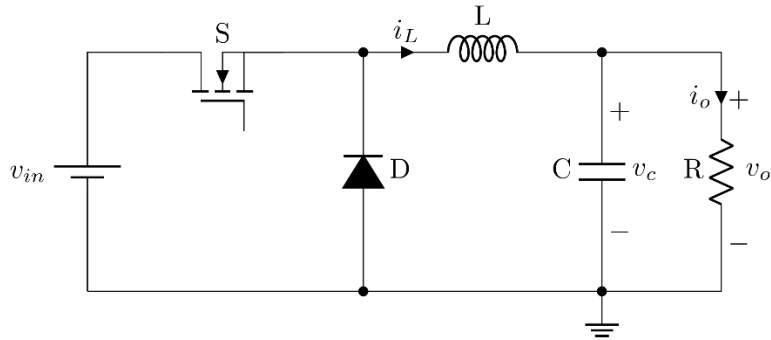
Es pot apreciar en la Il·lustració 66, els valors teòrics calculats, on D_{boost} , D12 (Ajuda a la ràpida commutació del Mosfet integrat dins del xip) i C2, són valors ja pre-definits pel fabricant i que s'han començat anteriorment en l'apartat de "LT3652". Just després de la connexió de l'alimentació provinent dels panells, es connectarà un condensador de $10\mu\text{F}$ per atenuar l'excés de soroll en el sistema (C_{ruido}).

Reductor de voltatge commutat:

Un cop establerts els càlculs d'edició per poder configurar el xip, s'ha de modificar el voltatge de sortida al de la pròpia bateria, per aquesta raó, s'utilitza un convertidor CC/CC.

Els convertidors CC/CC transformen el voltatge d'entrada en un altre valor determinat a la sortida, afavorint respecte els reguladors lineals una major eficiència tant en la conversió del voltatge com en l'energia tèrmica que s'allibera, ja que al ser dispositius que commuten a altes freqüències, els components passius són més petits i en conseqüència, l'administració tèrmica es veu gratament afavorida (Gudino 2017).

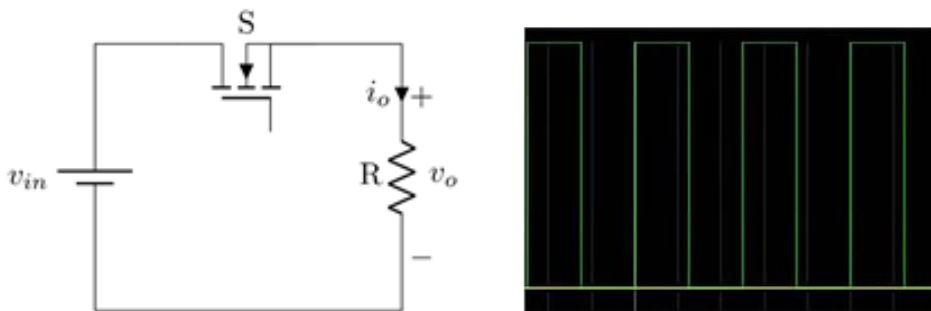
Per aquest projecte, com es vol reduir el voltatge de sortida, s'utilitzarà un convertidor commutat de tipus Buck, ja que el de tipus Boost és per elevar el voltatge i el Buck-Boost és capaç d'augmentar-lo o reduir-lo. Com en cap moment es requerirà cap augment de la tensió, no es farà el disseny d'aquestes dues últimes variants.



Il·lustració 67. Convertidor Buck.

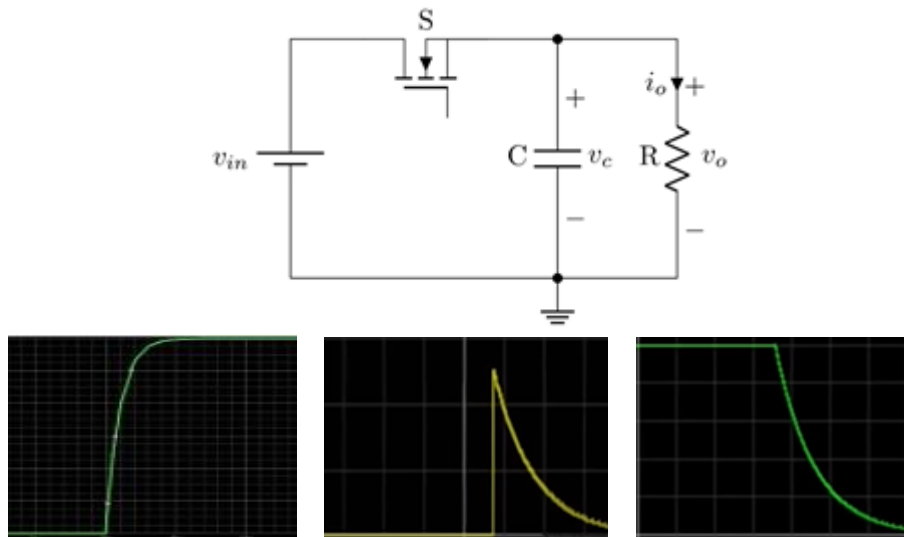
En el esquema de la Il·lustració 67, es poden veure tots els components dels que consta el dispositiu commutat, per un cantó, el transistor, que és qui provoca la commutació, està incorporat ja dins del xip, i per l'altre cantó, la resistència, que és la càrrega o en altres paraules la bateria, més endavant es veurà com és pot modelar.

Per entendre bé com funciona aquest dispositiu commutat, es partirà de la base del regulador lineal de tensió comentat en anteriors pàgines, ja que el CC/CC buck parteix de la mateixa base però com s'ha pogut observar, incorpora més components.



Il·lustració 68. Regulador lineal i voltatge en borns de la càrrega.

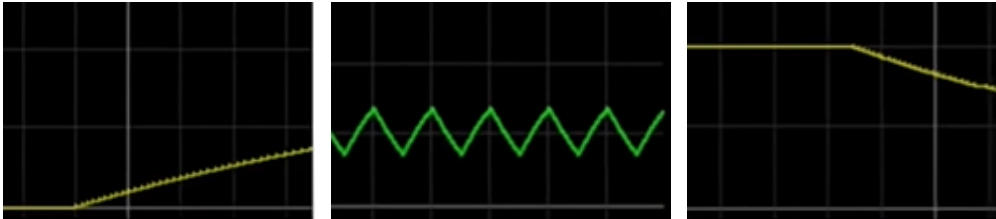
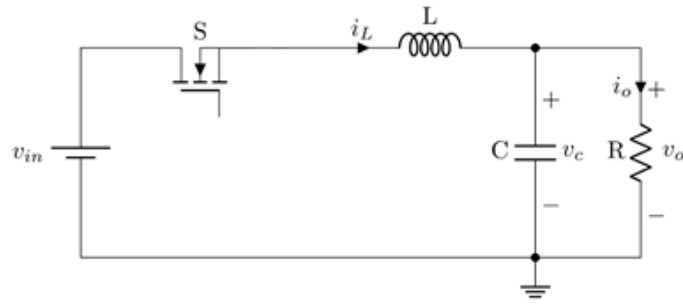
Partint d'aquest regulador lineal (Il·lustració 68), on el voltatge arriba a la càrrega en forma de pulsacions, es connecta un condensador en paral·lel amb la càrrega, això provoca l'atenuació d'aquests pics de commutació i fa que el voltatge mai arribi als zero volts i es provoqui un arriat, d'aquesta manera es manté la diferència de potencial constant a través d'ell mateix. Quan en un circuit com en el de la Il·lustració 69 el "switch" es tanca, el condensador comença a carregar-se, lo que provoca una reducció del corrent fins que arriba al seu voltatge màxim i passa a ser un interruptor obert. A la que el "switch" s'obre, el condensador pot extreure l'energia emmagatzemada al seu interior, descarregant-se ràpidament i per conseqüència, reduint-se també el voltatge i el corrent tal i com es pot veure en l'oscil·loscopi de la Il·lustració 69, on el primer gràfic és el voltatge de càrrega, el segon, la descàrrega del corrent i el tercer, la descàrrega del voltatge en el condensador.



Il·lustració 69. Càrrega i descàrrega del voltatge i corrent d'un condensador.

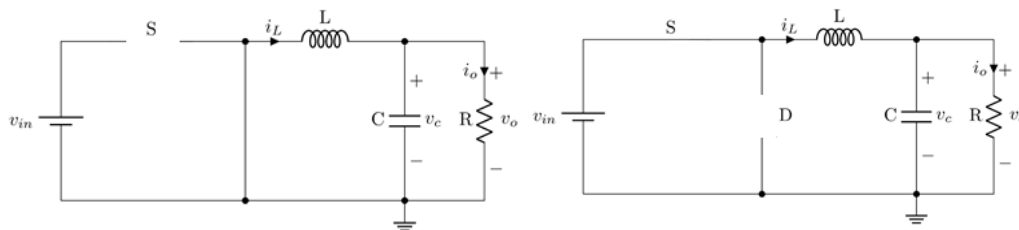
Amb el condensador sumat i amb una ràpida commutació del transistor, s'aconsegueix mantenir el voltatge en un rang concret. Ara el problema que sorgeix és que al tancar el “switch”, s'està intentant canviar el voltatge del capacitor de manera instantània i això és impossible, es produiria un gran corrent a través del circuit que podria ser perillós i causar danys als components.

Una solució que es pot pensar, és incorporar una resistència en sèrie amb el transistor per tal de reduir el corrent, però aquesta, extrauria molta energia en forma de calor i baixaria l'eficiència del dispositiu. L'opció més adequada és reemplaçar-la per una bobina, ja que si és ideal, no dissiparia aquesta potència tèrmica. Actua limitant el corrent de manera progressiva, emmagatzemant l'energia en forma de magnetisme fins que arriba al seu màxim. Un cop el transistor s'obre, comença a extreure tota aquesta energia emmagatzemada progressivament un altre cop, tal i com es pot observar en la Il·lustració 69 en la primera i tercera fotografia del oscil·loscopi, on estan representades la càrrega i la descàrrega del corrent per l'inductor. Si la commutació no és del tot ràpida i la bobina es comença a descarregar, es concentrarien els electrons acumulats a l'esquerra del inductor podent causar un corrent negatiu que faran treballar al convertidor en MCD (Mode de Conducció Discontinua), i si no hi ha una protecció, pot acabar fent malbé els components.



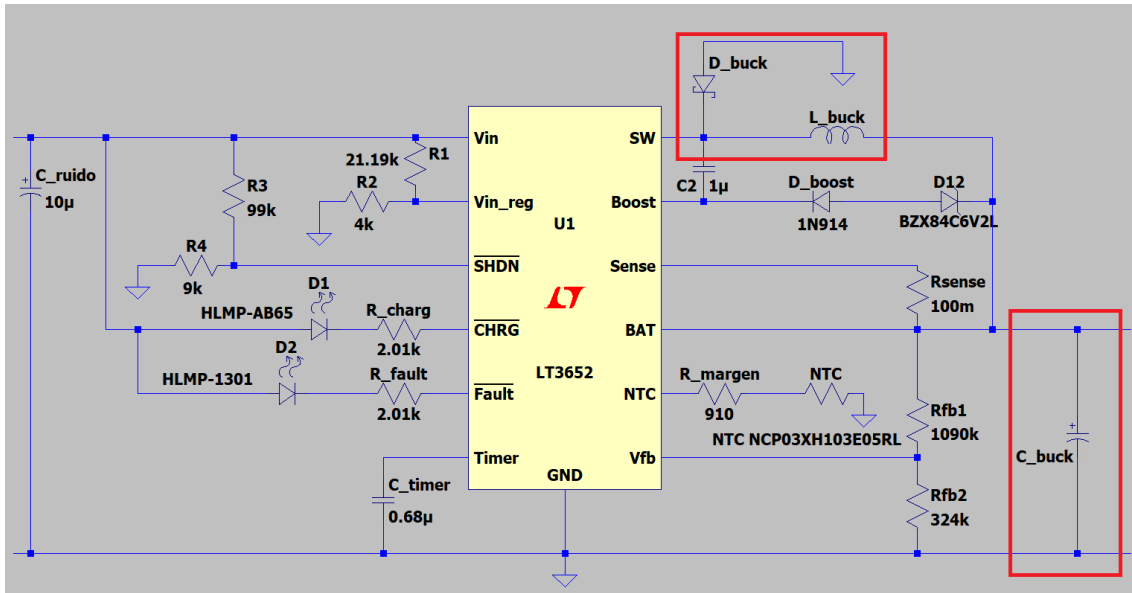
Il·lustració 70. Càrrega i descàrrega del corrent de l'inductor i voltatge en borns de la càrrega.

El fet de que el convertidor, quant el transistor està obert, pugui seguir subministrant energia amb el possible canvi de polaritat comentat abans, fa que es tingui que incorporar un díode per fer circular el corrent per ell. Amb el circuit mostrat en la Il·lustració 67 i amb una freqüència elevada, es pot obtenir el senyal format en la Il·lustració 70 de la imatge central de l'oscil·loscopi.



Il·lustració 71. Modes de conducció MCD (esquerra) i MCC (dreta) respectivament.

Un aspecte molt important per al disseny d'un convertidor a tenir en compte, és en el mode en el que treballa, pot ser que ho faci en mode de conducció continu, quant el transistor està obert i el corrent per la bobina sempre és positiu, o discontinu, quant està tancat (Il·lustració 71) i en algun moment el corrent que està circulant per la bobina pugui ser negatiu. Això afectarà en els càlculs del disseny del convertidor. És molt més eficient fer un conmutat que treballi en MCC (Mode de Conducció Continua), ja que farà molt més fàcil i ràpid el seu desenvolupament, per lo que sempre, en la mesura de lo possible, és requerirà que és treballi en aquest mode (Reng Stuff 2020).



Il·lustració 72. Inserció sense valors del convertidor Buck CC/CC.

Per començar a fer el disseny mostrat en la Il·lustració 72, s'han de deixar fixats els rangs de treball, un mínim i un màxim, on el temps d'obertura del transistor es podrà moure, lo que no vol dir que també ho faci el període, aquest, sempre estarà fixat a 1MHz, lo que correspon a 1µs. Comentar però, abans de tot, que el convertidor CC/CC que es dissenyarà, està subjecte en certa mesura als paràmetres que demana el xip, està certament relacionat i és un conjunt que tal i com s'ha fabricat aquest xip, es obligatori pel bon funcionament, la incorporació del reductor CC/CC, per lo tant, alguns valors estaran subjectes als requeriments del fabricant.

$$\text{Període de la senyal} = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{1\text{MHz}} = 1\mu\text{s};$$

$$D_{max} = \frac{V_{bat_{max}}}{V_{IN}} = \frac{14.4\text{v}}{17\text{v}} = 0.8471 = 84.71\%;$$

$$D_{min} = \frac{V_{bat_{min}}}{V_{IN}} = \frac{10\text{v}}{17\text{v}} = 0.5882 = 50.82\%;$$

Els valors obtinguts corresponen al tan per cent del temps total, on la senyal del commutat es trobarà en alta impedància, i com es pot veure, podrà variar entre el 50.82% i el 84.71% del temps total. Ara, sabent els valors del cicle de treball i tenint en compte que el fabricant del CI recomana un valor d'arissat del corrent del 25%, s'escollirà l'inductor.

$$L > \frac{1}{p} * V_{bat_{min}} * (1 - D_{min}) * \frac{1}{f_s} > \frac{1}{0.25} * 10 * (1 - 0.5882) * \frac{1}{1 * 10^6} > 16.43\mu\text{H};$$

Ha sortit un valor de $16.43\mu\text{H}$, on la “p” correspon a l’arissat del corrent. Com s’ha d’agafar un valor superior, es considerarà un inductor de $22\mu\text{H}$, ja que són els més abundants en la majoria de distribuïdors i serà molt més senzill obtenir un.

Amb aquest valor d’inductor, es comprovarà que es treballi en MCC, si ho fa, es podrà donar per bo.

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN} - V_{bat_{min}}}{L} * D_{min} * f_s = \frac{17v - 10v}{22\mu\text{H}} * 0.5882 * \frac{1}{1\text{MHz}} = 0.0187\text{A};$$

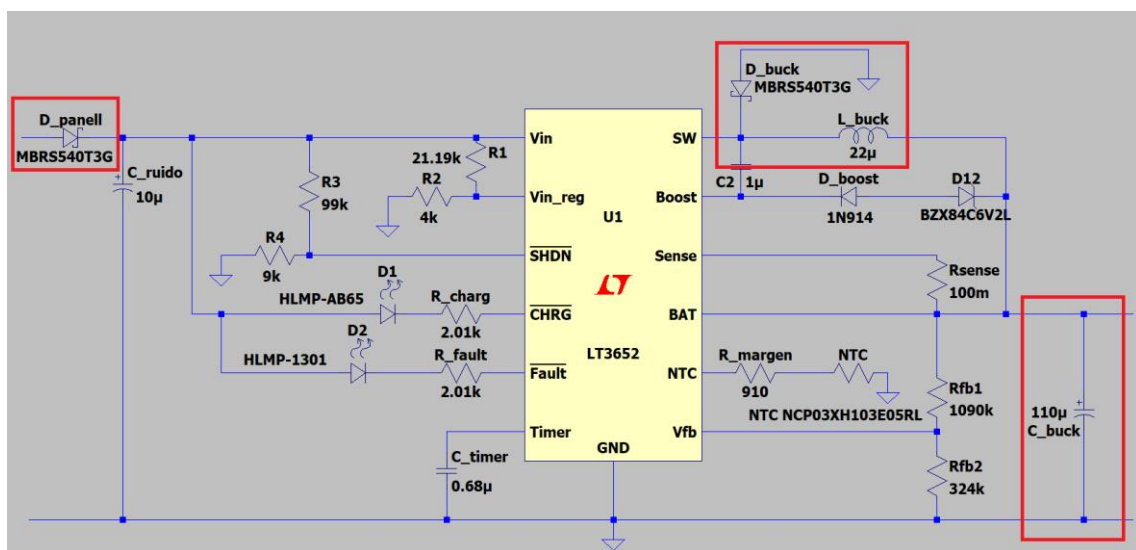
$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 1\text{A} - \frac{0.0187\text{A}}{2} = 0.9906\text{A};$$

Com ha sortit un valor de corrent mínim superior als 0A, es pot afirmar que el sistema treballarà en MCC. El condensador paral·lel a la càrrega, es requereix que sigui d’un valor d’ESR baix, per intentar reduir al màxim l’arissat del voltatge. On el valor apropiat segons el fabricant és de $110\mu\text{F}$.

