

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA
GRADU AMAIERAKO LANA/ TRABAJO FIN DE GRADO

Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako Gradua

Data: 2018/07/02

[WoodSmart: Egurraren hezetasuna neurtzen duen haririk gabeko sentsoare erresistiboa]

[Memoria]

Ikaslearen izen eta abizenak: Elene Beitia Loinaz

Zuzendariaren izen eta abizenak: Nora Barroso Moreno

Zuzendarikidearen izen eta abizenak: Tknika

Laburpena

Egun ez dago komertzializaturik elektronikaren egurraren hezetasuna erresistentzia tarte handietan prezisioarekin neurtzen duen sentso merkerik . Proiektu honen helburua hezetasunaren eboluzioa kontrolatzeko kontsumo baxuko haririk gabeko sentso erresistibo bat sortze da, honen bitartez ardoarentzako barririk sortzeko erabiltzen dituzten oholak behar bazain lehor oiz dauden zehazki jakitea da.

Lan honen zailtasun handienetakoa elektronikaren arloan egurrari buruz dagoen informazio murrizta izan da. Besteak beste ondorengo arloak dira sakonean ukitzen dituenak: elektronika orokorra, arduinoren programazioa eta "pcb"-aren diseinua.

Atal honetan proiektuko gauzatzeko eman behar izan diren pausoak jasotzen dira. Dokumentua proiektuaren laburpen batekin hasten da eta ondoren bere gauzatzearekin bete nahi diren helburuak azaltzen dira. Oinarritutako teorien azalpen labur bat egin ondoren, hasieratik bukaera arte proiektuan zehar emandako pausoak azaltzen dira bertan aurretik jarritako helburuen arabera hartutako erabakiak azalduz. Horietaz gain egindako frogak eta horiekin lortutako konklusioak baita ere azaltzen dira atal honetan.

Aurkibidea

1. Sarrera.....	11
2. Oinarritzko informazioa.....	13
2.1. Azterketa teoriko orokorra	13
2.1.1. Hezetasuna neurtzeko moduak	13
2.1.1.1. Hezetasuna neurtzen duen neurgailu erresistiboa	13
2.1.1.2. Pisu neurteta bidez.....	14
2.1.1.3. Hezetasuna neurtzen duen neurgailu kapazitiboa.....	14
2.1.2. Sentsore erresistiboen kasuan egurra neurtzeko moduak.....	15
2.1.3. Merkatuan dauden hezetasuna neurtzen duten sentsoreak	15
2.1.3.1. BL2.....	15
2.2. WoodSmart proiektuaren oinarri teorikoak	15
2.2.1. Sentsore mota.....	16
2.2.1.1. Samuelsson-en erregresioa	16
2.2.2. Egurraren neurteta	17
2.3. Arduino	18
2.4. Proiektuaren helburu teknikoak.....	19
3. Prototipoa.....	20
3.1. WoodSmart	21
3.1.1. Egurreko erresistentzia neurtzeko metodoa	21
3.1.1.1. Multisim.....	24
3.1.1.2. Prototipoan.....	27
3.1.2. Filtroa	31
3.1.2.1. Berrelikadurako erresistentzia 100K Ω -koa	32
3.1.2.2. Berrelikadurako erresistentzia 1,5M Ω -koa denean.....	37
3.1.2.3. Berrelikadurako erresistentzia 10M Ω -koa denean.....	43
3.1.2.4. Berrelikadurako erresistentzia 100M Ω -koa denean	49
3.1.2.5. Berrelikadurako erresistentzia 1G Ω -koa denean.....	53
3.1.3. Anplifikadore operazionalaren irteera.....	60
3.1.4. Analogiko digital konbertsorea ADC1115.....	62
3.1.5. MAX1044	62
3.2. Zati Digitala	62
3.2.1. MCP1700.....	63
3.2.2. Arduino pro mini	63

3.2.2.1. I2C protokoloa.....	65
3.2.3. RFM69 irratia.....	65
3.2.4. TPS22860 etengailua.....	66
3.2.5. Logic Level Converter 5-3.3V.....	67
3.2.6. BME 280 Tenperatura sentsorea.....	67
4. Software: Hezetasuna kalkulatzeko programa.....	69
4.1. "Moisture index" aldaiaren balioen esanahia.....	69
5. Software: Raspberry-arekin komunikazioa.....	71
6. Kontsumoa.....	73
7. Neurketak.....	75
7.1. Neurketak kalibratuta dauden erresistentziekin.....	75
7.2. Neurketak egurrean.....	76
7.2.1. Aurretik lehortutako egurreko neurketak.....	76
7.2.2. Moztu berria den egurreko neurketak.....	78
7.2.3.1. 1.Egurra.....	78
7.2.3.2. 2.Egurra.....	79
8. PCB-en diseinua.....	82
8.1. KICAD.....	82
8.1.1. Eeschema.....	82
8.1.2. PcbNew.....	83
8.2. Woodsmart Sentsorearen PCB-aren diseinua.....	84
8.2.1. Woodsmart Eeschema.....	84
8.2.2. Footprint-en esleipena.....	86
8.2.3. Arau elektrikoaren egiaztapena.....	88
8.2.4. Netlista sortu.....	89
8.2.5. Woodsmart PcbNew.....	89
8.3. Arduino PCB-a.....	94
8.3.1. Arduino Eeschema.....	94
8.3.2. Footprint-en esleipena.....	96
8.3.3. Arau elektrikoaren egiaztapena.....	99
8.3.4. Netlista sortu.....	100
8.3.5. WoodSmart PcbNew.....	100
9. Aurrekontuaren Laburpena.....	105
10. Ondorioak.....	106
10.1. Ondorio orokorrak.....	106

10.2. Etorkizunean ildoak	107
11. Dokumentuen zerrenda	108
12. Erreferentziak.....	109

Irudien aurkibidea

Irudia 1: "Quercus Tonelería"-ko egurra xaflak lehortze prozesuan.....	12
Irudia 2: Hezetasunaren erresistentziaren araberako kalibrazio kurba	13
Irudia 3: Minimimo karratuen metodo bitarteko hurbilketa.....	16
Irudia 4: Samuelssonen espresioa a eta b parametroen balioak	17
Irudia 5: Arduino pro mini eta RFm69W irratia.....	18
Irudia 6: WoodSmart atalaren eskema elektrikoa	21
Irudia 7: Tentsio zatitzailea	22
Irudia 8: Wheatstone zubia.....	22
Irudia 9: Anplifikadore Operazionala	23
Irudia 10: 1.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim.....	24
Irudia 11: 1.kasuko irteerako seinalea Multisim	25
Irudia 12: 2.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim.....	25
Irudia 13: 2.kasuko irteerako seinalea Multisim	26
Irudia 14: 3.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim.....	26
Irudia 15: 3.kasuko irteerako seinalea Multisim	27
Irudia 16: 1.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	28
Irudia 17: 2.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	28
Irudia 18: 3.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	29
Irudia 19: 4.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	29
Irudia 20: 5.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	30
Irudia 21: 6.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan	30
Irudia 22: Berrelikadura negatiboan RC iragazkia duen anplifikadore operazionala	31
Irudia 23: Tentsio zatitzailea operazionalaren irteeran.....	60
Irudia 24: INA105-en konexioak.....	61
Irudia 25: Berrelikadura negatiboan duen anplifikadore operazionala.....	61
Irudia 26: Max1044-ek sarrerako tentsioaren aurkako tentsio emateko behar duen zirkuitu elektrikoa.....	62
Irudia 27: Zati digitalaren eskema elektrikoa.....	63
Irudia 28: I2C-ko protokoloaren mezuaren egitura	65
Irudia 29: Etengailua.....	67
Irudia 30: Logic Level Converter I2C	67
Irudia 31: Sentsorearen prototipoa.....	68
Irudia 32: Programaren funtzionamenduaren ilustrazioa.....	69

Irudia 33: Prozesuan "moistue index" = -1	70
Irudia 34: Prozesuan "moistue index" = 0.....	70
Irudia 35: MySensor protokoloaren gerarkiaren ilustrazioa.....	71
Irudia 36: Kontsumoaren kalkulurako konexioa.....	73
Irudia 37: Neurketak egurrean	76
Irudia 38: Schematik library editor erabiliz diseinatutako ADC1115.....	84
Irudia 39: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Mux508	84
Irudia 40: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Max1044.....	85
Irudia 41: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Opa129.....	85
Irudia 42: WoodSmart pcb-aren diseinu elektrikoa	85
Irudia 43: WoodSmart pcb-ko footprintak.....	86
Irudia 44: Schematik library editor erabiliz diseinatutako ADC1115-en "footprint"-a	87
Irudia 45: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Mux508-ren "footprint"-a	87
Irudia 46: "Footprint"-en eta elementuen erlazioa WoodSmart plakan.....	88
Irudia 47: Arau elektrikoen egiaztapena WoodSmart plaka	88
Irudia 48: Netlist-aren sorrera WoodSmart	89
Irudia 49: WoodSmart PcbNew 1.pausoa.....	90
Irudia 50: WoodSmart PcbNew 2.pausoa.....	90
Irudia 51: WoodSmart PcbNew 3.pausoa.....	91
Irudia 52: WoodSmart PcbNew 4.pausoa.....	92
Irudia 53: WoodSmart PcbNew 5.pausoa.....	92
Irudia 54: WoodSmart PcbNew 6.pausoa.....	93
Irudia 55: WoodSmart PcbNew 7.pausoa.....	93
Irudia 56: WoodSmart Gerber fitxategien sorrera.....	94
Irudia 57: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Switch TPS22860.....	95
Irudia 58: Schematik library editor erabiliz diseinatutako LLC	95
Irudia 59: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Arduino pro mini eredu	95
Irudia 60: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Bme280 I2	95
Irudia 61: Arduino plakako pcb-aren diseinu elektrikoa.....	96
Irudia 62: Arduino plakako pcb-ko footprintak.....	97
Irudia 63: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Arduinoren "footprint"-a	97

Irudia 64: Schematik library editor erabiliz diseinatutako TPS22860-en "footprint"-a	98
Irudia 65: Schematik library editor erabiliz diseinatutako bme280-en "footprint"-a	98
Irudia 66: "Footprint"-en eta elementuen erlazioa arduino plakan	98
Irudia 67: Arau elektrikoen egiaztapena Arduino plaka 1.....	99
Irudia 68: Arau elektrikoen egiaztapena Arduino plaka 2.....	100
Irudia 69: Netlist-aren sorrera Arduino.....	100
Irudia 70: Arduino PcbNew 1.pausoa.....	101
Irudia 71: Arduino PcbNew 2.pausoa.....	101
Irudia 72: Arduino PcbNew 3.pausoa.....	102
Irudia 73: Arduino PcbNew 4.pausoa.....	102
Irudia 74: Arduino PcbNew 5.pausoa.....	103
Irudia 75: Arduino PcbNew 6.pausoa.....	103
Irudia 76: Arduino Gerber fitxategien sorrera.....	104

Taulen aurkibidea

Taula 1: Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $150\text{K}\Omega$ izanik kondentsadore gabeko frogak.....	32
Taula 2: Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $150\text{K}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	33
Taula 3: Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $150\text{K}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	34
Taula 4: Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $1,5\text{M}\Omega$ izanik kondentsadore gabeko frogak.....	35
Taula 5: Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $1,5\text{M}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	36
Taula 6 :Berrelikaduran $100\text{K}\Omega$ eta egurrekoan $1,5\text{M}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	37
Taula 7: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $3\text{M}\Omega$ izanik kondentsadore gabeko frogak.....	38
Taula 8: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $3\text{M}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	39
Taula 9: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $3\text{M}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	40
Taula 10: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $10\text{M}\Omega$ izanik kondentsadore gabeko frogak.....	41
Taula 11: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $10\text{M}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	42
Taula 12: Berrelikaduran $1,5\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $10\text{M}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	43
Taula 13: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $100\text{M}\Omega$ izanik, 22nF -ko kondentsadorearekin frogak	44
Taula 14: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $100\text{M}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	45
Taula 15: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $100\text{M}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	46
Taula 16: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $50\text{M}\Omega$ izanik, 22nF -ko kondentsadorearekin frogak	47
Taula 17: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $50\text{M}\Omega$ izanik, 1nF -ko kondentsadorearekin frogak	48

Taula 18: Berrelikaduran $10\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $50\text{M}\Omega$ izanik, 100pF -ko kondentsadorearekin frogak	49
Taula 19: Berrelikaduran $100\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $1\text{G}\Omega$ izanik, 22nF -ko kondentsadorearekin frogak	50
Taula 20: Berrelikaduran $100\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $1\text{G}\Omega$ izanik, 10nF -ko kondentsadorearekin frogak	51
Taula 21: Berrelikaduran $100\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $500\text{M}\Omega$ izanik, 22nF -ko kondentsadorearekin frogak	52
Taula 22: Berrelikaduran $100\text{M}\Omega$ eta egurrekoan $500\text{M}\Omega$ izanik, 10nF -ko kondentsadorearekin frogak	53
Taula 23: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $20\text{G}\Omega$ izanik, $4,7\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	54
Taula 24: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $20\text{G}\Omega$ izanik, $6,8\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	55
Taula 25: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $1\text{G}\Omega$ izanik, $4,7\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	56
Taula 26: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $1\text{G}\Omega$ izanik, $6,8\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	57
Taula 27: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $0,5\text{G}\Omega$ izanik, $4,7\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	58
Taula 28: Berrelikaduran $1\text{G}\Omega$ eta egurrekoan $0,5\text{G}\Omega$ izanik, $6,8\text{nF}$ -ko kondentsadorearekin frogak	59
Taula 29: RC iragazkien konponenteen balioak	59
Taula 30: Arduino Pro Mini-aren kontsumo taula	64
Taula 31: Kontsumoaren neurketak	73
Taula 32: Bateriaren eguneko kontsumoa	74
Taula 33: Gailuen eta kalibratutako erresistentzien alderaketa	75

Grafikoen aurkibidea

Grafikoa 1: Lehortutako egurreko erresistentzien balioak	77
Grafikoa 2: Lehortutako egurreko erresistentzien balioak	77
Grafikoa 3: 1.egurreko erresistentzien balioak.....	78
Grafikoa 4: 1.egurreko hezetasunaren balioak.....	79
Grafikoa 5: 2. egurreko erresistentzien balioak.....	80
Grafikoa 6: 2.egurreko hezetasunaren balioak.....	80

1. Sarrera

Eusko Jaurlaritzaren Hezkuntza Sailaren Lanbide Heziketako Sailburuordetzak bultzatutako zentroa da Tknika.

Ardatz nagusitzat berrikuntza eta ikerkuntza aplikatua izanik, Tknikak Euskadiko lanbide-heziketa Europako abangoardian kokatzea lortzeko helburuz egiten du lan egunero.

Sare-lanaren bitartez eta lanbide-heziketako irakasleen inplikazioari esker, munduko eredurik aurreratuenak erreferentetzat dituen zentro honek teknologiaren, prestakuntzaren eta kudeaketaren eremuekin lotura duten berrikuntza-proiektuak garatzen ditu.

Tknika hainbat arlotan banatzen da bere funtzioak betetzeko:

- Lanbide Heziketari Aplikatutako Berrikuntza.
- Etengabeko Hobekuntza.
- Ikaskuntza Metodo eta Prozesuen Ikerketa.
- Ekintzailtza eta Aldaketaren Kudeaketa.
- Lanbide Heziketaren eremuko Nazioartekotzea.
- Jasangarritasunari buruzko alor berria (garapenean).

Woodsmart proiektua, Lanbide Heziketari Aplikatutako Berrikuntza arloan kokatzen da, IoT (internet of things) sailean. Bertan ikaskuntzarako baliagarriak izan daitezkeen proiektuak garatzen dira. Tknikak "Quercus Tonelería", ardoarentzako barririk egiten dituen enpresarekin, bi urte dijua Euskal haritzaren erabilera bultzatuko duen proiektu bat garatzen. Proiektu honetan leintz-gatzako udaletxea, Euskal herriko gobernua, teknika eta laborategiak eta Gipuzkoako udaletxea daude inplikatuta.

Zuhaitza moztu eta barririk egin arteko prozesuak bi urteko iraupena dauka. Epe hau hain luzea izatearen arrazoia egur xaflak lehortzeko erabiltzen den metodoa da, egurra kalean lehortzen uzten baita 1. irudian ikus daitezkeen bezala.

Prozesu honetan zehar egurraren hezetasunaren eboluzioa kontrolatzeko "Quercus Tonelería"-k Tknikari egurraren hezetasuna neur dezakeen haririk gabeko sentsore bat garatzeko eskatu zion. Esan bezala, sentsore honen bitartez egurraren hezetasunaren aldaketaren prozesua kontrolatu nahi da, lehortze prozesua motzagoa izan daitezkeen jakiteko helburuarekin. Proiektu honek elektronika barruko esparru ezberdin asko lantzen ditu; arduinoko programaziotik pcb-en diseinu arte.



Irudia 1: "Quercus Tonelería"-ko egurra xaflak lehorte prozesuan

Gaur egun eskura dagoen koste baxuko elektronikak mundu errealeko objektu eta egoerak kontrolatuko dituzten gailu digital eta elkarreragileen sorkuntzarako aukera ematen du. Sentsoreak garrantzi handia duten gailu elektronikoak dira, hauei esker aurrerapen handia izan da eta egunerokotasunean ea ohartu gabe bizitza errazten duten aparatuak dira.

Hala ere oraindik ez dago komertzializaturik hezetasuna erresistentzia tarte handietan prezisioarekin neurtzen duen sentsore merkerik. Proiektu honen helburua enpresa horren lana optimizatzen lagunduko duen kontsumo baxuko sentsore erresistibo bat sortzea da, honen bitartez barririk sortzeko erabiltzen dituzten oholak behar bezain lehor noiz dauden zehazki jakingo dute. Gainera Interneteko sareaz baliatuz sentsoreak programaturik dituen neurketen bitartez lortzen den hezetasunaren balioa mugikorrera bidaltzea lortu nahi da langileen lana errazteko helburuarekin. Azken atal hau, openHAB-i buruzko ezagutzak dituen informatiko batek burutuko du.

Lan honen zailtasun handienetarikoa elektronikaren arloan egurrari buruz dagoen informazio murrizta izan da; egurraren erresistentzia elektrikoaren, eta honek hezetasunarekin daukan erlazioari buruzko informazioa oso gutxi baitago.

2. Oinarrizko informazioa

Kapitulu honen bitartez, proiektuaren arlo espezifiko honetarako garrantzitsuak izan diren ezagutzak modu laburtuan adierazi eta azalduko dira. Hala nola, proiektuan pisu handia izan duten "paper-aren" azalpena egingo da.

2.1. Azterketa teoriko orokorra

Ondorengo ataletan WoodSmart proiektua definitzeko egindako azterketa teorikoa azalduko da.

2.1.1. Hezetasuna neurtzeko moduak

Egurraren hezetasuna neurtzeko hainbat metodo daude, jarraian aurkitutako metodoak azalduko dira aurrerago proiektu honetan ze metodo eta zergatik hautatu den hobeto ulertzeko, [1].

2.1.1.1. Hezetasuna neurtzen duen neurgailu erresistiboa

Erresistentzia elektrikoa asko aldatzen da egurraren hezetasunaren arabera, erresistentzia handitu egiten da hezetasuna murrizten den heinean. Honetaz gain tenperaturak eta espezie aldaketak, beste hainbat faktoreren artean, eragina daukate baita ere. Baina zorionez, aldaketa hauek daukaten eragina ekuazioan aldaketa txikiak eginez konpontzen dira. Erresistentzia elektrikoko hezetasun neurgailuen lan tartea 7%-28% hezetasun bitartekoa izaten da.

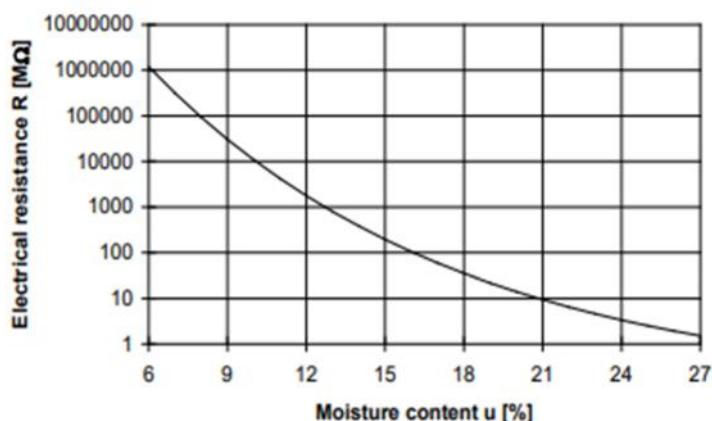
Egurraren hezetasuna, erresistentziaren arabera dena, kalibratio kurbak erabiliz kalkulatu da. Kalibratio kurba hauek espeziaren arabera aldatu egingo dira, baina 2.irudiko itxura dute denek:

$$R = 10^{(10^{(A \cdot u + B)} - 1)}$$

R - electrical resistance [$M\Omega$]

u - MC of wood [%]

A and B - constants



Irudia 2: Hezetasunaren erresistentziaren arabera kalibratio kurba
Erreferentzia: [1]

Egurak, hezetasun handia duelarik, korrante zuzena aplikatzen zaionean polarizazioa deituriko fenomeno suertatzen da. Polarizazioa, egurrean dauden ur molekulen portaera dielektrikoaren ondorioz gertatzen da.

Gaur egun erresistentzia elektrikoaren metodoa da gehien erabiltzen dena, erantzun denbora azkarra eta erabilera sinplea duelako. Elektrizitateak beti erresistentzia gutxieneko bidea hartzen duenez, teknika hau erabiliz egurraren hezetasuna neurtzerakoan elektrodoak kokatu diren lekuko hezetasun handiena dagoen balioa neurtuko da. Teknika honetan, garrantzi handia dauka txertatzen diren elektrodoek sakontasun eta distantzia egokia izatea.

2.1.1.2. Pisu neurketa bidez

Metodo hau hezetasuna neurtzeko zehaztasun oso altua behar denean erabiltzen da. Horretarako jarraitu beharreko pausoak hauexek dira: egur ohola pisatu (0,1-0,01g bitarteko prezisioarekin, tamainaren arabera), ondoren labean sartu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ tenperaturara masaren aldaketa tasa 0,1 baina txikiagoa den arte. Behin egur ohola lehortuta dagoela berriro pisatzen da. Metodo erraz eta fidagarria da nahi duguna zehatz mehatz neurtzen duelako, hau da, egurrean dagoen ur kantitatearen pisu zehatza.

$$MC = \frac{\text{hasierako egur oholaren pisua} - \text{labean lehortutako oholaren pisua}}{\text{labean lehortutako oholaren pisua}} \times 100\% \quad (1)$$

Ekuazio honen bitartez hezetasun kantitatea lortuko genuke. Hala ere, metodo hau oso suntsitzailea dela kontsideratzen da egur laginak moztu behar diren moduagatik. Aldiz, prozesua laborategiko labeetan egiten denean metodoa aplikagarria dela kontsideratzen da, baina labe industrialetan egin nahi bada soilik Norbegiako Institutuko 47 Informea jarraituz egin daiteke. Txosten honetan labe industrialek klima heze eta epela izan beharko dutela adierazten da, lehorte prozesuan hezetasunaren prozesua jarraitu ahal izateko.

2.1.1.3 Hezetasuna neurtzen duen neurgailu kapazitiboa

Oro har, hezetasuna neurtzen duten neurgailu kapazitiboak egurra eremu elektriko baten barruan dagoenean funtzionatzen dute. Eremu elektrikoaren potentzia galera edo kapazitantzia, elektrodoak egurrarekin kontaktuan daudenean neurtzen dira. Neurgailu batzuk kapazitantzia eta potentzia galerak neurtzen dituzte, hauek labe bidezko lehorketan erabiltzen dira.

Erresistentzia bezala, egurraren kapazitatea egurraren hezetasunaren arabera da. Egurraren hezetasuna kapazitate elektriko neurgailu baten bitartez neur daiteke, tenperaturak eta espezie aldaketaren eraginik izan gabe. Hasiera batean, metodo kapazitiboak oso ona dirudi egurrean uraren edukia, pisu moduan, neurtzen duelako. Baina pisu hau portzentajea bihurtu ahal izateko, eta honela hezetasun maila jakiteko, egurraren pisu zehatza jakin behar da. Baina prozesu industrial batean ezin denez egur zati bakoitza pisatu, pisu orokor bat jartzen zaio

tamaina bereko egur zatiei. Honek errore bat egotea ekartzen du hezetasun portzentajea kalkulatzeko.

2.1.2. Sentsore erresistiboen kasuan egurra neurtzeko moduak

Sentsore erresistiboen kasuan hezetasuna neurtzeko bi aukera daude alearen paraleloan edo perpendikularrean. [2] erreferentzia azaltzen den bezala, egurrak duen erresistentziaren kurba bera da bi kasuetan. Honek aurretik Samuelsson-ek 1990.urtean eta Apneseth&Hay-ek 1992.urtean egindako aurkikuntzekin bat dator. Beraz, hautaketa honek ez dauka pisuzko garrantzirik.

2.1.3. Merkatuan dauden hezetasuna neurtzen duten sentsoreak

Egurrian hezetasuna neurtzen duten sentsoreen prezioa 500-1000€ bitartekoa izaten da. Sentsore guztiek daukaten sistema antzekoa izanik, ez dago egurraren balioak automatikoki neurtzen dituen sentsorerik.

Gaur egun merkatuan dauden sentsore batzuen adibideak ondorengoak dira:

- BLL-1 : 880,90€ IVA gabe.
- FMD 6 : 785,90€ IVA gabe.
- BL2 : 590,90€ IVA gabe.
- FME : 538,90€ IVA gabe.

WoodSmart sentsorearekin lortzen diren balioak BL2 sentsorearekin lortzen direnekin alderatuko dira.

2.1.3.1. BL2

BL2 sentsorea, sentsore erresistibo bat da. 2.1.1.1. atalean azaltzen den bezala sentsore mota hauetan garrantzi handia dauka hiltzeak posizio eta sakonera egokian sartzea. Sentsorearen jarraibide eskuliburuan hiltzeak egurrean 2cm-ko sakonera egon behar dutela azaltzen da, eta beraien arteko distantzia 30cm-koa izan behar duela.

Neurketak %8-%60 arteko hezetasun tartetan egiten ditu, jasan dezakeen tenperatura maximoa 40 C eta minimoa 0 C da.

2.2. WoodSmart proiektuaren oinarri teorikoak

Aurretik era laburrean azaldu diren arloen inguruko ikerketa egin eta merkatuan dauden hezetasuna neurtzeko gailuak aztertu ondoren WoodSmart proiektuaren xehetasunak hautatu dira.

Hauek hautatzerako orduan garrantzi handia izan du [3] erreferentziak, Valentziako unibertsitateko, Ingeniaritza elektronikoko saileko Silvia Casans, Alfredo Rosado-Muñoz eta Taras Iakymchuk irakasleek egindako *Novel Resistance Measurement Method: Analysis of Accuracy and Thermal Dependence with Applications in Fiber Material* proiektuak. Nahiz eta Valentziako unibertsitateak helburu ezberdinak izan,

proiektu horretan hautatu ziren irizpide gehienak jarraituko dira, egindako ikerketak baliagarriak baitira proiektu honentzat baita ere.

2.2.1. Sentsore mota

WoodSmart proiektua, sentsore erresistibo bat izatea erabaki da. Erabaki hau hartzeko hainbat arrazoi egon dira. Hasteko, 2.1.1. puntuan aipatu bezala, sentsore mota honek erantzun denbora azkarra eta erabilera sinplea ditu. Gainera "Quercus Tonelería" enpresan egurra kalean lehortzen denez, egurrak ez du inoiz pisu neurketa bidez lortzen den prezisio altua (hezetasunaren neurketa %7 baina tarte txikiagoetan) beharko, eta sentsore erresistiboak neurtzen duen %7-28 hezetasuna maila nahikoa izango du.

Erresistentziaren eta hezetasunaren arteko erlazioa Samuelsson-en erregresioaren ekuazioa erabiliz lortuko da.

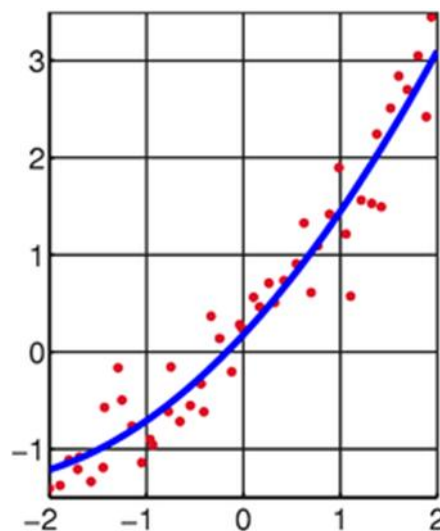
2.2.1.1. Samuelsson-en erregresioa

Valentziako unibertsitateko proiektua zein WoodSmart sentsorea Samuelsson-en erregresioaren ekuazioan oinarritzen dira. Proiektu hauetan erabilitako eredu logaritmikoa Samuelsson-ek proposatu zuen 1990.urtean [4][5]. Ekuazio honek erresistentzia elektrikoa ($M\Omega$) eta hezetasun portzentajea ($h\%$) erlazionatzen ditu:

$$\text{Log}(\text{Log}(R) + 1) = a * h + b \quad (2)$$

"R" erresistentzia elektrikoa da ($M\Omega$), "a eta b" egur espeziearen eta hau neurtuko den norabidearen arabera aldatzen diren koefizienteak dira, eta h egurrean dagoen hezetasunaren portzentajea.

"R eta h" erlazionatzen dituen ekuazioa lortzeko, Samuelsson-ek "a eta b" parametroen erregresio lineala egin zuen minimo karratuen metodoa erabiliz. Metodo honek datu multzo bati gehien hurbiltzen zaion funtzio ematen dio, adibidez 3.irudian ikus daitekeen hurbilketa.



Irudia 3: Minimo karratuen metodo bitarteko hurbilketa
Erreferentzia: [16]

Erregresioa Stat.Graphics programa informatikoa erabiliz lortu zuen. "R-h" erlazioan eragina zeukaten parametroak zeintzuk ziren jakiteko, parametroen azterketa egin zuen. Honetarako parametro bat aldatzen zuen besteak konstante mantentzen zituen bitartean. Analisi horretatik atera zituen parametroen balioekin grafiko bat egin zuen R-h erlazioan zein eragin zeukaten ikusteko.

Analisi horiek egin ondoren Samuelsson-ek aurreko ekuazioa ondorioztatu zuen. Espresio hau oso interesgarria da Samuelsson-ek lortutako datu esperimentalen doitze onagatik. Horretaz gain aurrerago (2000) Forsén eta Tarvainen-ek Samuelsson-ek egindako azterketarekin jarraitu zuten, Europako espezie ezberdinentzat aipatutako "a eta b" parametroak zehaztuz. Lortutako "a eta b" parametro horietan guri interesatzen zaigun Haritza dago. Honi esker aurretik metodologia desberdinekin lortuko kurben datu basea hobetzea lortu zen.

Species	N° samples	Parallel to the grain (Rp)			Perpendicular to the grain (Rt)		
		a	b	R ²	a	b	R ²
Beech <i>Fagus sylvatica</i>	36	-0.046722 ± 0.000579	1.12606 ± 0.008708	0.994	-0.0442859 ± 0.000340	1.1073 ± 0.005106	0.998
European white oak <i>Quercus robur</i>	36	-0.046368 ± 0.000597	1.07042 ± 0.007946	0.994	-0.0450918 ± 0.000598	1.06539 ± 0.007934	0.994
American red oak <i>Quercus rubra</i>	36	-0.045562 ± 0.000508	1.11785 ± 0.006794	0.995	-0.04319794 ± 0.000536	1.10047 ± 0.007164	0.994
American white oak <i>Quercus alba</i>	36	-0.0514145 ± 0.000899	1.16365 ± 0.011588	0.989	-0.0486017 ± 0.000526	1.14459 ± 0.006864	0.996
American ash <i>Fraxinus sp.</i>	36	-0.051567 ± 0.000621	1.13545 ± 0.009242	0.995	-0.0512429 ± 0.000448	1.14442 ± 0.006667	0.997
American chestnut <i>Castanea dentata</i>	36	-0.0393465 ± 0.000775	1.0294 ± 0.011427	0.987	-0.0388596 ± 0.000690	1.04045 ± 0.010177	0.989
Iroko/African teak Chlorophora excelsa	36	-0.07511565 ± 0.001854	1.33626 ± 0.022151	0.979	-0.0703272 ± 0.001389	1.29684 ± 0.016605	0.986
American cherry <i>Prunus serotina</i>	27	-0.0467145 ± 0.001164	1.13123 ± 0.013117	0.983	-0.0459089 ± 0.000912	1.13424 ± 0.010274	0.989
Limba/White afara <i>Terminalia superba</i>	35	-0.0480084 ± 0.000790	1.10629 ± 0.011088	0.991	-0.04570594 ± 0.000856	1.09253 ± 0.012006	0.988
Samba/Obeche <i>Triplochiton scleroxylon</i>	19	-0.0539734 ± 0.000976	1.16087 ± 0.012704	0.994	-0.055207 ± 0.000873	1.1822 ± 0.011361	0.995

Irudia 4: Samuelsson-ek erregresioa erabiliz lortutako a eta b parametroen balioak
Erreferentzia: [15]

Sentsore honen kasuan 4.iruditik haritzaren parametroak hautatuko dira.

