

**INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN
ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZA GRADUA**

GRADU AMAIERAKO LANA

**TRESNERIA ELEKTRONIKOA
IRAKASGAIAN GARAPEN
JASANGARRIRAKO HELBURUAK
LANTZEKO PRAKTIKA BATEN
DISEINUA**

Ikaslea: Alegre Gil, Ekain

Zuzendaria: González Pérez, José Manuel

Ikasturtea: 2022-2023

Data: Gasteiz, 2023ko ekainaren 7a

Aurkibidea

Laburpena	4
Resumen.....	4
Abstract	4
1. Proiektuaren azalpena.....	5
1.1. Sarrera	5
1.2. Helburuak.....	5
1.2.1. Helburu teknikoak	6
1.2.2. Ikaslearen helburu teknikoak	6
1.2.3. Ikaslearen zeharkako helburuak.....	6
1.2.4. Helburu sozialak	7
1.3. Metodologia	7
1.3.1. Proiektuaren kudeaketaren metodologia.....	7
1.3.2. Metodologia teknikoa	7
1.4. Motibazioa.....	8
2. Testuingurua.....	9
2.1. Garapen jasangarrirako helburuak	9
2.2. Ikasleen egungo egoera.....	10
2.3. Tenperatura neurketak	10
3. Denboraren kudeaketa eta aurrekontua	11
3.1. Denboraren kudeaketa	11
3.1. Aurrekontua	11
4. Artearen egoera	12
4.1. Tenperatura neurketak	12
4.1.1. RTD	12
4.1.2. Termopareak	13
4.1.3. LM35.....	13
4.2. Tresneriako anplifikadorea	14
4.3. Programak	14
4.3.1. Capture CIS	15
4.3.2. PCB Editor	16
5. Prozesuaren analisia	16
5.1. Hasierako baldintzak	16
5.2. Analisi funtzionala	17
5.3. Analisi formala.....	17
6. Proiektuaren garapena	18

6.1.	Zirkuituaren analisia	18
6.1.1.	Anplifikadorea	18
6.1.2.	Elikadura	20
6.1.3.	Pt100	20
6.1.4.	NTCLE100E3103.....	23
6.1.5.	LM35.....	28
6.1.6.	Termoparea	31
6.2.	Simulazioa	35
6.2.1.	Anplifikadorea	36
6.2.2.	Zirkuituak.....	36
6.3.	Prototipoa.....	46
6.3.1.	Pt100	47
6.3.2.	NTC	48
6.3.3.	LM35.....	50
6.4.	PCB-a	51
6.4.1.	Diseinu parametroak	52
6.4.2.	Zirkuituen bateratzea	52
6.4.3.	Footprint-ak.....	54
6.4.4.	Gainontzeko ezaugarriak eta eraikuntza	56
7.	Zailtasunak eta arazoak	57
7.1.	Anplifikadore modelo simulazioan	57
7.2.	Sentsore komertziala.....	58
8.	Ondorioak.....	58
9.	Etorkizuneko hobekuntzak	59
10.	Erreferentziak	60

Laburpena

Proiektu honetan Garapen Jasangarriko Helburuak betetzeko bitartekari izango den plaka baten diseinua eta eraikuntza prozesua azaldu dira. Plakaren funtzioa temperatura neurketak egitea da hainbat sentsore erabiliz, hala nola, Pt10a, NTC bat, termopare bat eta sentsore komertzial bat. Prozesua egin ahal izateko, elektronikaren zenbait arlo menperatu behar dira: analisi elektronikoa, simulazioa eta PCBen eraikuntza, zehazki. Gainera, plakak funtzionatzeaz gain, Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritzako Graduoko ikasleek erabiltzeko modukoa izan behar du, hau da, osagaien ordeztasunak egongo dira amaierako plakan, ikasleek osagaiak dagokien lekuan koka ditzaten, modu honetan zirkuituen funtzionamendua ulertzeko.