Per al díode de protecció, s’utilitzarà el d’alta commutació anomenat Schottky, ja són dispositius que tenen una caiguda de voltatge directe molt petit i operen a altes velocitats, per això s'utilitzen en fonts de potència o circuits d’alta freqüència. S’ha de tindre en compte, que el voltatge invers que pugui suportar sigui major a V_{in} i tingui una corrent directa per sobre del corrent màxim de la càrrega.

| Inductància | Capacitor | Díode |
|-----------------|------------------|--|
| $22\mu\text{H}$ | $110\mu\text{F}$ | Schottky, $V_r > 22$, $I_d > 1\text{A}$ |

Taula 16. Especificacions dels components del Buck.



Il·lustració 73. Disseny del controlador i el CC/CC Buck amb valors ideals.

Amb les dades que es mostren en la Taula 16, s'ha escollit el díode MBRS540T3G, amb un voltatge invers màxim de 40V i una corrent directa màxima de 5A. Aprofitant la compra d'aquest díode s'ha utilitzat aquest model també per incorporar un altre a l'entrada de l'alimentació provinent dels panells per evitar fer-los mal bé. En la Il·lustració 73 es mostra el disseny del sistema afegint el convertidor reductor CC/CC.

13.2. Elecció dels components

En els càlculs anteriors on s'han trobat tots els valors dels components, s'ha de tindre en compte que són valors teòrics, que no representen els models comercials que hi ha avui dia en els distribuïdors principals d'arreu del país, per lo que sempre que es duu a terme un projecte d'aquest estil, és necessari fixar aquests números, als disponibles en el mercat actual.

En mesura de lo possible, si el llinar de decisió no és molt crític, s'utilitzarà la sèrie E12 de components. És una plantilla amb valors nominals que utilitzen els fabricants per normalitzar els seus productes arreu del mon. No únicament està aquesta sèrie, es poden trobar diverses més com la sèrie E24 o la E6 per exemple.

El número de la sèrie significa el total de valors que caben del 1 al 10, si és E6, voldrà dir que en aquesta sèrie es pot optar a 6 resistències diferents que van del 1 al 10. Si es parla de la sèrie és E12, doncs seran 12 valors els disponibles del 1 al 10 tal i com es pot observar en la Taula 17.

| E12 Tolerància 10% | E6 Tolerància 20% |
|--------------------|-------------------|
| 1 | 1 |
| 1.2 | |
| 1.5 | 1.5 |
| 1.8 | |
| 2.2 | 2.2 |
| 2.7 | |
| 3.3 | 3.3 |
| 3.9 | |
| 4.7 | 4.7 |
| 5.6 | |
| 6.8 | 6.8 |
| 8.2 | |

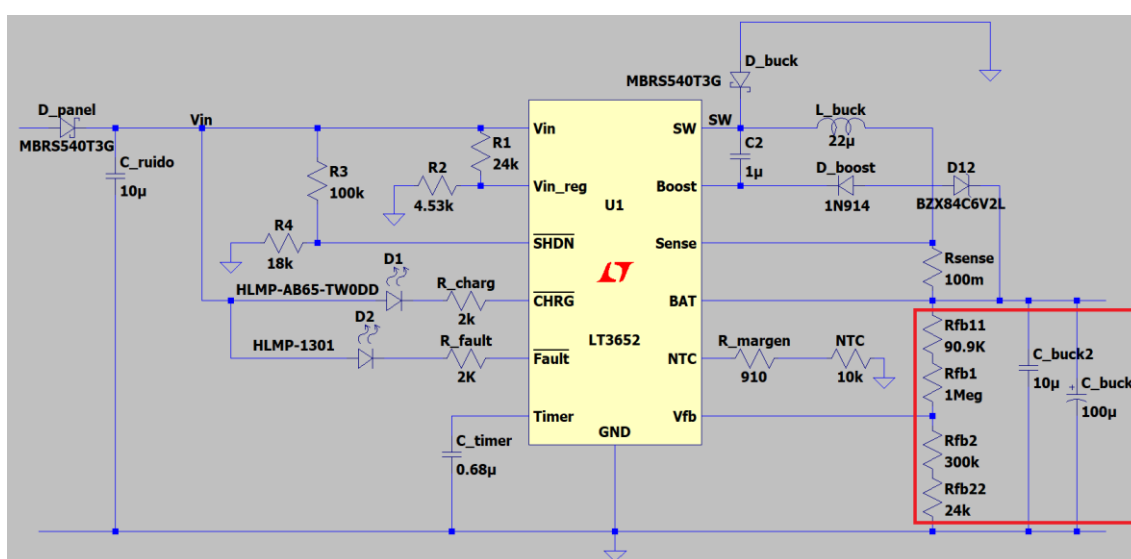
Taula 17. Valors normalitzats de les series E12 i E6.

El número de la sèrie significa el total de valors que caben del 1 al 10, si és E6, voldrà dir que en aquesta sèrie es pot optar a 6 resistències diferents que van del 1 al 10. Si es parla de la sèrie és E12, doncs seran 12 valors els disponibles del 1 al 10 tal i com es pot observar en la Taula 17.

Aquests valors, serviran també per als seus múltiples (x0.1, x1, x10, x100, x1000). Cada sèrie té la seva tolerància i s'ha de tindre en compte, ja que és lo que influeix a l'hora de requerir precisió en un valor. No és lo mateix una resistència de 10Ω que de 10.3Ω, influirà en major o menor mesura de cara a una aplicació en concret.

- Condensadors: Sèrie E12, E6
- Bobina: Sèrie E12
- Resistències: Sèrie E24, E96 i E192

En les resistències, s'ha intentat ajustar la tolerància al màxim possible segons l'estoc i el empaquetat del distribuïdor RS agafant l'opció més coherent, ja que fer una compra de 1000 unitats no és lògic per a un projecte de mida reduïda. S'han escollit paquets d'entre 5 i 20 components per caixa, posant atenció en les resistències encarregades de fixar el voltatge màxim de la bateria i en la Rsense, per mesurar amb una tolerància de l'1% o del 0.1%, ja que no es pot jugar amb dècimes en aquests dos casos.



Il·lustració 74. Disseny del controlador amb els valors comercials.

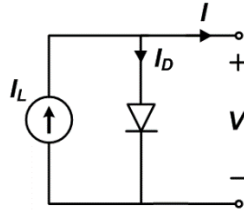
Com es pot veure en la Il·lustració 74, la gran majoria de components han estat adaptats de forma similar als valors ideals i no hi ha molta diferència entre ells. Per contra, el divisor de tensió i el condensador del reductor CC/CC emfatitzats amb un requadre vermell, s'han tingut que desglossar les resistències i els condensadors per tal de fer la suma dels components i poder adquirir un valor apropiat, ja que no s'ha pogut trobar un component unitari amb el valor ideal calculat. Ara si, fent aquestes dos petites modificacions, s'ha pogut adaptar el disseny amb els valors comercials del mercat. Un cop verificat el correcte funcionament del sistema, es mostrarà el llistat complet de components utilitzats en aquest projecte.

13.3. Simulació

Per poder contrastar els càlculs i veure com funciona la càrrega, s'utilitzarà LTSpice, on es posarà a prova el disseny. Primerament, es modelarà el panell solar, i després, es simularà el disseny de la càrrega. Un cop obtinguts en el programa, es farà la simulació total del prototip per verificar el correcte funcionament.

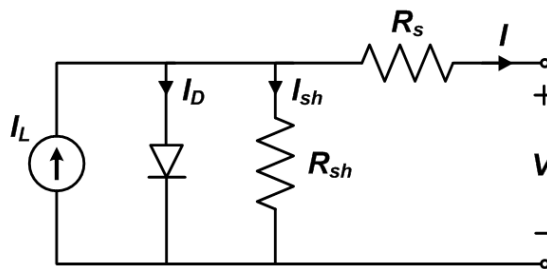
13.3.1. LTSpice Panells Solars

El modelat bàsic d'un panell solar, consta d'una font de corrent que es fixa amb el valor de curtcircuit de la pròpia placa fotovoltaica, en paral·lel amb un díode que subministra el voltatge amb la seva caiguda de potencial.



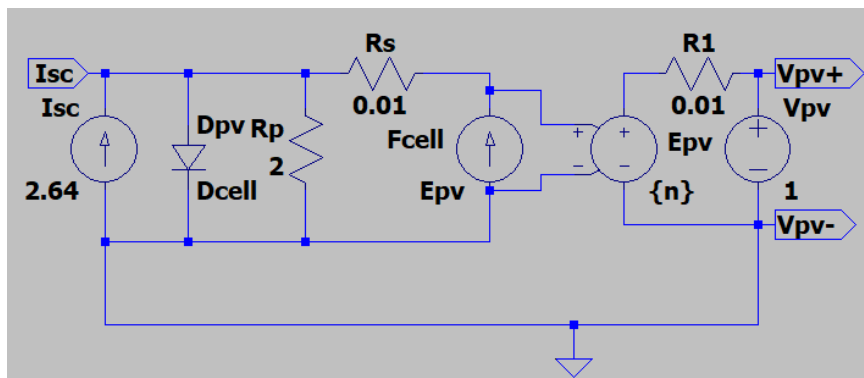
Il·lustració 75. Modelat ideal de un PV.

La Il·lustració 75, simbolitza una cel·la del panell solar. Per augmentar el voltatge en circuit obert, s'han de ficar més unitats en sèrie i el voltatge del panell anirà en augment. Tot i això, aquest circuit es pot dir que és ideal, ja que no té pèrdues d'energia i no interessa si es vol posar a prova el funcionament del sistema de càrrega. Per obtenir un modelat més efectiu, s'afegiran dues resistències, una en sèrie i l'altre en paral·lel, per poder simular les pèrdues energètiques.



Il·lustració 76. Modelat del PV 1D2R (nom tècnic del modelat) amb resistències paràsites.

Agafant el model de partida de la Il·lustració 76, es farà el disseny en l'LTSpice afegint un multiplicador format juntament per una font de corrent, que depèn de la intensitat lineal que circuli, per així simular les 36 cel·les de les que consta el panell solar en concret.

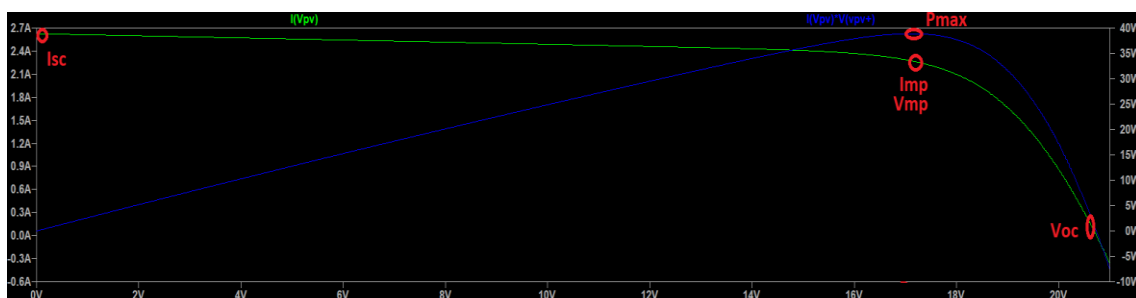


Il·lustració 77. Disseny LTSpice dels PVs.

R_s i R_p són les resistències paràsites, I_{sc} és el corrent invers de saturació del díode, fixat a 0.05nA, i V_{pv} i la font de tensió V_{pv} , serveixen per poder simular la corba de corrent-voltatge que es pot observar a continuació. Els valors de les resistències paràsites es poden aproximar amb la següent fórmula (CU-ECEN4517 2014):

$$V_T = \frac{k * T_c}{q};$$

$$I = I_{sc} - I_s \left(e^{\frac{V+I*R_s}{n*V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I * R_s}{R_p};$$



Il·lustració 78. Simulació extreta del disseny del PV.

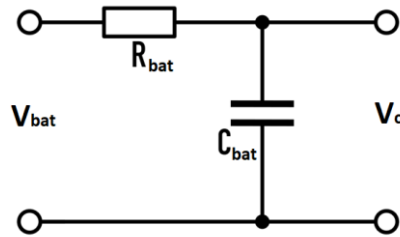
Is és la intensitat de saturació inversa del díode i V_T , és una variable que depèn de la temperatura del panell, la constant de Boltzmann (1.381×10^{-23}) i la càrrega elemental del electró (1.602×10^{-19}). Un cop fixat els paràmetres de manera aproximada, s'ha obtingut el següent resultat a l'hora de fer la simulació (Il·lustració 78) (PVPerformance 2021):

| | Panell Solar | Modelat LTSpice | Error |
|------|--------------|-----------------|-------|
| Pmax | 40W | 38.88W | 2.80% |
| Voc | 22V | 20.74V | 5.72% |
| Isc | 2.64A | 2.62A | 0.75% |
| Vmp | 17V | 17.09V | 0.52% |
| Imp | 2.36A | 2.27A | 3.81% |

Taula 18. Comparació de modelat simulat amb els valors dels panells.

Com es veu en la Taula 18 extreta amb l'ajuda de "l'Excel", s'ha aconseguit aproximar un model amb una corba de treball molt similar al escollit de la marca Phaesun, vist prèviament, utilitzant una irradiància ideal i a temperatura ambient (25°C). La Il·lustració 78, mostra en la corba verda, el senyal corrent-voltatge i en la blava, el de potència-voltatge, per veure amb claredat el comportament del dispositiu i els seus valors crítics.

13.3.2. LTSpice Bateria



Il·lustració 79. Modelat proposat per simular la bateria.

Per fer el modelat de la bateria, s'ha optat per dissenyar un filtre RC passa baixos, on es té una intensitat constant a 1A, limitada per la resistència, i després un condensador en sèrie amb un voltatge inicial de 10V que simula quant la bateria està sense capacitat, amb l'objectiu que aquest capacitor es carregui fins al 14.4V en un temps determinat.

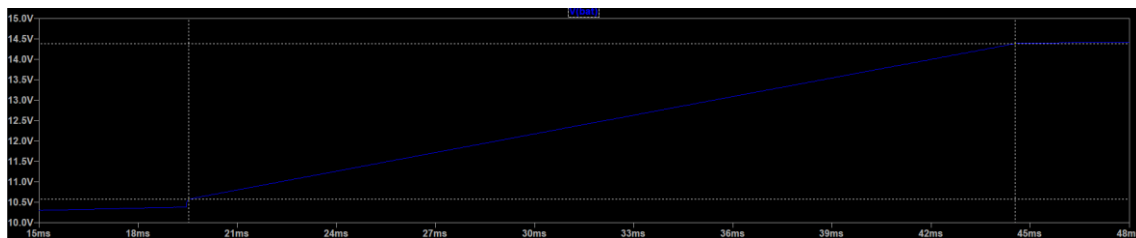
La fórmula per escollir la resistència i el condensador ve donada de la següent manera a continuació, on es fa un sumatori de voltatges de la resistència i del condensador, tenint en compte la tensió inicial que té la bateria calculada anteriorment en l'apartat "Dispositiu d'emmagatzematge escollit" (10V).

$$V_{bat} = R_{bat} * I_{max} + \frac{I_{max}}{C_{bat}} * t + V_c \rightarrow R_{bat} = \frac{V_{bat} - \frac{I_{max}}{C_{bat}} * t - V_c}{I_{max}} ;$$

$$C_{bat} = 6mF \text{ i temps} = 25ms ;$$

$$R_{bat} = \frac{14.4v - \frac{1A}{6mF} * 25ms - 10v}{1A} = 0.2333\Omega;$$

S'agafa un temps dintre d'uns valors coherents, en aquest cas, s'ha vist oportú agafar 25ms, i es suposa un valor de condensador de 6mF. Si es vol suposar el valor de la resistència es pot fer de igual forma, però dificultaria l'aïllament de l'equació. Amb els valors agafats, surt que s'ha de fixar una resistència en sèrie amb el condensador de 0.23Ω.



| | | | |
|--------------------------|-------------|--------|------------|
| Cursor 1 | | V(bat) | |
| Horz: | 19.538715ms | Vert: | 10.570384V |
| Cursor 2 | | V(bat) | |
| Horz: | 44.546952ms | Vert: | 14.383644V |
| Diff (Cursor2 - Cursor1) | | | |
| Horz: | 25.008237ms | Vert: | 3.81326V |
| Freq: | 39.986825Hz | Slope: | 152.48 |

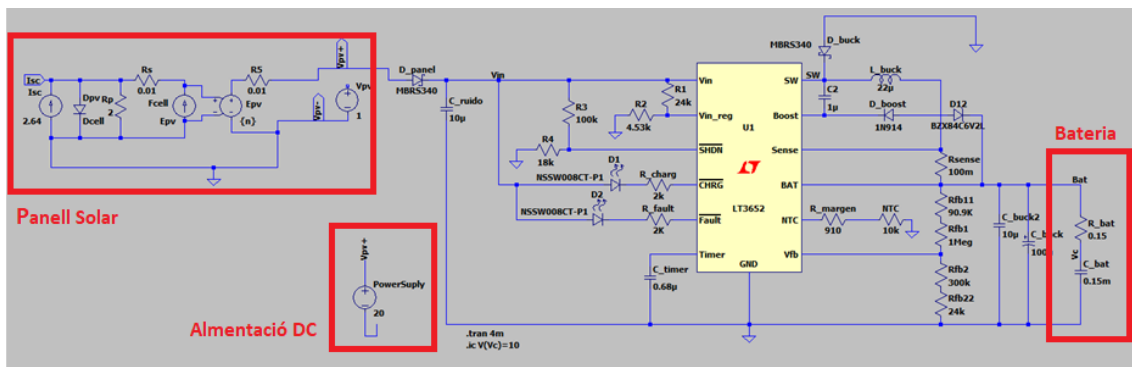
Il·lustració 80. Simulació RC a 25 ms.