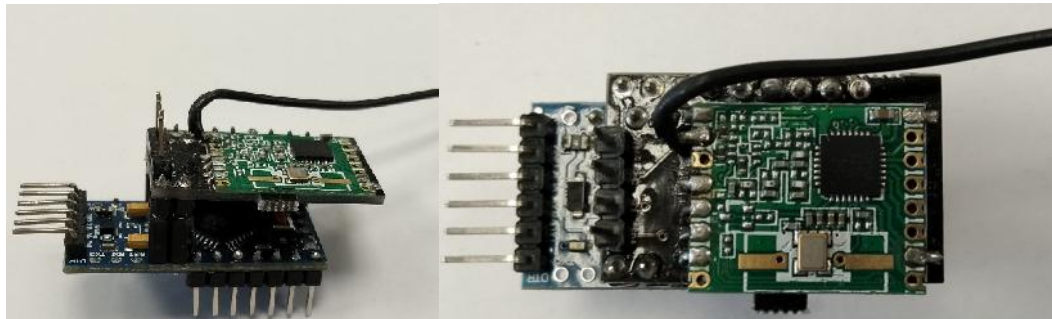
2.2.2. Egurraren neurketa

Egurraren hezetasuna neurtzerako orduan alearekiko paralelo neurtzea erabaki da. Honetarako hiltzeak egur zatian sartu aurretik aleen noranzkoa zein den begiratu behar da.

Erabaki honen ondorioz, hezetasunaren balioa lortzeko Samuelsson-en erregresioaren ekuazioan haritzaren a eta b parametroak paralelokoen zutabetik hartu behar dira.

2.3. Arduino

Proiektu honetan Arduino beharrezkoa izango da elementu batzuen kontrolerako, zein irrati bitartez mugikorrera informazioa bidaltzeko.



(a)Aurreko perspektiba

(b)Goiko perspektiba

Irudia 5: Arduino pro mini eta RFm69W irratia

Arduino kodigo irekiko plataforma elektronikoa bat da, hardware eta software errazekoa.

Arduino plakek sarrera ezberdinak irakur ditzakete; sentsore baten argia, ahotsa besteak beste eta irteera batean bilakatu; motor bat martxan jarri, LED bat piztu e.a. Hau mikrokontroladoreari agindu multzo bat bidaliz egin dezake. Agindu multzoa Arduinoko lengoia idazten da.

Urteetan zehar Arduino proiektu askotan erabili izan da, egunerokotasunean dauden objektuetatik instrumentu zientifiko konplexuen sorkuntza arte. Mundu mailan elkarte bat sortu da kodigo irekiko plataforma honen inguruan. Beraien ekarpenei esker lagungarri izan daitezkeen ezagutzak eskuragarri daude plataforma honetan, baliagarria izan daiteke aditu zein hasiberrientzat.

Erabiltzaileentzat erraza eta eskuragarria delako, gainera arduino milaka proiektu eta aplikazio ezberdinetarako erabili daiteke. Arduinoren softwarea erraza da erabiltzaile hasiberrientzat eta aurreratuagoak dauden erabiltzaileentzat behar bezain flexiblea. Mac, Windows eta Linuxen exekutatu ahal izatea beste abantaila bat da. Irakasle eta ikasleek kostu baxuko instrumentu zientifikoak sortzeko erabiltzen dute, fisika eta kimikako printzipioak frogatzeko, edo programazio eta robotikarekin harremana izaten hasteko. Diseinatzaile eta arkitektoek prototipo interaktiboak sortzen dituzte besteak beste. Azken finean arduino gauza berriak ikasteeko erreminta bat da.

Bestalde, ekonomikoki mikrokontrolagailuen beste plataformekin alderatuz nahiko merkeak dira. Jada muntatuak datozen moduluak 50€ baina gutxiago balio dute eta proiektu honetan erabiliko den Arduino Pro mini 3,3V 3,55€ balio ditu.

2.4. Proiektuaren helburu teknikoak

Arduino merkatuan, mota eta arlo ezberdinetako proiektu asko daude. Plataforma honi esker bakoitzak bere proiektua garatzeko aukera izugarri handia dauka. Hau honela izanik, egurraren hezetasuna neurtzen duen WoodSmart sentsore erresistiboa era komertzialetik at plataforma hau erabiliz garatu nahi izan da.

Sentsore honen garapena dirudien baina konplexuagoa da, izan ere, egurraren erresistentzi tarte handiak zailtasuna gehitzen dio, $R\Omega$ -tik $G\Omega$ -tara dijoalako. Honetaz gain, aipatu bezala, arlo honen inguruan dagoen informazioa murrizta da.

Sentsorea +5V-ko pila bitartez elikatua izango da, eta beraz, pila hauek emandako energia mugen barnean mugitu beharko da, pila energia kontsumoa ondo kudeatuz. Honen helburua ahalik eta energia kontsumo gutxien izatea da, baina aldi berean, elementu elektronikoekin arazo txikiak ekar ditzake, izan ere, elementu askoren lan muga +5V-etan baitago.

Sentsorea egiten hasi aurretik, bete nahi diren helburu batzuk definitu dira:

- Sentsoreak honek egurraren hezetasuna %7-25 tartean irakurtzeko gai izan behar da, egurra airean lehortzean lortzen duen hezetasun maila.
- Egunean bi neurketa egin beharko ditu.
- Arduino, irratiaz baliatuz, "Raspberry"-ari informazioa bidaltzeko gai izan behar da.
- Sentsore komertzialen prezioen azpitik egon behar da, bestela erabiltzaileak nahiago izango baitu eragingailu komertziala erostea.
- Kontsumoa ahalik eta baxuena izan behar da.
- Sentsoreak ahalik eta txikiena izan behar da.
- Pilaren gutxienez bi urteko iraupena izan beharko du.

Helburu hauek proiektuan zehar kontutan eduki behar izan dira, hauen arabera erabaki asko hartuak izan baitira.

Proiektuaren helburu eta egoera azaldu ondoren, sorkuntzarako eman diren pausoak azalduko dira.

3. Prototipoa

2.2. atalean azaldu bezala WoodSmart proiektuan Valentziako unibertsitateko, Ingeniaritza elektronikoko saileko Silvia Casans, Alfredo Rosado-Muñoz eta Taras Iakymchuk irakasleek egindako *Novel Resistance Measurement Method: Analysis of Accuracy and Thermal Dependence with Applications in Fiber Material* proiektua oinarri bezala erabiltzen da.

[3]erreferentzian azaltzen den bezala, erresistentzia handien (GW-tiotik gora) zehaztasun handiko neurketetarako ohikoena meganometro edo elektrometro bezalako instrumentuak erabiltzea da, baina hauek beraien tamainaren ondorioz ez dira eramangarriak. Instrumentu hauek tentsio edo korrante jarraituko metodoak erabiltzen dituzte. Tentsio jarraituaren kasuan, materialaren erresistentzia ezezaguna seriean konektatzen da zirkuitu elektronikoarekin eta korrantea neurtzen da, ondoren bertatik Ohm-en legea erabiliz erresistentzia kalkulatu da. Hala ere, egurraren erresistentzia neurtzeko hau ez da baliagarria, zirkuitu elektroniko bakar batek ezin duelako erresistentzia tarte handi bateko erantzunen zehaztasuna bermatu. Egurrean ematen den hezetasunaren arabera erresistentziaren balioaren aldaketa $K\Omega$ -tatik $M\Omega$ -etara doa, tarte hau izugarri handia da.

Temperaturak hezetasunaren balioan eragiten du baita ere, horregatik garrantzitsua da kontutan izatea. [1] erreferentzian, Forsen eta Tarvain-ek egindako ikerketan, temperaturak hezetasunean daukan erlazioa azaltzen da. Beraz, "paper-ean" azaltzen den bezala hezetasunaren neurketa ez bada 20°C -tan egiten beharrezkoa da bigarren ekuazioa bat aplikatzea hezetasunaren neurketa on baterako, ekuazioa ondorengoa da:

$$h_{\text{zuzenketa}} = - \frac{0.00147 \cdot T(\ln(10)) + \ln e^{a \cdot h \cdot \ln(10) + b \cdot \ln(10)} + 1 - 1.075 \cdot \ln(10)}{\ln(10) \cdot (0.000158 \cdot T + 0.0262)} \quad (3)$$

T = Temperatura

a eta b = Egur motaren arabera konstanteak

h = Egurreko hezetasuna temperatura kontutan izan gabe

$h_{\text{zuzenketa}}$ = Egurreko hezetasuna temperatura kontutan izanik

WoodSmart proiektuan egurra kalean lehortzen uzten da, beraz, ez da baldintza finko batean lehortzen egongo. Hori dela eta, temperatura neurtzen duen sentsore bat izatea beharrezkoa izango da egurra ez delako 20°C -ko temperatura konstante batean lehortzen egongo.

Informazio hau eta 2.4.atalean azaldutako helburuak kontutan izan da hurrengo azpi ataletan azalduko den sentsorea diseinatu da. Sentsorearen prototipoa bi zatitan egitea erabaki da etorkizunean proiektuak izan ditzakeen erabilera eta helburuak anitzagoak izateko aukera egon dadin.

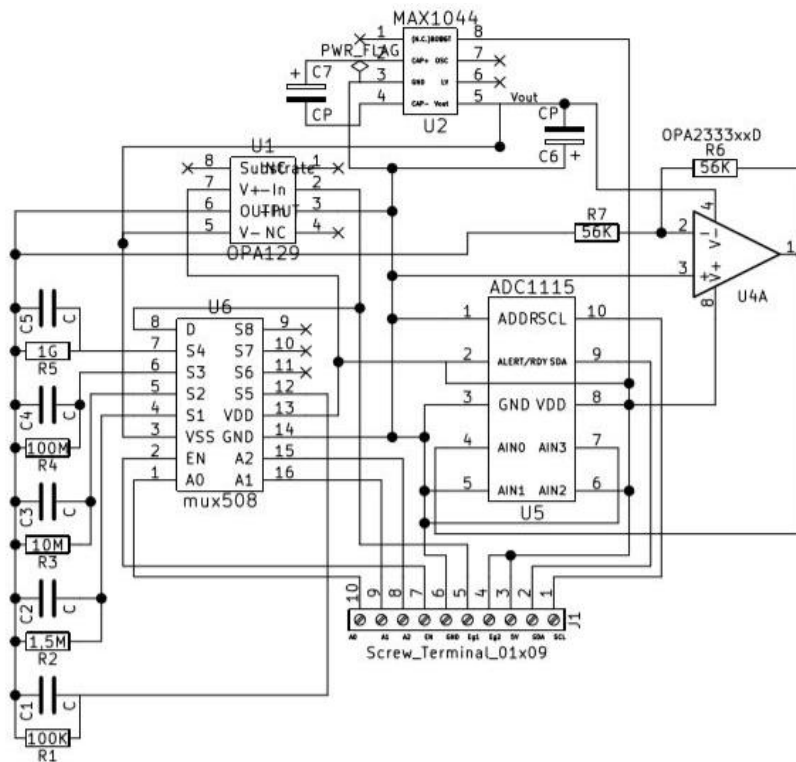
3.1. atalean egurraren hezetasuna neurtu ahal izateko sentsore zati finkoa azalduko da. Bestalde, 3.2. atalean aldakorra izan daitekeen zatia azalduko da.

3.1.WoodSmart

Aipatu bezala, hau izango da prototipoaren zati finkoa. Bertan sentsorearen zati analogikoa eta adc bihurtzailua egongo dira. Zati honetako elementu guztiek +5V edo +5/-5V tentsioa beharko dute lan egiteko.

Zati honen elikadura zati digitalaren bitartez kontrolatuko da, aurrerago 3.2.an azalduko den moduan.

Azpi ataletan prototipoko zati finkoaren atalak azalduko dira. 6.irudian prototipoaren WoodSmart zatiaren eskema elektrikoa ikus daiteke.



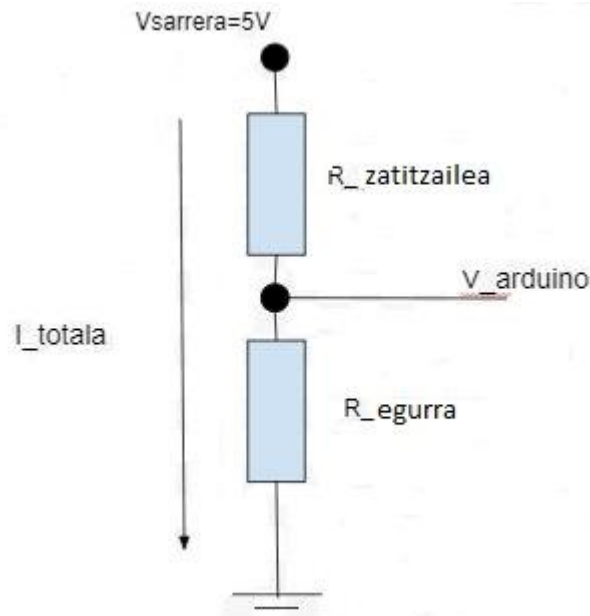
Irudia 6: WoodSmart atalaren eskema elektrikoa

3.1.1. Egurreko erresistentzia neurtzeko metodoa

Esan bezala, helburua egurrean dagoen hezetasuna neurtzea da. Geroz eta hezetasuna gutxiago, egurraren erresistentzia handiagoa izango da. Baina egurraren erresistentzia ezin denez zuzenean neurtu, erresistentzia tentsioan bihurtuko da berrelikadura negatiboa duen OPA129 amplifikadorea erabiliz, honek sarrerako inpedantzia oso altua dauka.

Anplifikadore operazionala erabiltzea erabaki aurretik beste metodo batzuen azterketa egin zen, hiru aukera ezberdin aztertu ziren.

Lehenengo aukera 7.irudian ikus daitekeen tentsio zatitzailea izan zen. Ondorengo planteamendu teorikoa egin zen:

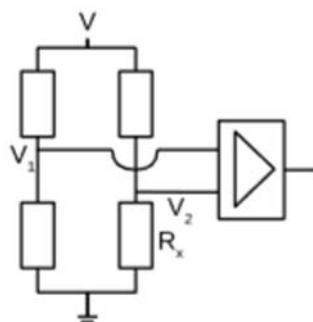


Irudia 7: Tentsio zatitzailea

Egurraren hezetasuna handia denean, Arduinoko pineko erresistentzia R_{egurra} ekin alderatzen bada, azken hau txikia kontsideratu daiteke. Hori horrela izanik, ez litzateke korronterik joango arduinoko pinetik ibilbide errazena R_{egurra} ena izanik, korronteak bide hori hartuko lukelako.

Baina egurraren erresistentzia asko handitu daiteke hezetasuna jaisten den heinean. Beraz, arduinoko pin analogikoaren sarrerako erresistentzia $100M\Omega$ -koa izanik, [4] erreferentzian agertze den bezala, puntu batetik aurrera R_{egurra} ekin alderatzean arduinoko pineko erresistentzia ez zen hain handia izango. Ondorioz, arduinoko pinetik korrontea sartzen hasiko zen. Horregatik aukera hau baztertu egin zen.

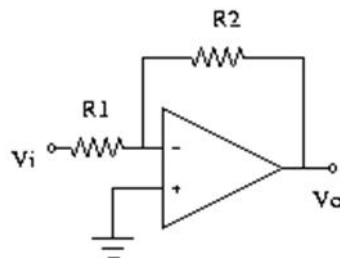
Ondoren Wheatstone zubia erabiltzea pentsatu zen baina [2] erreferentzian azaltzen den bezala konplexutasunagatik baztertu egin zen baita ere. Izan ere, R_x ajustatzen joan beharko zen egurreko erresistentzia aldatzen zen heinean.



Irudia 8: Wheatstone zubia
Erreferentzia: [2]

Azkenik, berrelkadura negatiboa duen anplifikadore operazionala erabiltzea pentsatu da. Berrelkadura negatiboa irteerako seinalearen zati bat sarrera alderantztailean sartzean datza, 9.irudian ikusten den bezala. Honekin zirkuituaren kontrol zehatza lortzen da nahiz eta irabazpenaren balioa jaitea dakarren. Berrelkadura positiboa izango bazuen anplifikadore operazionala segituan saturatu egingo zen, izan ere, irteerako tentsioa anplifikatuko luke eta ondorioz honek sarrerakoa. Sarreraren handitze honek berriro irteera handitzea ekarriko luke eta honek berriro sarrera handitzea. Ezerk ez luke irteera txikituko, beraz, operazionala saturaziora iritsiko zen.

Anplifikadore operazionalen saturazio mugak bere elikadurak ezartzen ditu. Aurretik aipatu bezala zirkuitu hau 5V-ko tentsio maximoarekin elikatzen da eta elementu honek $V=\pm 5V$ behar ditu funtzionatzeko, ondorioz bere saturazio mugak horiek izango dira.



Irudia 9: Anplifikadore Operazionala
Erreferentzia: [17]

$$\frac{(V_i - V_x)}{R_1} = I$$

$$\frac{(V_x - V_o)}{R_2} = I$$

$$\frac{(V_i - V_x)}{R_1} = \frac{(V_x - V_o)}{R_2} \rightarrow (V_i - V_x) \cdot R_2 = (V_x - V_o) \cdot R_1$$

$$V_x = 0$$

Masa birtuala izanda, $V_i \cdot R_2 = -V_o \cdot R_1$ (4)

Ondorioz, $V_o = -V_i \cdot \frac{R_2}{R_1}$

Egurreko erresistentzia tartea asko aldatzen da hezetasunaren arabera. Tenperatura kontutan izan gabe, %34,33-ko hezetasunarekin $0,2M\Omega$ -eko erresistentzia izanik eta %7,46-ko hezetasunarekin $20G\Omega$ -ekoa da. Aldaketa handia denez, ezin da egurreko erresistentzia guztientzat berrelkadura negatiboko erresistentzia bera erabili; egurreko erresistentzia oso txikia balitz V_o txikiegia izango zelako eta aldiz egurreko erresistentzia oso handia balitz V_o handiegia izango zelako, anplifikadore operazionala saturaziora eramanez.

Anplifikadore operazionalaren asetzea ekidin eta irteerako tentsioa (V_o) ahalik eta handiena lortzeko helburuarekin, berrelkadura negatiboan multiplexadore bat jarri da (MUX508). Honen bitartez egurraren erresistentziaren balioaren arabera,

arduinok bidaltzen dion agindu bitartez, berrelikadura negatiboko zein erresistentzia erabili hautatuko da. Beraz, egurraren hezetasunaren neurketa bat egiten den bakoitzean, zirkuitu digitalaren bitartez kasu bakoitzerako erresistentzia egokiena zein den egiaztatuko da eta multiplexadoreak zirkuitu digitaletik iristen zaion informazioaren arabera erresistentzia hautatuko du.

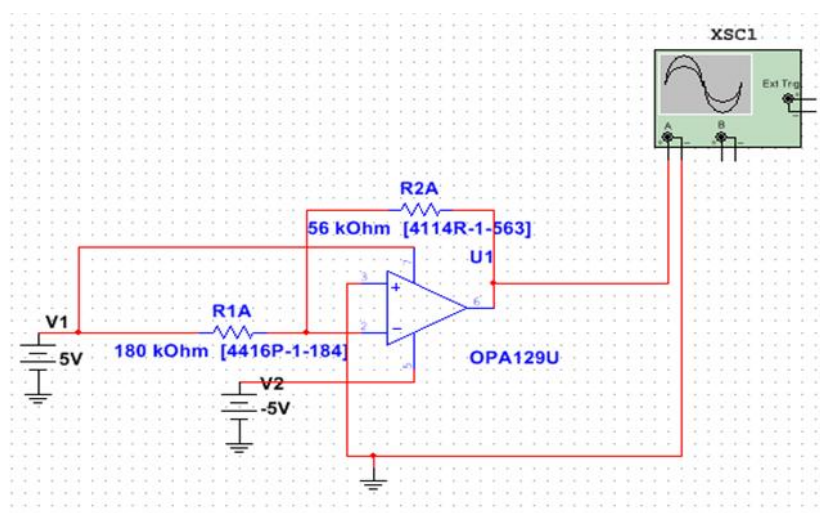
Bost erresistentzia egongo dira paraleloan [0.0995, 1.498, 10, 100, 1000]MΩ. Anplifikadore operazionalaren $V_{sat} = \pm 5V$ denez irteerako tentsioa maximoa $V_{max} = -4.096V$ (negatiboa berrelikadura negatiboaren ondorioz) izango dela ezarri da, honela operazionala saturatuko ez dela ziurtatuko da, agian bere elikaturako tentsioa ez delako zehazki $V = \pm 5V$ izango.

Zirkuituan aurrera jarraitu baina lehen anplifikadorearen irteerako seinalea egokia den egiaztatu behar da. Hau frogatzeko bi pauso eman behar dira: lehenbizi ereduaren simulazioa, Multisim programa erabiliz, eta bigarrena zirkuituan erantzuna aztertzea.

3.1.1.1. Multisim

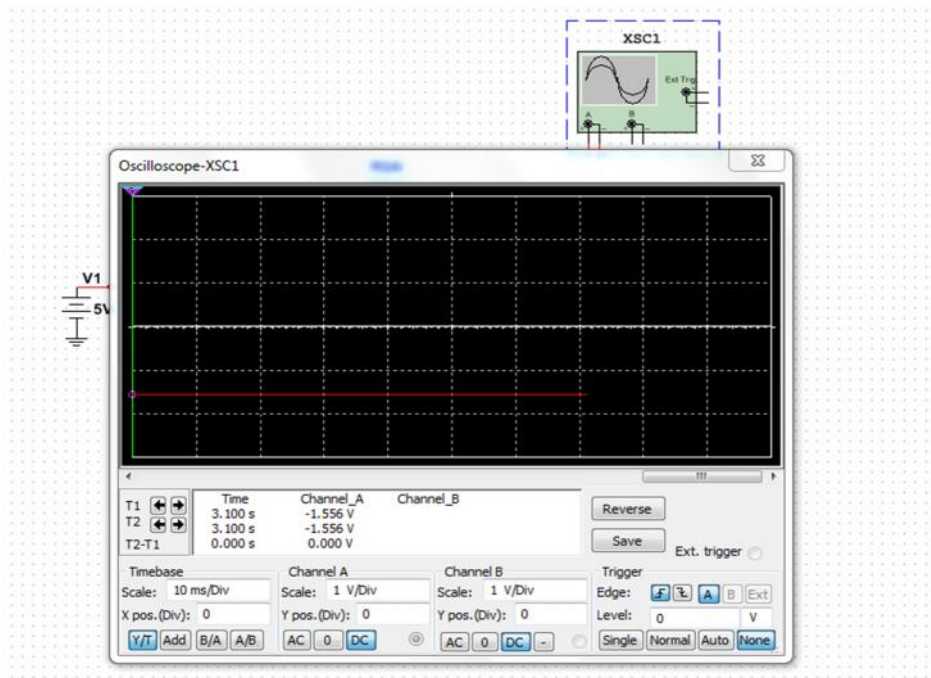
Prototipoan frogak egin aurretik Multisim programa erabiliz zirkuitu zatia simulatuko da. Programaz baliatuta egingo diren frogak ondoren prototipoan probatuko direnak izango dira.

9.irudian lehenengo kasua aztertuko da. Hezetasun altua dagoela suposatuko da kasu honetarako, beraz, egurrean erresistentzia txikia da. Ondorioz, berrelikadura negatiboan 56K -eko erresistentzia hautatuko luke multiplexadoreak.



Irudia 10: 1.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim

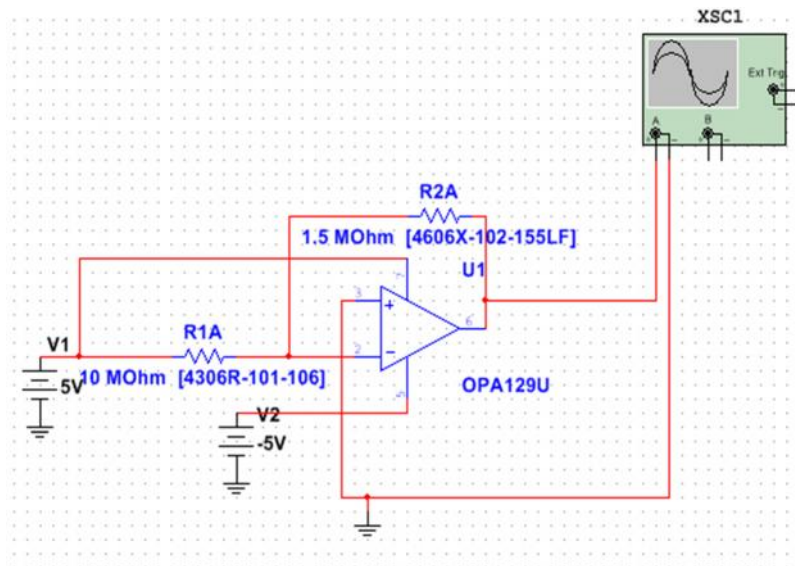
Anplifikadore operazionalak berrelikadura negatiboa daukan formula erabiliz $V_o = -V_i \cdot (R_2/R_1)$, $V_o = -0,55V$ atera behar dela kalkulatzen da. Programan RUN-i eman eta 11.irudian irteerako seinalea ikus daiteke.



Irudia 11: 1.kasuko irteerako seinalea Multisim

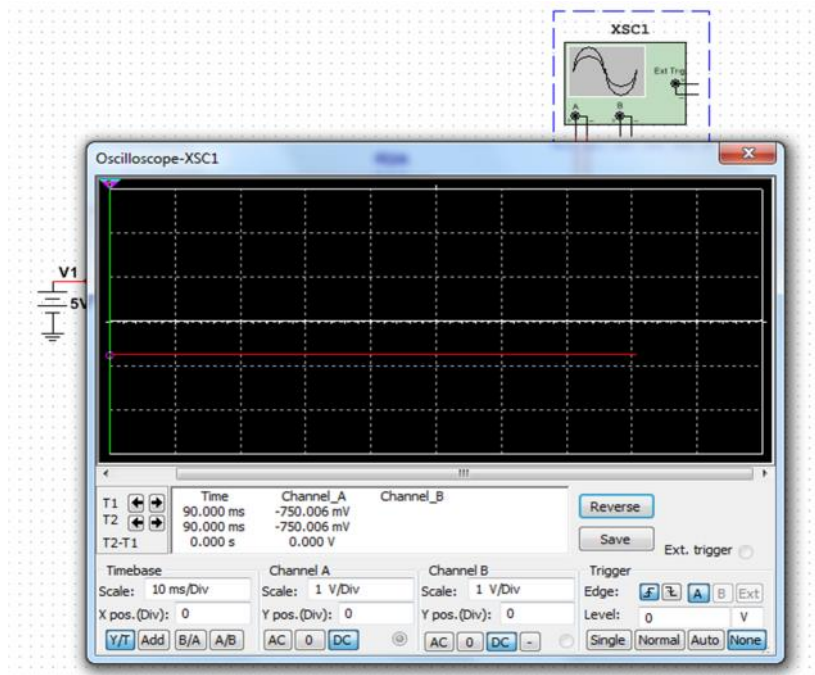
Emaitza ondo dagoela frogatu da. Beraz, beste bi kasu aztertuko dira jarraian.

Bigarren kasu honetan egurraren erresistentziaren balioa handitu egingo da, honek berrelikadura negatiboko erresistentziaren handitzea ekarriko du baita ere.



Irudia 12: 2.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim

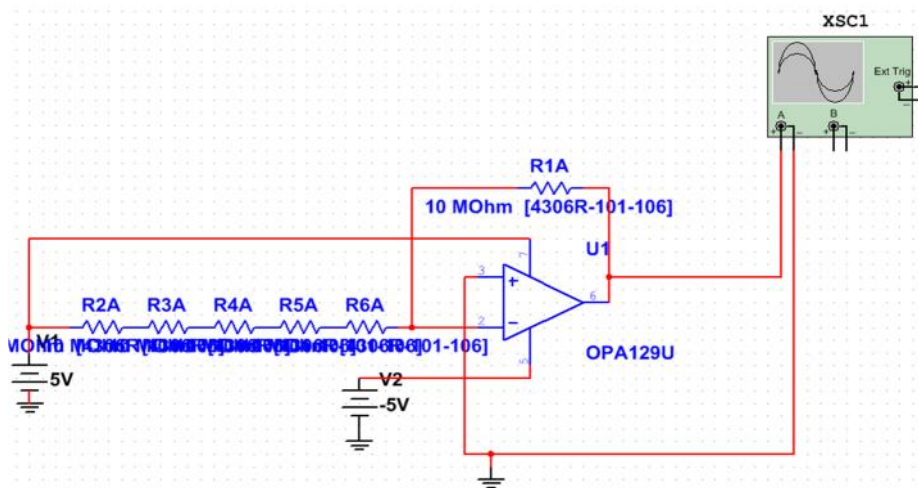
Berririo aurreko kasuko formula aplikatuz, $V_o = -0,75V$ -ko balio ikusi beharko litzatekela ateratzen da. Egiaztatzeko RUN-i eman eta 13.irudian seinalea aztertuko da.



Irudia 13: 2.kasuko irteerako seinalea Multisim

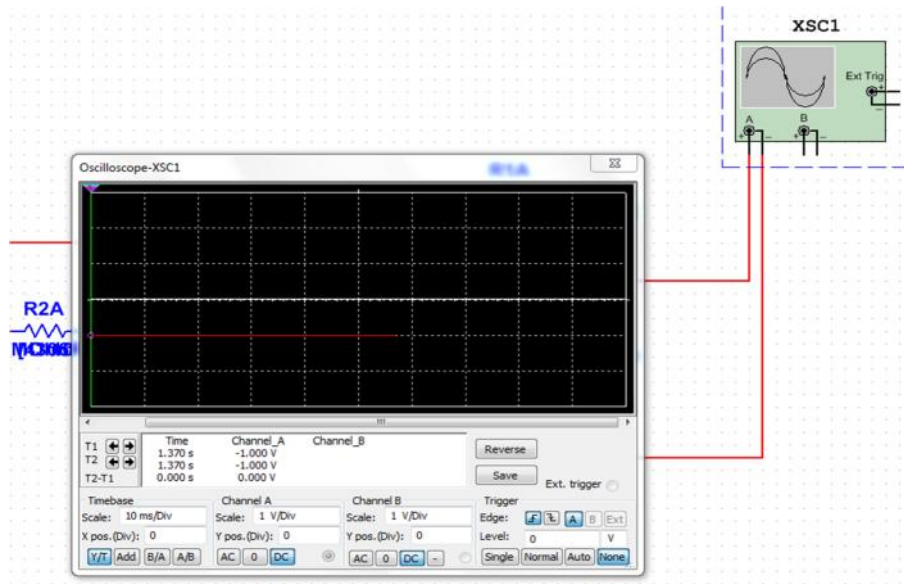
Balioak bat datozenez zirkuituaren diseinu ona frogatzen da berriro.

Prototipoan zirkuituaren funtzionamendua aztertu baina lehen egingo den azken frogan egurrak 50M -ko erresistentzia daukanean izango da, programak ez baitu erresistentzia altuagorik jartzen uzten. Ondorioz, berrelikadura negatiboko erresistentzia altuena hautatzen du Mux-ak, 10M .



Irudia 14: 3.kasuko zirkuitu elektronikoa Multisim

Berriro ere simulatu baina lehen beste bi kasuetan erabilitako formula bitartez amplifikadorearen irteeran izan beharko litzatekeen tentsioa kalkulatu da, $V_o = -1V$ ateratzen da kasu honetan. 15.irudian ikus daiteke simulazioan ateratzen den emaitza kalkulatuakoaren berdina dela.



Irudia 15: 3.kasuko irteerako seinalea Multisim

Kasu bakoitzerako $V_o = -V_i \cdot (R_2/R_1)$ formularen balioak ordezkatzuz simulazioan agertzen den, eta berez eman behar duen balioa berdina direla egiaztatzea. Egurrak izan dezaketen erresistentzia oraindik asko handitu daiteke, G arte, baina Multisim programan dagoen erresistentziaren balio handiena $10M\ \Omega$ -koa denez, eta jada zirkuituaren diseinua egokia dela frogatu denez, froga gehiago egitea beharrezkoa ez dela erabaki da.