Resumen

En este proyecto se explica el diseño y el proceso de construcción de una placa cuyo objetivo es ser intermediaria para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La función de la placa es realizar mediciones de temperatura utilizando sensores entre los que se encuentran una Pt100, una NTC, un termopar y un sensor comercial. Para poder realizar el proceso es necesario dominar diferentes áreas de la electrónica como el análisis electrónico, la simulación o la construcción de PCB. Además de ser funcional, la placa debe ser utilizable por el alumnado del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, es decir, los componentes serán sustituidos por huecos en la placa final, para que el alumnado pueda colocar los componentes en el lugar correspondiente, para así entender el funcionamiento de los circuitos.

Abstract

This project describes the design and construction process of a board that will help reaching the Sustainable Development Goals. The function of the board is to measure temperatures using various sensors, such as the PT100, an NTC, a thermocouple and a commercial sensor. In order to carry out the process, it is necessary to master some areas of electronics, such as electronic circuit analysis, simulation and construction of PCBs. In addition, the board must not only work, but it must be usable by the students of the Bachelor's in Industrial Electronics and Automation Engineering, as the elements will be replaced by gaps in the final board, so the students can place the components in their proper place, with the objective of understanding the functionality of the circuits.

1. Proiektuaren azalpena

1.1. Sarrera

Jasangarritasuna oso garrantzitsu bilakatu den gaia da gaur egun, albistegi eta komunikabideetako berri nagusiak izateraino. Hortaz, ezinbestekoa da dauden baliabideak ahalik eta gehien aprobetxatu eta ahal den neurrian ez xahutzea. Bide hori jarraitu nahian, Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolako irakasle batzuk proiektu bat egitea dute helburu, ikasleek ikus dezaten azpiegituraren isolamenduaren ondorioz zenbat bero galtzen den.

Horretarako, hainbat sentsore mota erabiliko dira, horien artean dauden desberdintasunak ikusi eta funtzionatzeko moduak zeintzuk diren ezagutzeko. Sentsoreek berebiziko garrantzia dute zirkuituan, haiek baitira ezaugarri fisikoen, temperatura hain zuzen ere, neurketak egiteaz arduratuko direnak eta zirkuituaren gainontzeko atalak eta bideak baldintzatuko dituztenak. Hasiera batean, lau sentsore mota desberdin erabiltzea proposatu da, merkatuan dauden erabilienetakoak, hain zuzen: NTC, PT100, termoparea eta temperatura sentsore komertzial bat.

Sentsoreak neurketak egiteaz arduratzen diren osagai elektronikoak diren arren, kontuan hartu beharrekoa da sortzen duten seinalea ez dela oso esanguratsua normalean eta, beraz, beharrezkoa izango da anplifikadore bat gehitzea zirkuituan, emaitzak irakurterrazagoak izan daitezten eta horrekin batera, interpretatzeko errazagoak. Gainera, gauza jakina da sentsore bakoitza desberdina dela eta horrek irteerako seinalea desberdina izatea eragingo duela. Hori konpontzeko, komenigarria da anplifikazio gaitasun aldakorra duen anplifikadore bat erabiltzea, erabilitako sentsorearen arabera anplifikazioa egokitu ahal izateko.

Hala ere, ez da ahaztu behar proiektuak didaktikoa izateko helburua duela, ikasleek zirkuituak ulertzeko diseinatu behar direlarik eta, beraz, horrek elementuen hautaketa eta plakaren disposizioa baldintzatuko du guztiz, hala nola, hainbat hutsune egongo dira elementu garrantzitsuak egon behar diren lekuan.

Proiektu honen sortze prozesuari esker, elektronikaren hainbat alor lantzeko aukera dago, zirkuituen analisia, simulazioa edo PCBen eraikuntza, besteak beste. Formazio pertsonalerako aberasgarria izateaz gain, elementu errealak nola egiten diren ikasteko ere balio du proiektu honek, hasierako ideia batetik abiatuz plaka bat lortzeraino.

1.2. Helburuak

Proiektu honen bitartez hainbat helburu betetzea da lortu nahi dena, helburuak hainbat motatakoak direlarik eta ezaugarri desberdinekoak.