Es comprova que els càlculs són coherents amb la simulació, efectivament com es pot apreciar en la Il·lustració 80, el temps que triga a corrent constant el voltatge en arribar als 14.4V és de 25ms.

13.4. Comprovació dels càlculs amb LTSpice

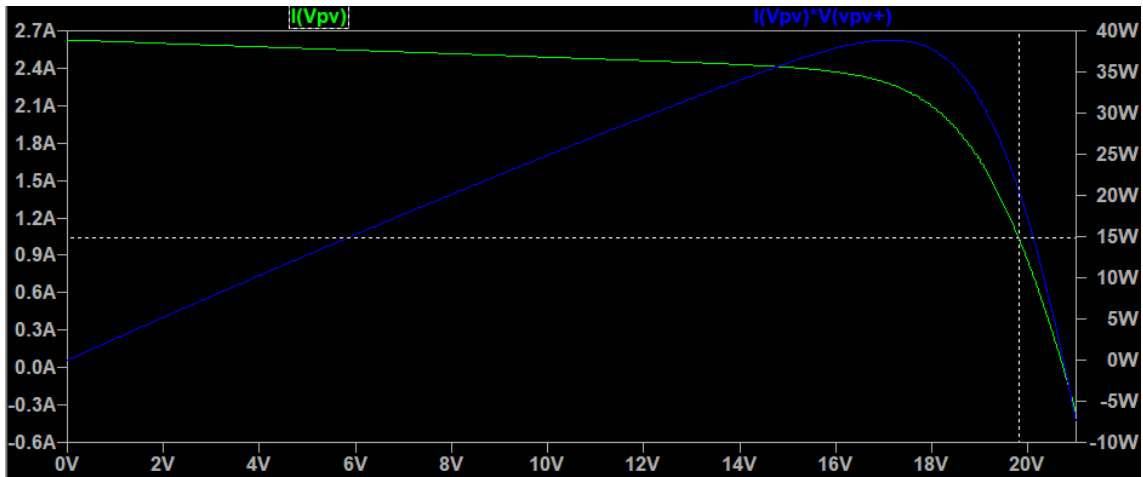
Un cop dissenyats els dos modelats i comprovat que funcionen bé per separat, es regula el temps de càrrega a corrent constant a 1ms aproximadament per agilitzar els processos de simulació del sistema al complet, ja que a 25 ms, l'ordinador triga 20 min cada cop que es vol compilar el modelat en el programa. Els nous valors del disseny R-C són, C_{bat} a 0.15mF i R_{bat} a 0.15 Ω .

Per duu a terme la comprovació del sistema complet amb el programa, s'introdueix el temps de simulació total, fixat a 4ms, i s'indica el voltatge inicial pre-definit anteriorment en l'apartat de "Dispositiu d'emmagatzematge escollit", amb un voltatge inicial de 10V "*.ic V(Vc)=10*".



Il·lustració 81. Mapa complet de la simulació.

En la Il·lustració 81 esta el disseny complet amb els panells solars, una entrada d'alimentació en continua per si no fa sol i es requereix d'igual forma carregar la bateria i el dispositiu d'emmagatzematge. Més endavant, en la Il·lustració 91, es pot veure el disseny complet de forma més clara.



Il·lustració 82. Voltatge Vin de 19.88v.

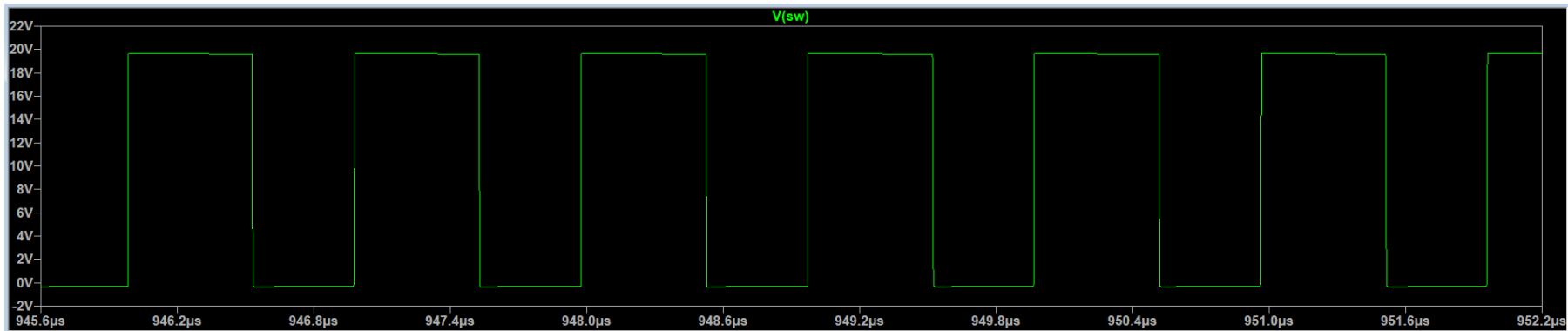
En la simulació canviaran alguns valors, a la practica, es suposa que lo normal és que el regulador treballi en els 17V, ja que no s'estarà en condicions ideals de temperatura ni d'irradiància, això provocarà que el voltatge baixi i el xip s'encarregui de mantenir la tensió als 17V. En el cas ideal que és en la simulació, on el panell està funcionant en condicions de màxima irradiància i temperatura a condicions normals, per regular a 1A la càrrega, el panell només baixarà el voltatge fins als 19.8V com es pot observar en la Il·lustració 82.

El corrent constant tampoc és exacte i el simulador ho està fixant a 0.983A en comptes de a 1A establert, es comenta perquè s'ha de tindre en compte al calcular. Primerament es comprovarà que el cicle de treball mínim quan la bateria està descarregada correspongui al analític, tant en el costat on la càrrega de la bateria està buida, com en el costat extrem, on la bateria està pràcticament al 97.5% de la seva capacitat total.

Cicle de treball al principi de la càrrega

$$I_L = 0.983A;$$

$$D_{min}(analitic) = \frac{V_{bat}}{V_{in}} = \frac{10v}{19.8v} = 0.505;$$



Il·lustració 83. Duty cycle del 57% en el costat esquerra del senyal.

$$D_{min}(simulat) = \frac{\Delta_{periode\ conmutat}}{\Delta_{periode}} = \frac{565.1936ns}{992.90ns} = 0.569;$$

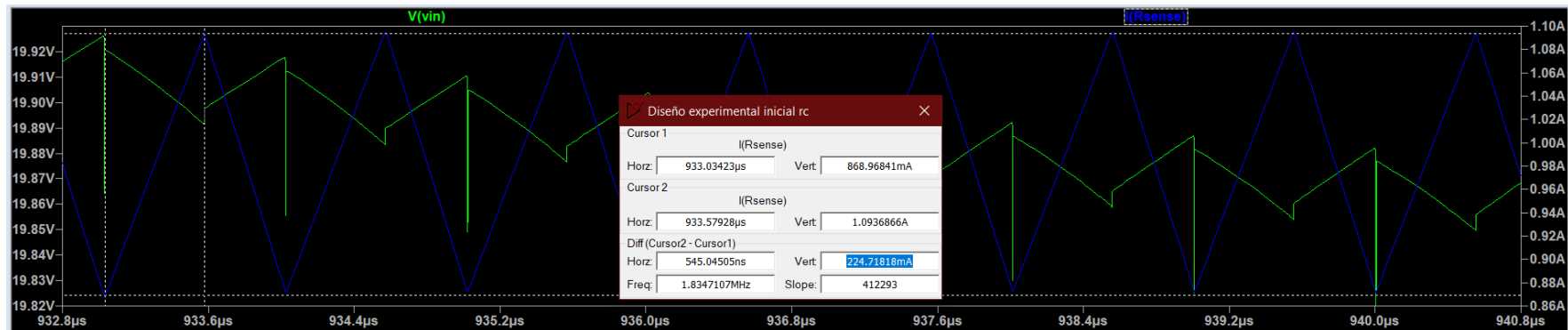
L'increment del període conmutat és el temps on el senyal esta en alta impedància i el increment del període és el temps que dura un cicle del senyal (zona alta i baixa sumades).

Arrissat de corrent màxim al principi de la càrrega

$$\Delta I_L = \frac{V_{in} - V_{bat}}{L * f_s} * D_{min} = \frac{(19.8 - 10)v}{22\mu H * 1 * 10^6} * 0.505 = 0.225A$$

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.983A + \frac{0.224A}{2} = 1.095A$$

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 0.983A + \frac{0.224A}{2} = 0.871A$$



Il·lustració 84. Arrissat de corrent de 224.7mA, senyal blava amb $I_{L,max}=1.093A$ i $I_{L,min}=868.96mA$.

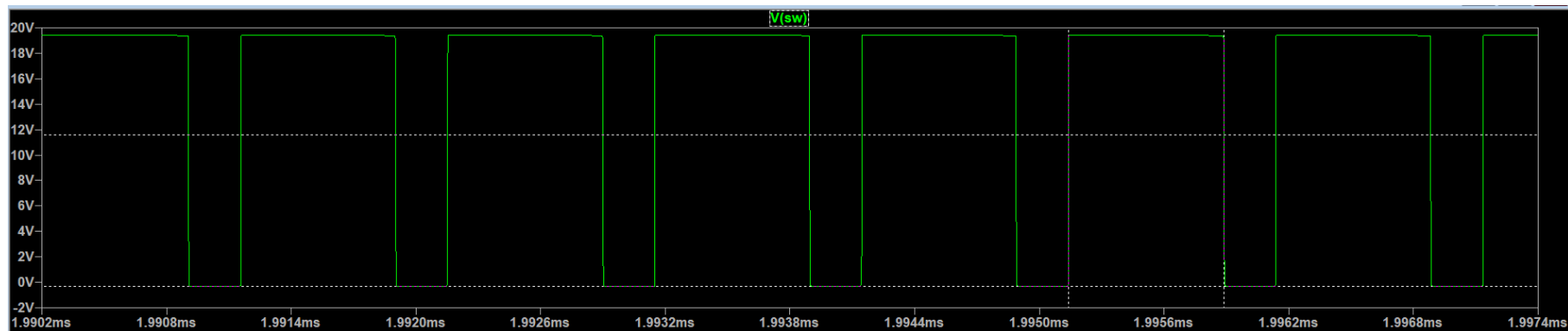
Els valors simulats en la Il·lustració 84 s'obtenen de fer la diferència en l'eix y, entre el pic superior e inferior del corrent, il·lustrat pel senyal blau, on segons els dos marcadors surt de 224.71mA, amb un valor màxim de 1.09A i un valor mínim de 0.868A.

Cicle de treball amb bateria pràcticament carregada

$$I_L = 0.982A;$$

$$D_{max}(analitic) = \frac{V_{bat}}{V_{in}} = \frac{14.4v}{19.6v} = 0.7346;$$

Arriusat de corrent mínim, V_{in} ara calculat en 19.6V segons el simulador i com la bateria està pràcticament carregada, el voltatge passa a ser 14.4v (Il·lustració 85):



Il·lustració 85. Duty cycle del 75% en el costat dret del senyal.

$$D_{max}(simulat) = \frac{\Delta_{periode\ conmutat}}{\Delta_{periode}} = \frac{748.10335ns}{997.47114ns} = 0.7499; \rightarrow \text{Valors extrems del gràfic, mesurats amb el cursor del programa.}$$

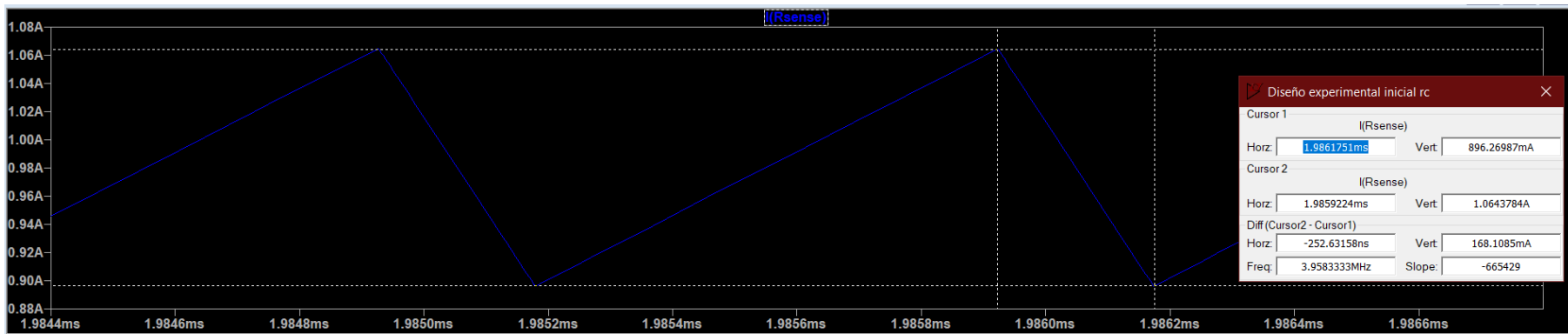
Al ser la conversió de voltatge molt menor, té sentit que el cicle de treball pugui ser més gran, ja que té que disminuir menys la tensió de sortida.

Arrissat de corrent amb bateria pràcticament carregada

$$\Delta I_L = \frac{V_{in} - V_{bat}}{L * f_s} * D_{min} = \frac{(19.6 - 14.4)v}{22\mu H * 1 * 10^6} * 0.7346 = 0.17A;$$

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 0.982A + \frac{0.17A}{2} = 1.068A;$$

$$I_{L,min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 0.982A - \frac{0.17A}{2} = 0.895A;$$

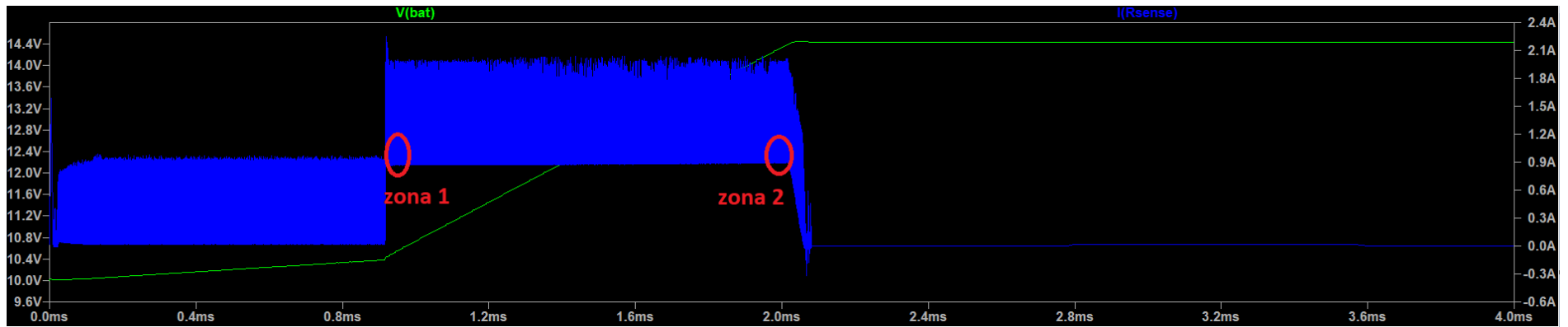


Il·lustració 86. Arrissat de corrent de 168.108mA, senyal blava amb $I_{L,max}=1.064A$ i $I_{L,min}=896.26mA$

De la mateixa forma que abans, en la Il·lustració 86, es donen valors similars als calculats analíticament, on l'arrissat és de 168mA (VertDiff), el valor màxim de 1.06A (Vert2) i el valor mínim de 0.896A (Vert1).

Zona de treball per fer els càlculs

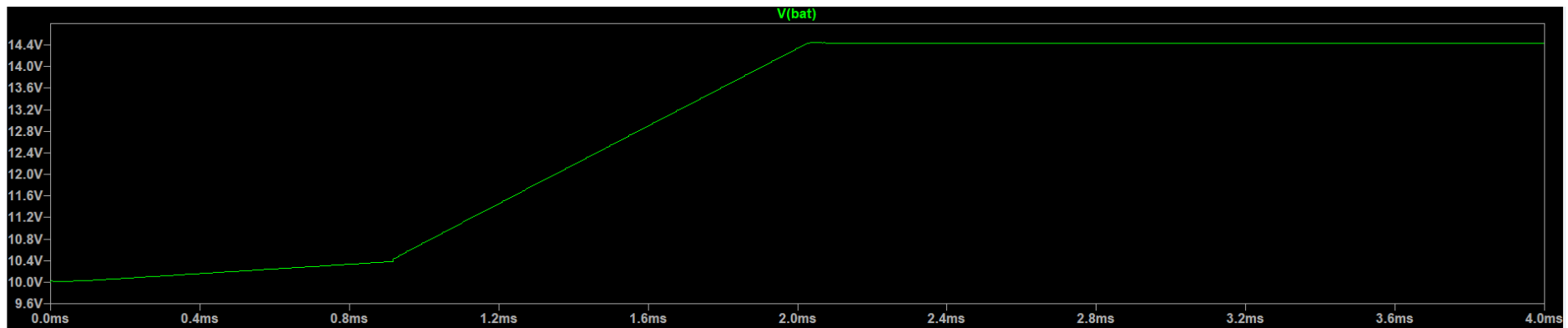
Si es mostra el procés de càrrega complet, es veu en la Il·lustració 87, que els càlculs del corrent segons el voltatge màxim i mínim s'han realitzat a la zona estacionària, on la càrrega es màxima i constant, fixada a 1A. S'han comparat els dos costats del corrent constant del xip, ja que com el voltatge de la bateria cada vegada serà superior, els valors al principi de la càrrega i al final seran diferents. Com es pot apreciar, quan la tensió arriba al valor màxim, el corrent es comença a reduir.