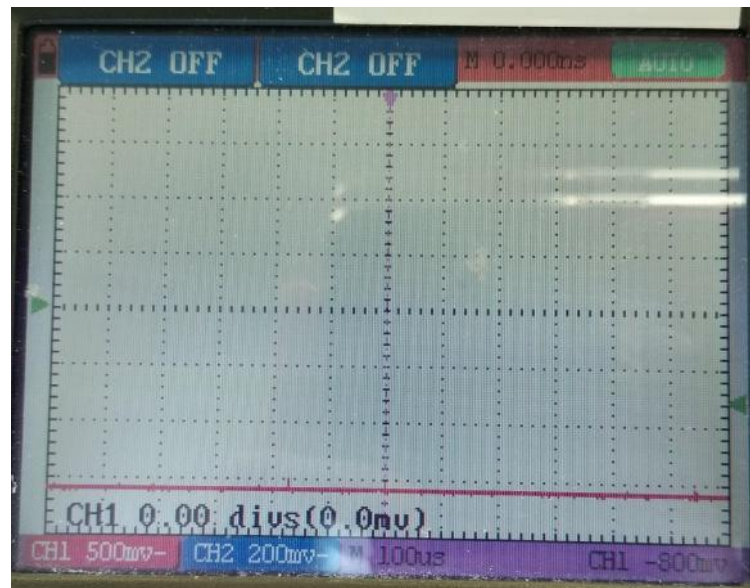
Ereduaren diseinua egokia dela konprobatu denez, hurrengo pausoa prototipoaren irteerako tentsioa nolakoa den aztertzea da. Izan ere, zirkuituan egon daitezkeen efektu ezberdinen ondorioz, errealki lortzen den balio eta teorikoki lortu beharko litzatekeenaren artean ezberdintasunak egon ohi dira.

3.1.1.2. Prototipoan

Aurreko atalean aipatu bezala, teorikoki diseinatutako zirkuituak errealitatean implementatzean normalean ez dute diseinatutako emaitzak ematen. Horren ondorioz, zirkuituan aldaketak egin behar izaten dira desiratzen den emaitza lortzeko. Emaitzaren aldaketa hauek hainbat arrazoiengatik eman daitezke, horien artean: zarata, ihes korrantea, amplifikadoreetan egoten diren polarizazio korranteak e.a. Horregatik oso garrantzitsua da zirkuituaren karakterizazioa lortzea, efektu hauen eragina ikusi eta konpentsatu ahal izateko.

Eredu errealeko balioak instrumentazioarekin ikusteko, promax 0S-782 polimetroa erabiliko da [22]. Honela, kasu ezberdinetan amplifikadorearen irteeran dagoen tentsioa neurtu eta teorikoki egon beharko lukeen balioarekin alderatuko da. Aurreko ataleko prozedura jarraituz, lehendabizi erresistentzia balio baxuak aztertuko dira.

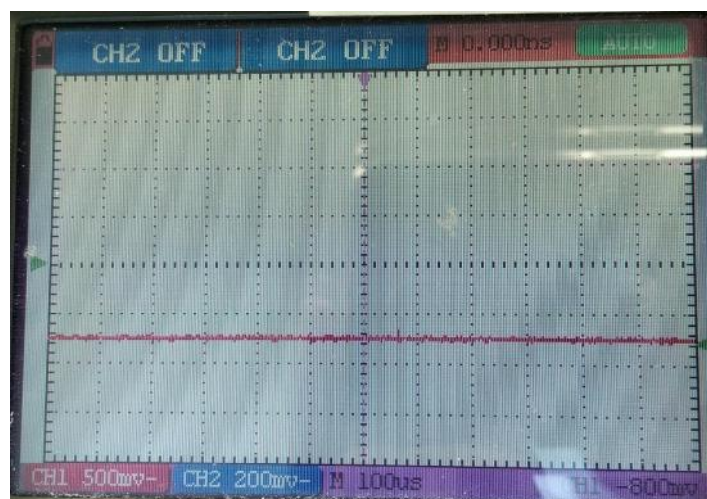
Egurraren erresistentzia 180K -ekoa eta berrelikadurakoa 56K -ekoa denean, ekuazioa $V_o = -V_i \cdot (R_2/R_1)$ izanik, $V_o = -1,555\text{V}$ izan behar du.



Irudia 16: 1.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

Pantailan ikusten den karratu bakoitzak $0,5\text{V}$ -ko balioa dauka, beraz balioa $V_o -1,6\text{V}$ -koa dela kalkula daiteke. Nahiz eta ezin den balio zehatza zein den jakin, erantzun nahiko ona dela ikus daiteke. Gainera kasu honetan seinalean zarata txikia agertzen da soilik, baztergarria dena. Ondorioz, teorikoki espero zenaren antzekoa dela esan daiteke.

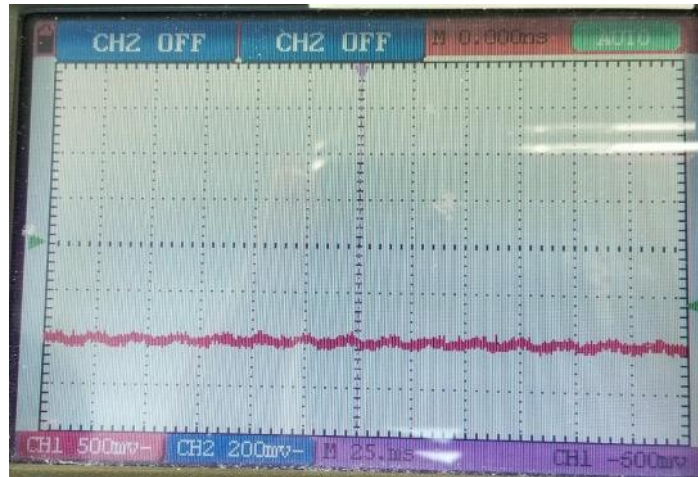
Egurraren erresistentzia 10M -ekoa eta berrelikadurakoa 1.5M -ekoa denean, aurreko formula bera aplikatuz, $V_o = -0,75\text{V}$ izan behar dela kalkulatzen da.



Irudia 17: 2.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

Esan bezala, pantailan ikusten den karratu bakoitzak $0,5\text{V}$ -eko balioa duenez, $V_o -0,75\text{V}$ -ekoa dela esan daiteke. Nahiz eta seinalea oraindik garbi ikusten den, aurreko frogan baina zarata piska bat gehiago dagoela ikus daiteke.

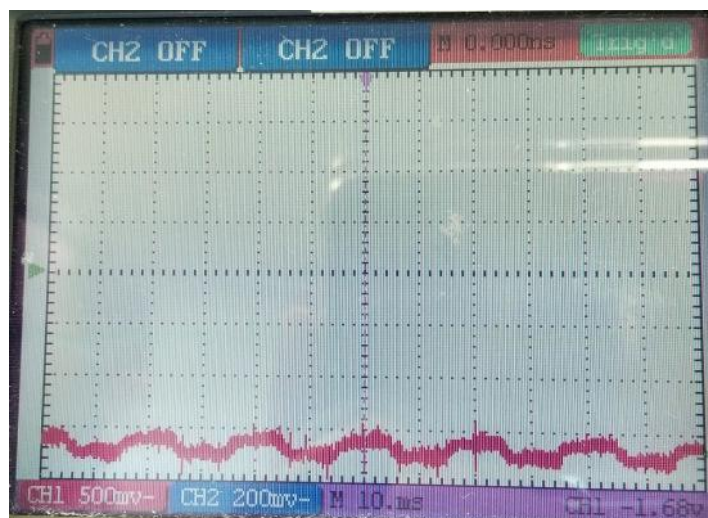
Egurraren erresistentzia 50M -ekoa eta berrelikadurakoa 10M -ekoa denean, aurreko formula bera aplikatuz, $V_o = -1V$ izan behar dela kalkulatzen da.



Irudia 18: 3.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

Kasu honetan seinalea jada ez da aurrekoetan bezain garbi ikusten. Maiztasun finkoa duen seinale oszilakorra ikusten da. Hala ere, teorikoki eman beharko lukeen balioaren inguruan oszilatzen du eta V_o -ren batzbestekoa $-1V$ dela esan daiteke. Nahiz eta batzbestekoa teorikoki lortu nahi denari gerturatu den, seinalea ez da behar bezain ona.

Egurraren erresistentzia 100M -ekoa eta berrelikadurakoa 33M -ekoa denean, aurreko formula bera aplikatuz, $V_o = -1,65V$ izan behar dela kalkulatzen da.



Irudia 19: 4.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

Oszilazioa geroz eta handiagoa da. Seinaleak balio teorikoaren inguruan oszilatzen duen arren, bere batzbestekoa ez da zehazki balio teorikoaren berdina izango, bariazio txiki bat izango du.

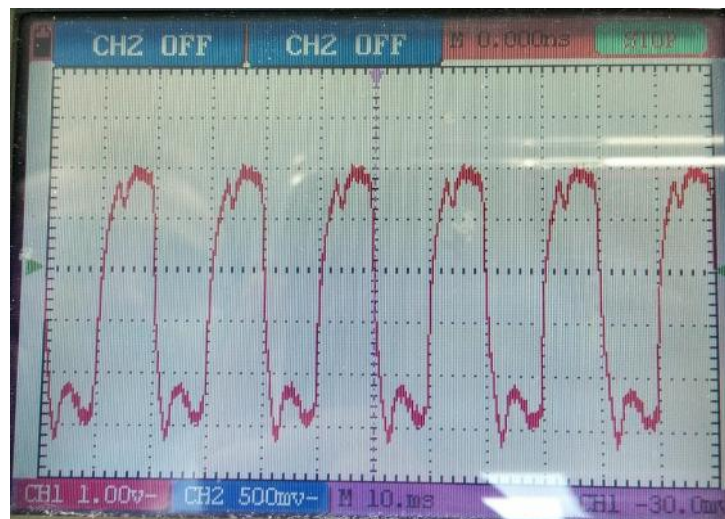
Egurraren erresistentzia 1G -ekoa eta berrelkadurakoa 100M -ekoa denean, aurreko formula bera aplikatuz, $V_o = -0,5V$ izan behar dela kalkulatzen da.



Irudia 20: 5.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

Aurreko seinalean baina oszilazio handiagoa ikusten da. Seinalearen batzbestekoa balio teorikotik urruntzen da.

Egurraren erresistentzia 10G -ekoa eta berrelkadurakoa 1G -ekoa denean, aurreko formula bera aplikatuz, $V_o = -0,5V$ izan behar dela kalkulatzen da.



Irudia 21: 6.kasuko irteerako erantzuna zirkuituan

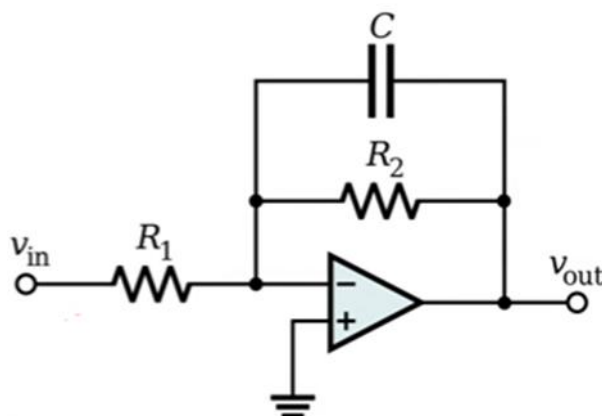
Egurraren erresistentzia geroz eta altuagoa izan, eta ondorioz berrelkadurakoa, baita ere, seinalea emaitza teorikotik urruntzen doala eta oszilazioa handituz doala ikus daiteke. Seinalea emaitza teorikoari hurbiltzeko filtro bat jarri beharko da zirkuituan.

3.1.2. Filtroa

3.1. atalean azaldu bezala, WoodSmart zirkuitua 5V-ko tentsio zuzenarekin elikatuta dago (V_{in}). Operazionalaren sarreran tentsio zuzena dago baita ere eta horri aplikatzen zaion zirkuitua dela eta irteera (V_{out}) teorikoki tentsio zuzenekoa izan beharko luke. Baina 3.1.1.2. atalean ikusi den bezala, erresistentziak handitzen doazen heinean errealitatean dagoen seinalea teorikoki izan beharko lukeenetik geroz eta urrunago dago.

3.1.1. atalean azaldutako anplifikadore operazionalaren irteeran seinale teorikoari gehiago hurbiltzen zaion emaitza izateko, seinaleari zarata kenduko dion frekuentzia baxuko filtro bat jarriko da. Nahiz eta [3] erreferentzian frekuentzia baxuko Sallen Key filtroa erabili, proiektu honetan sinpleagoa den RC iragazkia erabiliko da.

Berrelkadura negatiboan bost erresistentzia ezberdin daude, beraz, kasu bakoitzerako filtro ezberdin bat beharko da. RC iragazkiaren diseinua 22.irudian ikusten dena izango da, baina berrelkadura negatiboan dagoen RC zirkuitu zatia bost aldiz paraleloan errepikatuz.



Irudia 22: Berrelkadura negatiboan RC iragazkia duen anplifikadore operazionala
Eskuragarri: [18]

RC iragazkian ebakidura maiztasuna $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ (5) ekuazioarekin kalkulaten da. Zirkuitu honen kasuan $f_c = 0$ izatea interesatzen da, irteeran nahi den seinalean ez delako maiztasunik egotea desiratzen, tentsio zuzeneko erantzun izatea nahi delako. Filtroa hau sartzearen helburua zaratak berezko seinalearen gain egindako aldaketak kentzea da.

Haututako kondentsadorea kasu bakoitzerako hoberena izan dadin, frogak egin dira kondentsadore balio ezberdinekin. Horretaz gain kasu bakoitzean arduinok seinalea egonkortzeko itxaron beharko lukeen denbora eta emaitzaren desbideratzea kalkulatu dira, erabakia hartzerakoan datu hauek garrantzitsuak direlako.

Berrelkadura negatibo bakoitzagatik egurraren hiru balio ezberdinekin egin da froga.

3.1.2.1. Berrelikadurako erresistentzia 100K -koa

Berrelikadurako erresistentzia 100K -koa eta egurrekoa 1,5M -koa izanik, prototipoan egindako frogetan filtrorik gabe jada emaitza ona daukala ikusten da 3.1.1.2. atalean. Horregatik hiru frogetako bat filtro gabe egingo da. Besteak 100pF-ko eta 1nF-ko kondentsadorearekin egitea erabaki da.

Kasu honetan RC iragazkiak ez ditu frekuentzia asko iragazi beharko, jada lortzen den irteerako seinalea nahiko garbia delako. Horregatik hautatu dira kondentsadoreen balio horiek, kasurako ez delako ebakidura frekuentzia oso murrizgarria izatea behar. Batetik besteetara filtroak ezartzen duen aldaketa aztertuko da jarraian.

Lehendabizi kondentsadore gabe egingo dira frogak, hau da, iragazki gabe:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	0,1488	0,02
	0,1488	0,02
	0,1488	0,01
	0,1488	0,02
	0,1488	0,01
5	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0
10	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01

Taula 1: Berrelikaduran 100K eta egurrekoan 150K izanik kondentsadore gabeko frogak

Iragazkia 100pF-ko kondentsadorearekin sortzean ondorengo ebakidura frekuentzia ezartzen da, $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 10^{-10}} = 15915,4943 \text{ Hz}$. Frogak egitean lortutako emaitzak ondorengoak 2.taulan ikus daitezkeenak izan dira.

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,02
	0,1488	0,01
5	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0
	0,1488	0,02
10	0,1488	0,02
	0,1488	0,01
	0,1488	0
	0,1488	0
	0,1488	0,01

Taula 2: Berrelikaduran 100K eta egurrekoan 150K Ω izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Iragazkia 1nF-ko kondentsadorearekin sortzean ebakidura frekuentzia ondorengoa izango da, $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 10^{-9}} = 1591,5494 \text{ Hz}$. Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	0,1488	0,01
	0,1488	0,02
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,02
5	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0
10	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01
	0,1488	0,01

Taula 3: Berrelikaduran 100K eta egurrekoan 150K izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Hiru kondentsadoreen kasuan emaitza hoberena 0 segundo itxarotean da. Hiru horietatik kasu hoberena 1nF-koarena da, honek duelako desbiderapen txikiena. Denetan emaitza hoberenak itxarote denbora zero denean ematen direnez, "1nF-ko" kondentsadorea hautatzen da RC iragazkiarentzat honekin lortzen baita desbideratze txikiena. Beraz, kasu honetako ebakidura frekuentzia $f_c=1591,5494\text{Hz}$ izango da.

Egurraren erresistentzia 1,5M izango balitz neurketa berdinak eginez ondorengo emaitzak lortzen dira.

Kondentsadore gabeko frogak:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	0,3673	0,27
	1,5437	0,08
	1,5458	0,12
	1,544	0,13
	1,5459	0,17
5	0,3678	0,47
	1,5439	0,16
	1,5461	0,1
	1,5445	0,11
	1,5431	0,12
10	0,3687	0,35
	1,5454	0,16
	1,5464	0,18
	1,5462	0,19
	1,5458	0,17

Taula 4: Berrelikadura 100K eta egurrekoan 1,5M izanik kondentsadore gabeko frogak

Frogak 100pF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	1,544	0,17
	1,5443	0,09
	1,5461	0,25
	1,5465	0,13
	1,5476	0,26
5	1,5459	0,33
	1,5461	0,07
	1,5444	0,21
	1,5469	0,08
	1,545	0,21
10	1,5476	0,22
	1,5442	0,2
	1,5454	0,2
	1,5481	0,09
	1,5457	0,21

Taula 5: Berrelikadura 100K eta egurrekoan 1,5M izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	1,543	0,18
	1,5477	0,18
	1,5437	0,16
	1,5441	0,1
	1,5422	0,24
5	1,5451	0,2
	1,5456	0,14
	1,5467	0,12
	1,5453	0,05
	1,5432	0,15
10	1,5429	0,15
	1,5444	0,14
	1,5454	0,2
	1,5456	0,15
	1,5448	0,18

Taula 6 :Berrelikadura 100K eta egurrekoan 1,5M izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Egurreko erresistentzia honekin baita ere neurketa hoberenak 0 segundo itxarotean ematen dira eta hiru horietatik kasu hoberena 1nF-ko kondentsadorearekin ematen da.

Ondorioz, berrelikadura negatiboko 100K -eko erresistentziaren iragazkia 1nF-ko kondentsadorearekin egingo da.

3.1.2.2. Berrelikadurako erresistentzia 1,5M -koa denean

Berrelikadurako erresistentzia 1,5M -koa eta egurrekoa 10M -koa izanda, 3.1.1.2. atalean, prototipoan egindako frogetan aurreko kasuan bezala emaitza ona daukala ikusi da. Berrelikadura 100K -rekin egindako froga bera egingo da.

Iragazkia 100pF-ko kondentsadorearekin sortzean $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 1,5 \times 10^6 \times 10^{-10}} = 1061,0330Hz$ -ko ebakidura frekuentzia ezartzen da. Iragazkia 1nF-ko kondentsadorearekin sortzean aldiz, ebakidura frekuentzia $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 1,5 \times 10^6 \times 10^{-9}} = 106,1033Hz$ -koa izango da.

Kasu honetan iragazkiari ezarritako ebakidura frekuentzia murriztaileagoa da, hau da, iragazkia frekuentzia baxuagotatik hasiko da iragazten. Kondentsadoreen balio horiekin lortzen den ebakidura frekuentzia nahikoa dela uste da, horregatik kondentsadoreen balioa ez aldatzea erabaki da, ez lukelako onurarik ekarriko.

Kondentsadore gabeko frogak:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	3,05	0,02
	3,05	0,04
	3,05	0,03
	3,05	0,05
	3,05	0,04
5	3,04	0,05
	3,05	0,04
	3,04	0,03
	3,05	0,04
	3,05	0,03
10	3,05	0,04
	3,05	0,04
	3,05	0,05
	3,04	0,02
	3,05	0,03

Taula 7: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 3M izanik kondentsadore gabeko frogak

Frogak 100pF-rekin:

Itzarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	3,04	0,04
	3,05	0,03
	3,05	0,04
	3,04	0,06
	3,05	0,04
5	3,05	0,02
	3,05	0,03
	3,04	0,06
	3,04	0,03
	3,05	0,03
10	3,04	0,04
	3,05	0,02
	3,04	0,02
	3,04	0,02
	3,05	0,04

Taula 8: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 3M izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	3,05	0,28
	3,05	0,01
	3,05	0,01
	3,05	0,01
	3,05	0,02
5	3,05	0,01
	3,05	0,02
	3,05	0,02
	3,05	0,01
	3,05	0,02
10	3,05	0,03
	3,05	0,02
	3,05	0,02
	3,05	0,02
	3,05	0,01

Taula 9: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 3M izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Egurreko erresistentzia 3M -koa izanik, emaitza hoberena 1nF-ko kondentsadorearekin lortzen da. Arduinok seinalea egonkortzeko 5 segundo itxaroteen dituenen.

Egurraren erresistentzia 10M -koa izango balitz neurketa berdina eginez ondorengo emaitzak lortzen dira.

Kondentsadore gabeko frogak:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	10,22	0,21
	10,23	0,18
	10,25	0,19
	10,23	0,21
	10,26	0,1
5	10,23	0,22
	10,26	0,28
	10,22	0,09
	10,21	0,15
	10,2	0,12
10	10,2	0,03
	10,25	0,24
	10,23	0,31
	10,23	0,25
	10,25	0,22

Taula 10: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 10M izanik kondentsadore gabeko frogak

Frogak 100pF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	10,18	0,21
	10,2	0,05
	10,25	0,19
	10,25	0,11
	10,23	0,19
5	10,24	0,16
	10,24	0,19
	10,2	0,08
	10,24	0,17
	10,21	0,15
10	10,25	0,14
	10,22	0,22
	10,2	0,14
	10,21	0,08
	10,26	0,11

Taula 11: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 10M izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	10,21	0,12
	10,23	0,08
	10,22	0,07
	10,23	0,08
	10,23	0,11
5	10,21	0,07
	10,23	0,05
	10,22	0,05
	10,23	0,05
	10,22	0,08
10	10,22	0,08
	10,23	0,06
	10,23	0,08
	10,23	0,03
	10,23	0,07

Taula 12: Berrelikadura 1,5M eta egurrekoan 10M izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Egurreko erresistentzia honekin baita ere neurketa onenak 5s itxarotean lortzen dira eta hiru horietatik kasu onena 1nF-ko kondentsadorearekin ematen da.

Ondorioz, berrelikadura negatiboko 1,5M -ko erresistentziaren iragazkia 1nF-ko kondentsadorearekin egingo da eta arduinok 5 segundo itxaron beharko ditu seinalea egonkortu arte.

3.1.2.3. Berrelikadurako erresistentzia 10M -koa denean

Berrelikadura 10M -ko erresistentzia erabili behar denean, prototipoan egindako frogetan seinalea oszilatzen hasten dela ikus daiteke, gainera zarata handitu egiten da. Egurraren erresistentzia 100M -koa izanik hiru froga egingo dira: 22nF-ko kondentsadore batekin, 1nF-koarekin eta 100pF-koarekin.

Iragazkia 22nF-ko kondentsadorearekin sortzean ebakidura frekuentzia $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^7 \cdot 22 \times 10^{-9}} = 0,7234Hz$ -koa izango da. 1nF-ko kondentsadorearekin sortzean $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^7 \cdot 10^{-9}} = 15,9155Hz$ -koa. Azkenik, iragazkia 1pF-ko kondentsadorearekin sortzean $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^7 \cdot 10^{-12}} = 15915,4943Hz$ -koa izango da.

Kasu honetan iragazkia ebakidura frekuentzia ezberdinekin frogatuko da. Zaratak frekuentzia altuetan ematen badira ez da hain iragazki murriztailea jarri beharko. Honela zaratak zein frekuentzietan ematen diren ikusiko da baita ere.

Frogak 22nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	103,13	0,49
	104,06	0,49
	103,71	0,46
	102,81	0,12
	103,17	0,11
5	102,35	0,08
	102,6	0,11
	101,55	0,09
	101,65	0,17
	101,7	0,18
10	101,6	0,16
	101,52	0,15
	101,61	0,13
	101,64	0,08
	101,36	0,13

Taula 13: Berrelikadura 10M eta egurrekoan 100M izanik, 22nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	102,69	0,25
	100,69	0,44
	100,8	0,35
	100,64	0,36
	100,6	0,17
5	102,65	0,33
	102,83	0,17
	102,6	0,34
	102,72	0,13
	101,23	0,27
10	100,64	0,17
	103,28	0,16
	100,05	0,14
	100,99	0,19
	101,58	0,33

Taula 14: Berrelikaduran 10M eta egurrekoan 100M izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 100pF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	104,65	0,2
	104,52	0,09
	101,44	0,07
	101,16	0,11
	103,89	0,11
5	102,64	0,2
	102,23	0,31
	101,79	0,23
	105,91	0,09
	99,67	0,23
10	105,85	0,14
	105,55	0,09
	104,86	0,08
	99,33	0,17
	99,91	0,26

Taula 15: Berrelikadura 10M eta egurrekoan 100M izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Eraitza hobereak 22nF eta 1nF-rekin lortzen dira, arduinok seinalea egonkortzeko 10 segundo itxaroten dituenen. Bi kasuetan lortzen den eraitza oso antzeko denez, egurraren erresistentziak beste balio batzuk dituenen lortzen diren eraitzen arabera hautatuko da kondentsadorea.

Bigarren froga egurraren erresistentzia 50M -koa denean egingo da.

Frogak 22nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	51,2303	0,2
	51,1636	0,05
	51,19	0,06
	51,16	0,06
	51,16	0,06
5	50,12	0,08
	50,09	0,09
	50,09	0,03
	50,09	0,09
	50,07	0,07
10	50,09	0,06
	50,09	0,07
	50,09	0,08
	50,1	0,09
	50,1	0,05

Taula 16: Berrelikadura 10M eta egurrekoan 50M izanik, 22nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 1nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	50,24	0,26
	50,24	0,24
	50,35	0,16
	50,3	0,15
	50,3	0,16
5	49,93	0,18
	50,33	0,23
	50,35	0,15
	50,36	0,09
	50,17	0,25
10	50,38	0,08
	50,21	0,26
	49,89	0,2
	50,32	0,17
	49,9	0,16

Taula 17: Berrelikadura 10M eta egurrekoan 50M izanik, 1nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 100pF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
0	50,89	0,18
	49,4	0,12
	50,51	0,24
	50,87	0,23
	49,41	0,07
5	50,25	0,39
	50,74	0,22
	50,9	0,19
	49,8	0,27
	49,99	0,35
10	50,96	0,18
	49,69	0,11
	49,91	0,2
	49,63	0,14
	49,96	0,27

Taula 18: Berrelikaduran 10M eta egurrekoan 50M izanik, 100pF-ko kondentsadorearekin frogak

Bigarren froga honetan emaitza onena kondentsadorearen balioa 22nF-koa denean eta arduinok 5segundo itxaron behar dituenen da.

Beraz, kondentsadorearen balioa 22nF hautatuko da kasu honetarako eta arduinok neurketa egin aurretik itxaron beharko duen denbora 10 segundo izango dira. Arduinoren itxarote denbora egurraren bi balioen artean dagoen kasu okerrera hori delako hautatu da, honela neurketa zuzena izango dela ziurtatzen da. Iragazkia murriztailenarekin lortu da emaitza hoberena.

3.1.2.4. Berrelikadurako erresistentzia 100M -koa denean

Berrelikaduran 100M -ko erresistentzia erabili behar denean prototipoan egindako frogetan seinalea oraindik oszilakorra da. Egurraren erresistentzia 1G -koa izanda bi froga egingo dira: 22nF-ko eta 10nF-ko kondentsadoreekin.

Iragazkia 22nF-ko kondentsadorearekin sortzean ebakidura frekuentzia $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10^8 \times 22 \times 10^{-9}} = 0,0723Hz$ -koa ezartzen da. Aldiz, iragazkia 10nF-ko kondentsadorearekin sortzean $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10^7 \times 10^{-8}} = 1,5915Hz$ -koa.

Frogak 22nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
10	1035,52	0.1
	1034,79	0.13
	1034,54	0.1
	1034,86	0.11
	1033,61	0.14
22	1037,61	0.08
	1035,36	0.14
	1035,36	0.15
	1034,1	0.12
	1037,42	0.13
30	1038,9	0.12
	1036,79	0.14
	1037,81	0.09
	1038,37	0.1
	1038,46	0.13

Taula 19: Berrelikadura 100M eta egurrekoan 1G izanik, 22nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 10nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
15	1034.59	0.1
	1036.42	0.07
	1035.27	0.22
	1035.47	0.09
	1035.38	0.16
22	1033.64	0.14
	1035.68	0.1
	1035.15	0.14
	1036.44	0.12
	1036.40	0.07
30	1037.24	0.07
	1037.16	0.11
	1036.48	0.14
	1037.23	0.02
	1041.88	0.18

Taula 20: Berrelikaduran 100M eta egurrekoan 1G izanik, 10nF-ko kondentsadorearekin frogak

Eraitza onena 22nF-ko kondentsadorearekin eta 15 segundoko itxarote denborarekin lortzen da, seinalearen egonkortasuna handiagoa delako.

Egurraren erresistentzia 500M -koa denean, ondorengo eraitzak lortzen dira.

Frogak 22nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
10	509,31	0,05
	509,47	0,04
	509,58	0,04
	509,5	0,04
	509,37	0,07
22	510,69	0,09
	510,67	0,05
	510,28	0,05
	510,23	0,02
	510,05	0,05
30	509,27	0,07
	509,33	0,06
	509,26	0,07
	509,44	0,03
	509,13	0,03

Taula 21: Berrelikadura 100M eta egurrekoan 500M izanik, 22nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 10nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia(M)	Desbideratzea
15	505.14	0.05
	505.06	0.09
	505.19	0.05
	504.97	0.04
	505.12	0.1
22	504.8	0.03
	504.77	0.03
	505.26	0.07
	505.18	0.06
	505.51	0.06
30	505.19	0.06
	504.91	0.11
	505.1	0.12
	504.25	0.07
	504.75	0.08

Taula 22: Berrelikaduran 100M eta egurrekoan 500M izanik, 10nF-ko kondentsadorearekin frogak

Emaitza onena 10nF-ko kondentsadorearekin lortzen da. Baina aurreko egoera eta hau alderatuta 22nF-koarekin emaitza hobekak lortzen dira, horregatik berrelikaduran 100M daudenean 22nF-rekin egingo da RC filteroa.

3.1.2.5. Berrelikadurako erresistentzia 1G -koa denean

Berrelikaduran 1G -ko erresistentzia erabili behar denean, prototipoan egindako frogetan seinalea oso txarra ikusten da. Horregatik filteroa oso murriztailea izan beharko da. Egurraren erresistentzia 20G -koa izanik bi froga egingo dira: 4,7nF ko kondentsadore batekin eta 6,8nF-koarekin.

Iragazkia 4,7nF-ko kondentsadorearekin sortzean ebakidura frekuentzia $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^9 \cdot 4,7 \times 10^{-9}} = 0,03386 \text{ Hz}$ -koa izango da. Aldiz, iragazkia 6,8nF-ko kondentsadorearekin egitean $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^9 \cdot 6,8 \times 10^{-9}} = 0,02341 \text{ Hz}$ -ko ebakidura frekuentzia lortzen da.

Frogak 4,7nF-rekin:

Itzarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
15	22038,44	0,19
	21925,61	0,16
	21863,04	0,36
	21918,35	0,14
	21814,54	0,4
22	21405,43	0,47
	21436,87	0,22
	21441,02	0,32
	21348,19	0,27
	21058,18	0,19
30	21190,73	0,48
	21409,39	0,13
	21449,17	0,32
	20859,58	0,36
	21342,32	0,28

Taula 23: Berrelikadura 1G eta egurrekoan 20G izanik, 4,7nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 6,8nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
22	21943,31	0,43
	22157,14	0,47
	21803,51	0,23
	21818,96	0,26
	22060	0,21
30	21408,27	0,29
	21280,45	0,11
	21213,11	0,24
	21384,22	0,1
	21352,61	0,27
35	21356,51	0,32
	21347,71	0,26
	21329,88	0,16
	21066,42	0,07
	21167,02	0,09

Taula 24: Berrelikadura 1G eta egurrekoan 20G izanik, 6,8nF-ko kondentsadorearekin frogak

Eraitza hobereana 6,8nF-ko kondentsadorearekin eta arduinok seinalea egonkortzeko 35 segundo itxaroten dituenan lortzen da.

Egurraren erresistentzia 1G -koa denean ondorengo emaitzak lortzen dira.
Frogak 4,7nF-rekin:

Itzarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
15	10939,94	0,46
	10723,55	0,14
	10733,12	0,1
	10749,99	0,2
	10744,23	0,15
22	10507,59	0,06
	10505,39	0,14
	10442,24	0,1
	10504,58	0,11
	10506,46	0,13
30	10477,72	0,11
	10484,39	0,09
	10533,56	0,14
	10351,21	0,05
	10390,72	0,18

Taula 25: Berrelikadura 1G eta egurrekoan 1G izanik, 4,7nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 6,8nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
22	10815	0,15
	10702,93	0,19
	10734,65	0,27
	10827,55	0,15
	10820,78	0,24
30	10444,97	0,11
	10486,26	0,16
	10444,13	0,08
	10508,16	0,25
	10478,08	0,04
35	10350,07	0,18
	10543,3	0,23
	10389,47	0,2
	10422,4	0,12
	10415,04	0,19

Taula 26: Berrelikaduran 1G eta egurrekoan 1G izanik, 6,8nF-ko kondentsadorearekin frogak

Kasu honetan emaitza onenak 4,7nF-ko kondentsadorearekin eta seinalea egonkortzeko 30 segundo itxarotean lortzen dira.