1.2.1. Helburu teknikoak

Lehenago aipatu bezala, proiektu honen helburu nagusia tenperatura aldaketak modu zehatz batean neurtzea da, energiaren galera nola gertatzen den aztertzeko. Burutuko den proiektuari esker, tenperatura aldaketak neurtuko dira egoera eta kasu desberdinetan, hainbat sentsore erabiliz. Bestetik, helburu didaktikoa duela ere aipatu da aurretik eta gehiago konkretatuko da azken ideia hori. Esan bezala, zirkuituaren diseinua egingo den arren, plaka ez da osorik eraikiko, hutsuneak izango baititu osagai batzuen orde. Modu honetan, ikasleei sentsoreak erabiliz zirkuituak diseinatzea eta eraikitzea proposatuko zaie eta, zirkuituak aukera ugari dituzenez, dituzten tresnak eta ezagutza erabili beharko dituzte kasuan kasuko zirkuituaren eskakizunak betetzeko. Modu labur batean, honakoak dira proiektuaren helburu teknikoak:

- Hainbat sentsore erabiliz tenperatura aldaketak modu zehatzean neurtzea
- Neurketak egiteko plaka didaktiko bat sortzea
- Sortuko den plaka ahalik eta malguena izatea

1.2.2. Ikaslearen helburu teknikoak

Horretaz guztiaz gain, formazio pertsonala ere bada helburuetako beste bat, proiektuak elektronikaren alor ugari biltzen dituelako. Horrela, zirkuituaren baldintzak kontuan hartuta, lehenik analisi elektronikoa egingo da beharrezko osagaiak identifikatu eta haien balioak zehazteko; ondoren, zirkuituak birtualizatu eta bakoitzaren simulazioa egingo da software bidez. Jarraitzeko, sentsoreetako zirkuituen bateragarritasuna zenbatekoa den ikusi eta ahal den neurrian bateratuko dira. Azkenik, PCB plaka bat eraikiko da, ikasleek erabiliko dutena zirkuituak eraiki eta neurketak egiteko. Laburbilduz, hurrengo helburu teknikoak landuko dira ikaslearen ikuspegitik:

- Zirkuituen analisia tenperatura aldagaiak kontuan hartuz
- Zirkuituak simulatzailean eraiki eta horien simulazioa egitea
- Sentsore desberdinak dituzten zirkuituak plaka bakarrean integratzea
- PCB plaka baten diseinua

1.2.3. Ikaslearen zeharkako helburuak

Proiektu hau garatzen den bitartean, hainbat gaitasun lortuko ditu ikasleak. Lehenik, autonomia izango da egin beharreko urratsak zeintzuk diren baloratzeko eta urrats horiek gauzatzeko, nahiz eta tutore baten gidaritzapean egongo den beharrezkoa denean gidatzeko. Bestetik, malgutasuna eta moldagarritasuna lortuko ditu, emango dituen pausoak ez direlako elektronikaren arlo bakarrera mugatzen, eta azkar ikasi beharko duelako esaterako,

simulazioak nola egin edo plaka bat nola diseinatzeko den. Azkenik, komunikazioa ere landuko ditu ikasleak, elektronikaren atal desberdinak ikasteko irakasleekin jarri beharko delako harremanetan, arlo bakoitzean beharrezkoa den informazioa lortu eta aplikatu ahal izateko.

1.2.4. Helburu sozialak

Plakaren helburu teknikoetako bat didaktikoa izatea da eraikiko den plaka ikasleek erabili behar dutelako neurketak egiteko. Plaka ikasleentzat baliagarria ezinbestekoa da proiektu honen amaierako emaitzan, ondoren Garapen Jasangarrirako Helburuak (GJH) betetzeko erabiliko delako plaka. GJHen inguruan sakonduko da 2.1. atalean.