Il·lustració 87. Punts de treball dels càlculs establerts.

Increment del voltatge

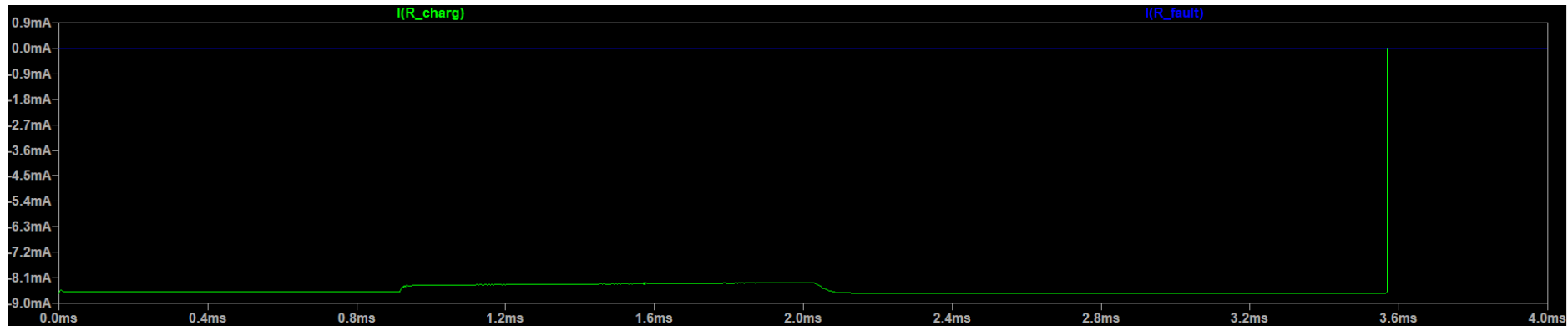
Es pot veure en la Il·lustració 88 una primera fase de càrrega on la tensió augmenta poc a poc en els 10V, ja que està encara massa baix per poder subministrar un corrent màxim de manera segura. Aquesta fase és la pre-càrrega, passat el procés, es comença a augmentar el voltatge a càrrega màxima fins que arriba al límit establert de 14.4V, que es pot apreciar que es compleix el llindar i un cop arribat, es manté constant ja que no hi ha cap aparell connectat que faci treballar a la bateria.



Il·lustració 88. Procés de tensió de la bateria.

Estats dels leds

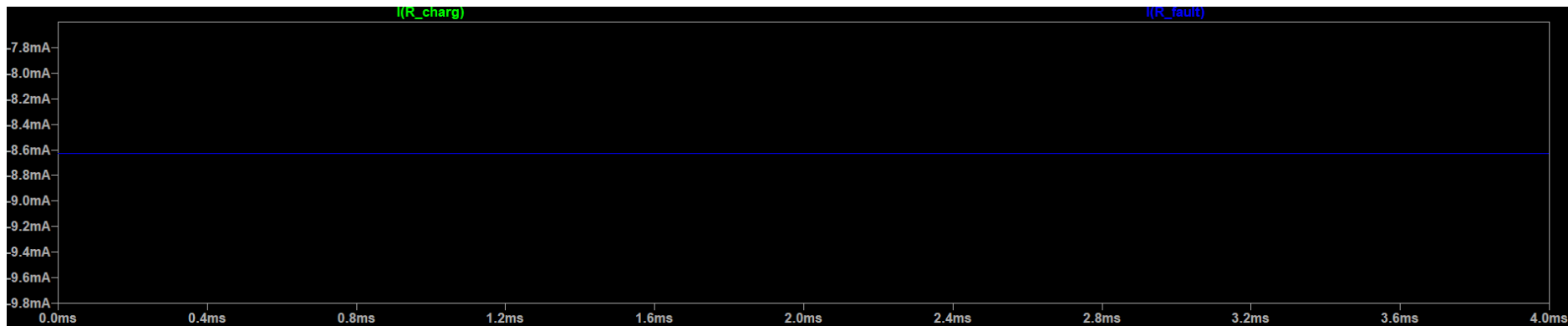
Si es fa un procés de càrrega normal es pot apreciar en la Il·lustració 89 com el sistema ho exterioritzarà encenent el led Charge de color blau, per contra, com també es pot veure, el LED vermell estarà apagat.



Il·lustració 89. Càrrega Normal, LED blau encès i LED Vermell apagat.

En comptes, per indicar un error en el procés com per exemple, que es detecti una pujada de temperatura que es tingui que parar el procés de càrrega, el dispositiu ho farà encenent els dos LEDS (Il·lustració 90), tal i com ho especifica el fabricant. Per fer la comprovació, al tindre el rang de temperatura permès entre 0°C i 45°C, en el simulador s'aplicarà a la sortida del pin una resistència de 4.5kΩ, amb això s'estarà simulant una temperatura prop dels 47.5°C, lo que s'estarà per sobre del rang permès de 45°C, llavors el voltatge serà inferior als 0.29V que detecta el xip i tots dos LEDS romandran encesos.

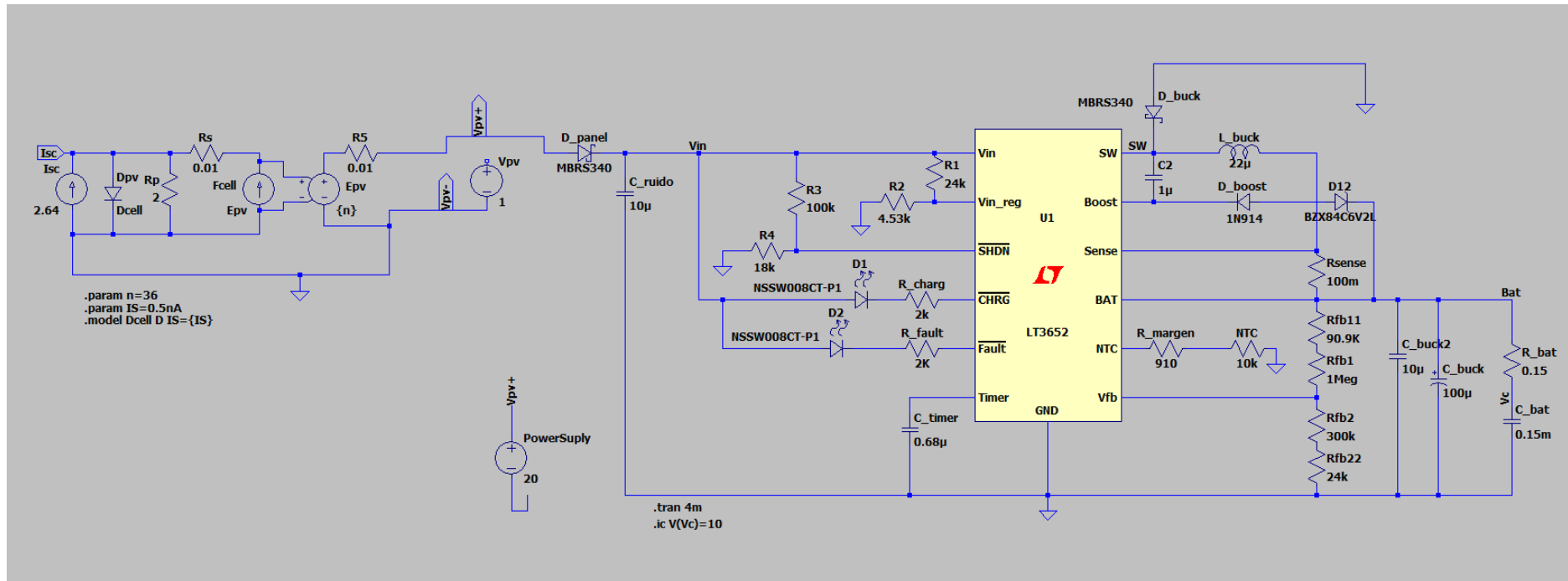
$$V_{xip} = 50\mu A * (R_{NTC} + R_{serie}) = 50\mu A * (4.5k\Omega + 910\Omega) = 0.27V < 0.29V; \rightarrow \text{els 50 micros són la intensitat del xip en aquest pin.}$$



Il·lustració 90. Error per excés de temperatura, LED blau i vermell en on.

La intensitat de lluminositat dels LEDS depenen del voltatge màxim que pugui subministrar el panell, però mai el corrent pujarà per sobre dels 10mA establerts pel fabricant. Quant no hi ha bateria o no s'està subministrant cap corrent cap a la bateria els dos LEDS estan apagats, es pot observar en el final de la Il·lustració 89, on el procés termina correctament i els dos LEDS s'apaguen i si està configurat el timer i en la pre-càrrega es detecta un error de la bateria únicament el LED "Fault" es posarà en on.

Esquemàtic LTSpice



Il·lustració 91. Esquemàtic complet del disseny del sistema en LTSpice.

Llistat de components

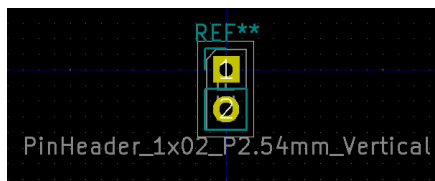
| | Qnt. | Fabricant | Referencia | Encapsulat | Detalls |
|--------------------------|------|-------------------|---------------------|------------------------|--|
| R1, Rfb22 | 2 | TE Connectivity | LR1F24K | Orifici Passant | 24k Ω , 0.6W, +-1% |
| R2 | 1 | TE Connectivity | YR1B4K53CC | Orifici Passant | 4.53k Ω , 0.25W, +-0.1% |
| R3 | 1 | RS Pro | Carbon 0.25W | Orifici Passant | 100k Ω , 0.25W, +-5% |
| R4 | 1 | TE Connectivity | LR1F18K | Orifici Passant | 18k Ω , 0.6W, +-1% |
| R_Charge, R_fault | 2 | TE Connectivity | LR1F2K0 | Orifici Passant | 2k Ω , 0.6W, +-1% |
| R_margin | 1 | TE Connectivity | LR1F910R | Orifici Passant | 910 Ω , 0.6W, +-1% |
| R_sense | 1 | RS Pro | RSMOA0318 | Orifici Passant | 100m Ω , 0.4W, +-0.25% |
| Rfb1 | 1 | TE Connectivity | YR1B1M0CC | Orifici Passant | 1M Ω , 0.25W, +-0.1% |
| Rfb11 | 1 | TE Connectivity | YR1B90K9CC | Orifici Passant | 90.9k Ω , 0.25W, +-0.1% |
| Rfb2 | 1 | Vishay | MRS25000C3003FCT00 | Orifici Passant | 300k Ω , 0.6W, +-1% |
| C_buck1 | 1 | Panasonic | EEUFM1E101 | Orifici Passant | 100 μ F, 25V, +-20% |
| C-buck2, C_ruido | 1 | muRata | RCER71H106MWK1H03B | Orifici Passant | 10 μ F, 50V, \pm 20% |
| C_timer | 1 | muRata | RDER71H684K2M1H03A | Orifici Passant | 0.68 μ F, 50V, +-10% |
| C_boost | 1 | muRata | RCER71H105K2M1H03A | Orifici Passant | 1 μ F, 50V, +-15% |
| L_buck | 1 | muRata | 1422311C | Orifici Passant | 22 μ H, 11A, +-15% |
| D_buck, D_panel | 2 | ON Semiconductor | MBRS540T3G | SMD SMC CASE 403-03 | V _r =40V, I _f =5A, V _f =0.5V, I _r =0.3mA |
| D_boost1 | 1 | ON Semiconductor | BZX84C6V2LTG1 | SMD SOT-23 | Zener, V _n =6.2V, P _{max_disipada} =300mW |
| D_boost2 | 1 | ON Semiconductor | 1N914 | Orifici Passant | V _r =100V, I _f =4A, V _f =0.72V, I _r =300mA |
| LED Azul | 1 | Avago | HLMP-1301 | Orifici Passant | V _r =5v, V _f =1.9V@10mA |
| LED Rojo | 1 | Avago | HLMP-AB65-TW0DD | Orifici Passant | V _r =5v, V _f =2.9V@10mA |
| Vpv, Vbat | 2 | Weidmüller | PM 5.08/02/90 3.5SN | Orifici Passant | B.T amb 2 contactes a 5.08mm de pas |
| J1, J2, J3, J4 | 4 | RS Pro | 251-8171 | Orifici Passant | 2 pins femella a 2.54mm |
| CI | 1 | Linear Technology | LT3652 | MSE package | 12 pins + 1 PAD SMD |
| Adaptador | 1 | Proto Advantage | IPC0078 | Orifici Passant | MSOP-12 to DIP-16 SMT |

Taula 19. Llistat de Material.

14. Execució del disseny

14.1. KiCad

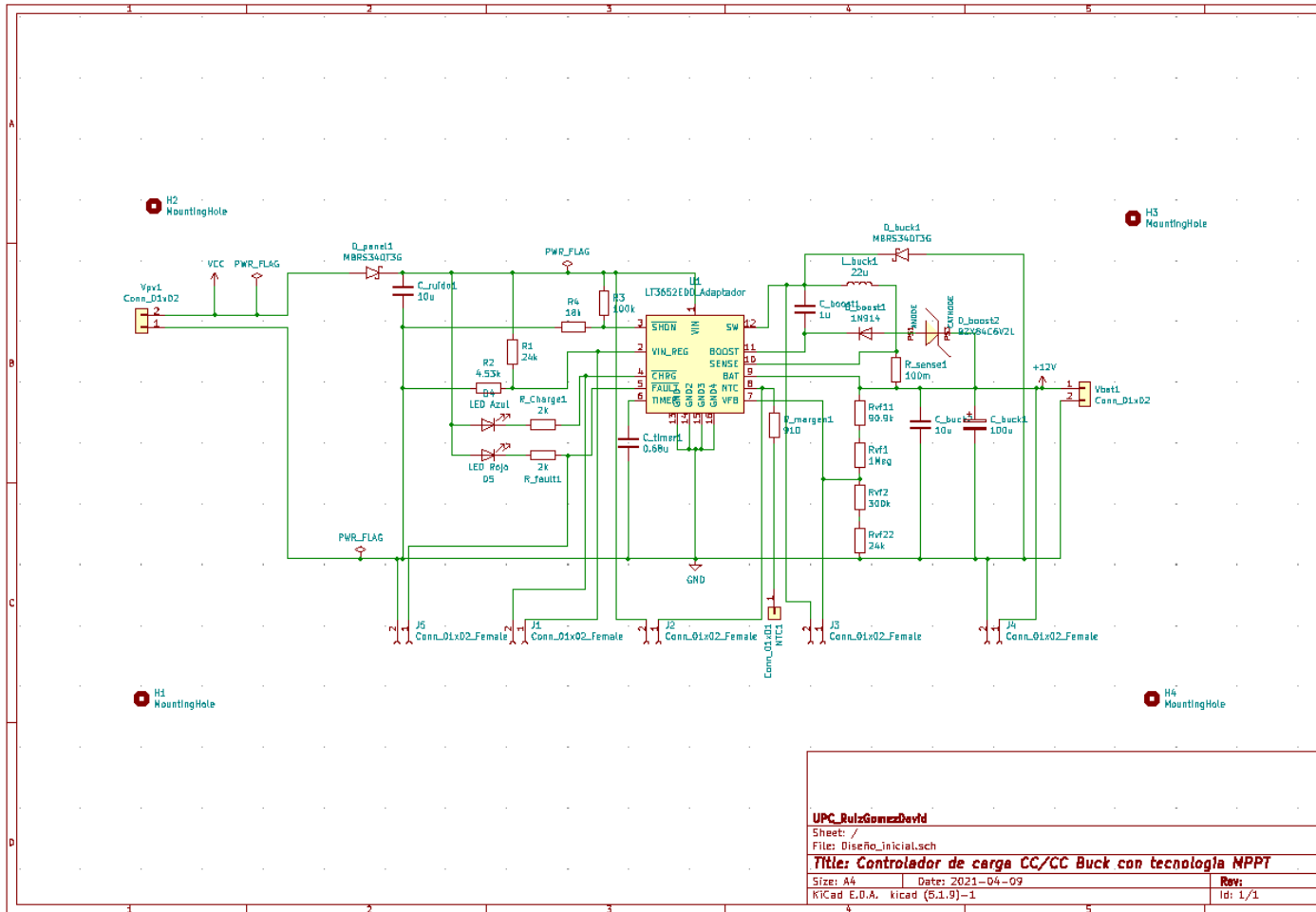
Per traslladar el sistema a la practica i realitzar la impressió de la placa PCB del circuit, s'ha utilitzat un programa de disseny de llicència gratuïta anomenat KiCad, i així poder desenvolupar el procés de disseny i imprimir la PCB amb la universitat.



Il·lustració 92. "Footprint" d'una resistència de orifici passant.

És un procés tediós de realitzar si es té una gran quantitat de components a fixar. Primerament, s'ha de realitzar un esquema elèctric per indicar-li al programa la interconnexió de tots els components, per després poder fer la distribució de cada un d'ells a la PCB. A l'hora de voler implementar una PCB, amb qualsevol programa, hi ha un concepte anomenat "footprint", que és el dibuix tècnic de cada component, i es veurà reflectit en la PCB si la impressora pot serigrafiar. Aquest concepte mostrat en la Il·lustració 92, s'utilitza per poder-li comunicar al programa les mides del component i com seran les seves connexions. És imprescindible que els "footprints" de cada component corresponguin amb les mesures que li pertocuen, i distàncies entre pins convenients.