Azkeneko kasua, egurreko erresistentzia 0,5G -koa denean izango da eta ondorengo emaitzak lortzen dira.

Frogak 4,7nF-rekin:

Itzarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
15	5304,67	0,17
	5286,68	0,16
	5275,5	0,34
	5278,97	0,19
	5277,34	0,16
22	5143,56	0,08
	5144,5	0,12
	5143,98	0,11
	5146,02	0,06
	5136,65	0,05
30	5093,39	0,02
	5110,96	0,12
	5098,35	0,03
	5119,31	0,09
	5087,81	0,05

Taula 27: Berrelikadura 1G eta egurrekoan 0,5G izanik, 4,7nF-ko kondentsadorearekin frogak

Frogak 6,8nF-rekin:

Itxarote Denbora (s)	Erresistentzia (M)	Desbideratzea
22	5305,94	0,15
	5284,07	0,15
	5266,78	0,1
	5276,75	0,07
	5281,8	0,1
30	5147,81	0,1
	5150,96	0,07
	5153,86	0,07
	5153,13	0,04
	5158,06	0,1
35	5123,69	0,02
	5134,57	0,12
	5125,5	0,09
	5125,11	0,07
	5120,72	0,06

Taula 28: Berrelikadura 1G eta egurrekoan 0,5G izanik, 6,8nF-ko kondentsadorearekin frogak

Emaitza onenak kondentsadorearen balio 4,7nF-koa denean eta seinalea egonkortzeko 30 segundo itxaroten direnean ematen dira.

Beraz, berrelikadura 1G daudenean RC iragazkia 4,7nF-ko kondentsadorearekin eta arduinok 30 segundo itxarote denborarekin egingo da. Nahiz eta egurraren erresistentzia 20G -koa denean, emaitza onena 6,8nF-ko kondentsadorearekin eta arduinok 35 segundo itxarotean lortzen den, 4,7nF eta 30 segundorekin ondo neurtzen duela kontsideratzen da baita ere. Beste bi kasuetan, azken balioekin, emaitza hobekien lortzen direlako hautatu dira iragazkiarentzako balio horiek.

Beraz, hurrengo balioekin egingo dira berrelikadura negatiboko RC iragazkiak.

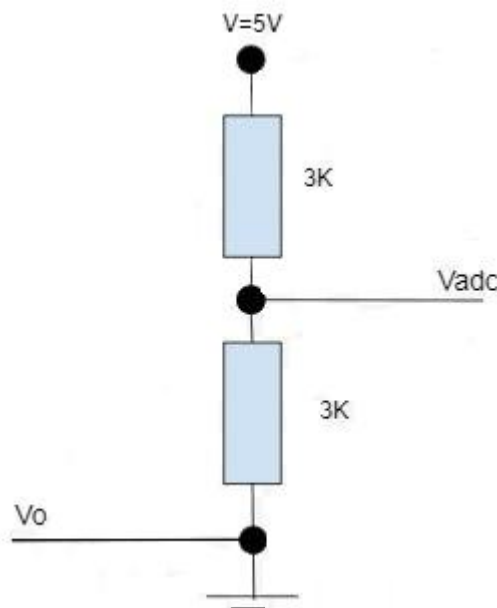
Berrelikadurako erresistentzia	Kondentsadorea	Arduinoren itxarote denbora
100K	1nF	0 segundo
1,5M	1nF	5 segundo
10M	22nF	10 segundo
100M	22nF	15 segundo
1G	4,7nF	30 segundo

Taula 29: RC iragazkien konponenteen balioak

3.1.3. Anplifikadore operazionalaren irteera

Berrelkadura negatiboaren ondorioz, anplifikadore operazionalaren irteerako tentsioa negatiboa da. V_o , irteerako tentsioa, ADC-ak irakurri egin behar du ondoren zirkuitu digitalak Samuelsson-en erregresioaren ekuazioa erabili eta egurraren erresistentzia kalkulatu ahal izateko. Baina ADC-ak soilik tentsio positiboa irakur dezake eta irteerako tentsioa negatiboa da. Horregatik ADC-ak tentsioa irakurri ahal izateko, anplifikadorearen irteerako seinaleari zeinua aldatu egin behar zaio.

Hau egiteko hasiera batean tentsio zatitzaile erabiltzea pentsatu zen.



Irudia 23: Tentsio zatitzailea operazionalaren irteeran

$$V_{adc} = \frac{V + V_o}{2} \quad (6)$$

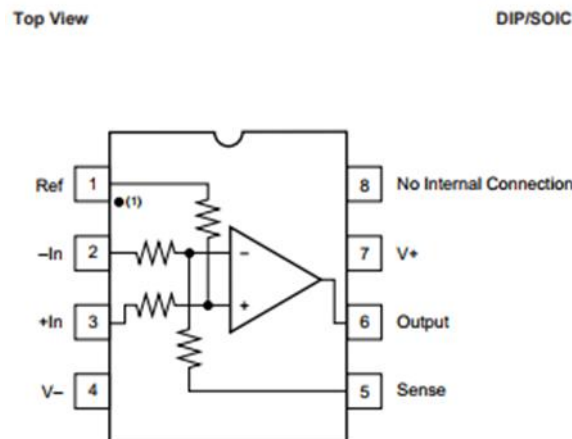
Irteerako tentsio minimoa, $V_{omin} = -5V$ da. $V = 5V$ izanik, balio horiek ekuazioan ordezkatzuz lortzen den $V_{adc} = 0V$ izango da. Irteerako tentsio maximoa, $V_{omax} = 0V$ da, ondorioz kasu honetan $V_{adc} = 2,5V$ izango da.

Beraz, zeinu aldaketa egiteko metodo hau erabiliko balitz, tentsio tartea erdira txikituko litzateke (-5/0 2,5/0V) eta zehaztasuna galduko litzateke. Izan ere, ADC-ak [6] erreferentzian azaltzen den bezala, 16 bit-ekin `ads.setGain` funtzioa "GAIN_TWOTHIRD" irabaziarekin erabiltzean, irakur dezakeen tentsio aldaketa minimoa 0.1875mV-ekoa da. Ondorioz:

0/-5V tartea	0.0001875V	
100	x	$x = \%3,75 \times 10^{-3}$ Tentsio aldaketa irakur dezake
0/2.5V tartea	0.0001875V	
100	x	$x = \%7.5 \times 10^{-3}$ Tentsio aldaketa irakur dezake

Ehuneko portzentaje horiek, kasu bakoitzean informazio totala zenbateko aldaketa minimoarekin irakurri daiteken adierazten dute. 0/2,5V tartek portzentaje handiagoa dauka, ondorioz informazioa irakurtzean duen prezisioa txikiagoa izango da.

Hau ez gertatzeko anplifikatzailearen irteeran beste anplifikatzaile bat, INA 105, jartzea pentsatu zen seinaleari zeinua aldatzeko. INA105 irabazia batekoa duen operazional bat da, pinen konexioak 24.irudian ikusten diren bezala eginez gero operazional honek zuzenean zeinua aldatzen du.

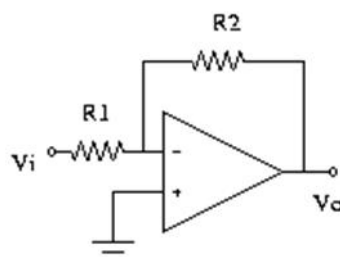


NOTE: (1) Performance grade identifier box for small outline surface mount. Blank indicates K grade. Part is marked INA105U.

Irudia 24: INA105-en konexioak
Erreferentzia: [19]

Zirkuituan aldaketa egin zenean batzuetan nahi bezala funtzionatzen ez zuela ikusi zen. Arazo hau elikadurarekin erlazionatuta zegoen, izan ere, elementu honen elikadura minimoa $V_{\min} = \pm 5V$ -koa da eta nahiz eta idealki zirkuituak hori ematen duen gehienetan ez dira zehazki $\pm 5V$ izaten.

Arazoa zein zen jakinda, bere elikadura minimoa $\pm 5V$ -koa ez duen beste operazional bat aukeratu da. ADA4530-1 hautatu da, soilik elikadura positiboarekin funtzionatzen duelako eta gainera behar duen tentsio minimoa $V_{\min} = +4,5V$ delako. Operazional honek desiratzen den funtzio izan dezan, sarrerako tentsioari (V_i) zeinua aldatzea, 25. irudiko $R1 = R2$ izan beharko dute. Honela $V_o = -V_i \cdot (R2/R1)$ ekuazioan erresistentziak ordezkatzean $V_o = -V_i$ lortuko da.



Irudia 25: Berrelikadura negatiboan duen anplifikadore operazionala
Erreferentzia: [17]

Irteerako tentsioak sarrerakoaren aurkako tentsioa izan dezan baldintza bakarra dago, erresistentziak berdinak izatea. Zirkuitu honetan $R1=R2=56K$ izango dela erabaki da.

3.1.4. Analogiko digital konbertsorea ADC1115

ADC1115-en funtzioa aurreko atalean aipatutako V_0 irteerako seinale analogikoa digitalean bihurtzea da. Konbertsore analogiko hau hautatzeko irizpideak ondorengoak izan dira:

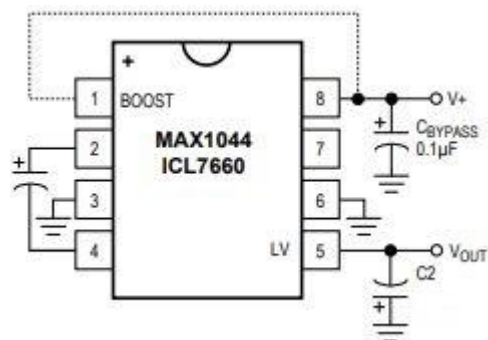
Sarrerako bi kanal ditu. Hau interesgarria da, izan ere, V_0 tentsio neurtzeaz gain elikadura tentsioa neurtzeko aukera ematen duelako. Elikadura tentsioa neurtzea interesgarria da zirkuitu honen kasuan nahiz eta idealki elikadura tentsioak 5V-koa izan behar duen, errealitatean denbora guztian ez direlako 5V izaten.

16bit ditu beraz arduinoak duen adc-a, 10bitekoa, baina hobea da.

I2C protokoloa erabiltzen du, arduinok erabiltzen duen bera.

3.1.5. MAX1044

Zirkuitua 5V-ko pila batez elikatuta dago, baina elementu analogiko askok tentsio positiboa zein negatiboa behar dute funtzionatzeko. Tentsio negatiboa lortzeko Max1044, CMOS tentsio bihurgailua, erabiltzen da pilaren 5V positiboak negatiboan bihurtzeko. Hori lortzeko 26.irudiko eskema jarraitu behar da.



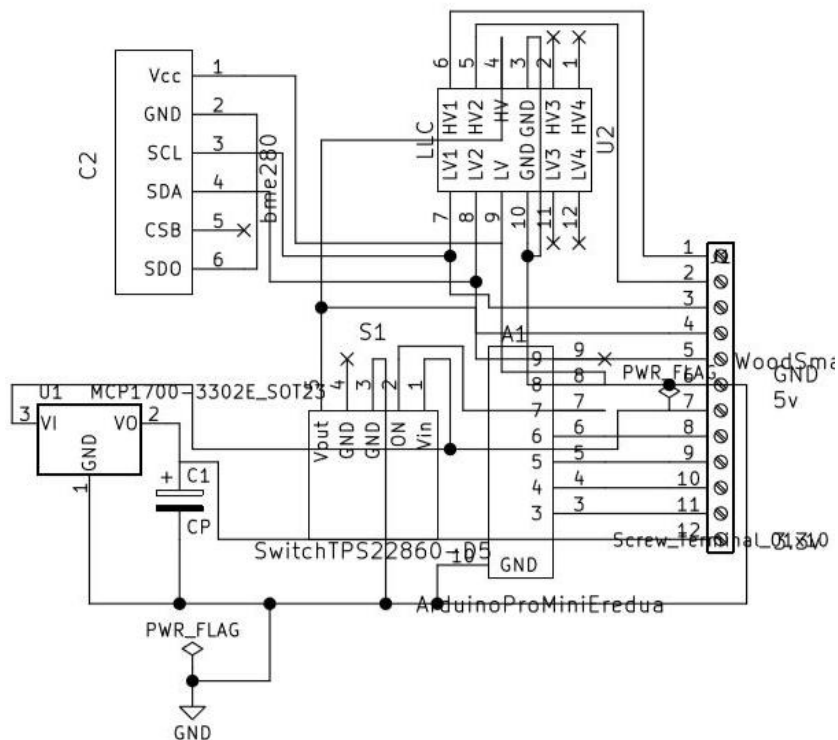
Irudia 26: Max1044-ek sarrerako tentsioaren aurkako tentsio emateko behar duen zirkuitu elektrikoa
Erreferentzia: [20]

3.2. Zati Digitala

Zati analogiko eta digitala banatzea diseinuari erabilera gehiago emateko aukera izateko helburuarekin erabaki zen. Honetaz gain, erabaki honek onura gehiago proportzionatzen ditu, izan ere, egon daitezkeen interferentzien murrizpena ekartzen du baita ere, diseinua fidagarriagoa bihurtuz.

Zati digitaleko elementuak 3,3V-rekin elikatuko dira, honela prototipoaren kontsumoa murriztea lortzen da.

Zati analogikoa digitalarekin komunikatu ahal izateko aurrerago atal honetan azalduko den I2C protokolo erabiltzen da. Hurrengo azpi ataletan elementuen funtzioa azalduko da. 27.irudian prototipoaren zatia digitalaren eskema elektrikoa ikus daiteke.



Irudia 27: Zati digitalaren eskema elektrikoa

3.2.1. MCP1700

Aipatu bezala, helburuetako puntu garrantzitsu bat zirkuituak kontsumo baxua izatea da. Horregatik zirkuituaren bigarren atalak 3,3V-ekin elikatzen diren elementuez osatuta dago. Baina pilak 5V ematen ditu, beraz, elementu hauetara tentsioa konektatu ahal izateko beharrezkoa da tentsio bihurtzailu bat izatea. Zirkuitu honen kasuan pilak ematen dituen 5V-ak 3,3V-n bihurtzeko MCP1700 SOT-23 erabiltzen da.

3.2.2. Arduino pro mini

Arduino pro mini-a aukeratzeko arrazoiak bere tamaina eta kontsumo baxuagoa izateko aukera izan dira.

Gailu honek 3,3V edo 5V-tan elikatzeko aukera du. Proiektu honen helburuetako bat kontsumoa ahalik eta baxuena izatea denez 3,3V-tan elikatzen da. Honez gain, aldaketa batzuk egin zaizkio kontsumoa murrizteko.

ATmega328P Pro Mini bertsioa	PWR Iturria	Baldintza	3,3V/8MHz
Modifikatu gabe	RAW Pin	ON	4,74mA
Modifikatu gabe	RAW Pin	OFF	0,9mA
Led gabe	RAW Pin	ON	3,9mA
Led gabe	RAW Pin	OFF	0,0541mA
Led eta Erreguladorea gabe	VCC Pin	ON	3,58mA
Led eta Erreguladorea gabe	VCC Pin	OFF	0,0045mA

Taula 30: Arduino Pro Mini-aren kontsumo taula

30.taulan ikus daiteken bezala, [7] erreferentzia, arduino pro mini-ak proiektu honetarako beharrezkoa ez den led bat dauka, Kontsumoa murrizteko erabakietako bat hau kentzea izan da. Horrez gain erreguladore bat dauka baita ere, gailu hau baliagarria da kasu honetan izan ere pila 5V-koa da eta arduino zein zirkuitu digitala 3,3V-rekin elikatu nahi da. Baina erreguladore honek kontsumo altua dauka, horregatik erreguladore hau kendu eta aurreko atalean azaldutako MCP1700 jarri da zirkuituan.

Arduino bitartez sentsorea kontrolatuko da, gailuak 4.atalean azalduko den programa burutuko duelako. Bere sarrera/irteera pinen bitartez multiplexadoreari seinale bat bidaliz 3.1.1. ataleko anplifikadore operazionalerako berrelikadura negatiboko zein erresistentzia aukeratu behar duen esango dio.

Beste sarrera/irteera pin baten bitartez, berriro ere kontsumoa murrizteko helburuarekin, tenperatura sentsorea eta LLC-a elikatuko ditu. Modu honetan elementu hauek soilik neurketak egin behar direnean piztuko dira eta aldiz arduinoa lotan dagoenean ez zaie tentsiorik pasako kontsumoa murriztuz eta beraien bizi iraupena luzatuz.

Helburu berdinarekin, beste sarrera/irteera pin batekin hurrengo atalean azalduko den etengailua kontrolatuko da. Tenperatura sentsorea eta LCC-arekin egiten den moduan, soilik arduino piztean itxiko da etengailua WoodSmart-eko zirkuitu zatia elikatuz. Honela bigarren zirkuitu honen elikadura kontrolatuko da, berriro ere kontsumoa murrizteko helburuarekin.

Horietaz gain arduinok beste bi irteera/sarrera pin ditu, SDA eta SCL. Hauek I2C protokoloa erabiltzen dute komunikaziorako. Proiektu honetan tenperatura sentsorea eta adc-arekin komunikatzeko erabiltzen dira. Adc-a eta sentsorea paraleloan konektatzen dira pin hauetara, honela arduinok adc-ak eta tenperatura sentsoreak ematen duten informazioa irakurri ahal izango du, ondoren programan erabiltzeko. Irakurketa hau ez da une berean gertatzen bata bestearen segidan baizik, hala ere, oso azkar ematen denez erabiltzailearentzat une berean gertatzen dela esan daiteke.

Gailuak paraleloan konektatuak daudenez, bakoitzak helbide bat izatea beharrezkoa izango da, informazioa jaso nahi denean bi gailuetatik zeini eskatzen

ari zaion jakiteko. Komunikazioa ahalbidetzeko gailuek zein arduinoko pinek protokolo bera erabili behar dute, I2C protokoloa.

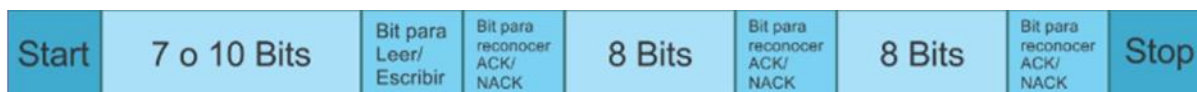
3.2.2.1. I2C protokoloa

I2C protokoloak solik bi komunikazio kanal erabiltzen ditu, SDA eta SCL. Protokolo honen bitartez hainbat maisu eta morroi izan ditzakezu.

SDA (Serial Data): Maisu eta morroiak kanal hau erabiltzen dute beraien artean informazioa bidaltzeko.

SCL (Serial Clock): Erloju seinalea kanal honetatik doa.

Mezua, 28.irudian ikusten den bezala, datu paketetan bidaltzen da. Mezuak: Hasierako egoera eta geratzeko egoeraren datuak, informazioa bidaltzeko bi pakete bidaltzen ditu, irakurri eta idazteko pakete bat, ACK/NACK antzemateko hiru pakete eta helbidea hornitzen duen pakete bat bidaltzen ditu.



Irudia 28: I2C-ko protokoloaren mezua erakusten duena
Erreferentzia: [21]

Helbide paketeaz baliatuz, proiektu honetan temperatura sentsorea eta adc-ak bidaltzen duten informazioa antzematean da. Honetarako:

- 1-Maisuak komunikatu nahi duen morroiaren helbidea bidaltzen du konektatuak dauden morroi guztiei.
- 2-Morroji bakoitzak helbidea jasotzen du eta bere helbidearekin alderatzen du.
- 3-Bidalitako helbideak morroiaren helbidearekin bat etortzen bada, morroiak tentsio baxuko ACK bit bat bidaltzen dio maisuari.
- 4-Helbideak bat ez badatoz, ez da ezer egiten eta SDA kanalak tentsio altuan jarraituko du.

Prozesu hau behin eta berriro errepikatuko da informazioa jaso nahi den bakoitzero. Proiektu honetan maisua arduino izango da eta morroiak adc eta bme280 temperatura sentsorea.

3.2.3. RFM69 irratia

Egindako hezetasunaren neurketa mugikorrera bidali ahal izateko, lehendabizi informazioa "raspberr"-ra bidali behar da. Hori egiteko hainbat modu ezberdin daude, horregatik kasurako egokiena aukeratzeko teknika ezberdinen artean konparaketa bat egitea erabaki da.

Ondorengo aukerak aztertu dira:

- Wifi/802.11
- Bluetooth.
- ZigBee.
- RFM69.

Wifi-a, ia eraikin guztietan instalatuta dagoen teknologia da. Arduino munduan erabili ohi dena 802.11 n da. Beste motetakoek bezala, 2,4GHz-tan lan egiten du eta hainbat nodoren arteko konexioa ahalbideratzen du. [8] Alde txarrak, duen irismena ez dela oso handia, 250m kalean. Abiadurari dagokionez, datu asko bidali ditzake segunduro, honek kontsumo oso altua izatea eragiten du. Gainera proiektu honen kasuan ez dira datu asko bidali behar beraz, abiadura altua izatea ez da beharrezkoa.

Bigarren aukeraren irismena, Bluetooth-arena, Wifi-aren kasuan baino txikiagoa da. [9] erreferentzian azaltzen den bezala, teorikoki bluetooth basic rate-ek duen irismen maximoa 100m-koa da. Bluetooth-aren kasuan, nahiz eta 100m-ko distantzian informazioa bidali dezaken, bi dispositiboen artean interferentziak gertatzea erraza da, beraz taulan adierazita dagoen bezala 100m-ak teorikoak dira. Gainera, sistema honen bitartez bidaltzen den informazioa soilik nodo batetik bestera bidali daiteke. Beraz, transmisiorako hau erabiliko balitz ezingo liriateke hainbat dispositibo aldi berean konektatu, puntuz puntuko sarea sortzeko aukera ematen baitu soilik. Bluetooth-ak baita ere 2,4GHz-tan lan egiten du.

ZigBee-n Xbee pro hautatu da, 1,5 kilometroko irismena dauka eta hainbat nodoren konexioa ahalbideratzen du, [10] erreferentzian aurkitu daitezke datuek hauek. Alde negatiboa moduluaren prezioa da, 50€/unitateak. 2,4GHz-tan lan egiten du.

Azken aukerak, RFM69-k, hainbat nodo ezberdinen arteko konexioa ahalbidetzen du eta 868MHz-tan lan egiten du. [11] Bere irismena 500m edo hortik gorakoa da eta 10€/unitateko balioa du gutxi gora behera.

Aukeraketa egiterakoan kontuan hartu da egurrak urrutira egongo direla, kontsumoa ahalik eta baxuena izatea desiratzen dela eta ez dela informazioa bidaltzeko abiadura handirik behar, sarean hainbat nodo konektatzeko aukera eta prezioa. Hau dela eta RFM69 irratia erabiltzea erabaki da, baldintza guztiak betetzen dituelako.

3.2.4. TPS22860 etengailua

Etengailua jartzearen ideia kontsumoa murrizteko helburuarekin erlazionatuta dago. Gailu honen bitartez 4.1. atalean azaltzen den zirkuituaren elikadura kontrolatu nahi da. Aurreko atalean aipatu bezala, arduinoko sarrera/irteera pin batek kontrolatuko du etengailua hau noiz egongo den irekita eta noiz itxita, ON pinari seinalea pasatuz.

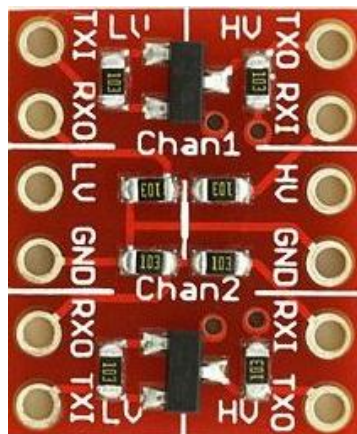


Irudia 29: Etengailua
Erreferentzia: [22]

Vin-en pilak ematen dituen 5V-ak egongo dira. Arduino bitartez etengailua istean, hau da, ON pinari tentsioa pasatzean, Vout-ek eman ahalko dizkio 5V horiek 4.1. atalean dagoen zirkuituari. Horrela, berriro ere arduino lo dagoenean zirkuitua lo egotea lortzen da, kontsumoa murriztuz eta elementuen bizi iraupena luzatuz.

3.2.5. Logic Level Converter 5-3.3V

“Logic Level Converter”-a arduino eta adc-ak elkar komunikatu ahal izateko erabiltzen da, I2C protokoloa erabiltzen da honetarako. 30.irudian ikus daiteken bezala elementu hau bi tentsioz elikatu behar da, LV (tentsio baxua) zirkuitu honen kasuan 3,3V izango dira eta HV(tentsio altua) kasu honetan 5V direnak. Tentsio altuko pinen aldean ADC1115-en komunikazio pinak konektatuko dira eta tentsio baxuko aldean aldiz arduinorenak. Elementu honek informazioaren konbertsioa egiten du elementuak uler daitezen.



Irudia 30: Logic Level Converter I2C
Erreferentzia: [23]

3.2.6. BME 280 Temperatura sentsorea

Egurraren hezetasuna neurtzeko orduan oso garrantzitsua da zein egoera eta temperaturan lehortzen ari den jakitea. Egur barriak egiteko erabiliko diren oholak

kalean lehortzen dira, beraz ez dira temperatura konstante batean lehortzen. Hori dela eta beharrezkoa da zirkuituan temperatura neurtzen duen sentsore bat egotea.

Neurketak egin behar diren bakoitzean, egurra une horretan zein temperaturatan dagoen jakiteko BME280 sentsorea sartu da zirkuituan. Elementu honek 3,3V-ko elikadura behar du eta I2C protokoloa erabiltzen du komunikaziorako, arrazoi horiengatik zirkuituan inplementzea erraza da.

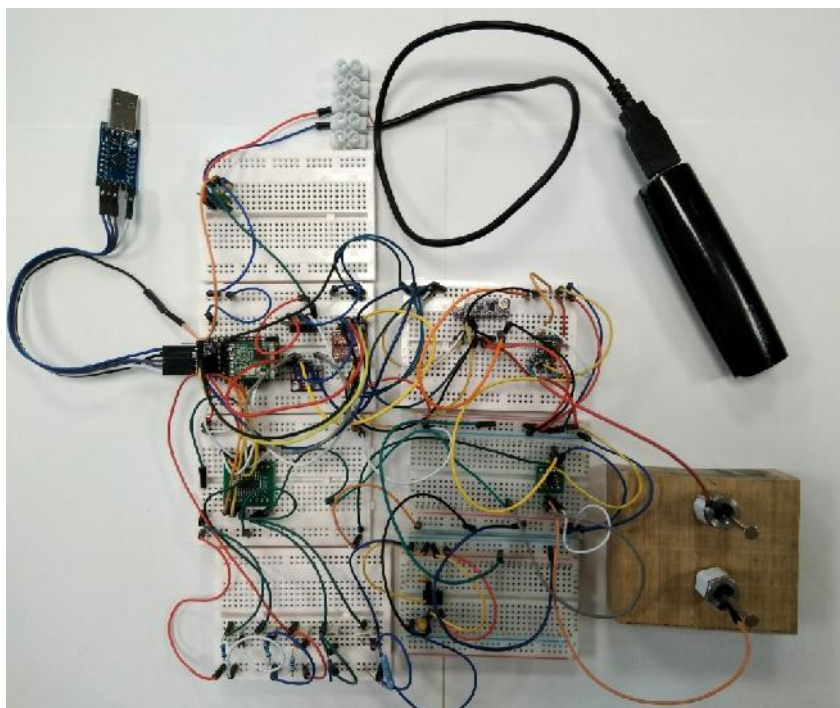
Gainera sentsoreak beste abantaila batzuk ditu. Hauek nabarmentzeko, ohikoa den beste temperatura sentsore batekin alderatuko da, DHT22.

Kontsumoari dagokionez, [12] erreferentziako 2. orrialdean agertzen den bezala, BME280-k lo dagoenean $0,1\mu\text{A}$ eta neurketa egiten ari denean gehienez $3,6\mu\text{A}$ kontsumitzen ditu. DHT22-k aldiz, neurketa egiten ari den bitartean $2,5\text{mA}$ kontsumitzen ditu [13] gainera datu batetik bestera bi segundo itxaron behar dira. Bien artean dagoen ezberdintasuna nabarmena dela ikus daiteke.

Sentsore berarekin alderatuz, funtzionamendu tartea aztertuko da. BME280-k -40C -tik $+85\text{C}$ -tara temperatura tartean lan egiten du. DHT22-k aldiz, -40C -tik $+80\text{C}$ -tara egingo du lan, neurketetan $\pm 0,5^\circ\text{C}$ -ko zehaztasuna izanik.

Temperatura sentsorea kalean egongo denez eta bi kasuetan funtzionamendu tartea antzekoa denez, hori bakarrik aztertuko balitz ez litzateke aldaketa handirik izango bi sentsoreen artean. Baina proiektu honetan kontsumo baxua izateari garrantzi handia ematen zaio, eta bi kasuen arteko diferentzia nabarmena da.

31. irudian prototipoa ikus daiteke bere osotasunean.



Irudia 31: Sentsorearen prototipoa

4. Software: Hezetasuna kalkulatzeko programa

Arduinoko programaren bitartez sentsorearen funtzionamendua kontrolatzen da. Zati elektronikoa eta arduino bata bestearekiko menpekoak dira, elektronikak arduinoren kontrola gabe ez lukelako zentzurik izango eta arduinok zati elektronikoa gabe ezin duelako ezer egin.

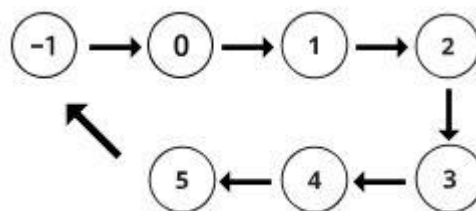
Programaren helburu nagusia hezetasunaren balioa ematea da. Hau lortzeko hainbat kalkulu egin behar ditu, 3.1.1. atalean azaldutako berrelikadura negatiboko erresistentziaren hautaketatik Samuelsonn-en formularen aplikaziok arte. Jarraian programaren funtzionamendua azalduko da, azalpenak ulertzeko argibide batzuk emango dira lehendabizi.

Programak bi neurketa garrantzitsu egingo ditu:

“Moisture measurement”: Arduino esnatzen denetik, hezetasunaren balio egokia lortu eta berriro lo geratzen den arteko prozesua.

“Moisture cycle”: Hezetasunaren neurketa bakoitza, hezetasunaren ziklo ezberdinetako neurketetan oinarritzen da. Non tentsio iturria eta OPAMP irteera, ziklo bakoitzean neurtzen diren. Ziklo honen bukaeran lortzen den tentsioaren arabera egurrean dagoen erresistentzia kalkulatu da.

Programaren funtzionamendua 32. irudiaren bitartez azalduko da. “Moisture measurement” zikloa 1etik 5arteko ibilbidea burutzean bukatzen da, hezetasunaren azken emaitza. Aldiz, “Moisture measurement” bakoitzean bost “Moisture cycle” daude, hauetako bakoitzean OPAMP irteerako tentsioa 50 aldiz neurtzen da eta elikadura tentsioa 10 aldiz.



Irudia 32: Programaren funtzionamenduaren ilustrazioa

Programak, prozesua zein puntutan dagoen jakiteko “moisture index” aldagaia erabiltzen du. Honen balioa [-1 5] tartekoa da (soilik zenbaki naturalak).

4.1. “Moisture index” aldaiaren balioen esanahia

-1: Prozesu guztia hasieratik hasteko erabiltzen da. Aurreko neurketen informazio guztia borratzen du eta OPAMP berrelikadurako RC iragazkia aldatzean ematen da. Arduino “sleep”-era doa berriro seinalearen egonkortze prozesua hasiz.

0: Egindako kalkuluetan desbideratzea 0,5 baina handiago denean ematen da. Kalkuluak berriro egingo dira, prozesua 0 posiziotik hasiz. Arduino ez doa

“sleep”-era neurketa gehiago egiten ditu seinaleari egonkortzeko denbora gehiago emateko.