1.3. Metodologia

1.3.1. Proiektuaren kudeaketaren metodologia

Proiektua garatu aurretik, ongi identifikatu behar dira haren baitan dituen pausu eta fase desberdinak, guztia modu egoki eta antolatu batean egin ahal izateko. Aurreneko etapa osagaien identifikazioa eta haiek dituzten ezaugarri teknikoak aztertzea izango da, argi gera dadin zeintzuk diren zirkuitu desberdinen beharrak. Behin osagaiak definituak daudelarik, sentsore bakoitzarentzat zirkuitu bat egitea da hurrengo urratsa, kasu bakoitzeko beharrak eta baldintzak kontuan hartuz. Lehen analisi hori oinarritzat hartuta, software-a (aurrerago definituko dena) erabiliz zirkuituak eraiki eta aztertzea da egin beharrezkoa; guztiak egoki funtzionatzen duela ziurtatzeko simulazioaz baliatuko gara.

Zirkuituen banakako simulazioak egin ondoren, eta helburua plaka bat eraikitzea denez, zirkuitu guztiak eskema elektriko berean bateratzeko moduak aztertuko dira. Jarraitzeko, behin zirkuituak bateratuak daudelarik, plaka egitea izango da egin beharrezko hurrengoa; horretarako, PCBaren funtzionamendua ulertzea eta eraikitzea izango da helburua. Ondoren, plakaren prototipo bat egingo da protoboard bat erabiliz guztiak ongi funtzionatzen duela egiaztatzeko. Amaitzeko eta guztia ongi badoa, plaka fabrikatzera bidaliko da, egindakoa frogatu eta guztia ondo dagoela baieztatzeko.

1.3.2. Metodologia teknikoa

Behin proiektuaren kudeaketa metodologia zehaztua dagoela, metodologia teknikoa izango da definitu beharrezko hurrengo atala. Zati honetan, erabiliko diren baliabide teknikoak zeintzuk diren definitu eta azalduko dira, baita zein diren baliabide bakoitza hautatzeko arrazoiak eta helburuak.

Lehenik eta behin, zirkuituaren eskema elektrikoa diseinatu eta simulazioak burutzeko, Capture CIS izango da erabiliko den softwarea. Programa honen bidez, hainbat dira egin

daitezkeen gauzak. Batetik, eskema elektrikoa egin daiteke, osagai bakoitzaren ezaugarriak aldatuz, zirkuitu bakoitzari egokitzeko helburuarekin. Hala ere, zirkuituaren eraikuntzarako erremintak baliagarriak diren arren, ez da Capturek eskaintzen duen funtzionalitate bakarra. Aurretik aipatu den bezala, zirkuituaren simulazioak egitea beharrezkoa da guztia ongi doala ziurtatzeko eta hori egiteko, Capturek oso aukera zabala eskaintzen du haren simulazio atalean. Hori esker, zirkuituaren portaerak azter daitezke hainbat kasutan. Esaterako, proiektu honetan tenperaturaren araberako irakurketak egitea da helburu nagusia eta horretarako, Capturek badu tenperatura aldakorra denean zirkuituak simulatzeko aukera, analisia asko errazten duena.

Bestalde, PCBa egiteko erabiliko den aplikazioa PCB Editor izango da. Erreminta honen bidez, Capturen eraikitako zirkuitua oinarritzat hartuta egingo da plakaren diseinua. Hori egin ahal izateko, ezinbestekoa da osagai bakoitzari dagokion footprinta zehaztea ezaugarrietan (gehiago sakonduko da 5.4.3. atalean). Gainera, PCB Editoren bidez asko errazten da plakaren eraikuntzarako beharrezkoak diren geruza eta dokumentuen sorrera, ondoren fabrikatzerakoan guztia modu argi batean egon dadin. Akatsak automatikoki identifikatzen dituenek, modu egoki batean burutu daitezke plakaren eraikuntza eta osagai bakoitzak dituen konexioak.