Disseny esquemàtic KiCad



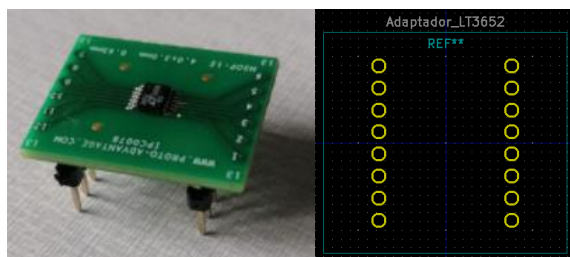
Il·lustració 93. Disseny Esquemàtic PCB.

Referencies dels FootPrints

| Symbol : Footprint Assignments | |
|--------------------------------|---|
| 1 | C_boost1 - 1u : Capacitor_THT:C_Disc_D6.0mm_W4.4mm_P5.00mm |
| 2 | C_buck1 - 100u : Capacitor_THT:CP_Radial_D6.3mm_P2.50mm |
| 3 | C_buck2 - 10u : Capacitor_THT:RCER71H106MWK1H03B |
| 4 | C_ruido1 - 10u : Capacitor_THT:RCER71H106MWK1H03B |
| 5 | C_timer1 - 0.68u : Capacitor_THT:RDER71H684K2M1H03A_0.68u |
| 6 | D4 - LED Azul : LED_THT:LED_D3.0mm_IRGrey |
| 7 | D5 - LED Rojo : LED_THT:LED_D3.0mm |
| 8 | D_boost1 - 1N914 : Diode_THT:1N914 |
| 9 | D_boost2 - BZX84C6V2L : BZX84C6V2L:BZX84C6V2L |
| 10 | D_buck1 - MBRS340T3G : Diode_SMD:MBRS540T3G |
| 11 | D_panell1 - MBRS340T3G : Diode_SMD:MBRS540T3G |
| 12 | H1 - MountingHole : MountingHole:MountingHole_3.2mm_M3 |
| 13 | H2 - MountingHole : MountingHole:MountingHole_3.2mm_M3 |
| 14 | H3 - MountingHole : MountingHole:MountingHole_3.2mm_M3 |
| 15 | H4 - MountingHole : MountingHole:MountingHole_3.2mm_M3 |
| 16 | J1 - Conn_01x02_Female : Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical |
| 17 | J2 - Conn_01x02_Female : Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical |
| 18 | J3 - Conn_01x02_Female : Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical |
| 19 | J4 - Conn_01x02_Female : Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical |
| 20 | J5 - Conn_01x02_Female : Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical |
| 21 | L_buck1 - 22u : Inductor_THT:L_Radial_D24.4mm_P23.90mm_murATA_1400series |
| 22 | NTC1 - Conn_01x01 : TerminalBlock_MetzConnect:TerminalBlock_MetzConnect_360271_1x01_Horiz |
| 23 | R1 - 24k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 24 | R2 - 4.53k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 25 | R3 - 100k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 26 | R4 - 18k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 27 | R_Charge1 - 1.5k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 28 | R_fault1 - 1.8k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 29 | R_margin1 - 910 : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 30 | R_sense1 - 100m : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 31 | Rvf1 - 1Meg : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 32 | Rvf2 - 300k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 33 | Rvf11 - 90.9k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 34 | Rvf22 - 24k : Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal |
| 35 | U1 - LT3652EDD_Adaptador : LT3652:Adaptador_LT3652 |
| 36 | Vbat1 - Conn_01x02 : TerminalBlock:TerminalBlock_bornier-2_P5.08mm |
| 37 | Vpv1 - Conn_01x02 : TerminalBlock:TerminalBlock_bornier-2_P5.08mm |

Il·lustració 94. Llistat de referencies dels "footprints".

Les característiques de la placa impresa han tingut que complir una sèrie de normes de disseny, que poden variar segons qui sigui el fabricant, però que són bastant similars per una raó de poder normalitzar tots els dissenys i arribar a ser eficients i entenedors per la majoria de persones. La llista de normes per a la correcta impressió es troba en l'Annex 1 del projecte.



Il·lustració 95. Adaptador en físic i el seu disseny en "footprint".

A l'hora de fer el "footprint" del circuit integrat LT3652, al ser un dispositiu de dimensions molt reduïdes, les especificacions requerides pel fabricant de la placa impresa no compleixen amb la separació entre pistes que obliga a mantenir, d'un mínim de 0.3 mm. Per solucionar aquest contratemps, s'ha adquirit un adaptador on es soldarà el xip en ell, per després insertar aquest amb una separació entre els pins més gran, que si permet la impressió el fabricant, tal i com es pot veure en la Il·lustració 95 en una fotografia extreta amb el xip ja soldat i en el disseny del seu "footprint".

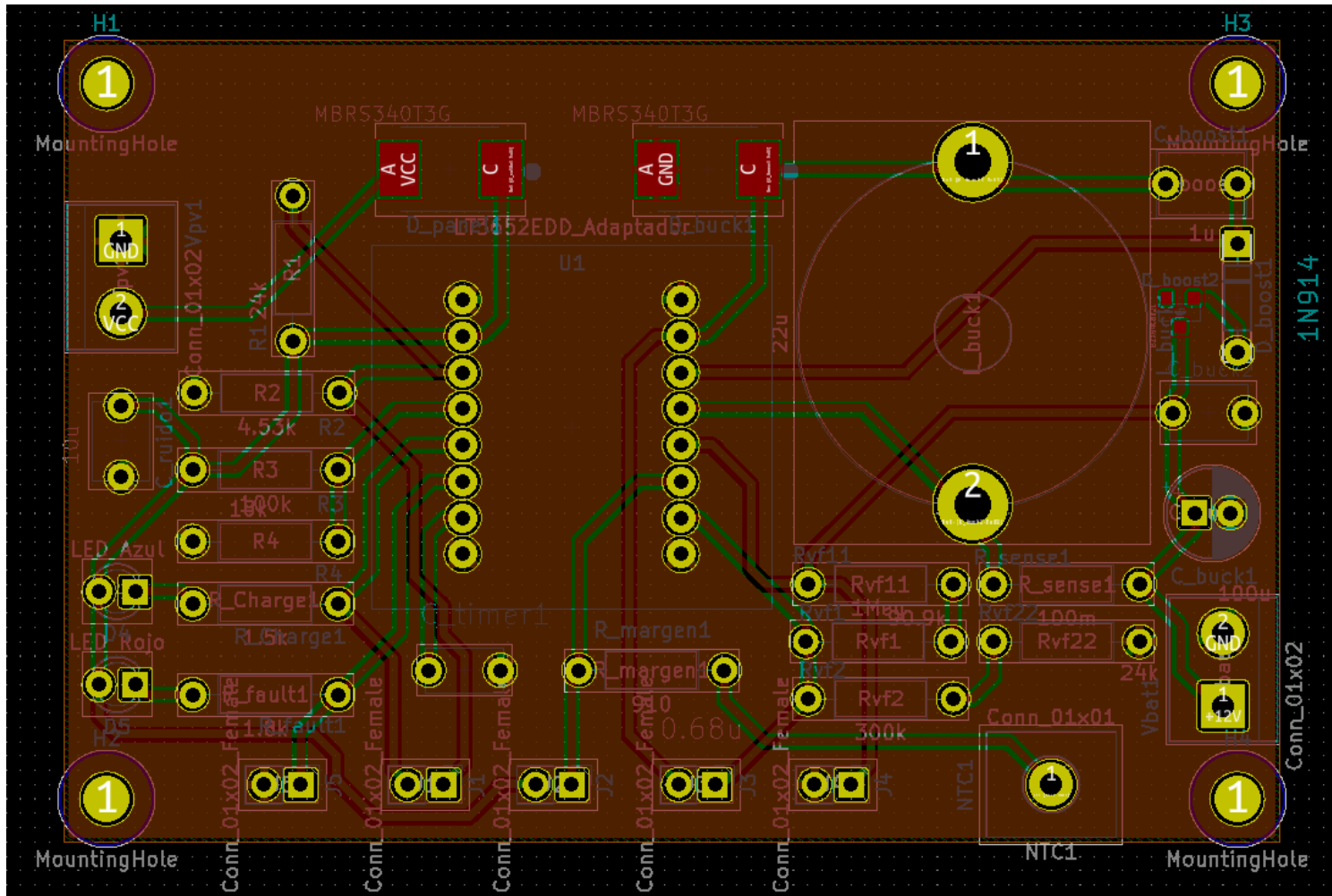
El xip SMD, al tenir el pin de GND a sota, tal i com es pot observar en la Il·lustració 49, en l'adaptador, aquest "ground", s'extreu pels quatre pins situats a les cantonades.

Especificacions PCB dissenyada:

| | Especificacions |
|------------------------|----------------------------|
| Dimensions | 82.5 X 55 mm |
| Disseny | Doble cara |
| Plànols de Massa | Si, en les dues cares |
| Trepans de subjecció | 4 uniats de M3 de diàmetre |
| Diàmetre pistes | 0.6mm |
| Separació pistes | 0.3mm |
| Vies | 0 unitats |
| Components Totals | 37 components |
| Broques necessàries | 3 |
| Trepants metal·litzats | No |
| Serigrafies | No |
| Fabricant | UPC, Eseiata |

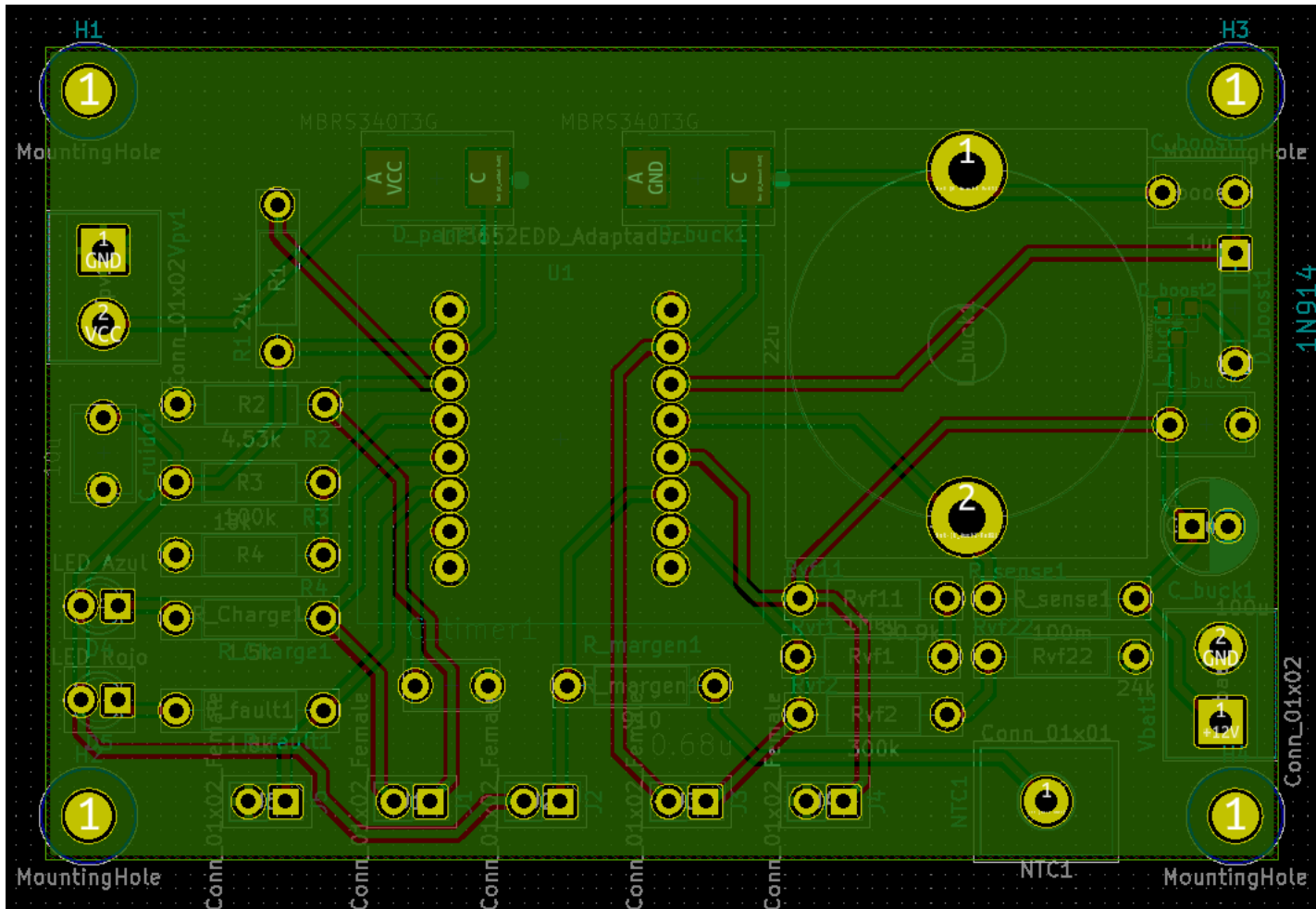
Taula 20. Especificacions principals de la PCB.

Cara Top de la PCB



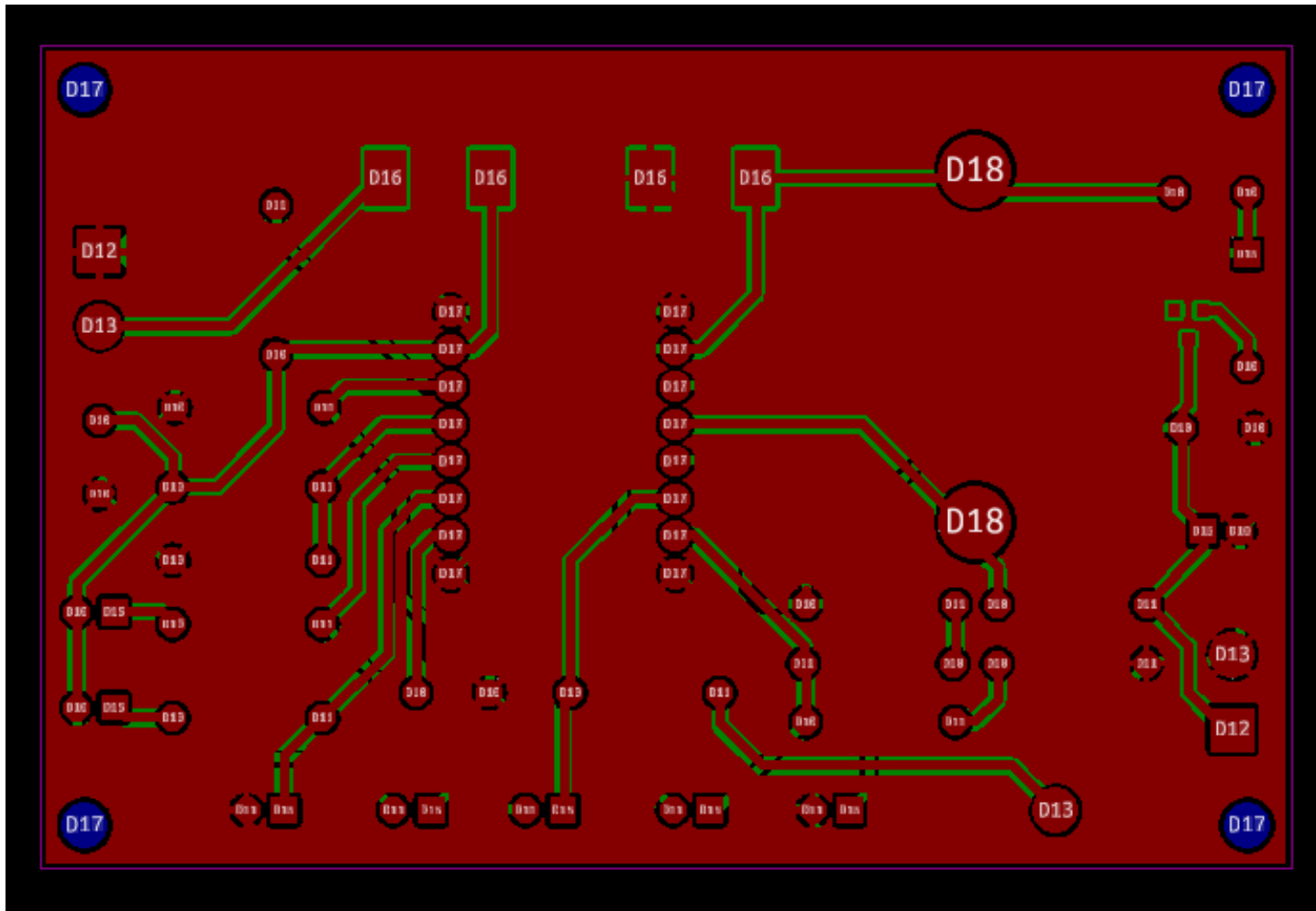
Il·lustració 96. Cara superior (Top) de la placa PCB