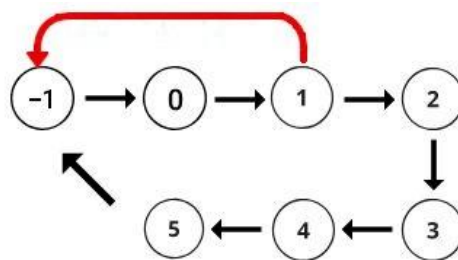
1,2,3,4 eta 5: “Moisture cycle” etapak. Aipatu bezala etapa bakoitzean OPAMP irteerako tentsioa 50 aldiz eta elikadura tentsioa 10 aldiz neurtzen dira.

Beraz hezetasunaren kalkulua, “Moisture measurement”, egiten den heinean hiru egoera ezberdinen aurrean aurki daiteke programa:

Lehenengoa 32.irudian adierazitakoa. Prozesuan erresistentzia aldaketarik egon ez denean eta kalkulu guztiak hasiera batetik ondo joan direnean.

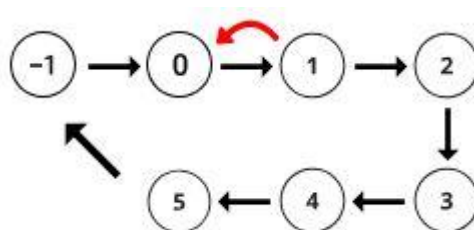
Bigarren kasua prozesuaren puntu batean berrelikadura negatiboko erresistentzia aldatzeko beharra egon bada, “moisture index”=-1, emango da. Kasu honetan prozesu guztia hasieratik hasiko da.

Adibidez 33.irudian lehenengo neurketak egiten ari zenean “moisture cycle”-en balioaren aldaketa ematen dela ikusten da prozesua hasieratuz, hau edozein etapatan gerta daiteke.



Irudia 33: Prozesuan “moisture index” = -1

Hirugarren kasua kalkuluen desbideratzea oso altua denean gertatzen da. Kasu honetan prozesua ez da hasieratik hasten, baina kalkuluak berriro egin ahal izateko 0 posiziora itzuli beharra dago. 34.irudian ikusten den adibidean kalkuluen desbideratze altua lehenengo etapen gertatzen da, “moisture cycle”-n balioa 0ra aldatuz kalkuluak berriro egin ahal izateko. Beste etaparen batean gertatuko balitz, adibidez bigarrenean, zero ondorengo etapa guztiak errepikatu beharko dira baita ere.



Irudia 34: Prozesuan “moisture index” = 0

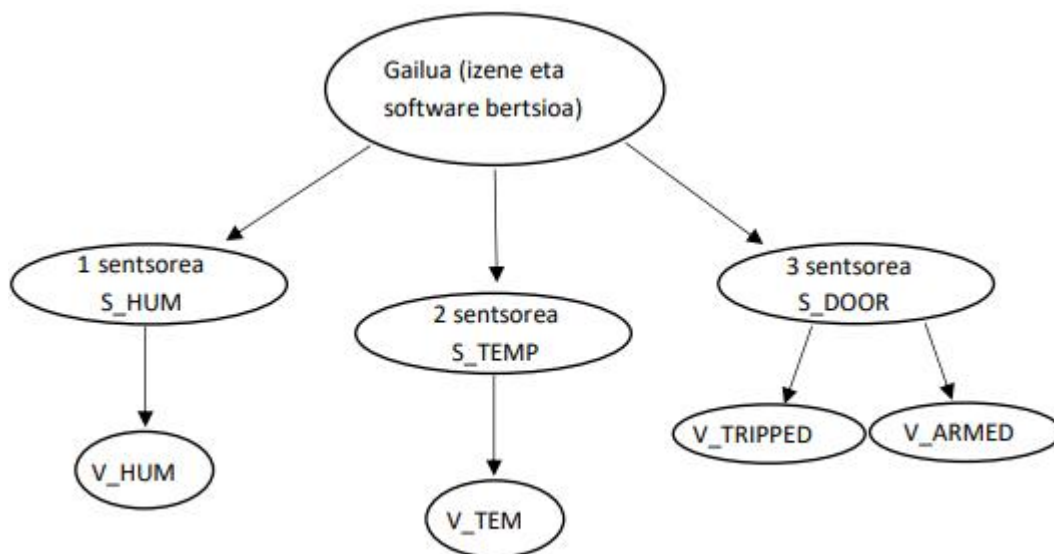
“Moisture measurement” zikloa burutzean, “Moisture cycle” bakoitzean kalkulatu den erresistentzien balioekin sortutako bost posizioeko bektore bat egongo da. Samuelsson-en ekuazioa erabiliz, erresistentzia bakoitzak zein hezetasun portzentaje adierazten duen kalkulatu da. Bukatzeko “QuickStats” liburutegia

erabiliz, erresistentzia zein hezetasunaren bost balio horien batz bestekoa balioa kalkulatu da, honela azken balioa emanez

5. Software: Raspberry-arekin komunikazioa

3.2.3. atalen azaldutako irratiarekin datuak bidali ahal izateko mezuaren egitura definitzen duen protokolo bat behar da. Irrati mota hau bateragarria da MySensor liburutegiarekin, horregatik MySensor-ek definitzen duen protokoloa erabiltzea erabaki da.

MySensor protokoloan gailu bat definitzean ondorengo jerarkia jarraitzen da:



Irudia 35: MySensor protokoloaren gerarkiaren ilustrazioa

Lehendabizi, erabiliko den gailuari izen bat ezartzen zaio eta zein software bertsio erabiliko duen definitzen da. Gailu honek hainbat sentsoe ezberdin izan ditzake. Sentsoe hauek MySensor liburutegian definiturik daude, 35.irudian hiru mota ezberdinen adibidea jarri da. Sentsoe mota bakoitza aldagai mota batzuek osatuta egon daiteke, [14].

Protokolo hau Arduinoko "sketch"-ean erabili ahal izateko MySensor liburutegia instalatzen da. Behin liburutegia instalatuta dagoela ondorengo pausoak jarraitu behar dira mezuak bidali ahal izateko:

- Liburutegia gehitu "sketch"-ean, honetarako `#include <MySensors.h>` idatzi.
- Gailuak erabiltzen dituen sentsoeen arabera, bidali behar diren aldagaiak MyMessage erabiliz definitzen dira sintaxi hau jarraituz: `MyMessage izena(identifikatzailea, aldagaia)`. Adibidez, `MyMessage msg(0, V_HUM)`. Kasu honetan, 0 identifikatzailea da, aldagai bakoitzerako bakarrik erabiltzen da bestela datuak zapaltzeko aukera egon daitekelako. V_HUM-ek bidaliko den datu mota definituko du.
- "Presentation" funtziora sartu baina lehenago definitu nahi diren aldagaiak "before" funtzioan definitu behar dira, `void before() {}`.

- "Presentation" funtzioan erabiliko den gailua eta honek behar dituen sentsoreen aurkezpena egiten da. Funtzioak ondorengo egitura du:

```
void presentation() {  
sendSketchInfo("gailuaren izena", "software bertsioa")  
present(identifikatzailea, sentsore mota); }
```

Present definitzerakoan erabiltzen den identifikatzailea, MyMessage definitzerakoan erabiltzen denaren berdina izan behar da.

Proiektu honen kasuan honela definitu da "presentation" funtzioa:

```
void presentation() {  
sendSketchInfo("WoodSmart", "1.0")  
present(0, S_HUM);  
}
```

- Aurreko definizioak eginak daudenean, mezuak bidali daitezke. Hauek ondoren dauden bezala idatzi behar dira:

send(izena.set(bidali nahi den datua, 0/1)); → 0/1 bitartez mezua bidaltzean, iritsi den konprobatzea nahi den hala ez erabakitzen da. 1 hautatuz konprobatu egingo da, aldiz, 0 hautatzen bada ez.

Proiektu honen kasuan honela definitu da bidali nahi den mezua:

```
send(msg.set(final_moisture_value, 1));
```

6. Kontsumoa

Aurreko ataletan aipatu den moduan proiektu honetan kontsumo murrizteari garrantzia handia eman zaio, zirkuituak ahalik eta gutxien kontsumitzea lortzen bada produktuaren iraupena luzatzen delako. Hori lortzeko zenbait erabaki hartu dira:

Elikadura iturria 5V.

Ahal den elektronikak 3,3V-ko elikadura izatea, ondorioz sentsorea bi zatitan banatzea erabaki da.

Etengailu bat sartzea, honen bitartez arduinok zati analogikoa noiz elikatu erabakitzeko.

Produktu honen bateriak gutxienez bi urtekoa iraupena izan behar duela erabaki zen hasieran, egur oholak lehortzen bi urte uzten direlako. Ondorioz, bateriak ez baluke denbora hau iraungo prozesuaren puntu batean sentsoreak funtzionatzeari utzi eta hezetasunaren neurketak bat-batean geratuko lirarteke, prozesua geratzea ekarriz.

Sentsorearen kontsumoa kalkulatzeko neurgailua elikadura iturria eta zirkuituaren artean jarriko da 36.irudian ikus daitekeen bezala.



Irudia 36: Kontsumoaren kalkulurako konexioa

Modu honetan arduinoren kontsumoa bera bakarrik piztuta dagoenean eta zirkuituaren kontsumoa kalkulatuko dira.

	ON	OFF/SLEEP
Arduinoren kontsumoa (mA)	20	0,010
Elektronikaren kontsumoa (mA)	6	0,001
Arduinoren neurketa denbora (s)	20	-
Elektronikaren neurketa denbora (s)	30	-
	ON	OFF/SLEEP
Arduinoren denbora egunean (s)	40	86360
Elektronikaren denbora egunean (s)	60	86340

Taula 31:Kontsumoaren neurketak

31. taulan arduinoren eta elektronikaren kontsumoa ikusten da piztuta zein itzalita daudenean. Gainera bakoitzaren neurketa egiteko kasu okerrean behar diren denborak jarri dira. Azkenik, egunero bi neurketa egiten direnez egunean neurketak egiten zenbat segundo pasako dituen eta itzalita zenbat kalkulatu da.

31. taulan egunean zehar sentsorearen elektronikak eta arduinok kontsumitzen dutena adierazten da eta guztira dagoen kontsumoa ere erakusten da. Eguneko kontsumoa lortzeko 31. taulako arduino/elektronikaren kontsumoa egunean bider arduino/elektronikaren neurketa denbora egunean egiten da, era honetara segundo bakoitzeko kontsumoa lotzen da. Horregatik, azken emaitza hori zati 3600 egiten da 32. taulako emaitzak lortzeko.

	ON	OFF	TOTAL
Arduinoren kontsumoa egunean (mAh)	0,2222	0,2399	0,4621
Elektronikaren kontsumoa egunean (mAh)	0,1000	0,0240	0,1240
Eguneko kontsumo totala (mAh)	0,3222	0,2639	0,5861

Taula 32: Bateriaren eguneko kontsumoa

Eguneko kontsumo guztia zein den jakinda erraza da bateriaren iraupena kalkulatzeko:

$$\text{Bateriaren iraupena (egunak)} = \text{bateriaren (mAh)/eguneko kontsumo totala} = 2800/0,5861 = 4777,307. \quad (7)$$

$$\text{Bateriaren iraupena (urteak)} = 4777,307/365 = 13,0887 \quad (8)$$

Beraz, sentsoreak ez du bateriaren iraupen aldetik arazorik izango neurketak egitean. Hasiera batean jarritako helburua bete da, bateriak bi urte baina gehiago iraungo duelako.

7. Neurketak

Diseinatutako prototipoak neurketak ondo egiten dituela egiaztatzeko hainbat froga egin dira. Froga hauetan WoodSmart sentsorearekin egindako neurketak, ondorengo gailuek egindakoeekin alderatu dira: C.A.5260 Multimeter, ISO-TECH IDM99 eta Humimeter BL2.

7.1. Neurketak kalibratuta dauden erresistentziekin

4. atalean azaltzen den bezala lehendabizi erresistentzia kalkulatu da eta ondoren Samuelsson-en erregresioaren ekuazioa erabiliz une horretan hezetasunaren balio zein den jakin daiteke. Horregatik lehenengo neurketak, jada neurtuta dauden erresistentziekin egitea erabaki da, honela egurra baina kontrolatuagoa dagoen eremuan sentsorearen portaera aztertuko da.

Neurketa honetan, emaitzak C.A. Multimeter eta ISO-TECH IDM99 gailuekin alderatuko dira. Erabilitako erresistentzia kalibratuak: 10K, 90K, 200K, 1M, 10M, 33M, 50M, 100M, 1G eta 10G hauexek dira.

Kalibratutako erresistentzia ()	WoodSmart sentsorea ()	WoodSmart sentsorearen desbideratzea (%)	C.A.5260 Multimeter ()	ISO-TECH IDM99 ()
10K	119,1±0,000132 K	0,1	10,4K	10,5K
90K	118,8±0,0002153 K	0,2	90,8K	90,9K
200K	199,9±0,0001889 K	0,1	202,98K	200,089K
1M	1,0086±0,0003015 M	0,03	1,1M	1,002M
10M	10,3144±0,02474M	0,24	10,16M	10,09M
33M	33,2404±0,04886 M	0,15	-	32,8M
50M	50,9511±0,04075M	0,08	-	-
100M	107,5013±0,20423M	0,19	-	-
1G	1050,0953±1,0499 M	0,1	-	-
10G	10246,4804±20,50 M	0,2	-	-

Taula 33: Gailuen eta kalibratutako erresistentzien alderaketa

33. taulan prototipoaren neurketak eta bere desbideratzea ikus daitezke, sentsoreak neurtutako balioaren eta desbideratzearen arteko batura eginez kalibratutako erresistentziaren balioa gutxi gora behera ateratzen da. WoodSmart sentsorearen emaitzen balioak beste gailu eta kalibratutako erresistentziekin alderatzen badira, onak direla esan daiteke. Aipatu beharra dago oso erresistentzia baxuetan prototipoak ez duela oso ondo funtzionatzen, hau erresistentzia tarte honetarako hautatutako berrelkadura negatiboko erresistentziaren ondorioz da, ez baita nahiko txikia kasu hauetarako. Horregatik 100K inguru arteko neurketak ez dira onak. Baina kontuan izanda, interesgarriak diren datuak erresistentzia altuenak direla, sentsorearen funtzionamendua ona da. Beste bi gailuek ematen duten datuekin konparaketa bat egiten bada, ikus daiteke C.A.5260 Multimeter zein ISO-

TECH IDM99 ematen dituzten balioek errore minimo bat dutela baita ere. Gainera hauek neur dezaketen erresistentzia tartea askoz ere txikiagoa da.

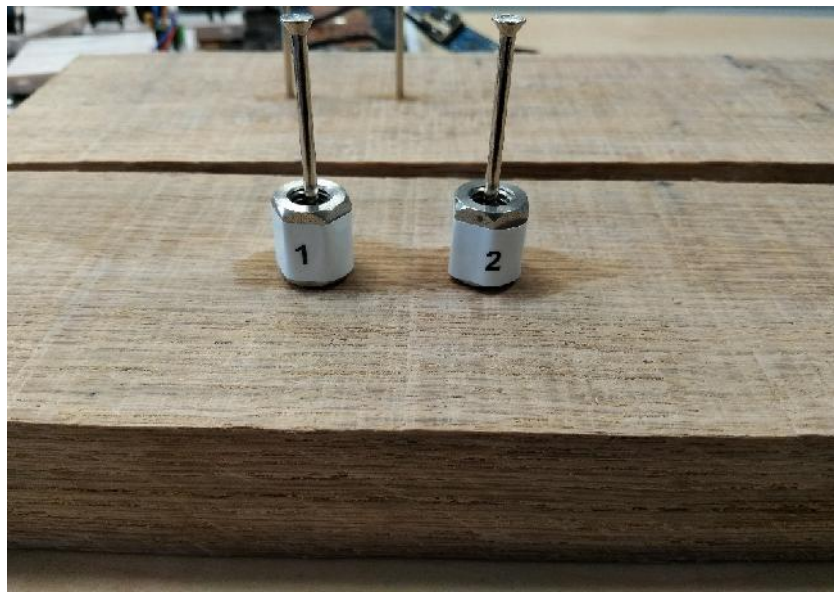
Neurketak ontzat eman direnez, hurrengo pausoa egurreko erresistentzia neurtzen hastea da.

7.2. Neurketak egurrean

2.4.2. atalean azaltzen den bezala, neurketak egiteko hiltzeak alearekiko paraleloan sartzea erabaki da. Oso garrantzitsua da hiltzeak sartzen diren sakonera eta beraien artean mantendu behar den distantzia. Kasu honetan hezetasuna kalkulatzeko erabiltzen den formulagatik, hiltzeak 1cm-ko sakoneran sartu behar dira eta beraien artean 28,5 mm-ko distantzia egon behar du [15].

Egurra mozten denetik lehortzen den arteko prozesuaren iraupena oso luzea da, urte bete ingurukoa. Horregatik, sentsoreak hezetasunaren kalkulua balio ezberdinetan egin ahal izateko egurraren bi kasutan egin da neurketa: aurretik lehortu eta berriro busti den egurrean, eta moztu berria dagoen egurrean.

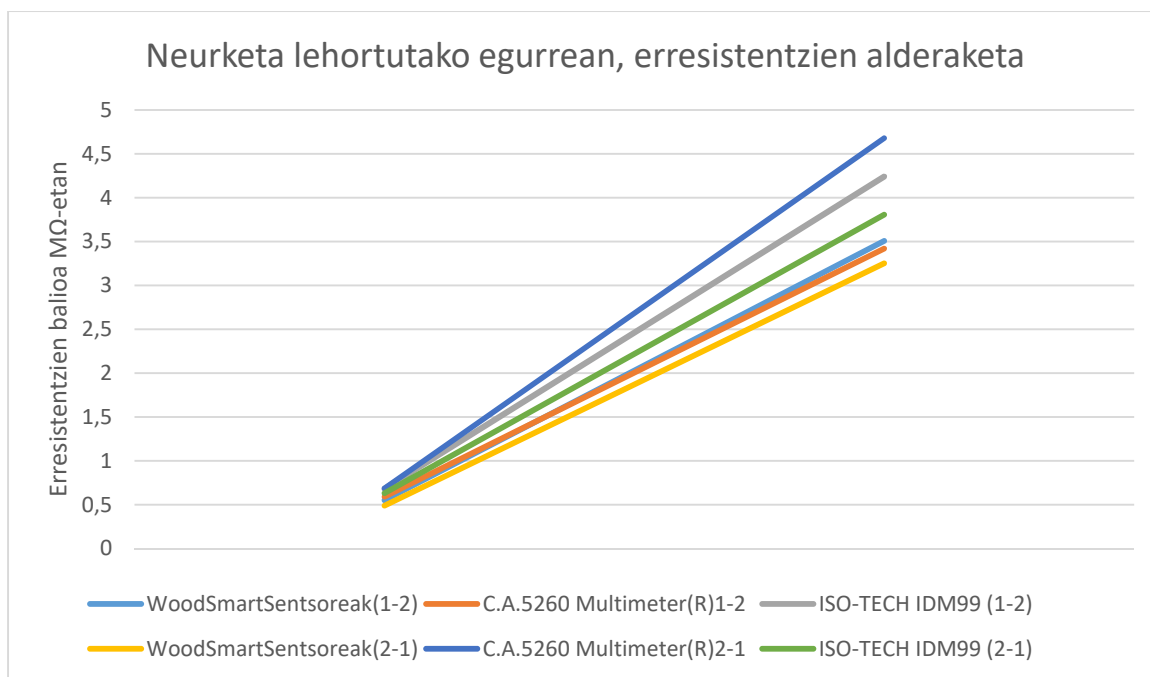
Egurraren kasuan oso garrantzitsua da gailu guztiekin egiten diren kalkuluak puntu berean egitea, izan ere erresistentzien balioa aldatu egiten da puntu batetik bestera. Gainera, egurrean neurketak egitean, erresistentziaren balioa aldatu egiten dela antzeman da 5V-ko tentsioa hiltze batean aplikatzen denean edo bestean.



Irudia 37: Neurketak egurrean

7.2.1. Aurretik lehortutako egurreko neurketak

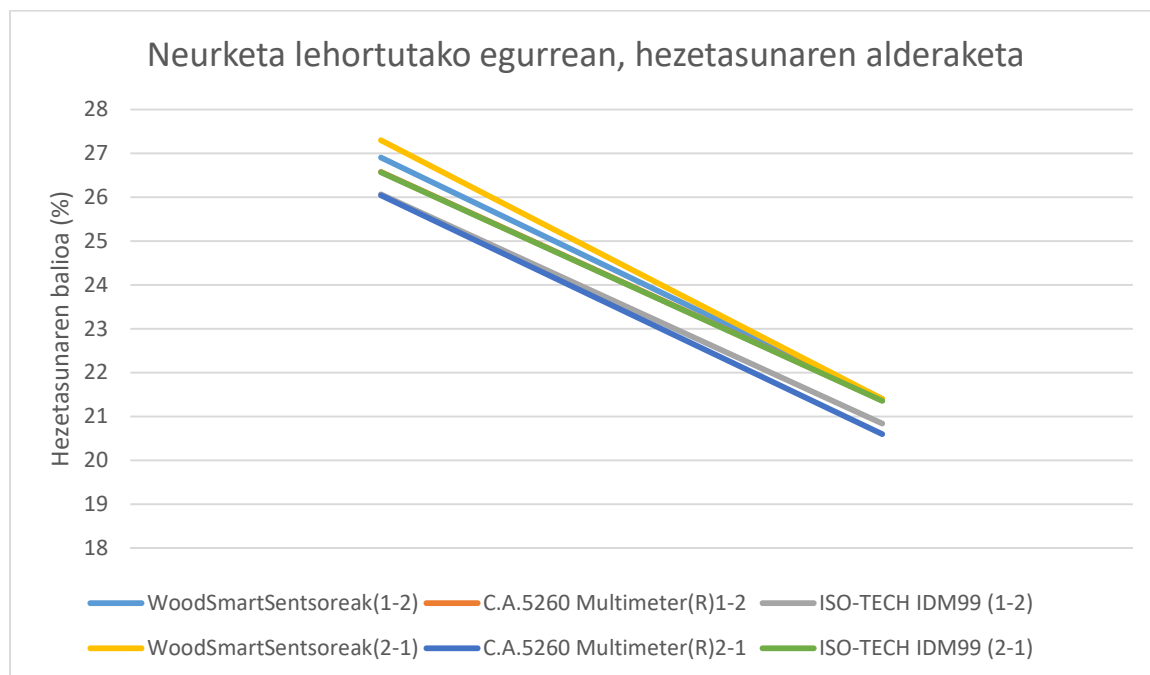
Jada lehortua zegoen egur zatia bi egunez utzi da uretan murgilduta. Lehortutako egurrean ura ez da berdin atxikitzen, horregatik, honek lehortzeko behar duen denbora txikiagoa izango da.



Grafikoa 1: Lehortutako egurreko erresistentzien balioak

Grafikoan ikus daiteke hiru sentsoreek egindako neurketak, lehendabizi tentsioa 1 deituriko hiltzean kokatuta eta ondoren 2 deituriko hiltzean jarrita. Esan bezala, egurra lehortua dagoenean, nahiz eta busti azkar lehortzen da berriro horregatik alderatzeko jaso ahal izan diren datuak gutxi izan dira, beste gailuek ezin zutelako jada tarte horretan neurtu.

Grafikoa hezetasunaren datuekin egin ezker, ondorengo emaitza ikusten da.



Grafikoa 2: Lehortutako egurreko erresistentzien balioak

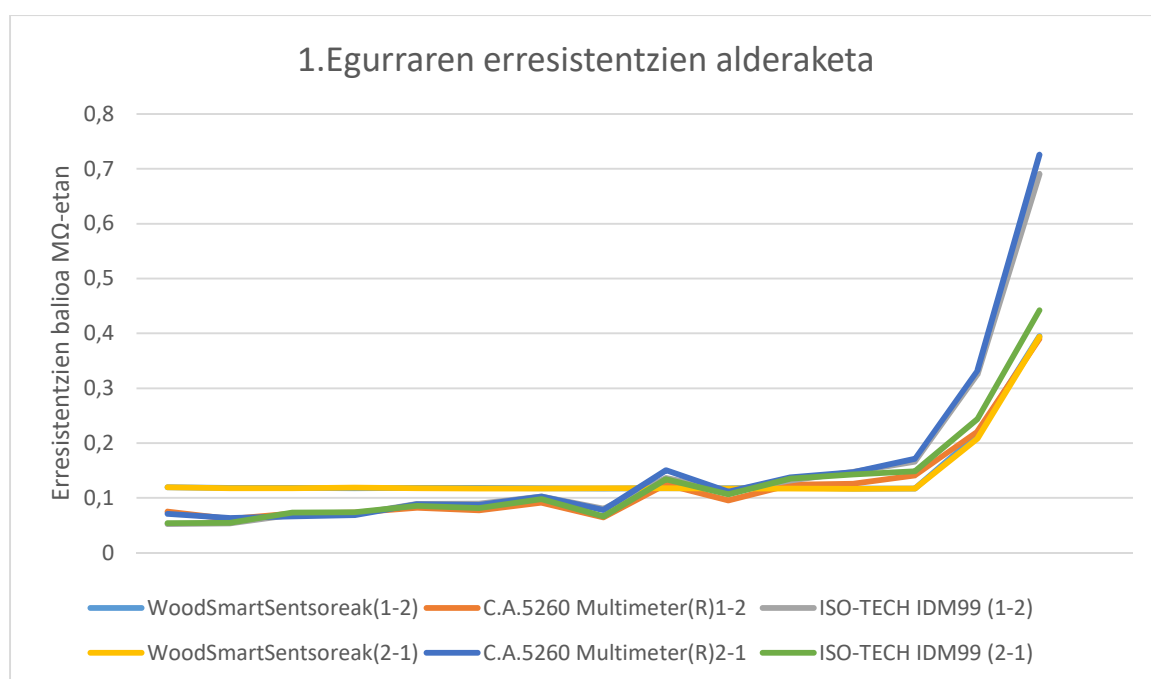
7.2.2. Moztu berria den egurreko neurketak

Esan bezala, egurraren lehorketa prozesua oso luzea da. Horregatik prozesua azkartzeko helburuarekin, egurrak galdara gelan lehortzen utzi dira soilik datu bilketarako ateraz. Bi egur aztertu dira prozesu honetan: 1.Egurra eta 2.Egurra moduan izendatu dira.

7.2.3.1. 1.Egurra

Egur xaflaren tamainak hezetasuna neurtzerako orduan eragina zuen ikusteko, prozesuaren erdialdean xafla hau moztu egin zen. Honela frogatu ahal izan zen, egur xaflaren luzerak ez duela eraginik puntu bateko hezetasuna neurtzerakoan.

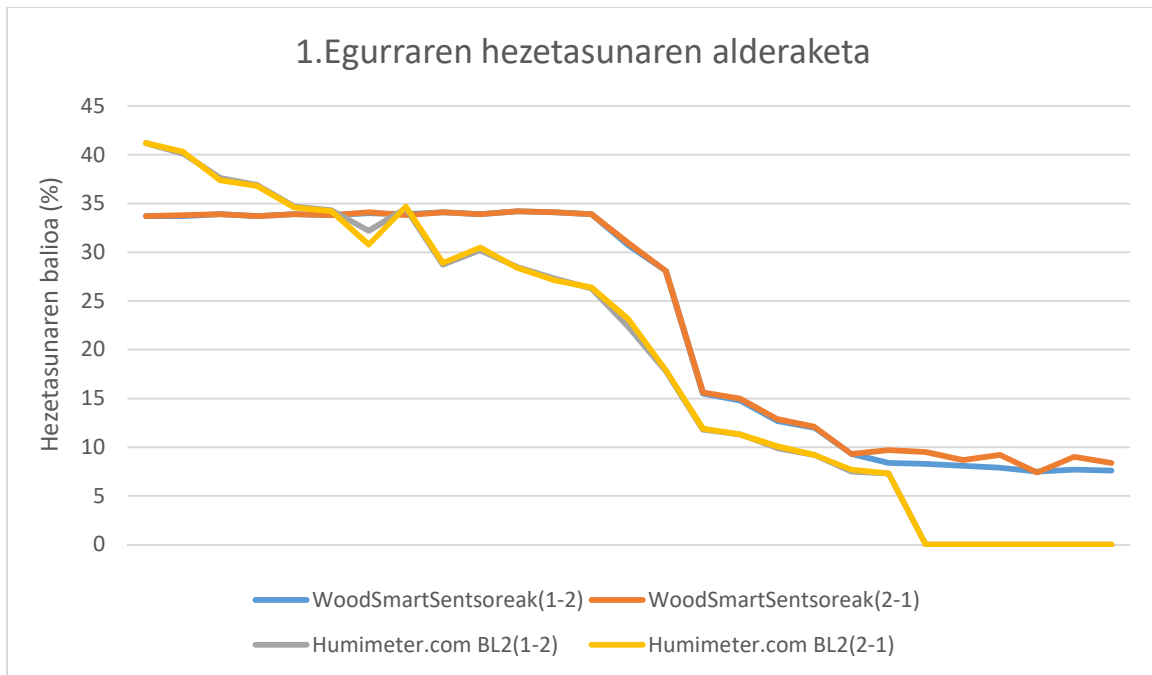
Honen ondorioz, egur zatia txikiagoa denez, puntu batetik aurrera bere lehorketa prozesua azkartu egiten dela antzemango da.



Grafikoa 3: 1.egurreko erresistentzien balioak

Grafikoan ikus daiteke, denbora luzez erresistentzien balioaren aldaketa ea nulua dela. Egur xafla mozterakoan lehorketa prozesua asko azkartzen da, bat batean balioa asko handitzen delako jakin daiteke hori.

Hezetasunari dagokionez azterketa luzeagoa egin ahal izan da, BL2 hezetasun neurgailuari esker. Hala ere, BL2-k ez ditu gure sentsorearen egoera berdinean neurketak egiten, horregatik ezingo dira zuzenean balioak alderatu. Hau horrela izan arren hezetasunaren portzentajearen aldaketa ikus daiteke.



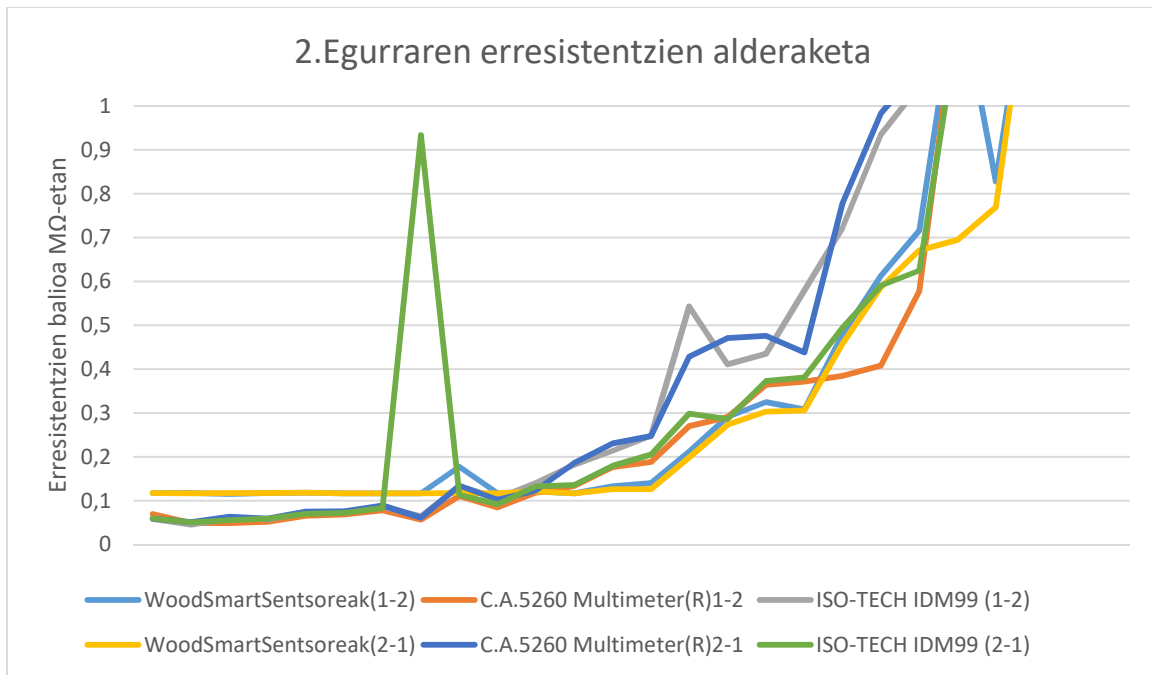
Grafikoa 4: 1.egurreko hezetasunaren balioak

Grafiko honetan, Humimeter BL2 eta WoodSmart sentsorearen hezetasunaren neurketen alderaketa ikus daiteke. Grafiko hau aztertzeo orduan kontutan izan behar da, WoodSmart-ek erabiltzen duen erregresioaren ekuazioaren ondorioz hezetasuna %35-%7 tartean neurtu dezakela soilik eta grafiko honetan bi gailuen kurben analisia egin behar dela.