Azkenik, PCB Editorekin lotura duen Padstack Editor programa izango da erabiliko den beste programa bat. Programa honek aukera ematen du osagai bakoitzaren zuloak eta konexioak egin behar diren zatiak editatzeko (.pad luzapena duten artxiiboak, hain zuzen). Programa hori erabiltzea nahitaezkoa izango da plaka eraiki ahal izateko, stockean dauden osagaiak ez direlako normalean zehazki nahi diren tamainakoak eta beraz, editatzea oso garrantzitsua da guztia modu koherente eta egoki batean osatua egoteko.

Honekin, metodologia teknikoari dagozkion atalak definituak eta azalduak daude eta aurrerago burutuko diren urratsetan erabiliko dira baliabide horiek, bakoitzak paper garrantzitsua jokatuko duelarik proiektua osatzerako garaian.

1.4. Motibazioa

Emandako azalpenekin argi geratu den bezala, proiektu honek elektronikaren arlo ugari biltzen ditu haren baitan, zirkuituen eraikuntza eta analitika PCB baten diseinura arte. Hainbeste eremu lantzea izan da proiektu hau aukeratzearren arrazoi nagusia, arlo bakarrean asko sakondu beharrean diziplina ugartan formatzea eskatzen baitu, ingeniari batek egingo lukeen lanaren oso antzekoa den zerbait eginez, etengabeko formazioa baita zientzia eta garapenean horren garrantzitsu den ataletako bat. Gainera, badira orain arte ezezagunak

diren hainbat arlo elektronikoa, hala nola, simulazio elektronikoa, eta proiektu honi esker posiblea izango da ingurune horretako programak eta lan egiteko modua nolakoak diren ezagutzea.

Formakuntza pertsonalaz gain, beste motibazio garrantzitsu bat izan da ikasleek erabiliko dituzten plakak eraikitzea. Proiektu honen bidez Industria Elektronikaren eta Automatikaren Ingeniaritza Graduko ikasleentzat erabilgarriak izango diren PCBak egin ahal izatea aldeko argudio indartsua da, helburu argi bat finkatzen duelako proiektuak, eta bestalde, diseinu parametroak egiterakoan kontuan hartu beharreko zerbait delako helburu didaktikoa, ez baita gauza bera plaka komertzial bat egitea edo ikasleentzako plaka bat egitea. Modu honetan, ezinbestekoa izango da uneoro jakitea ikasleen beharrak zeintzuk izango diren eta horrela, exijenteagoa izango da proiektua, ezin baitira zirkuituak edonola eraiki.

2. Testuingurua

Proiektuaren testuingurua azaltzerakoan, aztertuko den arlo nagusia ikasleek dituzten baliabideak izango dira, planteaturiko proiektua gaur egun egin nahiko balute. Bestalde, tenperatura neurtzeko sentsoreak direnez zirkuituen elementu zentrala, sentsore horien zirkuituei buruz ere testuingurua emango da, betiere Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskola abiapuntutzat hartuta.

2.1. Garapen jasangarrirako helburuak

Proiektuaren gauzatzea ez da ulertzen garapen jasangarrirako helburuak kontuan izan gabe, horiek baitira Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan aplikatu nahi direnak, besteak beste, proiektu honen bidez. Eraikinaren jasangarritasuna aztertu eta hobetzea da honen bidez bilatzen dena eta horretarako hainbat ekintza egitea planteatzen da [1]:

- Kontsumo energetikoa aztertzea
- Konfort termikoa ebaluatzea
- Beharrezkoak ez diren kontsumoak murriztea
- Unibertsitate komunitatea kontzientziaztea
- Beste eraikin batzuetara esportatu daitezkeen neurriak proposatzea

Hori egiteko, arazo errealak aztertzea da egingo den gauzetako bat, kasu honetan tenperatura neurketen bidez eraikinaren eraginkortasun eta egonkortasun termikoa aztertuko dira. Modu honetan, arazoari konponbide bat eman ahal izateko datuak jasoko dira eta etorkizunean beharrezkoak diren neurriak zeintzuk diren jakin ahal izango da egingo diren tenperatura neurketei esker.