Cara Bottom de la PCB



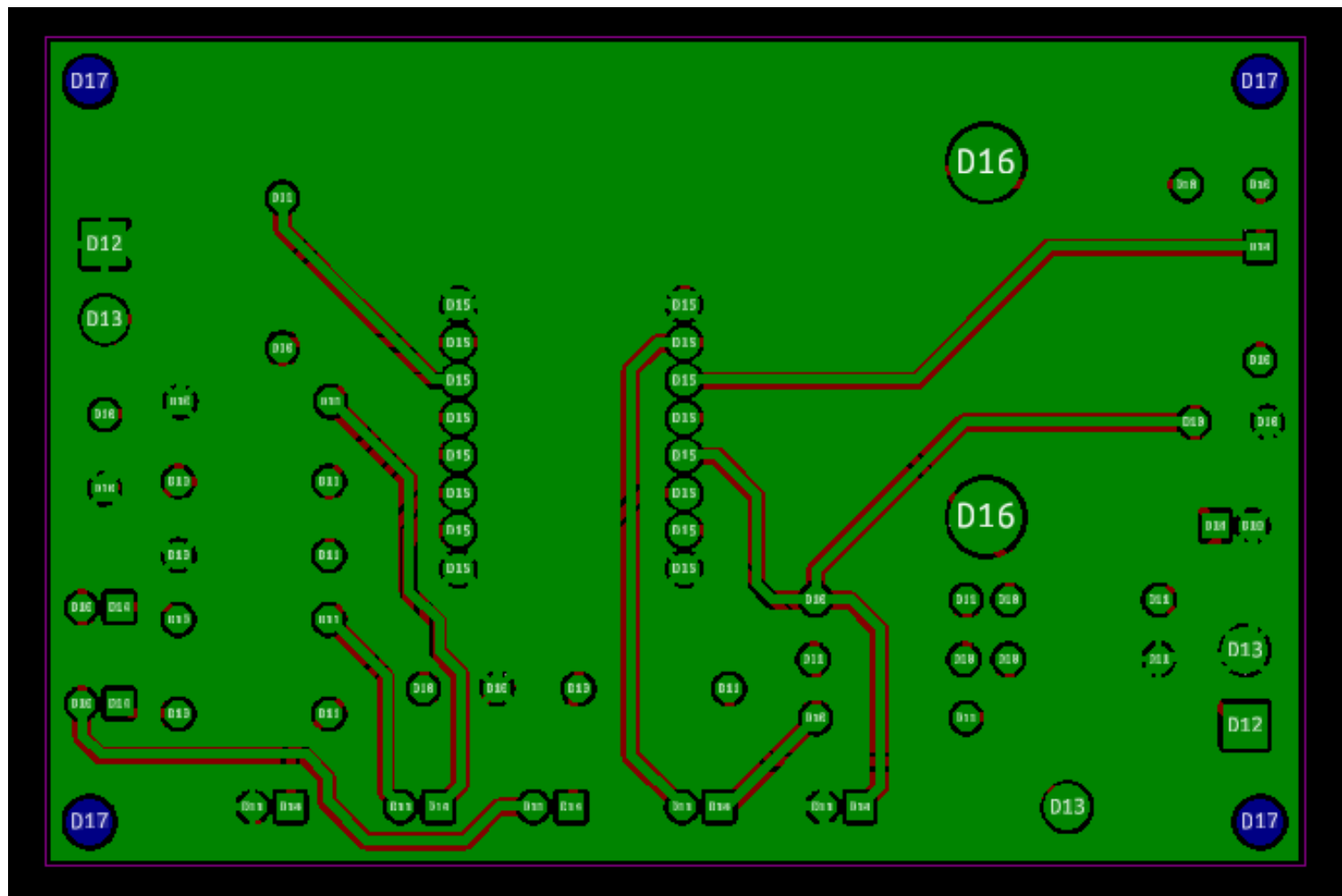
Il·lustració 97. Cara inferior (Bottom) de la PCB.

Cara Top del Gerber compilat



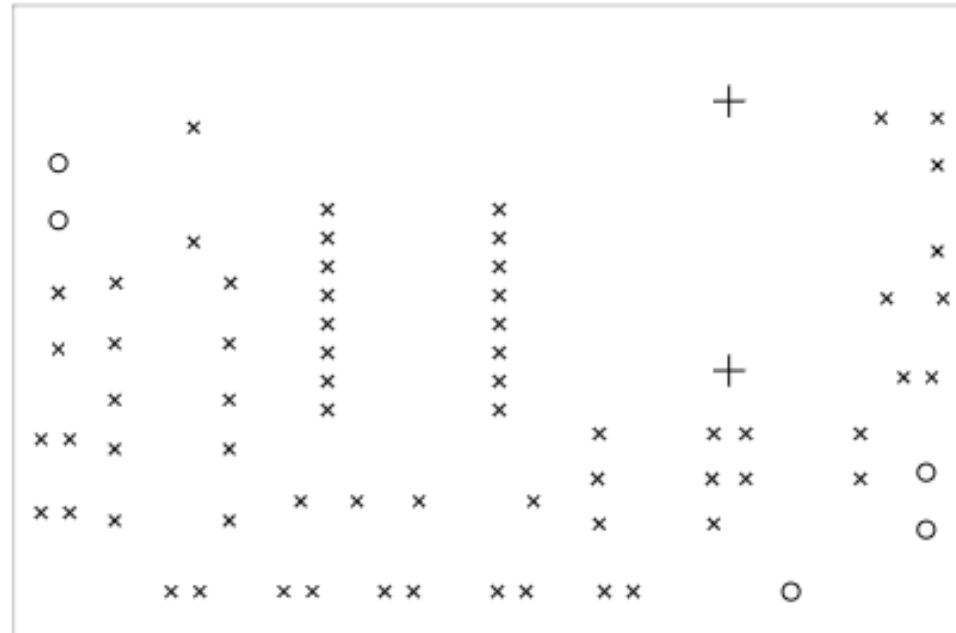
Il·lustració 98. Mapa Gerber de la capa superior (Top).

Cara Bottom del Gerber compilat



Il·lustració 99. Mapa Gerber de la cara inferior (Bottom).

Mapejat dels trepants utilitzats

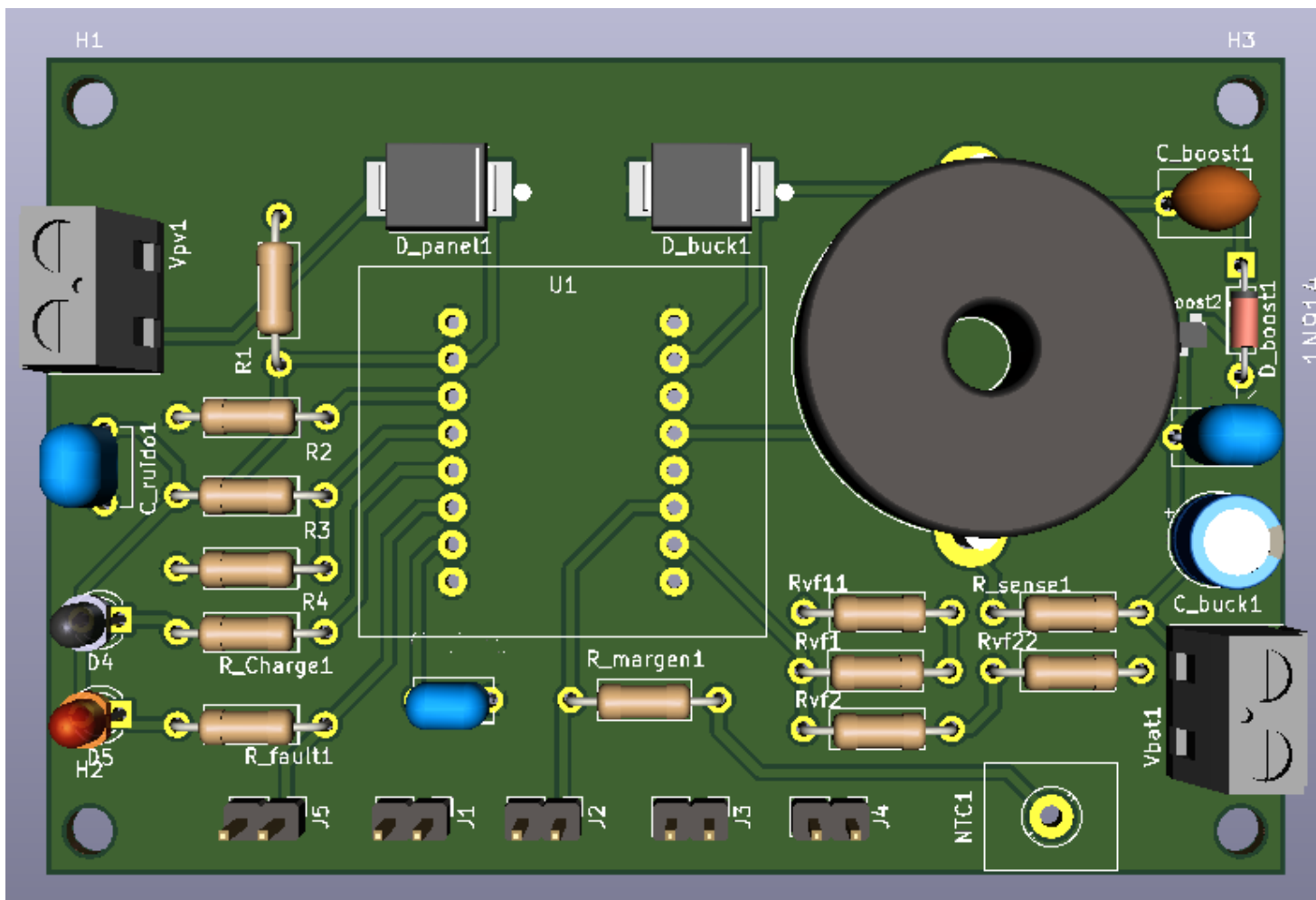


Drill Map:

× 1.00mm / 0.039" (66 holes)
○ 1.50mm / 0.059" (5 holes)
+ 2.60mm / 0.102" (2 holes)

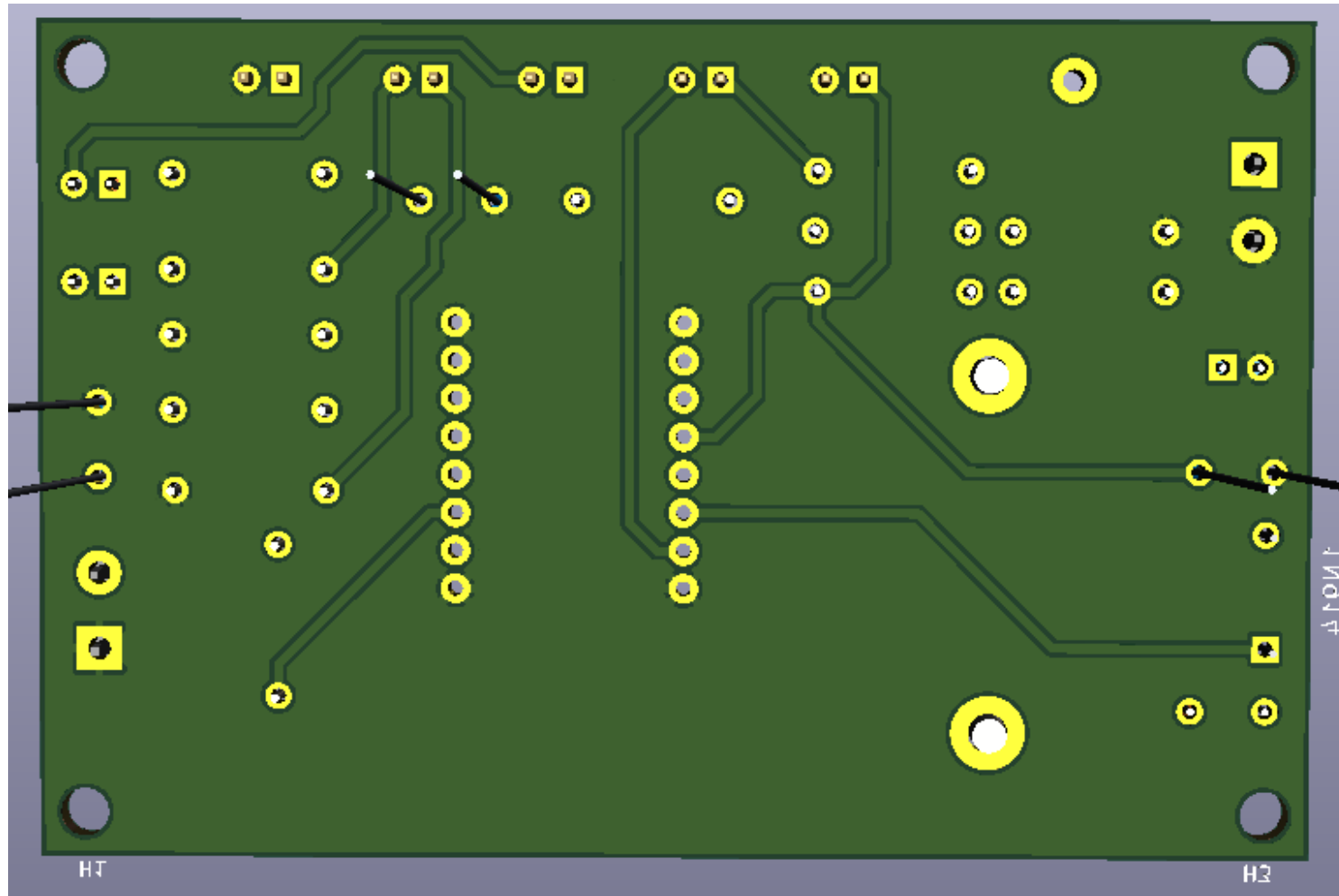
Il·lustració 100. Mapa/llegenda del Trepants necessaris per a la realització de la impressió de la PCB.

Vista 3D de la cara Top



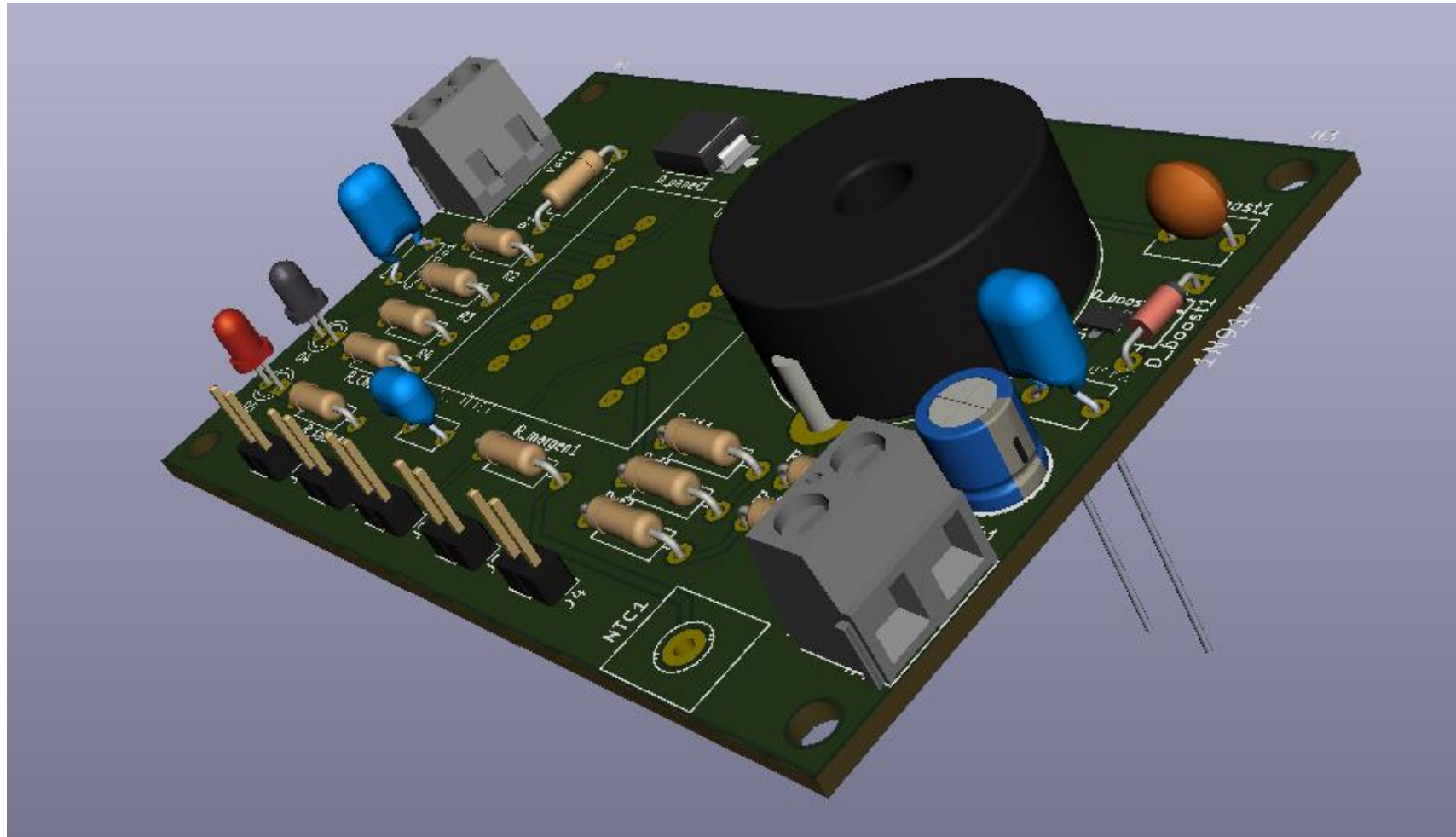
Il·lustració 101. Vista 3D de la capa superior de la PCB.

Vista 3D de la cara Bottom



Il·lustració 102. Capa inferior en 3D de la PCB.

Vista 3D isometrica de la PCB



Il·lustració 103. Projectió isomètrica de la PCB.