Bi sentsoreek egiten dituzten neurketen balioen kurbak erdialde arte ez dute erlazio handiegirik, baina hortik aurrera kurben antzekotasuna bereiz daiteke maldaren eta amaierako egonkortzea begiratzen bada. Kontuan izan behar da, neurketa egoerak eta hezetasunaren balioa lortzeko erabiltzen den ekuazioa ez dela berdina bi kasuetan.

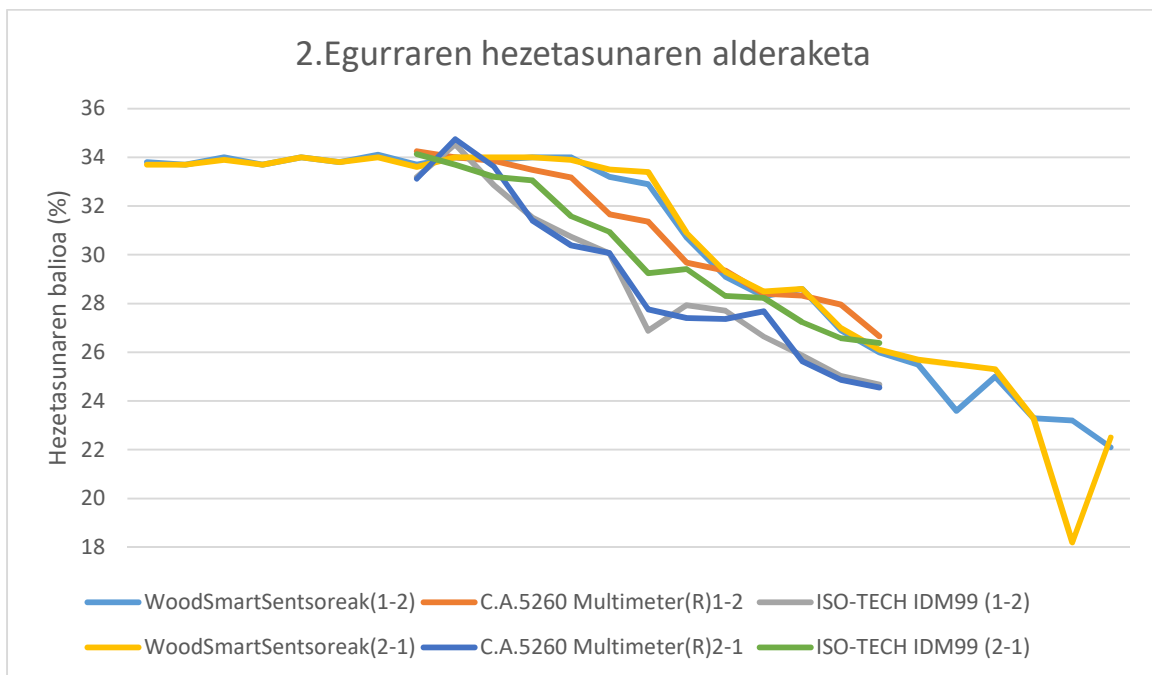
7.2.3.2. 2.Egurra

2.egur zatiari ez zaio aldaketarik egin, soilik bere lehortze prozesua azkartzeko 1.egur zatia bezala, galdara gelan sartu da. Ondorengo grafikoetan gailuek neurtutako erresistentzien eta hezetasunaren arteko konparazioak ikusi ahalko dira.



Grafikoa 5: 2. egurreko erresistentzien balioak

Erresistentziaren balioei begiratu lehorte prozesua oso mantsoa dela bistarazten da. Tentsioa 1.hiltzean aplikatzen deneko neurketek beraien arteko antza dutela ikus daiteke eta 2.hiltzean aplikatzen denekoek beraien artean antza gehiago dutela baita ere. ISO-TECH IDM99(2-1) gailuaren neurketetan piko bat ikusten da, baina kasu hori kenduta erresistentzien neurketek beraien artean antza daukatela ikus daiteke.



Grafikoa 6: 2.egurreko hezetasunaren balioak

Hezetasunaren balioei dagokienez, C.A.5260 Multimeter eta ISO-TECH IDM99 gailuen neurketen balio gutxiago ikus daitezke daukaten neurketa tarteagatik. Gailu guztien balioak ikus daitezkeen tartean, nahiz eta balio berak ez izan denek antzeko patroia bat jarraitzen dutela ikusten da, joera bat dagoela. Azkenenean, hemen lortzen diren kurben balioak gailu bakoitzak neurtutako erresistentzien balioetan oinarritzen dira, eta hauen artean ezberdintasuna egotea normalizat jo daiteke, ez direlako prezisio oso altuko gailuak.

Analisi hau egin ondoren, sentsoreak ematen dituen datuak baliozkotzat eman dira. Prozesuarekin aurrera jarraitzeko, prototipoko zirkuitua pcb-an diseinatu nahi da. Hurrengo atalean pauso hau nola egin den azalduko da.

8. PCB-en diseinua

Proiektuan aurrera jarraitzeko plaketan sortutako prototipoa "pcb" moduan jarri nahi da, "pcb-a" elementu elektronikoak eutsi eta konektatzen dituen plaka edo azalera bat da. "Pcb-ak" bi edo geruza gehiagotan banatuta daude, zirkuituak bero eta presio bidez laminatzen dira, honela unitate trinko bat sortuz. Kapak dielektrikoki isolatuta daude eta normalean modu bat edo gehiago erabiliz beraien artean konektatzen dira.

Inprimatutako zirkuituen plaken abantaila nabarmenena gailu elektroniko eta elementuen arteko loturaren pisu eta bolumen murrizketa ikaragarria da. Honela, sortutako sentsoreak beteko duen lekua askoz txikiagoa izango da, gainera ez da hain pisutsua izango. Horrez gain, beste hainbat abantaila ditu esaterako; elementu elektronikoek sor dezaketen zarata murrizten da, elementuak zirkuituari soldatuak doazenez mugimenduaren aurrean immunitatea daukate e.a.

"Pcb-ak" izango duen erabileraren arabera kapen kopurua erabakitzen da. Gaur egun, ohikoena bi kapa edo gehiago izatea da horrela, tamaina asko txikitzen delako. Geroz eta kapa gehiago, geroz eta garestiagoak dira; adibidez lau kapa dituzten "pcb-ak" soilik zirkuitu konplexuetarako erabiltzen dira. Sentsore honentzako, bi kapako "pcb" bat sortuko da zirkuituaren konplexutasuna eta "pcb-a" sortzeko erabiliko den makinagatik.

Prototipoaren diseinua jarraituz, bi "pcb" ezberdin egongo dira. Bi "pcb" egitearen erabakia 3.atalean azaldu den bezala, sentsoreari eman ahal izango zaion erabilgarritasunean datza.

8.1. KICAD

"Pcb-a" diseinatzeko KiCad programa erabiliko da. KiCad diagrama elektroniko eta inprimatutako zirkuituen diseinurako "open-source" softwarea duen tresna bat da. KiCad-ek hurrengo software tresna multzoa du:

- KiCad : Proiektuaren gestorea.
- Eeschema : Eskema eta elementuen editorea.
- CvPcb : Aztarnen hautagailua (beti Eeschematik exekutatua).
- Pcbnew : Zirkuitu plakaren eta aztarnen editorea.
- GerbView : Gerber fitxategien bisorea.

8.1.1. Eeschema

Eeschema, zirkuitu elektronikoak diseinatzeko software indartsu bat da. Hurrengo sistema operatiboetan dago eskuragarri:

- Linux
- Apple OS X
- Windows

Eeschema aplikazio integratu bat da; marrazteko funtzio guztiak, kontrol, planoak, liburutegiko kudeaketak eta PCB-ko diseinurako softwarearen sarbidea kudeatzen diren.

Gailu hau 8.1.2. atalean azaltzen den "PcbNew"-rekin lan egiteko pentsatuta dago. Gainera "netlist" fitxategiak esportatu ditzake, konexio elektriko guztiekin, beste software batzuentzat. Horretaz gain, Eeschemak sinbolo editore bat dauka eta bertan elementuak sor eta edita ditzake, gainera liburutegiak kudeatu daitezke.

Bestalde, hurrengo funtzio gehigarriak integratzen ditu, funtzio hauek funtsezkoak dira eskema atzemate software modernoetan: Arau elektrikoaren frogapena (ERC) kontrol automatikoko konexio desegokientzat, formatu anitzetako fitxategien esportazioa (Postscript, PDF, HPGL y SVG), material zerrenden sorkuntza (Python scripts-en bitartez, konfiguratu daitezken formatuak baimentzen ditu).

8.1.2. PcbNew

Pcbnew, inprimatutako zirkuituentzako software tresna garrantzitsu bat da. Eskuragarri dago Linux, Microsoft Windows eta Apple OS X sistema operatiboentzat. PcbNew eskemak sortzen dituen Eeschema programarekin batera elkarlanean erabiltzen da, inprimatutako zirkuituen plakak sortzeko. Azterna bakoitza elementu fisikoaren marrazki bat da, bertan zirkuituan hanken antolaketa ere zehazten da. Beharrezkoak diren azternak automatikoki kargatzen dira "netlist" fitxategia irakurtzean. Aukeratutako azternean aldaketaren bat egin behar bada, aldaketa eskeman bertan egin daiteke, eta ondoren PcbNewn eguneratu, "netlist" fitxategia berriro irakurri.

PcbNew-k diseinuko arauak ziurtatzeko (DRC) tresna du, honen bitartez pista eta hanken arteko tartea ekiditu daiteke, hala nola, "netlist" edo eskema fitxategian konektatuak ez dauden nodoak konektatzea ekiditzen du. Bideratzaile elkarreragilea erabiltzen bada, honek diseinuko arauak egiaztatuko ditu eta gainera automatikoki trazatuko ditu banakako pistak. PcbNew-k, "ratnest"-a ikustea ahalbidetzen du, eskemako hankak aztarnekin konektatzen dituen arrastoa da hau.

Konexio hauek dinamikoki konektatzen dira pista eta aztarnean aldaketak egiten diren heinean. PcbNew-k bideratzaile(enrutador) automatiko bat dauka, nahiz eta sinplea izan eraginkorra da eta plakaren sorreran lagundu dezake.

Behin plakaren diseinua eginda dagoenean bi aukera daude: plaka eskuz egitea edo plaka CNC bitartez egitea. Proiektu hau CNC bitartez egingo da, honetarako gerber artxiboak sortzen dira Plot (HPGL, PostScript, or GERBET format) erabiliz. Hurrengo ataletan "pcb-en" diseinua azalduko da.

8.2. Woodsmart Sentsorearen PCB-aren diseinua

8.2.1. Woodsmart Eeschema

Lehendabizi "pcb-aren" diseinua egingo da. 8.1.1. azaldu bezala eskeman osagai baten pin deskribapena (pin kopurua eta pin bakoitzaren esanahia: VCC, GND, A0, A1,...) eta beraien arteko konexioak definitzen dira.

Elementuak bi taldetan banatuko dira: Schematik library editor bitartez sortutako elementuak eta zuzenean liburutegietatik hartutakoak.

Liburutegietatik hartutakoak:

Erresistentziak: zazpi R (Resistor).

Kapazitateak: Bost C (Unpolarized capacitor) eta bi CP (Polarized capacitor).

Terminalak: Screw_Terminal_1x09.

Opa 2333 operazionala: Opa2333xxD.

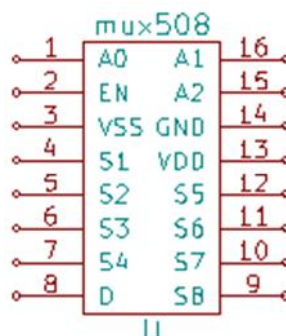
Schematik library editor bitartez sortutako elementuak:

ADC1115:



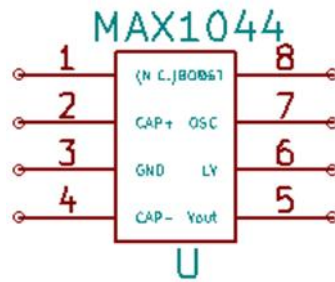
Irudia 38: Schematik library editor erabiliz diseinatutako ADC1115

Mux508:



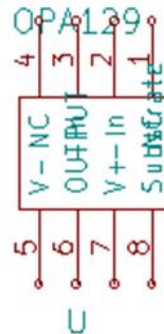
Irudia 39: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Mux508

Max1044:



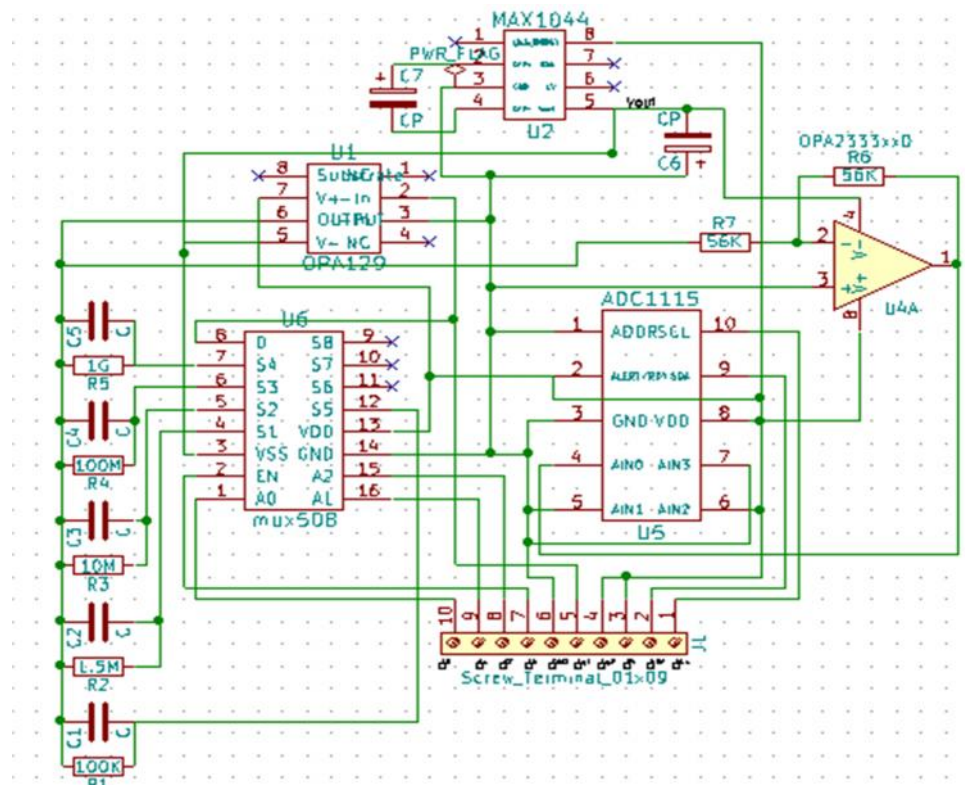
Irudia 40: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Max1044

Opa129:



Irudia 41: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Opa129

Behar diren elementu guztiak plantillan daudenean, beraien arteko konexioak egiten dira. Elementuek nahi dugun funtzioa bete dezaten konexioak zuzen egiten direla ziurtatzeko "datasheet"-ak erabiltzen dira. "Max 1044-ren" kasuan adibidez, nahi den funtzioa betetzeko bi kondentsadore gehitu behar zaizkio.




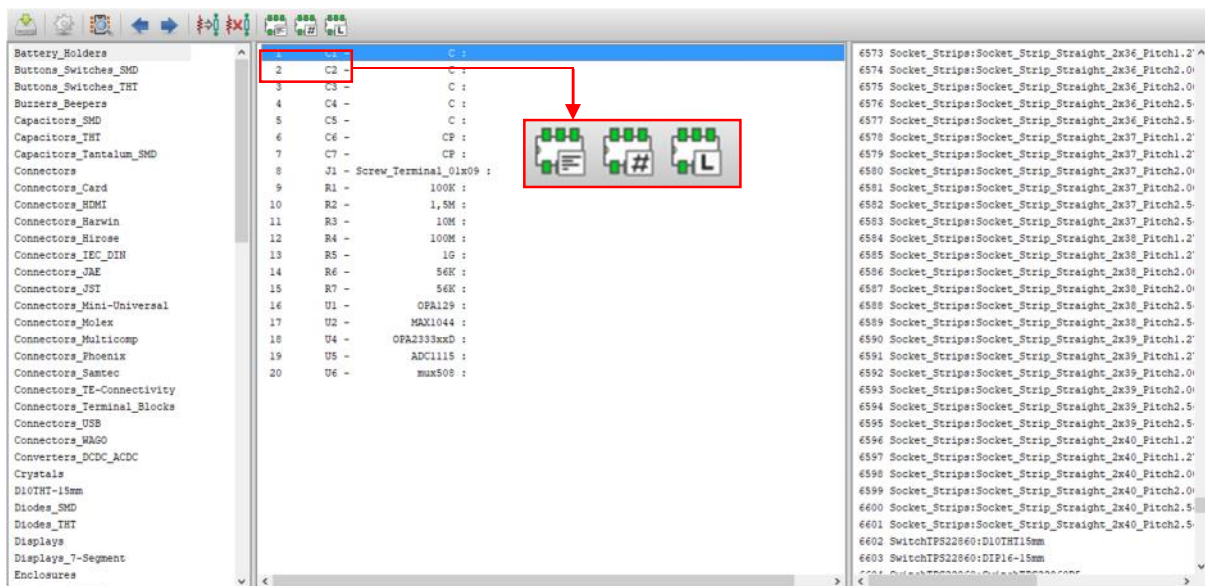
Irudia 42: WoodSmart pcb-aren diseinu elektrikoa

42.irudian jada eskema egina ikus daiteke. Kontuan hartu behar da pinen batek konexiorik ez badauka, "not conected flag", sinboloa jarri behar zaiola. Sinbolo hau x urdin baten bitartez irudikatzen da () eta eskuineko tresnetan aurki daiteke. Honetaz gain, "pwr-flag"-a tentsioa edo lurrera konektatua dauden pin-etan jartzea beharrezkoa izango da, diseinuaren funtzionamendu onerako.

8.2.2. Footprint-en esleipena

Eskema bukatzean hurrengo pausoa elementu bakoitzari bere "footprint"-a atxikitzea da. "Footprint"-a osagai baten deskribapen fisikoa da: biltzen duen paketea, forma, neurriak, pin-en arteko distantzia e.a.

"Footprint"-ak elementuei atxikitzeko, Eeskheema barruan "run Cvpccb to associate components and footprints" . Hor klikatu eta leiho berri bat irekitzen da, bertan eskeman dauden osagai guztiak agertuko dira.



Irudia 43:WoodSmart pcb-ko footprintak

43.irudi erdian eskemako elementua ikus daitezke eta ezkerreko kasilan "footprint"-ak. Goiko erreminta barran hiru laguntzaile ditugu "footprint" egokia aukeratzeko. Ezkerrekoak gako-hitz bitartez "footprint"-ak filtratuko ditu, erdikoak pinen kopuruen bitartez eta eskuinekoak liburutegi bitartez.

Elementuekin bezala aztarnak bi multzotan banatu daitezke, liburutegitik zuzenean hartutakoak eta pcb "footprint editor" bitartez egindakoak.

Liburutegietatik hartutakoak:

Polarizatu gabeko kapazitateentzat:

Capacitos_THT:C_Rect_L7.0mm_W2.5mm_P5.0mm.

Polarizatutako kapazitateentzat:

Capacitor_THT:CP_Radial_D5.0mm_P2.50mm.

Terminalarentzat:

TerminalBlocks_Phoenix:TerminalBlock_Phoenix_MPT-2.54mm_10pol.

100K erresistentziarentzat:

Resistors_THT:R_Axial_DIN0309_L9.0mm_D3.2mm_P2.54mm.

1G erresistentziarentzat:

Resistors_THT:R_Axial_DIN0516_L15.5mm_D5.0mm_P20.32mm.

Beste erresistentziarentzat:

R_Axial_DIN0309_L9.0mm_D3.2mm_P12.7mm.

OPA129 eta OPA2333xxD:

Housings_SOIC:SOIC8_3.9x4.9mm_Pitch1.27mm

MAX1044: Housings_DIP:DIP-8_W7.62mm.

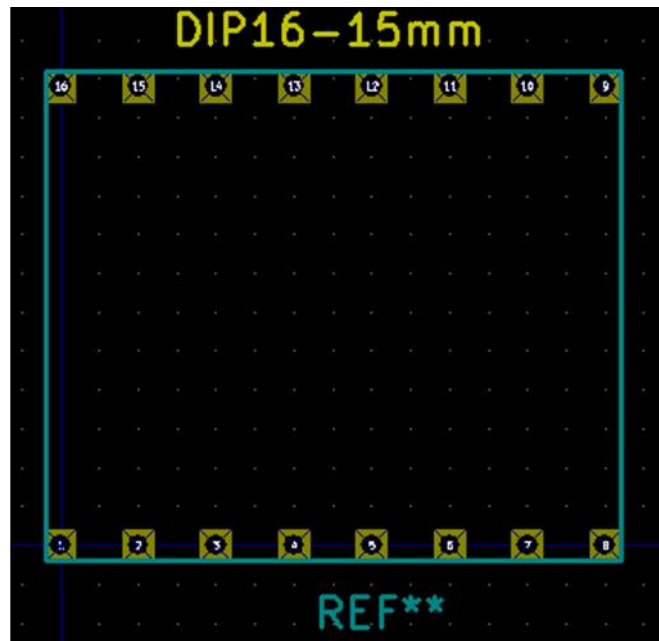
Schematik library editor bitartez sortutako elementuak:

ADC1115: THTDIP10Linean.



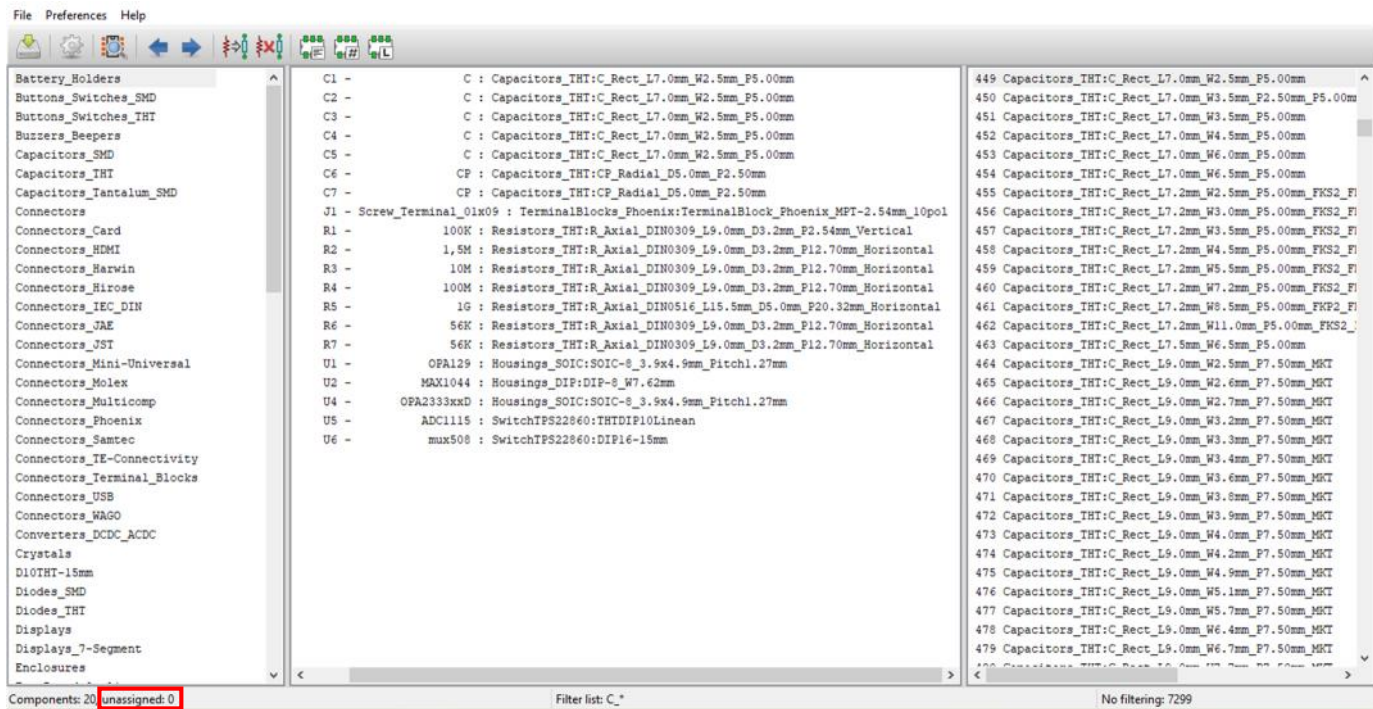
Irudia 44: Schematik library editor erabiliz diseinatutako ADC1115-en "footprint"-a

Mux508:DIP16-15mm.



Irudia 45: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Mux508-ren "footprint"-a


"Footprint"-a elementuarekin erlazionatzeko, erdiko zutabeko elementu bat hautatu eta ondoren, ezkerrean dagoen "footprint" bat klikatu behar da. Elementu guztiak erlazionatuak daudenean 46.irudiko itsura izango du. Argazkiko lauki gorrian ikusten den bezalaxe "unassignant" zenbakiak 0 izan behar du.

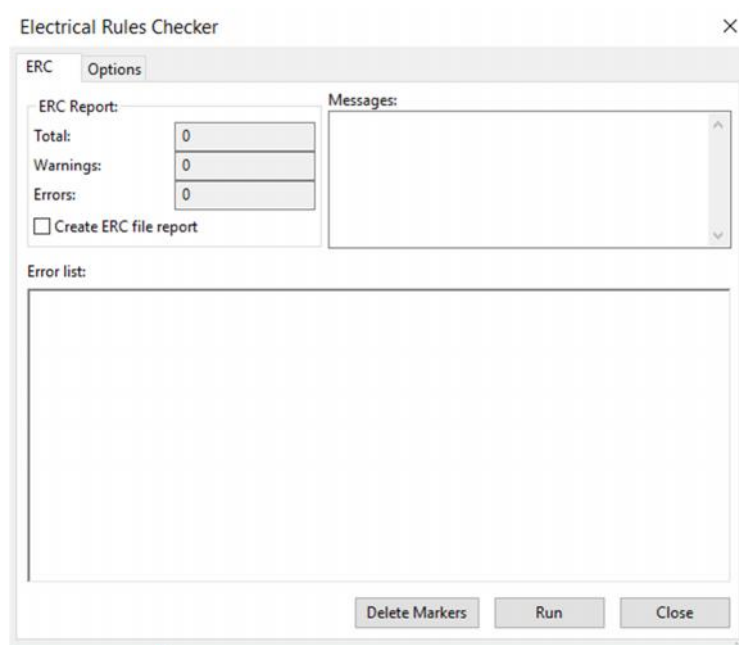


Irudia 46: "Footprint"-en eta elementuen erlazioa WoodSmart plakan

8.2.3. Arau elektrikoien egiaztapena

PcbNew-ra pasa aurretik arau elektriko guztiak ondo daudela egiaztatu behar da.


KiCad-ek hau egiaztatzeko tresna bat du. "Perform electrical rules check"  klikatu eta 47.irudian ikusten den leihoa irekiko da.

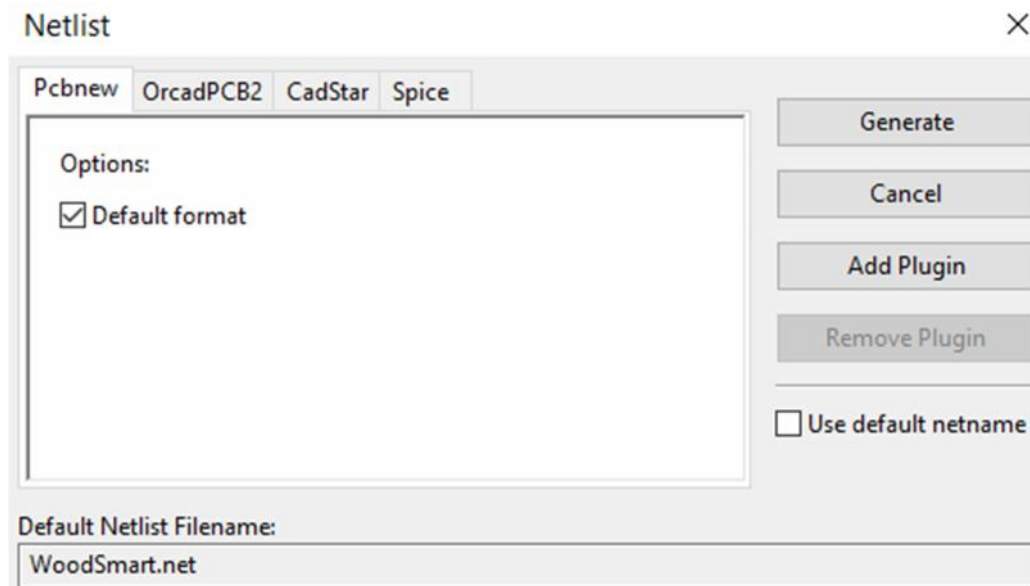


Irudia 47:Arau elektrikoien egiaztapena WoodSmart plaka

"Run" eman eta egiaztatu egiten du. Aurrera jarraitzeko "warnings" eta "errors"-ek 0 izan behar dute.

8.2.4. Netlista sortu

Netlist-a, ondoren pcbnew-n erabili behar den fitxategia da. Eeschemaren orrialdera itzultzean "generate netlist" jartzen duen ikur batean klikatu  eta ondorengo orrialdea zabalduko da.





Irudia 48: Netlist-aren sorrera WoodSmart

Bertan ikusten den "generate" aukera klikatu eta zuzenean fitxategia sortzen da.

8.2.5. Woodsmart PcbNew

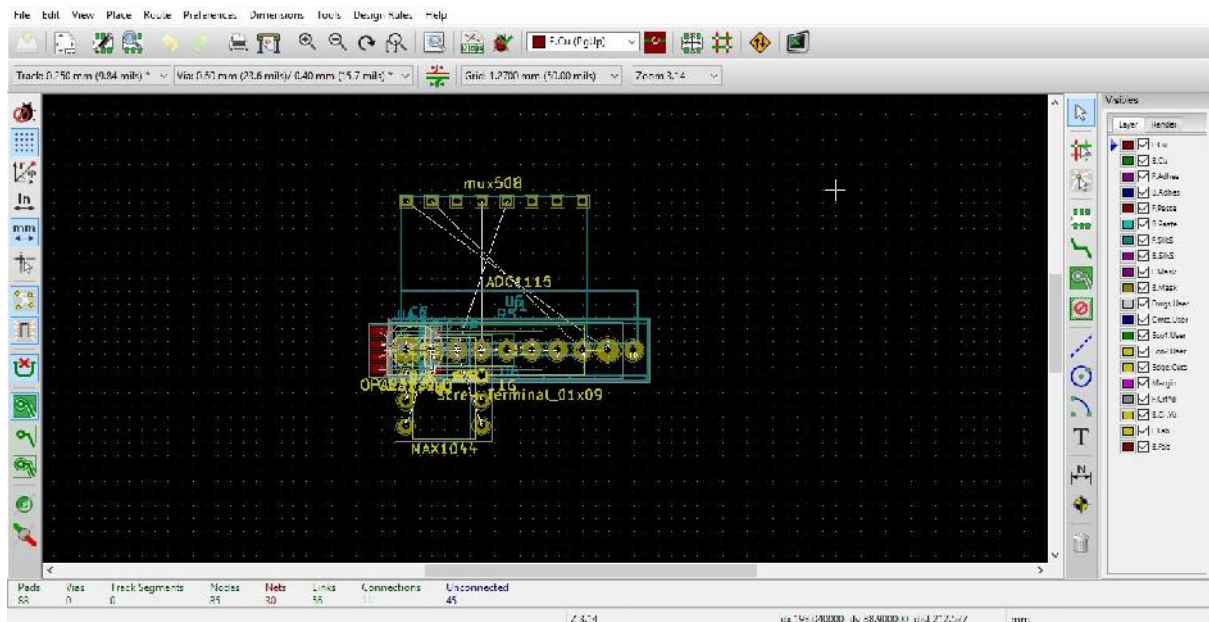
Eskemaren diseinua amaituta dagoenean eta elementu bakoitzak bere azterna atxikituta duenean, hurrengo pausoa PcbNew-n diseinua egitea da.

Orrialdea irekitzean parametro batzuk definitu beharko dira. Orrialdearen doikuntzan  paperaren tamaina, A4, eta informazioa idatzi behar da (izenburua, egilea...). Nahiz eta pauso hau aurrerago egin daiteken ideia ona lizateke hasieratik pisten zabalera eta distantzia zehaztea. Orokorrean pisten distantzia 0.25mm-koa eta zabalera minimoa 0.25mm-koa izaten da. Hau diseinuaren arauetan jasotzen da, neurriak mm-tan edo inch-etan idatzi daitezke.

Jarraian, aurretik sortutako netlist fitxategia inportatu behar da.  klik egin eta irekitzen den lehion "Netlist fitxategiak aztertu" sakatu. Bertan aurretik egindako fitxategia agertuko zaigu, hori hautatu eta onartu. Leioa itxi eta elementu guztiak agertu beharko lirateke.