Bestalde, atentzioa garapen jasangarriko helburuetan (GJH) soilik jarriz, ondorengoak izango dira garatuko diren helburu nagusiak:

- Osasuna eta ongizatea (GJH3)
- Kalitatezko hezkuntza (GJH4)
- Hiri eta komunitate jasangarriak (GJH11)
- Ekoizpen eta kontsumo jasangarriak (GJH12)

Aipatutako guztiarekin, zehaztuak geratzen dira zeintzuk diren proiektu honen bitartez garatuko diren GJHak.

2.2. Ikasleen egungo egoera

Lehenik eta behin esan beharra dago garatu nahi den proiektuaren arlo elektronikoa egiteko baliabide guztiak ikasleek jada badituztela eskura, printzipioz. Hala ere, egun dagoen ekipamendua ez dago oso eguneratua eta zirkuitu egokiak egitea nahiko lan deserosoa izan daiteke: askotan gertatu ohi da denbora gehiago behar izatea elementuak egoki funtzionatu dezaten ziurtatzeko, zirkuitua bera ulertzeko baino. Beraz, hori ez da oso aberasgarria ikuspuntu didaktiko batetik, ikasleek ez baitute ongi ulertuko zertarako balio duen elementu bakoitzak. Hainbat adibide jar daitezke esandakoa justifikatzeko: kableak egoera txarrean egotea edo protoboard higituak, besteak beste.

Bestalde, ikasleen neurritara egindako baliabideak egon beharrean, ikasleak dira dauden baliabideetara egokitu behar direnak eta horren ondorioz elektronikarekiko duten interesak behera egin dezake, ez baita batere erosoak trabak topatzea laborategian lan egiten den bitartean.

Proiektu honen bitartez, ikasleen ikaskuntza esperientzia hobetzea lortuko da hainbat arrazoirengatik. Batetik, egin behar duten praktikarentzat espezifikoki eraikitako plaka bat izango dute haien esku eta horren bidez egungo metodoarekin dituzten oztopo ugari saihestuko dituzte, eroaleekin eta osagaien kokapenarekin zerikusia dutenak, nagusiki. Bestetik, hobe ulertuko dute zein den osagai bakoitzaren helburua zirkuitu elektronikoetan, plakak hutsuneak izango baititu osagaiak kokatu behar diren tokian eta beraz, ikasitakoa aplikatuz eraikiko dute zirkuitua, sentsore bakoitzaren eskakizunak modu egoki batean bete daitezten.

2.3. Temperatura neurketak

Gaur egun, Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan temperatura neurketak egin nahi badira ez dago baliabide gehiegirik modu dinamiko batean egin nahi badira, normalean

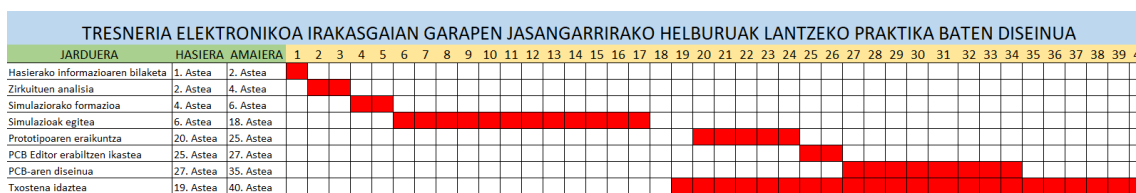
laborategian erabilitako prozedura berbera erabili behar delako. Hori modu erraz batean egiteko, tenperaturak neurtzea helburu duen plaka bat sortuko da, zeinaren irteeran lortzen diren tentsioak gordeko diren temperatura aldaketaren jarraipena egin ahal izateko. Eraikiko den plakaren bidez, tenperatura neurketak egin nahi dituen edonork izango du aukera horiek modu erraz eta eroso batean egin ahal izateko, kokatu behar diren elementuak ez direlako asko eta zirkuituaren eraikuntza oso azkar egin daitekeelako.