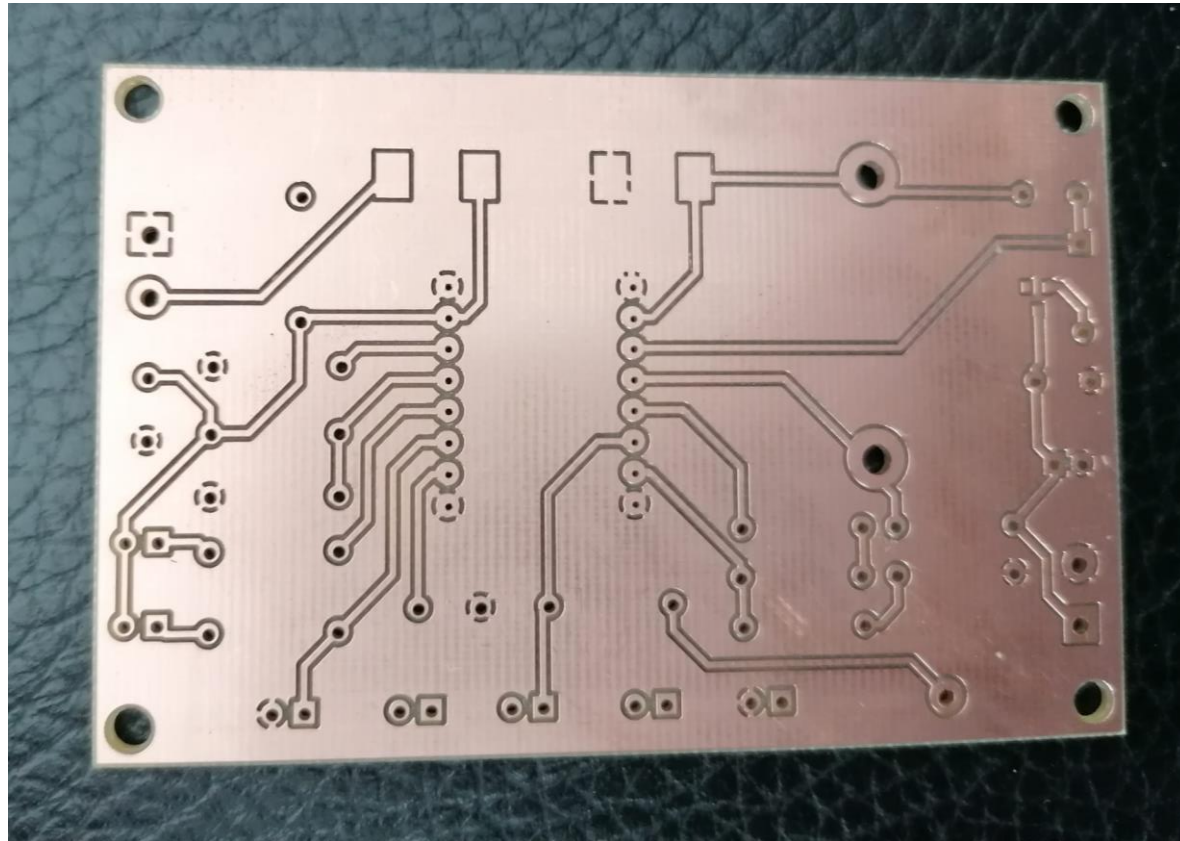
14.2. Muntatge

El muntatge de tots els components a la PCB, s'ha fet amb soldadura d'estany, i per ajudar a que el calor es reparteixi millor i faciliti l'adherència amb el coure, s'ha utilitzat un producte anomenat flux. La realització del muntatge, s'ha dut a terme en el laboratori de projectes de TR2 0.25. La majoria de components són d'orifici passant, exceptuant tres díodes i el propi xip integrat que dificulta el procés de soldadura.

Degut a la inexperiència prèvia i a la complexitat de soldar components SMD, es va haver de repetir dues vegades el procés, tot i això, el resultat de soldadura ha sigut bastant bo. La part més complicada sens dubte és la inserció de l'adaptador en els orificis passants de la PCB, ja que com no estaven metal·litzats, els forats s'han tingut que soldar tots per les dues cares, fet que ha donat molta complicació al procés. Un altre aspecte realment tediós ha estat la soldadura del xip a l'adaptador, perquè no es sap si s'ha soldat de manera correcta fins que no s'alimenta la PCB, ja que al estar fixat per la panxa del encapsulat, no hi ha manera de mirar continuïtat.

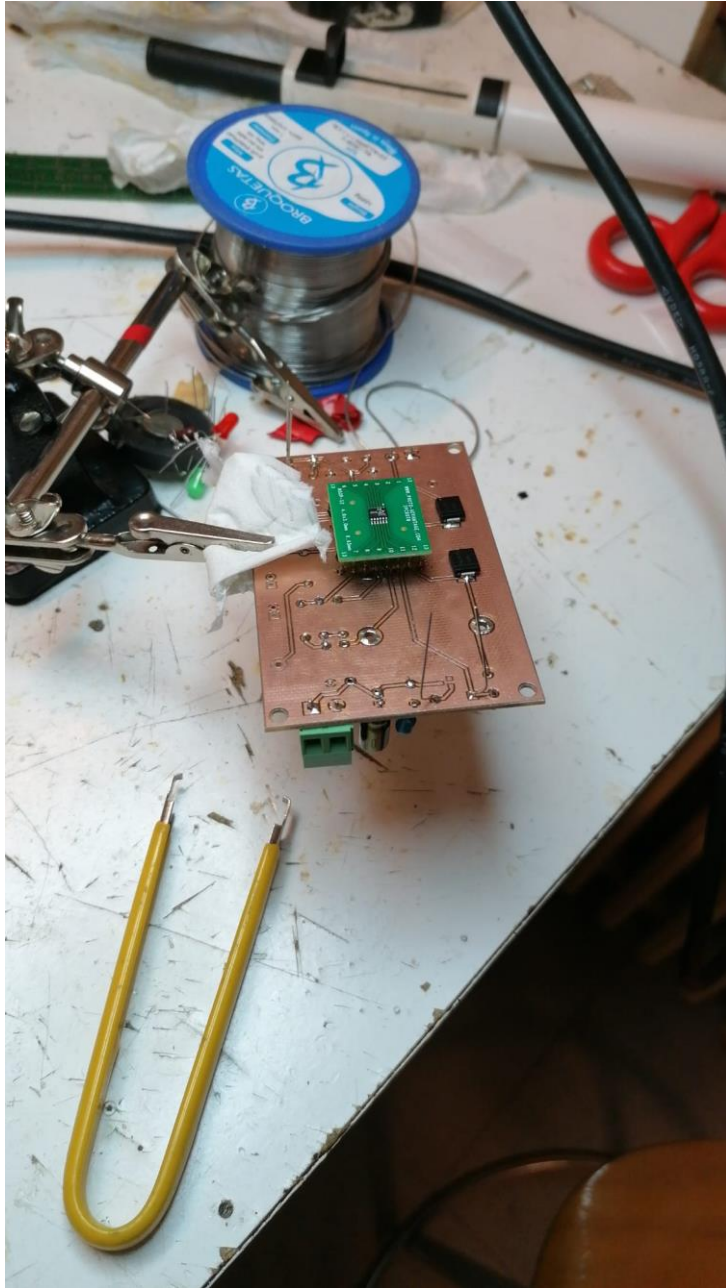
Per realitzar la soldadura del xip, es necessita una pistola d'aire calent per fondre l'estany del GND. Al no tenir el material per realitzar aquest procés, s'ha hagut de contactar amb dues empreses externes amb grans professionals, anomenades HUB ELECTRONICS (Jose Manuel 2021), situats en Hospitalet del Llobregat i SERVICIRCUITS (Soler 2021), situats en Llorenç d'Hortons, per a que fessin el procés de soldadura del propi xip en l'adaptador.

Resultat físic del disseny



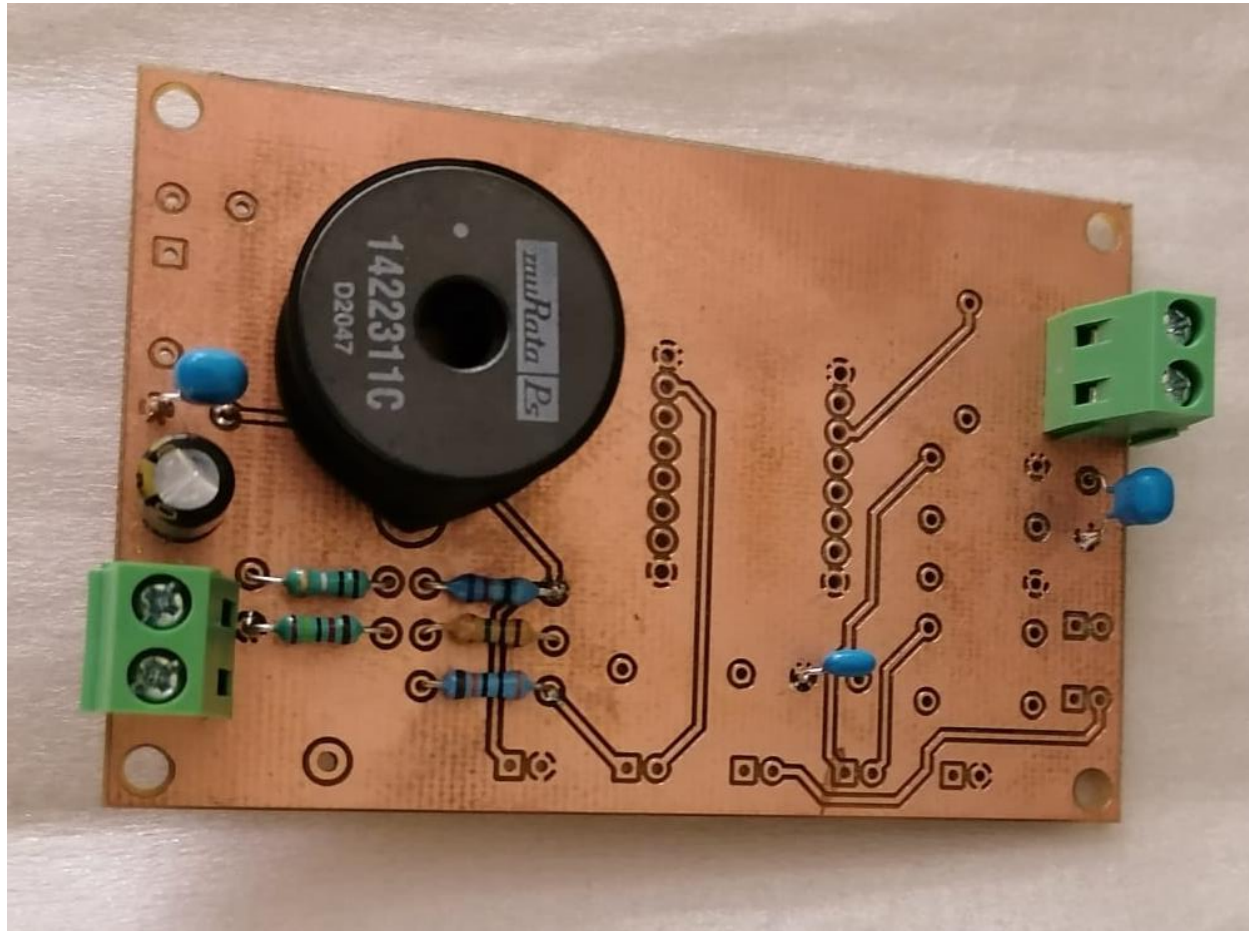
Il·lustració 104. PCB impresa per la UPC, cara superior (Top).

Procés de soldadura



Il·lustració 105. Soldadura de la PCB en el laboratori.

Cara Bottom en el procés de soldadura



Il·lustració 106. Cara Bottom del procés de soldadura.

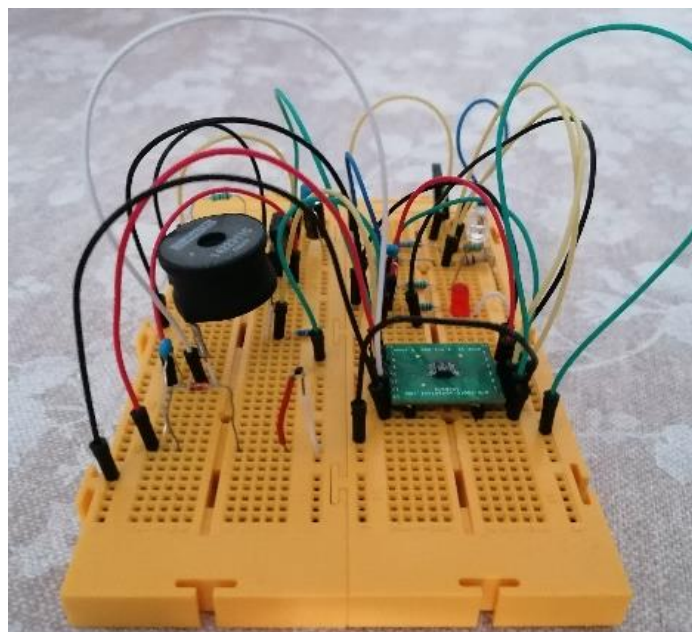
15. Proves de Funcionament

Tot i que els resultats de simulació eren satisfactoris i s'havia comprovat que la PCB no tenia errors, el carregador no funcionava.

Inicialment, els divisors de tensió no donaven el voltatge que pertocava. Per exemple, si la bateria estava en els 12V, en comptes d'aparèixer 2.74V en el divisor format per V_{fb} mencionat en la Il·lustració 49, mesurant amb el voltímetre s'obtenien 0.80V, la qual cosa provocava que al xip li estigués arribant una informació errònia i actués en un mode incorrecte que no li pertocava.

$$V_{fb} = \frac{R2 * V_{in}}{R2 + R1} = \frac{324k\Omega * 12V}{324k\Omega + 1.0909M\Omega} = 2.74V;$$

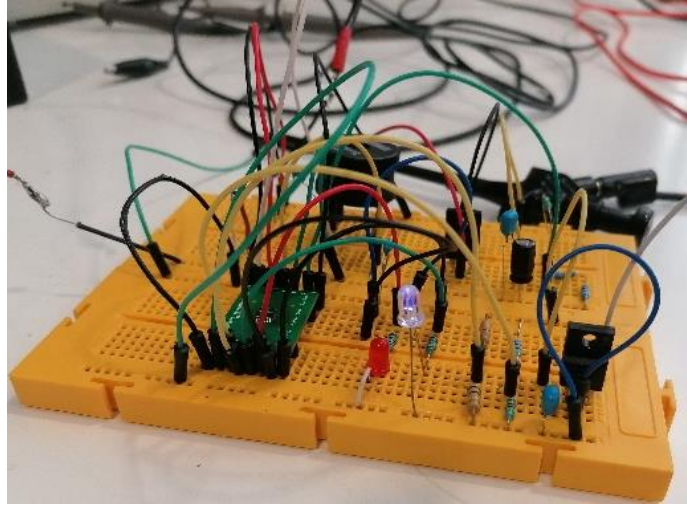
Després de diverses proves, es va constatar que el CI LT3652 no funcionava correctament. Això era degut a que per tal de fer mesures en els seus terminals, amb molta facilitat es provoquen curtcircuits.



Il·lustració 107. Placa de proves del controlador de càrrega.

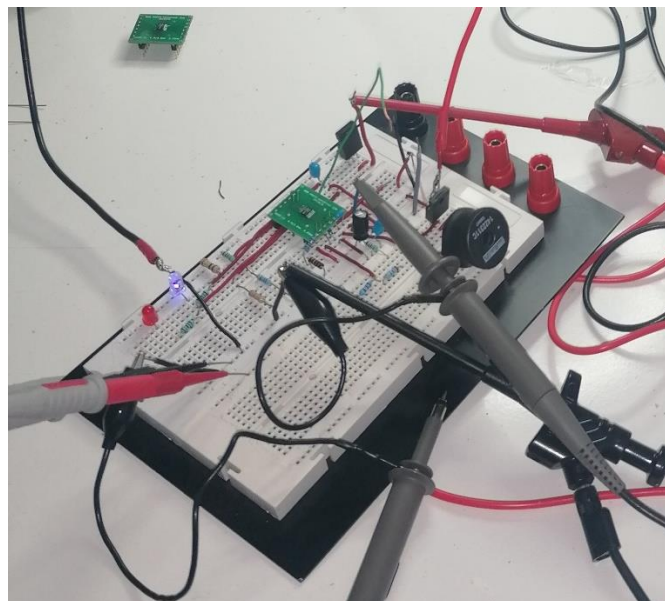
Al no tindre pistola d'aire calent en el laboratori i ni els forats de la PCB estaven metal·litzats, no es podia extreure la soldadura de l'adaptador. Per tant, cada vegada que es tenia que reemplaçar l'adaptador, es tenia que re-fer per complet tota la PCB. A conseqüència d'això, es va optar per fer el muntatge del circuit en una placa de proves com es veu en la Il·lustració 107, però tampoc van sortir els resultats esperats.

El procediment per realitzar la comprovació, va ser donant-li energia mitjançant una font d'alimentació a 19v, que és aproximadament el valor d'entrada dels panells solars en condicions ideals d'irradiància, com s'ha pogut veure en la simulació.



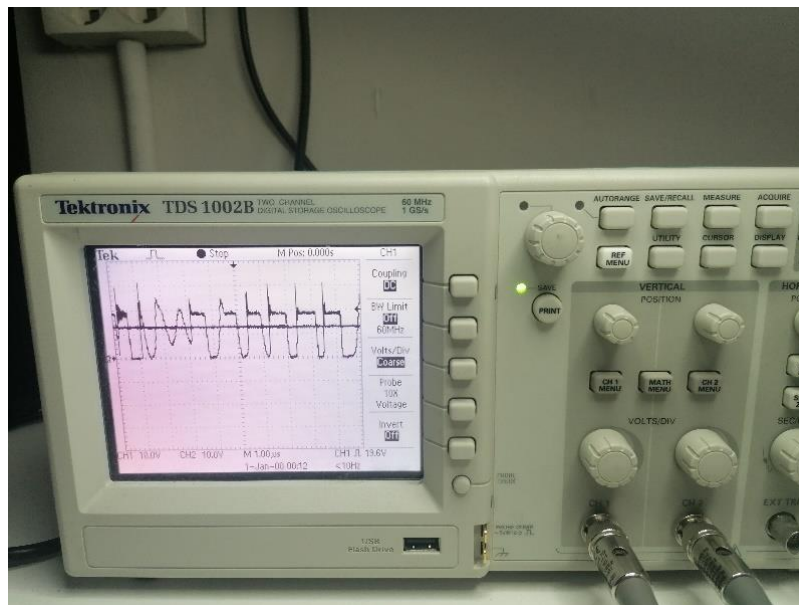
Il·lustració 108. Placa de proves alimentada amb LED blau encès indicant que hi ha un procés de càrrega.