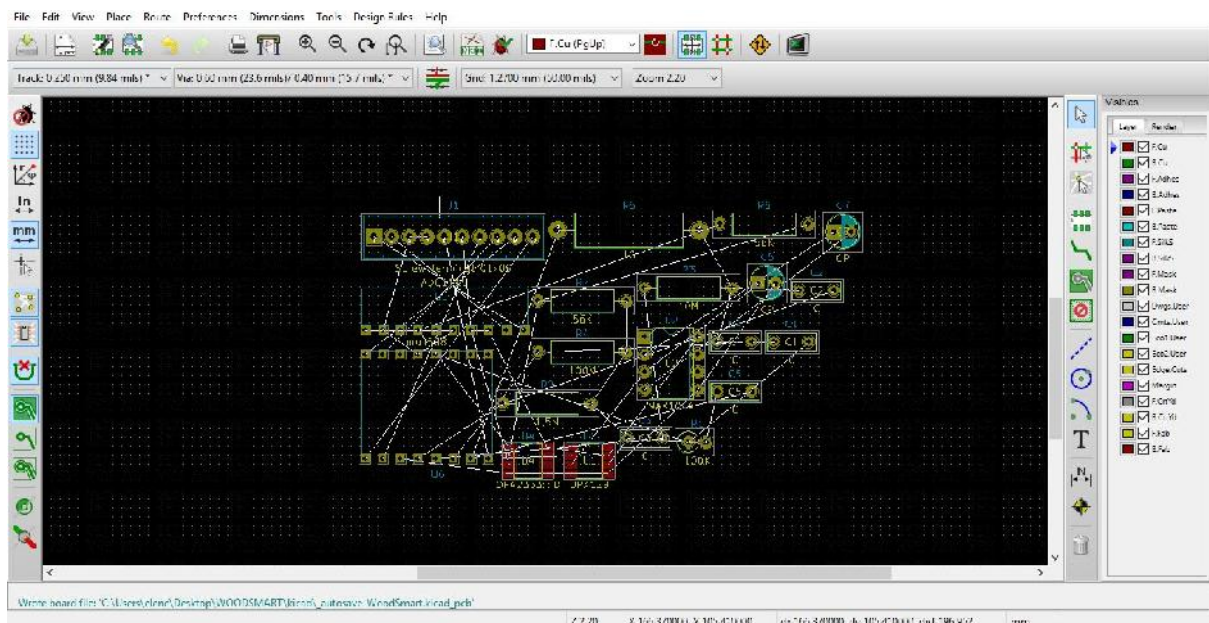
Elementuak "ratnest" deitutako hari mehe batez konektatuak daude, hari hau ikusteko "ratnest ezkutatu" botoiak sakatuta egon behar du. Modu honetan elementuak elkartzen dituen "ratnest"-a ikusi ahalko da, izan ere, erremintak

alderantzizko funtzioa dauka; botoia sakatuta dagoenean haria ikusten da eta ez badago sakatuta ez da irudia ikusten.



Irudia 49: WoodSmart PcbNew 1.pausoa

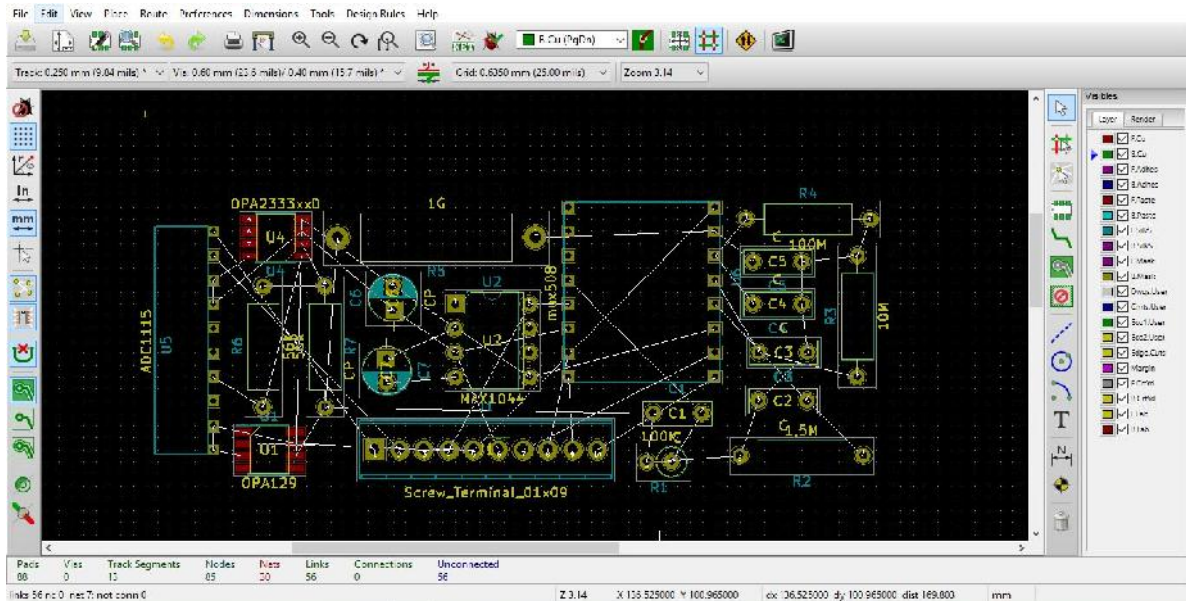
Hasieran elementuak pilatuta agertuko dira. Hauek mugitzeko kurtsore gainean jarri eta "g" tekla sakatu, nahi den lekura eraman eta klik egin. Elementu asko daudenez, argiago ikusteko eskuinean klikatu, eta "mugimendu eta kokatzeko globala" hautatu modulu guztia batera mugitzeko. Bertan klik egin eta elementu guztiak ondo bistaratuta agertuko dira.



Irudia 50: WoodSmart PcbNew 2.pausoa

Jarraian, elementuak modu egokian kokatu, bata bestearengandik ahalik eta gertuen baina "ratnest" loturak kontuan hartuz aurrerago pistekin arazoak


ekiditeko. Helburua ahalik eta pcb txikiena egiteaenez, elementuen artean geroz eta espazio gutxiago badago hobeto.

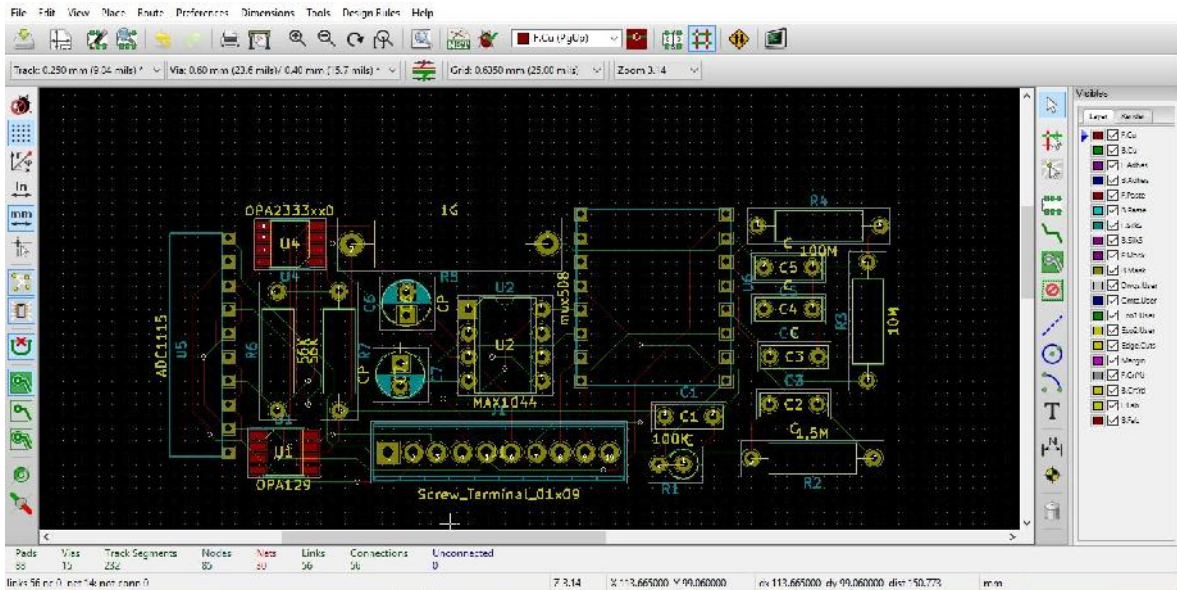


Irudia 51: WoodSmart PcbNew 3.pausoa

51.irudian elementuak kokatuta ikus daitezke jada. Plaka txikia izateko izkinetan dauden elementuak lerroatuta daude.

Plakak bi geruza izango dituzenez, ez da ezer espezifikatu behar, baina bi kapa baina gehiago izango balitu "Diseinuaren arauak kapen konfigurazioan" zehaztu beharko litzateke.


Hurrengo pausoa elementuen pinak lotzen dituzten pistak trazatzea da. Kicad-ek "autoruting" tresna du, honen bitartez pistak berak egiten ditu. Hala ere, batzuetan ez ditu denak trazatzen eta horiek eskuz egin beharko dira, baina lan handia aurrezten du aplikazio hau erabiltzeak. Pistak trazatzerako orduan "add tracs and vias"  hautatu behar da. 52.irudian jada pistak eginda ikus daitezke.

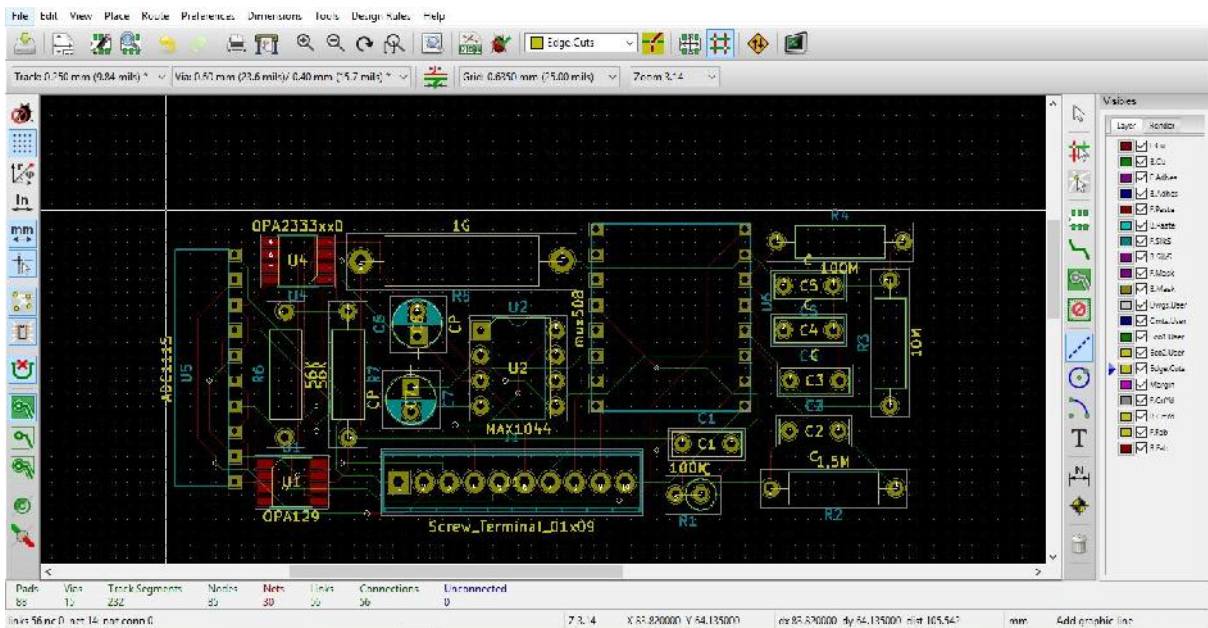


Irudia 52: WoodSmart PcbNew 4.pausoa

Aurretik aipatu bezala, pcb-ak bi kapa izango ditu, horregatik bi pista mota daude kolore gorrikoa eta berdekoa. Gorria, goiko kapa izango da eta berdea behekoa, oso erabilgarria da hainbeste elementu daudenean ezin direlako pista guztiak kapa batean egin, konexioak elkartu egiten direlako.

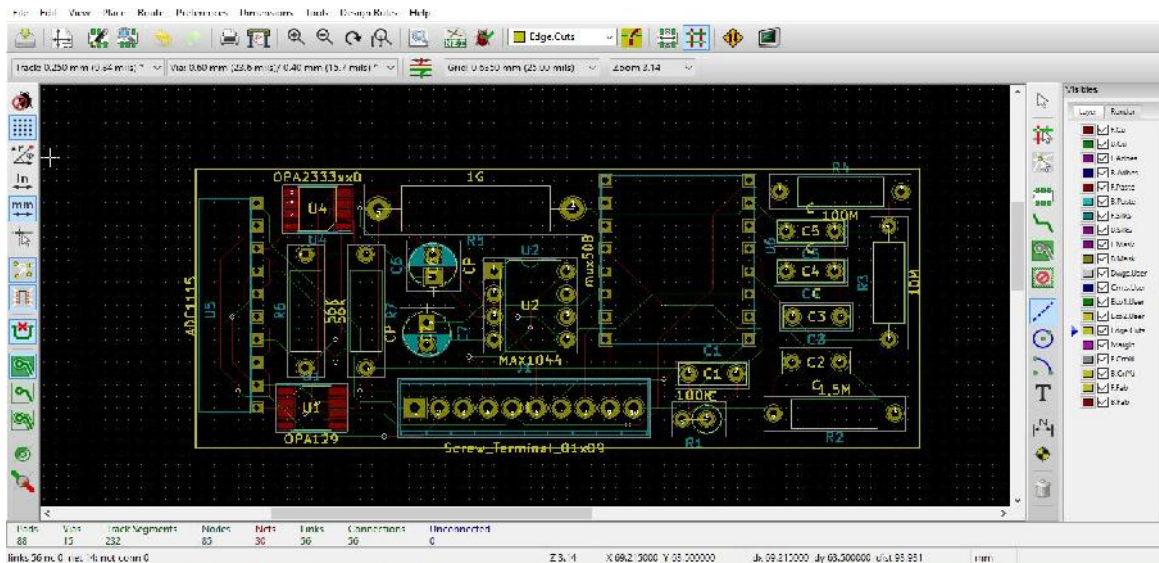
Pcb-aren ertza definitzeko, kapetan "edge.cuts" hautatu behar da. Pistak trazatzeko "add tracs and vias" aukeratu behar den bezala ertzak definitzeko "add graphic line

and polygon"  tresna aukeratu behar da. Errazago definitzeko kurtsore berezi bat erabiltzea komenigarria da.



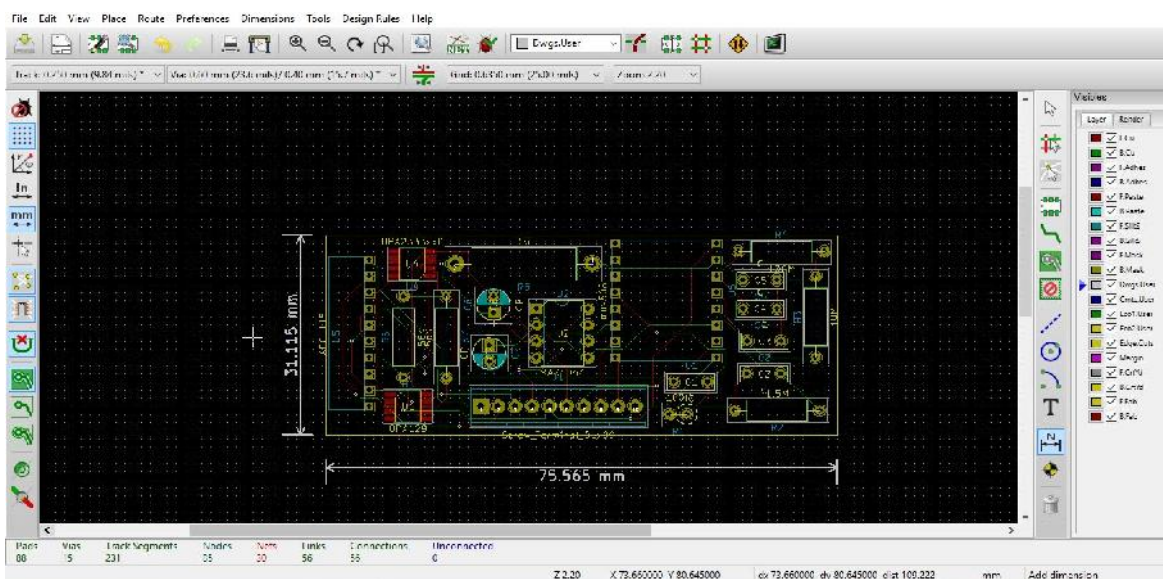
Irudia 53: WoodSmart PcbNew 5.pausoa

Lau izkinetan klik eginez karratu bat sortu, beti ere pistetatik gutxieneko distantzia batera.




Irudia 54: WoodSmart PcbNew 6.pausoa

Orain pcb-a definituta dago, neurriak jakiteko akotatu egiten da.

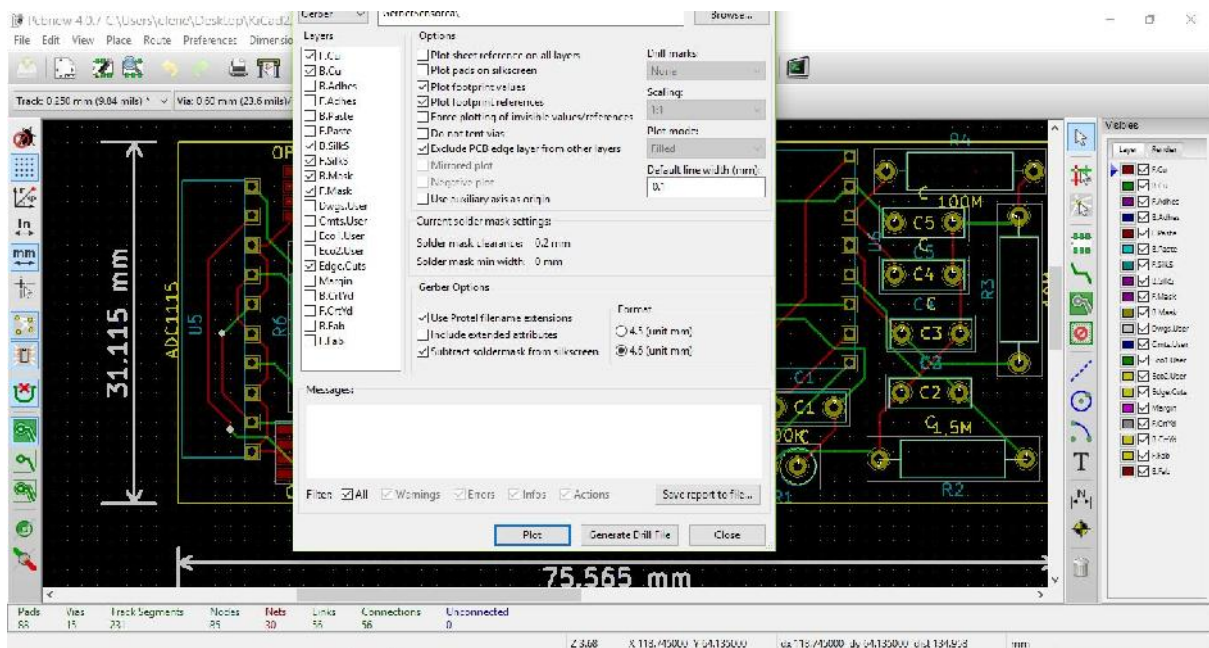


Irudia 55: WoodSmart PcbNew 7.pausoa

Eeskheman bezala, arazorik dagoen ikusteko diseinu arauak egiaztatzen dira

“perform design rules”-en klik eginez  . Leiho bat irekiko da, klik egin hasi DRC-en. Ezin da akatsik egin, baten bat agertzen bada konpondu egin behar da aurrera jarraitu aurretik. Arazorik ez dagoela baieztatu ondoren onartu egiten da.

Azken pausoa Gerber fitxategiak sortzea da. Hauek, ondoren beharko dira CNC makinaren programan diseinua egiteko. Fitxategiak sortzeko “Plot” ikurrean klikatu eta 52.irudian ikusten den leihoa irekiko da.



Irudia 56: WoodSmart Gerber fitxategien sorrera

Ezkerrean kapa ezberdinak ateratzen dira, kasu honetan zazpi kapa ezberdin hautatu behar dira:

Goiko eta beheko kapak: F.Cu eta B.Cu.

Goiko kaparen eta behekoaren maskarak: F.Mask eta B.Mask.

Pcb-aren ertzak definitzen dituen kapa: Edge.Cuts.

Goiko eta Beheko kapako serigrafia: F.Silks eta B.Silks.

Leihoaren behealdean, "Generate Drill File" klikatu, behar diren zlagailuen fitxategia sortzeko. Ondoren onartu, eta jada aurrerago beharrezkoak izango diren fitxategiak sortuko dira.

8.3. Arduino PCB-a

Pcb-a diseinatzeneko 8.2. ataleko pauso berdinak jarraituko dira.

8.3.1. Arduino Eeschema

Kasu honetan ere elementuak bi taldetan banatuko dira: "Schematik library editor" bitartez sortutako elementuak eta zuzenean liburutegietatik hartutakoak.

Liburutegietatik hartutakoak:

Tentsio aldagailua: MCP1700.

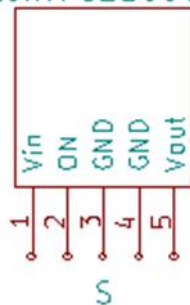
Kapazitateak: CP(Polarized capacitor).

Terminalak: Screw_Terminal_1x12.

Schematik library editor bitartez sortutako elementuak:

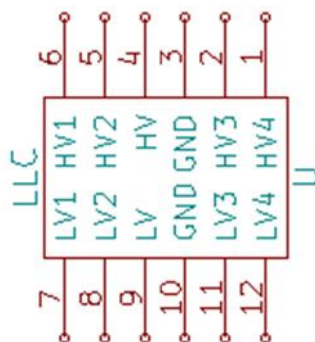
TPS22860:

SwitchTPS22860 - D5



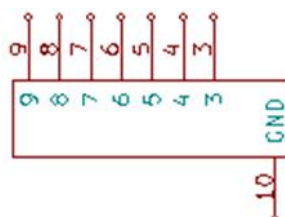
Irudia 57: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Switch TPS22860

LLC:



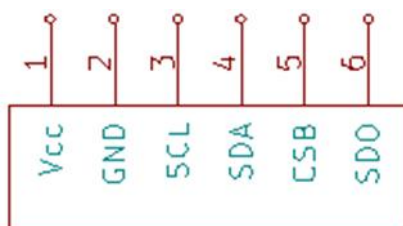
Irudia 58: Schematik library editor erabiliz diseinatutako LLC

Arduino Pro Mini eredu:



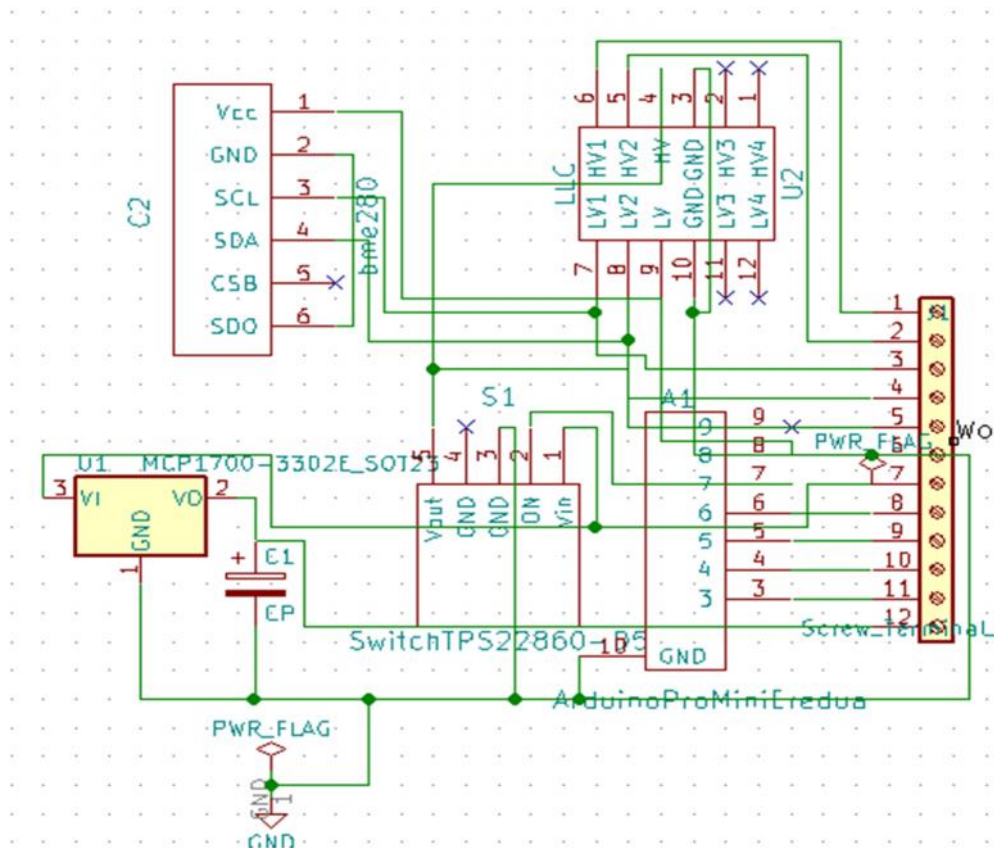
Irudia 59: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Arduino pro mini eredu

Bme280 I2C



Irudia 60: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Bme280 I2


9.2.1 puntu azaldu bezala behin elementuak kokatuta beraien arteko konexioak egiten dira.

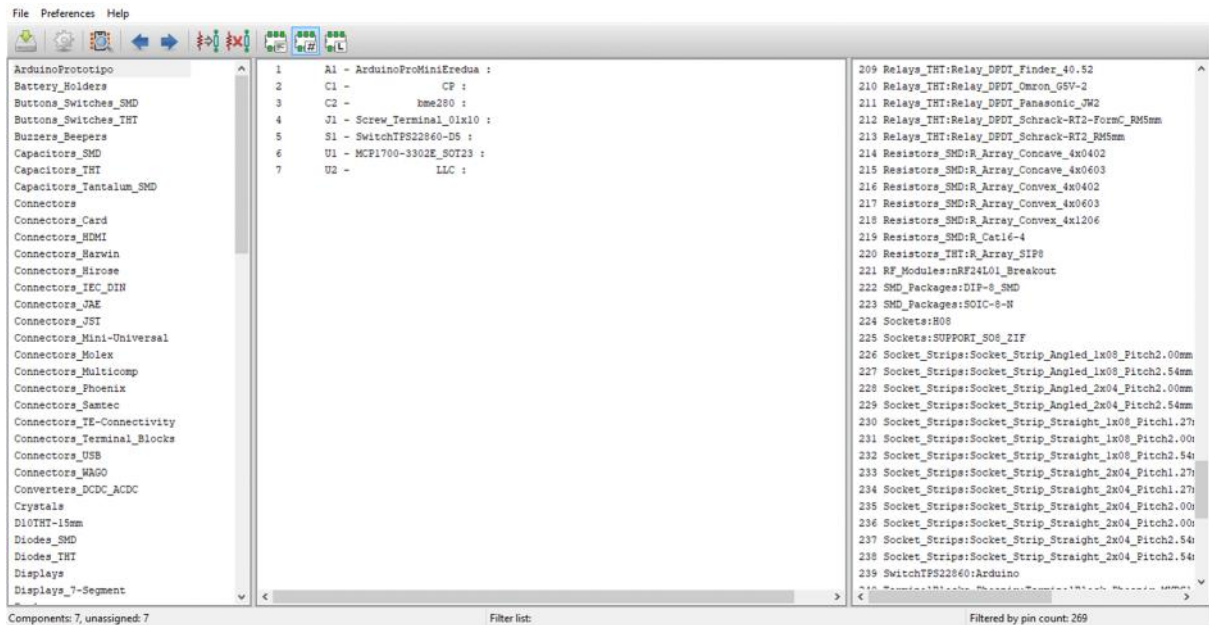


Irudia 61: Arduino plakako pcb-aren diseinu elektrikoa

61. irudian eskema egina ikus daiteke, kasu honetan beharrezkoak izan dira bi "pwr-flag" jartzea, bat sartuko den tentsioagatik eta bestea lurreko konexioagatik.

8.3.2. Footprint-en esleipena

Elementu bakoitzari bere footprint-a atxikitzeko "run Cypcb to associate components and footprints"  ireki behar da.



Irudia 62: Arduino plakako pcb-ko footprintak

WoodSmart pcb-ko aztarnekin bezala, Arduino pcb-ko elementu batzuen aztarnak sortu egin behar izan dira. Ondorioz, aztarnak bi multzotan banatuko dira, liburutegitik zuzenean hartutakoak eta PCB "footprint editor" bitartez egindakoak:

Liburutegietatik hartutakoak:

- LLC: Housings_DIP:DIP-12_W10.16mm
- Polarizatutako kapazitateentzat:
- Capacitor_THT:CP_Radial_D5.0mm_P2.50mm.
- Terminalarentzat:
- TerminalBlocks_Phoenix:TerminalBlock_Phoenix_MPT-2.54mm_12pol.
- MCP1700:TO_SOT_Packages_SMD:SOT-23

Schematik library editor bitartez sortutako elementuak:

Arduino:




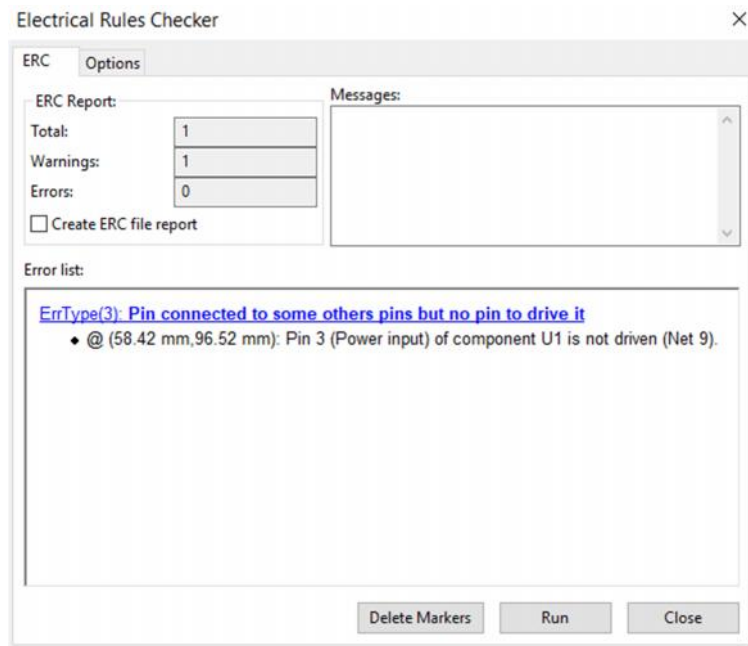
Irudia 63: Schematik library editor erabiliz diseinatutako Arduinoren "footprint"-a

TPS22860:

8.3.3. Arau elektrikoaren egiaztapena

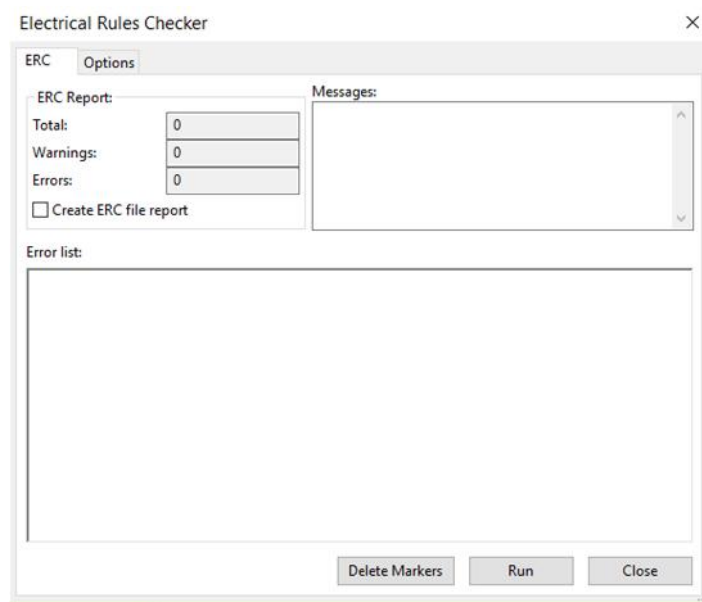
PcbNew-ra pasa aurretik arau elektriko guztiak ondo daudela egiaztatu behar da.

KiCad-ek hau konprobatzeko tresna bat dauka. "Perform electrical rules check"  klikatu eta 67.irudian ikusten den leiho irekiko da.