Amb la font d'alimentació configurada i l'oscil·loscopi en marxa, el primer pas va ser fer les proves amb la pròpia bateria. Comprovar el correcte funcionament dels divisors de tensió, i després, l'estat de la bateria, on segons el controlador, s'estava en un correcte procés de càrrega com s'observa en el LED blau il·luminat en la Il·lustració 108, lo que comporta que si la bateria esta per sota del 97.5% del seu valor màxim, que són 14.4V, la seva intensitat de càrrega tenia que ser la fixada d'1A (tensió en borns de la bateria de 13V), i no era el cas, ja que el sistema no commutava, per lo tant, no circulava intensitat.

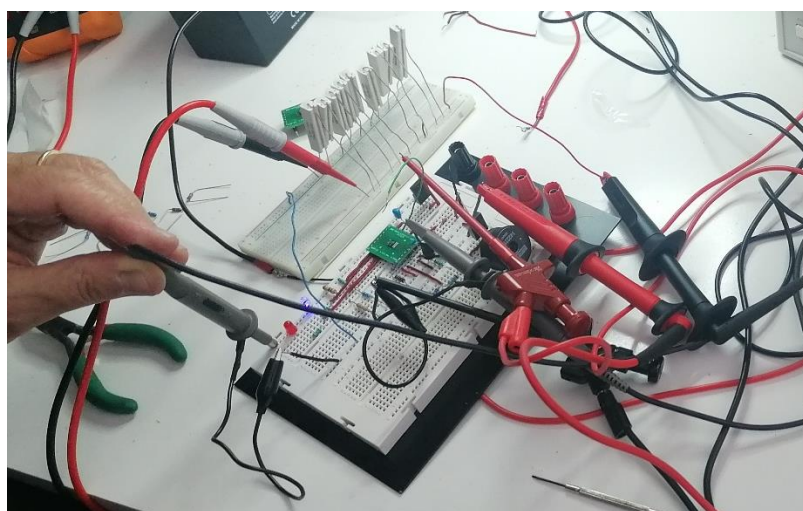


Il·lustració 109. Segon muntatge en placa de proves.

Al veure que no funcionava, es va decidir per re-fer la implementació de la placa de proves amb un muntatge més acurat com es pot veure en la Il·lustració 109. Aquest muntatge que inicialment tampoc funcionava, es va descobrir que si es curtcircuitava els terminals de SHDN del circuit integrat (Il·lustració 49) amb l'entrada Vin, s'iniciava una càrrega feble a 100mA (lluny de l'amper programat), o sigui, es produïa una commutació a la sortida del CI en estat alt en els 19V, i en estat baix en els 0V tal i com es pot veure a la Il·lustració 110. Continuant amb les proves es va veure que el problema estava que en aquest terminal la tensió fluctuava, es va decidir estabilitzar-la amb un condensador de 10 μ F i a conseqüència d'això, ja sense curtcircuitar el pin SHDN funcionava carregant a 100mA.



Il·lustració 110. Commutació del senyal i voltatge constant de la bateria a 12.7V.



Il·lustració 111. Proves utilitzant el "pack" de resistències en paral·lel.

Per veure on podia estar el problema de que carregues a una intensitat tan baixa, es va optar per utilitzar 8 resistències connectades en paral·lel de 100Ω cada una per simular el voltatge de la bateria com es pot veure en la Il·lustració 111. D'aquesta manera s'aconseguia fixar el voltatge de la bateria a 12.5V:

$$V_{bat} = (R^{-1} * unitats)^{-1} * I_{max} = (100\Omega^{-1} * 8)^{-1} * 1A = 12.5V;$$

La intensitat de càrrega de la bateria seguia sense arribar als ampers prefixats i es quedava molt per sota. Encara variant el “pack” de 8 resistències en paral·lel no hi havia cap diferència en el controlador.

Si es treu o s'afegeix una resistència en paral·lel en el “pack”, el voltatge es modificarà i d'aquesta manera es poden comprovar tots els estats del controlador.

Si es treu una resistència, la tensió augmentarà:

$$V_{bat} = (R^{-1} * unitats)^{-1} * I_{max} = (100\Omega^{-1} * 7)^{-1} * 1A = 14.28V;$$

Si s'afegeix una resistència, la tensió disminuirà:

$$V_{bat} = (R^{-1} * unitats)^{-1} * I_{max} = (100\Omega^{-1} * 9)^{-1} * 1A = 11.11V;$$

Tot i això, la intensitat de càrrega seguia sent molt baixa, per lo que el voltatge de les resistències també ho era, sobre els 6.8V i els 1.8V depenent de la resistència que s'instal·lés, ja que la intensitat d'entrada com s'ha comentat era de 0.080A aproximadament.

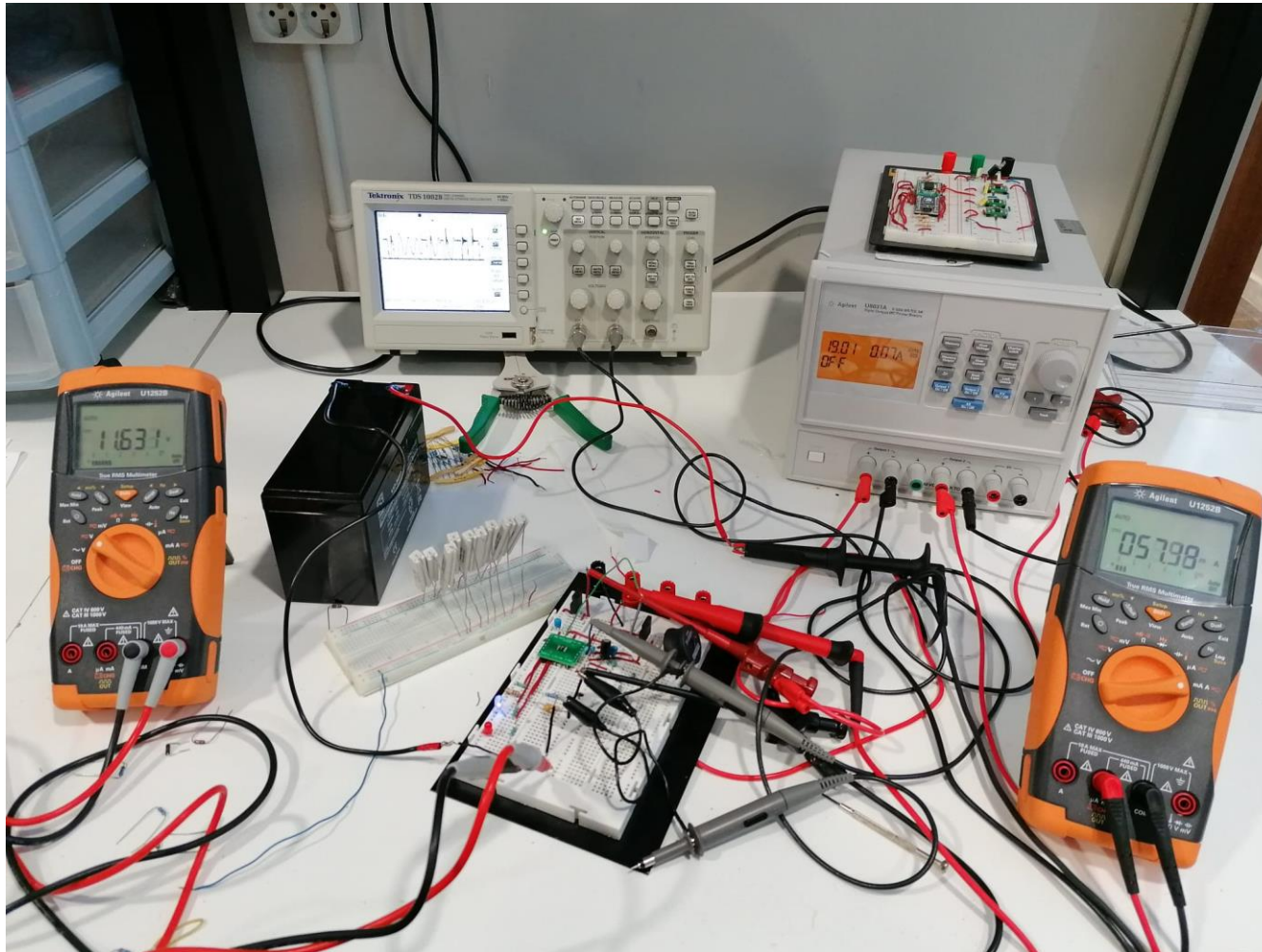
En les proves amb 8 resistències en paral·lel, donava un voltatge a la sortida d'1.8V i una resistència total de 13.42Ω , lo que volia dir que s'estava fent una càrrega a 0.13A, o sigui, un 13% de la intensitat programada inicialment.

$$I_{sortida} = \frac{V_{pack}}{R_{pack}} = \frac{1.8V}{13.42\Omega} = 0.1343A;$$

Per acabar, es va voler fer una descàrrega completa de la bateria per veure quin era el seu comportament al estar sense energia. Al arribar a un voltatge de 10.7V aproximadament es va començar la càrrega. El controlador no va fer res diferent i va començar a carregar a una intensitat molt reduïda de 100mA.

A continuació es mostra en la Il·lustració 112, el material complet utilitzat en les proves al laboratori per tal d'anar monitoritzant la càrrega i comprovant en tot moment quins eren els valors de treball del dispositiu, tant del CI, com de la bateria i el “pack” de resistències, com de la font d'alimentació.

Banc de Treball en el Laboratori



Il·lustració 112. Instrumentació utilitzada al laboratori per realitzar les proves de monitorització.

15.1. Hipòtesis i recomanacions

El motiu principal que es pensa pel qual no pot funcionar, és per l'adaptador del xip que habilitava el disseny de la PCB. Després de fer altes consultes, sembla ser que el problema podria se degut a les caigudes de tensió del terminal de GND. Per evitar aquestes caigudes, sembla ser molt recomanable implementar aquest carregador amb una PCB de 3 capes i si és de 4 capes molt millor.

Al ser un CI tan sensible, aquest, el pot provocar sorolls que no li deixin treballar correctament, ja que l'adaptador pot alterar els senyals que rep pels seus pins d'entrada. La solució seria tornar a fer el disseny però instal·lant el xip directament a la PCB, i com s'acaba de comentar, a una de mínim 3 capes.

L'altre hipòtesi que encaixa al fer la instal·lació en la placa de probes, és que al estar treballant a una freqüència tan elevada d'1MHz, la placa no estigui preparada, a part, en ella es provoquen entre connexió i connexió, resistències que alteren el disseny previ.

16. Conclusions

Les necessitats de poder emmagatzemar l'energia produïda en una bateria, cada cop serà una demanda més gran en la societat, i com això implica, la solució més apropiada de cara a un futur per poder ajudar al bon funcionament de la xarxa elèctrica, i més, si es parla d'una generació sostenible de la producció, que és el problema que té la generació d'energia encara.

Per aquest motiu s'ha fet aquest treball d'investigació, per poder aprendre com funcionen els aparells commutatats i realitzar un projecte des de zero per dissenyar i crear un dispositiu, que sigui capaç d'emmagatzemar l'energia de forma segura, sostenible i eficient.

En el projecte realitzat, s'han pogut veure les diferents tecnologies capaces de produir i d'emmagatzemar aquesta energia, a part, gràcies a la realització d'aquest treball s'han pogut adquirir els següents coneixements:

- Analitzar i entendre fulls tècnics dels productes encarregats de fer funcionar el sistema.
- Realitzar una correcte elecció de components de tal manera que surti rentable el projecte.
- Aprendre a modelar un panell solar i una bateria.
- Dissenyar una placa PCB des de zero.
- Aprendre a soldar components d'orifici passant i SMD.
- Fer una correcte inspecció d'un circuit utilitzant l'amperímetre i l'oscil·loscopi d'una manera adequada.

Finalment, encara que les proves practiques no han donat els resultats que s'esperaven, s'ha pogut aconseguir la commutació del dispositiu, i si ens basem en la simulació extreta en LTSplice, s'ha comprovat el correcte funcionament del disseny amb totes les fases de càrrega que ha de tindre una bateria en el seu procés, i lo més important, que era l'objectiu del treball, que es pugui aconseguir mitjançant un panell solar.

La idea és seguir investigant en aquesta tecnologia, ja que té moltes formes d'implementació i moltes maneres de poder arribar a un mateix objectiu. El següent projecte que es plantejarà un cop aconseguït el correcte funcionament del dispositiu amb LT3652, serà implementar un regulador propi de càrrega a través d'un arduino, ara que ja s'ha pogut aprendre com funcionen els que s'implementen en el mercat, poder fer una versió personalitzada i saber adaptar-la a totes les necessitats que requereixi el projecte.

17. Referències Bibliogràfiques

- Areatecnologia, and Ernesto Rodriguez. 2020. "Paneles Solares Funcionamiento Tipos Usos Celdas." <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html> (August 18, 2021).
- Atersa. 2020. "Diferencias Entre Los Reguladores de Carga Solar PWM y MPPT - ATERSA." <https://atersa.shop/diferencias-entre-los-reguladores-de-carga-solar-pwm-y-mppt/> (August 23, 2021).
- Ballester, Jose. 2020. "Carga de Baterías En 3 Etapas – DcbBallester." <https://dcbballester.com/carga-de-baterias-en-3-etapas> (August 22, 2021).
- Berlanga, Luis. 2020. "(40) PRESENTACION ELECTROQUIMICA (BATERIAS Niquel- Hidruro Metalico) QE - YouTube." https://www.youtube.com/watch?v=uEh5zslg9uM&ab_channel=LuisBerlanga (August 10, 2021).
- Centro de Comunicación de las ciencias. 2019. "(40) Conoce El Funcionamiento Químico Que Tienen Las Baterías de Litio - YouTube." https://www.youtube.com/watch?v=OT0E341w5R0&ab_channel=CentrodeComunicaciondelasCiencias (August 9, 2021).
- CU-ECEN4517. 2014. "3.1 PV Panel Spice Model and Simulation - YouTube." https://www.youtube.com/watch?v=Z2C28OXu4xA&ab_channel=CU-ECEN4517 (September 1, 2021).
- CulturaCientifica, and Déborah Garcia Bello. 2020. "Así Funcionan Las Baterías de Litio — Cuaderno de Cultura Científica." <https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/> (August 9, 2021).
- Falconi, Ivan. 2018. "(4) Radiación Solar | LinkedIn." <https://www.linkedin.com/pulse/radiación-solar-ivan-falconi/?originalSubdomain=es> (August 19, 2021).
- Gobierno de España. 2021. "ADRASE - Acceso a Datos de Radiación Solar de España - Inicio." <http://www.adrase.com/> (August 19, 2021).
- Gomez, Enrique. 2020. "Qué Es PWM y Para Qué Sirve - Rincón Ingenieril." <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve/> (August 22, 2021).
- Gudino, Miguel. 2017. "Tipos de Convertidores Interruptores de CC a CC | Arrow.Com." <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/types-of-switching-dc-dc-converters> (August 29, 2021).
- Jose Manuel. 2021. "HUB Electronics Barcelona." <https://www.hub-electronics.com/> (September 28, 2021).
- Mannan Singh. 2018. "An Interesting Reason Why the 'Duck' Curve, Today Called 'Solar Energy's Biggest Problem', May Actually Never Trouble Us. | by Mannan Singh | Medium." <https://medium.com/@mannan.singh27042001/an-interesting-reason-why-the-duck-curve-today-called-solar-energys-biggest-problem-may-a1daa6a2babd> (July 21, 2021).
- Martínez, Maykop Pérez, I. C. M. Rodríguez, and E. Castro. 2017. "La Hora Solar Pico Equivalente, Definición e Interpretación /The Hour Equivalent Solar Pick, Definition and

Interpretation.” *undefined*.

- OTOVO, and Marcos Fernadez. 2021. “Fuentes de Energías Renovables: ¿Cuáles Son?”
<https://www.otovo.es/blog/energia/que-son-las-energias-renovables/> (July 21, 2021).
- ProCiencia. 2020. “Batería de Plomo y Ácido - Composición y Funcionamiento (Demostración Experimental) - YouTube.”
https://www.youtube.com/watch?v=4BgZkVbixNM&ab_channel=ProCiencia (July 22, 2021).
- PVPerformance. 2021. “PV Performance Modeling Collaborative | Single Diode Equivalent Circuit Models.” <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/2-dc-module-iv/diode-equivalent-circuit-models/> (September 1, 2021).
- Reng Stuff. 2020. “Funcionamiento y Ecuaciones de Diseño Del Convertidor Reductor Buck - YouTube.”
https://www.youtube.com/watch?v=kOS19dG7Odo&t=966s&ab_channel=RengStuff (August 30, 2021).
- Rocabert, Joan. 2021. “Bateries Àcid-Plom.” : 44.
- SolarPlak. 2020. “Cómo Funcionan Las Baterías de Plomo Ácido - Blog de Energía Solar.”
<https://solarplak.es/energia/como-funcionan-las-baterias-de-plomo-acido/> (July 22, 2021).
- Soler, Roger. 2021. “Servi Circuits.” <https://www.servicircuits.com/> (September 28, 2021).
- Suñé Socias, Víctor. 2021. “TFE - Càlculs Energètics - David.Ruiz.Gomez@estudiantat.Upc.Edu - Correu de Upc.Edu.” *Càrrega d’un electró per generar energia.*
<https://mail.google.com/mail/u/2/?ogbl#inbox/FMfcgzGljvKspkHDPRHNWTTvgxlzKwhP> (September 17, 2021).
- Tarifaluzhora, Selectra. 2021. “Discriminación Horaria: Tarifas, Horarios y Precios.”
<https://tarifaluzhora.es/info/discriminacion-horaria> (July 21, 2021).
- TodoSai 2.0, and Hiper Shops. 2016. “Baterías - Tipos y Usos - Todosai.”
<https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html> (July 21, 2021).