Irudia 67: Arau elektrikoaren egiaztapena Arduino plaka 1

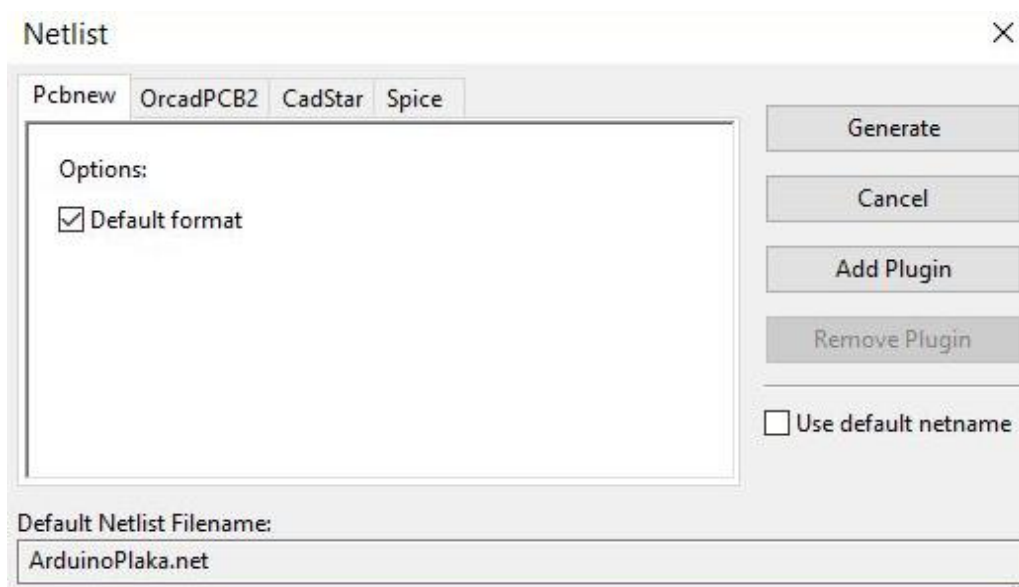
Arau elektrikoak egiaztatzerakoan arazo bat ateratu da. Errore mota hau "pwr-flag" jarriaz konpontzen da. Izan ere, KiCad-en tentsioa edo lurra badago "pwr-flag" baten bitartez adierazi behar delako eta Eeskheman bat jartzea falta zelako sortu da. Behin "pwr-flag"-a jarria dagoenean berriro egiaztatu eta 68.irudian errorerik ez dagoela ikus daiteke.



Irudia 68: Arau elektrikoen egiaztapena Arduino plaka 2

8.3.4. Netlista sortu

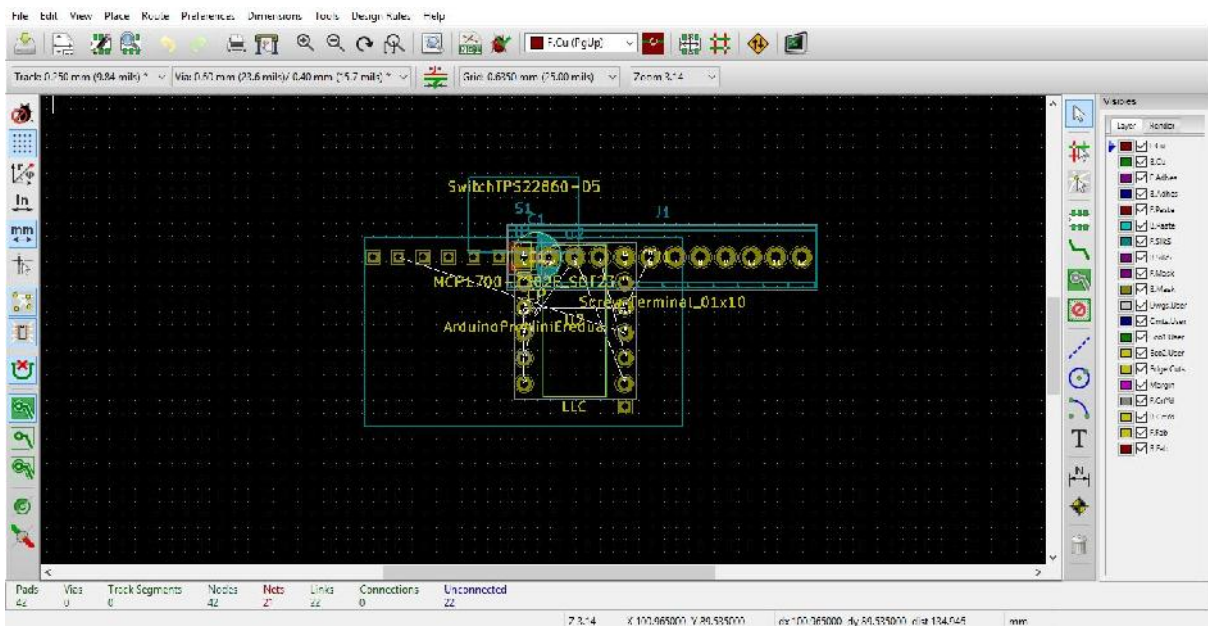
8.2.4. atalean egin den bezalaxe, "generate netlist" sakatu eta behin 69.irudian ikusten den leihoa irekita dagoenean, "generate" sakatu behar da.



Irudia 69: Netlist-aren sorrera Arduino

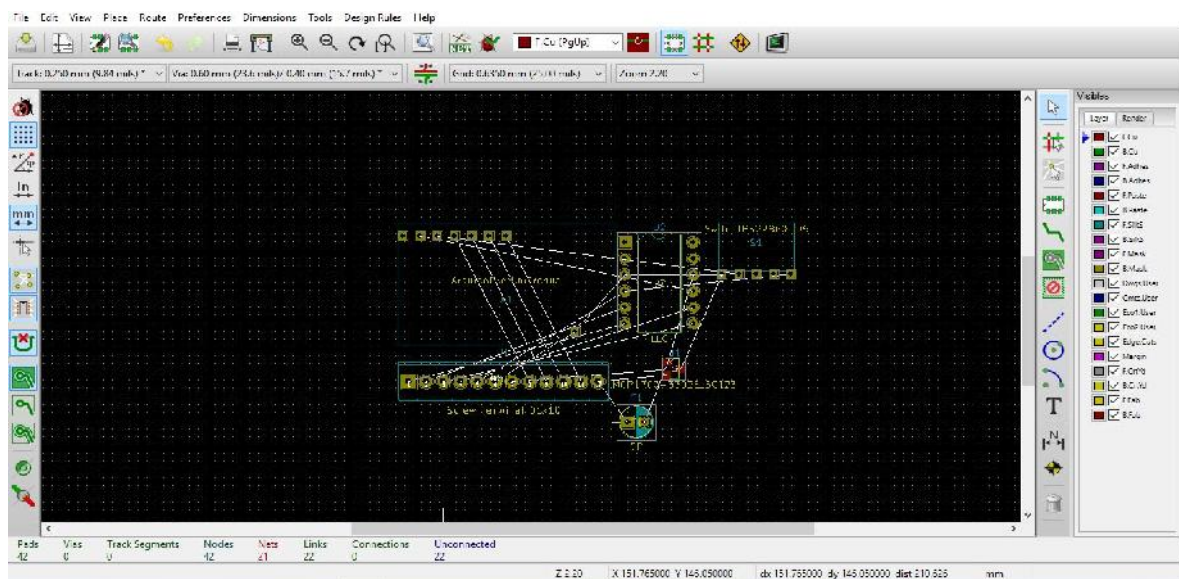
8.3.5. WoodSmart PcbNew

8.2.5 atalean azaldu den bezala, orrialdeko doikuntzak eta pistak definitu behar dira lehendabizi. Ondoren, aurretik sortutako "netlist" fitxategia inportatu behar da, elementuak eta beraien arteko konexioak "pcbnew"-n izateko.



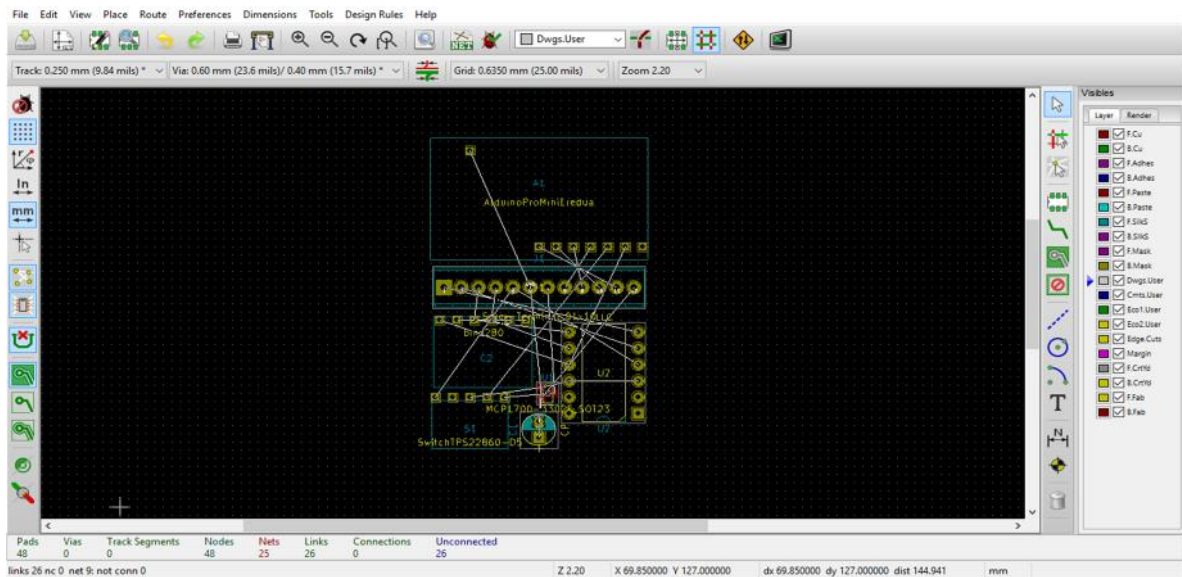
Irudia 70: Arduino PcbNew 1.pausoa

Hasieran elementuak pilatuta agertuko dira. Hauek mugitzeko gainean jarri eta "g" tekla sakatu, eta ondoren nahi den lekura eraman eta klik egin. Elementu asko daudenez, argiago ikusteko eskuinean klikatu behar da, eta "mugimendu eta kokatzeko globala" hautatu modulu guztia batera mugitzeko. Bertan klik egin eta elementu guztiak ondo bistaratuta agertuko dira.



Irudia 71: Arduino PcbNew 2.pausoa

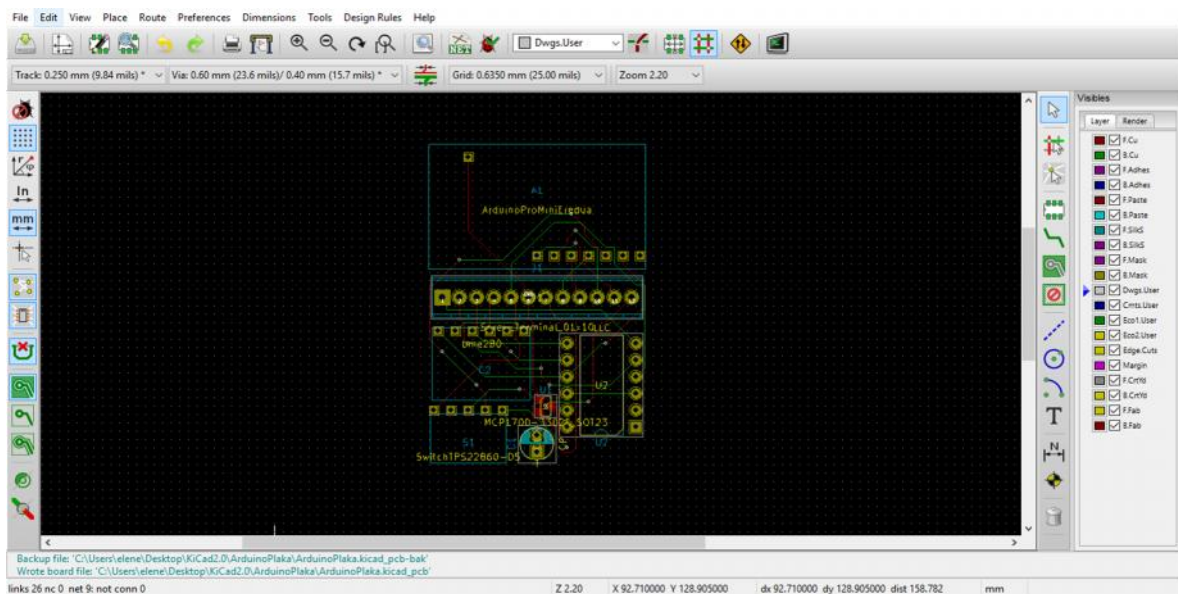
Helburua ahalik eta pcb txikiena egitea denez, 72.irudian baita ere ikus daiteke elementuak ahalik eta gertuen jarri direla, beti ere pistentzako tartea utziz.



Irudia 72: Arduino PcbNew 3.pausoa


72.irudian elementuak kokatuta ikus daitezke jada. Plaka txikia izateko izkinetan dauden elementuak lerrokatuta daude.

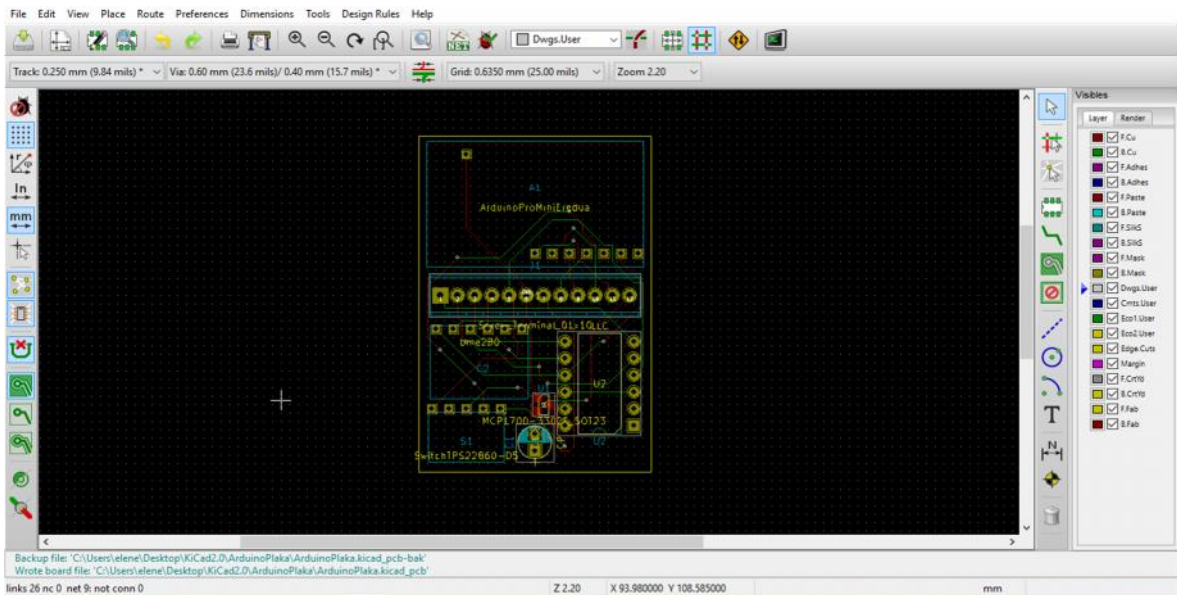
Plaka honek baita ere bi geruza izango dituenez pistak trazatzean kolore gorri eta berdekoak izango dira: bat goiko kaparena eta bestea behekoarena. 9.2.5. atalean egin den moduan "autoruting" tresna erabiliko da pistak trazatzeko.



Irudia 73: Arduino PcbNew 4.pausoa

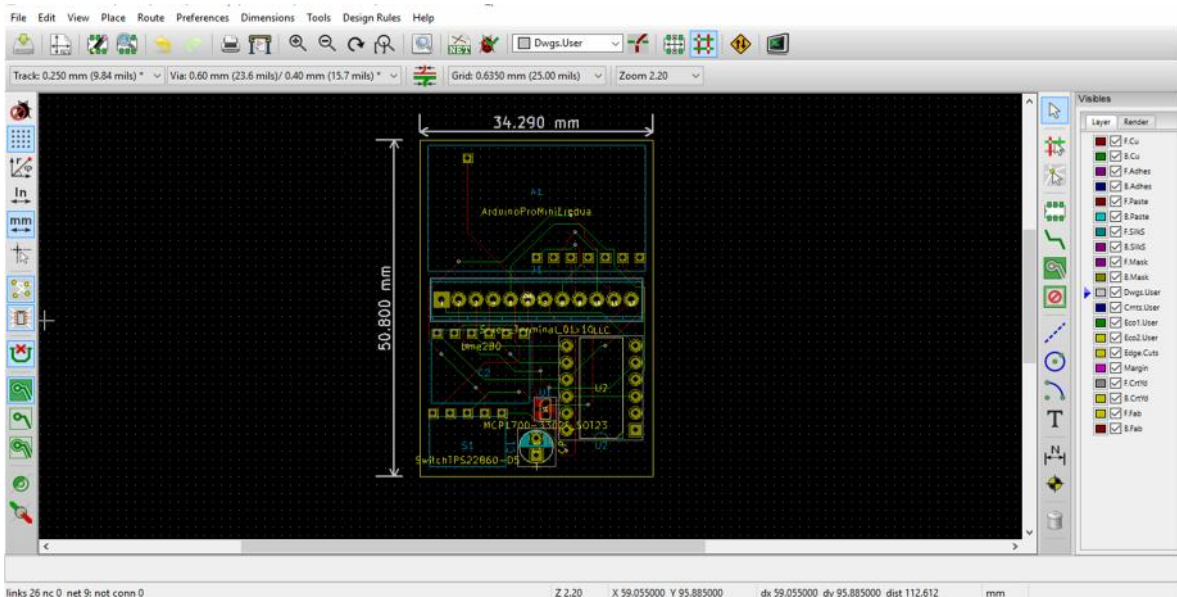
Pcb-aren ertza definitzeko kapetan "edge.cuts" hautatu. Pistak trazatzeko "add tracs and vias" aukeratu behar den bezala ertzak definitzeko "add graphic line and

polygon"  tresna aukeratu behar da. Errazago definitzeko kurtsore berezi bat erabilteza komenigarria da.




Irudia 74: Arduino PcbNew 5.pausoa

Lau izkinetan klik eginez karratu bat sortu behar da, beti ere pistekiko gutxieneko distantzia batera. Orain pcb-a definituta dago, neurriak jakiteko akotatu egiten da. Neurriak jartzeko kapa "Dwgs.User"-era aldatu behar da.

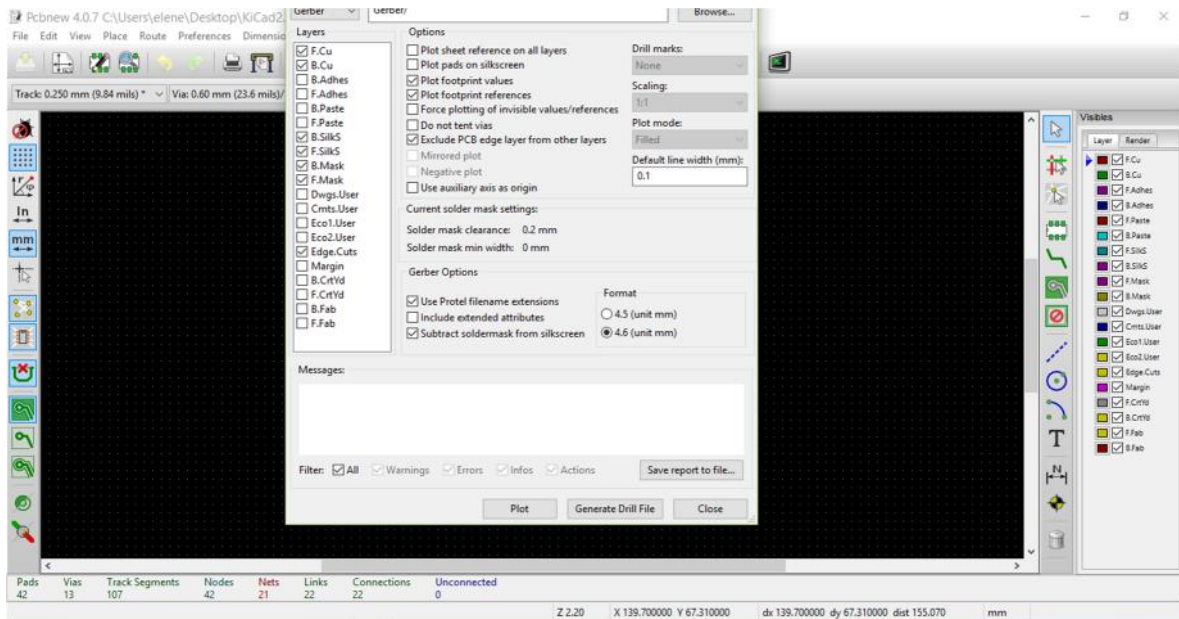


Irudia 75: Arduino PcbNew 6.pausoa

Eeskheman bezala, arazorik dagoen ikusteko diseinu arauak egiaztatu behar dira

"perform design rules"en klik eginez . Leiho bat irekiko da, klik egin hasi DRC-en. Ezin da akatsik egin, baten bat agertzen bada konpontzea beharrezkoa da. Behin arazorik ez dagoela ziurtatuta, onartu.

Azken pausoa Gerber fitxategiak sortzea da. Hauek ondoren beharko dira CNC makinaren programan diseinua egiteko. Fitxategiak sortzeko "Plot" ikurrean klikatu 72.irudian zabaltean den leihoa irekiko da.



Irudia 76: Arduino Gerber fitxategien sorrera

Ezkerrean kapa ezberdinak ateratzen dira, kasu honetan (WoodSmarten bezala) zazpi kapa ezberdin hautatu behar dira:

Goiko eta beheko kapak: F.Cu eta B.Cu.

Goiko kaparan eta behekoaren maskarak: F.Mask eta B.Mask.

Pcb-aren ertzak definitzen dituen maskara: Edge.Cuts.

Goiko eta Beheko kapako serigrafia: F.Silks eta B.Silks.

Leihoaren behealdean "Generate Drill File" klikatu behar diren zulangailuen fitxategia sortzeko. Ondoren onartu eta aurrerago beharrezkoak izango diren fitxategiak sortuko dira.

9. Aurrekontuaren Laburpena

PARTIDA	TOTALA
Partida 1.Erabilitako materiala	76,20€
Partida 2.Amortizazioa	116€
Partida 3.Giza baliabideak	28.330€
Ez-ohiko gastuak (%5)	1.426,11€
	AZPITOTALA 29.948,31€
	B.E.Z.(%21) 6.289,15€
	GUZTIRA 36.237,46€

Proiektuaren prezio totala 36.237,46€-koa izan da.

10. Ondorioak

Proiektuaren azken atal honetan, egindako lanaren prozesuan zehar ateratako ondorioak eta etorkizun batean inplementatu ahalko lirateken hobekuntzak aurkeztuko dira.

10.1. Ondorio orokorrak

Egindako lanaren bitartez proiektuaren hasieran proposaturiko helburu gehienak betetzea lortu da:

- Sentsorearen prototipoa egurraren hezetasuna %7-25-eko tartean irakurtzeko gai da. Gainera, hori baino tarte handiagoak neur ditzake, %7-34. Hau honela izanik, erabiltzaileak prozesuaren kontrolari buruzko informazio gehiago eskuratzeko aukera izango du.
- Kontsumoa ahalik eta baxuena izatea ere lortu da. Honela egunean bi neurketa eginez pilak gutxienez bi urteko iraupena izan dezan. Helburua tarte handiarekin betetzea lortu da, kontsumo baxua dela eta, behar izan ezkeru egunean neurketa gehiago egiteko aukera eskainiz. Hala ere, egurraren lehortze prozesua oso mantsoa denez ez dira eguneko neurketa gehiago beharko.
- Arduino eta irratiaz baliatuz, jasotako datuak "Raspberry"-ari bidaltzea lortu da baita ere.
- Sentsorearen prezioari dagokionez, merkatuan dauden eskaintzekin alderatuz prototipoak daukan prezioa nahiko baxua dela kontsideratzen da, honi buruzko xehetasunak aurrekontuan agertzen dira.

Bestalde, ezin izan da sentsorea ahalik eta txikiena izatea lortu. Honetarako, prototipoan eginiko zirkuitua "pcb-eran" aurkeztu beharko litzateke, 8.atalean zehar azaltzen den bezala diseinua egin den arren ez da diseinua aurrera eramateko denbora izan.

Nabarmendu beharra dago, proiektuan diseinatutako sentsoreak K -tik G -ra doazen erresistentziak zehaztasun handiarekin neurtzen dituela, egindako errorearen datuak emanez. Honetaz gain, temperatura neurtzeko gai da baita ere. Egurraren eta erresistentzia elektronikoen arteko erlazioari buruzko datu gutxi egoteak, sentsorearen diseinuan eta egurrean egin beharreko neurketetan zailtasun handiak ekarri ditu.

Prozesuan zehar elektronikako arlo ezberdinen beharra izateak, hainbat tresna motei buruzko ezagutzak barneratzea edo jada izandako jakintzan sakontzea ekarri du.

10.2. Etorkizunean ildoak

Nahiz eta sentsoreak proiektuan ezarritako helburuak betetzen dituen, sortutakoa soilik prototipo bat da. Errealitatean behar den egoeratan erabili ahal izateko, oraindik pauso asko eman beharko lirateke.

Horretaz gain, hauexek dira prototipoan egon daitezkeen hobekuntzak:

- Egurra eta erresistentzia elektrikoaren arteko erlazioari buruz gehiago jakiteko neurketa gehiago egin, arlo honetan sakondu.
- Behin egurra eta erresistentziaren erlazioari buruzko jakintza gehiago izanik, neurketetan zehaztasuna hobetzen saiatu.
- Neurketak egiterako orduan, hiltzeak eta kableak kontaktuan jartzen dituen lotura baten diseinua egin. Lotura honek mugikorra izan beharko luke, tentsioa 1.hiltzean edo 2.hiltzean aplikatzean gertatzen den erresistentzia aldaketaren analisia egin ahal izateko.
- Neurketak egiterako orduan, kasu okerrena zein den analizatu, 1.hiltzean tentsioa aplikatzean hala 2.-ean. Proiektu honen kasuan, kasu okerrena erresistentzia gutxienerako kasua edo hezetasun gehienekoa litzateke.
- Arduino mota ezberdinekin analisi bat egin, kasu bakoitzeko onura eta kalteak aztertuz.

Hobekuntza hauek garatuko balira, pcb-ko diseinuan aldaketak egin eta hauek inprimatu ahalko lirateke, proiektu honetan lortu ahal ezin izan den helburua betez.

Azkenik, Raspberry-ra, hezetasunaz gain, datu gehiago bidali ahalko lirateke. Ondoren datu hauek erabiliz, esate baterako egurrari buruzko ikerketak garatu ahalko lirateke, lehortze prozesuan bere aldaketak aztertuz.

11. Dokumentuen zerrenda

Jarraian proiektuan dauden dokumentuen zerrenda aurkeztuko da:

- 1.Dokumentua: Memoria
Proiektuaren memorian, hau gauzatzeko eman behar diren pausuak jasotzen dira. Dokumentua proiektuaren laburpen batekin hasten da eta ondoren bere gauzatzearekin espero diren helburuak azaltzen dira. Oinarritutako teorien azalpena labur bat egin ondoren, hasieratik bukaera arte proiektuan zehar emandako pausoak azaltzen dira bertan aurretik jarritako helburuen arabera hartutako erabakiak azalduz. Horietaz gain egindako frogak eta horiekin lortutako konklusioak baita ere azaltzen dira atal honetan.
- 2.Dokumentua: Planoak
Dokumentu honetan proiektua osatzen duten plano elektriko guztiak azaltzen dira.
- 3.Dokumentua: Baldintza teknikoaren agiria
Bertan proiektuaren inplementazio kontratuan parte hartzen duten aldeek onartu behar dituzten baldintzak deskribatzen dira. Baldintza hauek proiektuaren garapena gidatuko dute.
- 4.Dokumentua: Aurrekontua
Dokumentu honetan proiektua gauzatzeko duen kostu ekonomikoa zehazten da. Baliabide materialen kostua, amortizazioa eta giza baliabideenak desberdintzen dira.
- 5.Dokumentua: Eranskinak
Dokumentu hau memoriako atal espezifikoak garatu, justifikatu edo azaltzen dituzten dokumentuez osaturik dago.

12. Erreferentziak

- [1] Flotaker S, Tronstad S. Description and initial test of 8 principles for in-kin measuring and end-point control of wood moisture content. Nowegian Institute of Wood Technology. 2000 Abendua. Eskuragarri: <http://www.tretekisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-47.pdf>
- [2] Forsén H, Tarvainen V. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. VTT Publications.2000. Eskuragarri: https://www.researchgate.net/publication/296330626_Accuracy_and_functionality_of_hand_held_wood_moisture_content_meters
- [3] Casans S, Rosado-Muñoz A, Iakymchuk T. Novel resistance measurement method: Analysis of accuracy and thermal dependence with applications in fiber materials. 2016 Azaroak 29. Eskuragarri: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=E4qHjvXTFk5TijAMedQ&page=1&doc=1
- [4] Samuelsson A. Resistanskurvor för elektriska. TräteknikCentrum, Rapport L 9006029. 1990 Ekaina. Eskuragarri: <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1184053/FULLTEXT01.pdf>
- [5] Samuelsson A. Calibration curves for resistance-type moisture meters. International wood drying conference. 1992 Abuztua 18-21. Eskuragarri: <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1080039/FULLTEXT01.pdf>
- [6] Adafruit_ADS1X15. 2013 Urria. Eskuragarri: https://github.com/adafruit/Adafruit_ADS1X15/blob/master/examples/differential/differential.pde
- [7] Arduino low power-How to run ATmega328P for a year on coin cell battery. Home automation. 2018 Otsaila. Eskuragarri: <http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>
- [8] IEEE 802.11. Wikipedia. 2018 Ekainak 9. Eskuragarri: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [9] Bluetooth low energy. Wikipedia. 2018 Ekaina. Eskuragarri: https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy
- [10] XBee/Cbee-PRO RF Modules. 2009 Iraila 23. Eskuragarri: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>
- [11] Adafruit RFM69HCW transceiver radio breakout-868 or 915 MHz. Adafruit. Eskuragarri: <https://www.adafruit.com/product/3070>
- [12] BME280 Combine humidity and pressure sensor. BOSCH. Eskuragarri: <https://www.embeddedadventures.com/datasheets/BME280.pdf>
- [13] DTH11, DTH12 and AM2302 Sensors. Adafruit. 2017 Azaroa 29. Eskuragarri: <https://learn.adafruit.com/dht/overview>
- [14] Serial Protocol. MySensor. 2016. Eskuragarri: https://www.mysensors.org/download/serial_api_20
- [15] Fernandez-Golfin J, Conde Garcia M, Calvo Haro R, Baonza Merino MV, de Palacios P. Curves for the estimation of the moisture content of ten hardwoods by means of electrical resistance measurements. 2011 Urtarrila 19. Eskuragarri:

https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=6&SID=E4qHjvXTfk5TijAMedQ&page=1&doc=1

[15] Atmega328/P.Atmel 375. Orrian. 2016 Azaroa. Eskuragarri:

http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf

[16] Mínimos cuadrados. 2017 Azaroa 18. Eskuragarri:

https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADnimos_cuadrados

[17] Realimentacion negativa. Eskuragarri:

https://www.google.de/search?q=amplificador+operacional+con+realimentaci%C3%B3n+negativa&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwJv-W_NrbAhULchQKHZayCXcQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=iuFbQHTIAMWkgM:

[18] Op amp. Eskuragarri:

https://www.google.de/search?q=low+pass+filter+operational+amplifier&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjrjYbl_9rbAhXUe8AKHVPEDIsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=r8QrYdqQdwgoPM:

[19] INA105 Datasheet. 1993 Abuztua. Erreferentzia:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina105.pdf>

[20] MAX1044. Eskuragarri: <http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/72725/MAXIM/MAX1044.html>

[21] Circuit Basics. Basics of the I2C communication protocol. Eskuragarri:

<http://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>

[22] TPS22860 Ultra-Low Leakage Load Switch. Eskuragarri:

<https://www.tindie.com/products/closedcube/tps22860-ultra-low-leakage-load-switch-/>

[23] Logic Level Converter. Eskuragarri:

https://www.google.de/search?q=logic+level+converter+i2c&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj6z7aahtvbAhXCNCaKHbttAKMQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=qEsESSivsLg1FM:

[24] OS-782. Eskuragarri: <http://www.promax.es/esp/descargas/manuales-de-instrucciones/OS-782/Poliscopio>