Gainera, aurrez aipatu bezala, isolamendu termikoaren inguruko datuak ateratzeko helburua dute eraikiko diren plakek eta ikasleen praktikan erabiltzeaz gain, gai hori aztertu nahi duen edozeinek erabil ditzake plakak, neurketa horiek egiteko prestatuta baitaude. Horrez gain, neurketen emaitzak kudeatu eta monitorizatu eta gordetzeko Labview edo antzeko software bat garatu daiteke proiektuaren atal fisikoa amaitu eta gero, errazagoa izan dadin emaitzak bistaratzea eta jarraipena egitea.

3. Denboraren kudeaketa eta aurrekontua

3.1. Denboraren kudeaketa

Denbora kudeatzerakoan, proiektua ikasturte osoan zehar egiteko plana egin da, atalez atal garapen lineala izango duena, hau da, prozesuaren hurrengo urratsera igaro ahal izateko beharrezkoa izango da aurreko urratsa osorik bukatua egotea. Hala ere, badago salbuespena eta hori proiektuaren garapena erregistratuko duen txostenaren idazketa izango da, 19. astetik aurrera paraleloki egingo baita proiektuarekin batera. 1. irudiko Gantt diagraman ikusten da nola antolatu den proiektua denboraren ikuspuntutik. Gantt diagraman urrats bakoitzaren helburu nagusia agertzen da, hau da, ez dira azpiatalak bereizi, modu sinpleago batean ikus daitezen proiektuaren garapenaren nondik norakoak.



1. Irudia: proiektuaren Gantt diagrama

3.1. Aurrekontua

Aurrekontua egiterakoan, zirkuituak egiteko osagai elektronikoak, erabilitako ekipoen (ordenagailuak, laborategiko aparailuak...) eta software-n lizentziak hartu dira kontuan. Esan beharra dago zenbait kasutan (laborategiko ekipoetan batez ere) ez badira zehazki erabilitako modeloak aurkitu, funtzio berbera bete dezakeen beste tresna bat hartu dela

kontuan aurrekontua egiterakoan. Proiektuaren guztizko aurrekontua plaka bat egiteko 4009.39 eurokoa da, 2. irudian ikus daitekeen bezala.

Produktua	Prezioa unitateko	Lote minimoa	Erositakoak	Prezioa
Sentsoreak				
Pt100	33,54	1	1	33,54
NTC	0,92	5	5	4,6
LM35	8,58	1	1	8,58
T motako termoparea	5,692	5	5	28,46
Osagai estandarrak				
Erresistentziak				30
Protoboard	77,73	1	1	77,73
Protoboard kableak	6,86	1	1	6,86
Kokodrilo pinzadun kableak				
AD622	11,4	1	1	11,4
Elektronika ekipoak				
Osziloskopia	606,21	1	1	606,21
Multimetroa	132,25	1	1	132,25
Elikadura iturria	684,71	1	1	684,71
Software-ak				
Cadence lizentzia	1300	1	1	1300
PCB				
PCB-ren fabrikazioa	85,05	1	1	85,05
Ordenagailua	1000	1	1	1000
GUZTIRA				4009,39

2. Irudia: aurrekontuaren atalak desglosaturik

4. Artearen egoera

Proiektu hau aurrera eramateko, hainbat arlo tekniko hartu behar dira kontuan bai sentsoreei dagokienez, bai anplifikadoreei dagokienez eta bai erabiliko diren softwareei dagokienez ere, ondoren azalduko direnak.

4.1. Tenperatura neurketak

Lehenik tenperatura sentsore bat zer den definitu behar da: airean edo uretan (kasu honetan airean) detektatzen dituen tenperatura aldaketen aurrean propietate elektrikoetan aldaketaren bat jasaten duen osagai elektrikoa. Dauden sentsore mota guztien artean, hiru mota nagusi desberdinu daitezke: RTD motakoak, termopareak eta sentsore infragorriak; aplikazio honetan ez da infragorriekin lan egingo, baina bai beste bi sentsore motekin.

4.1.1. RTD

RTD motako sentsoreek [2] [3] [4] erresistentzia aldakorra dute, tenperaturaren arabera handiagoa edo txikiagoa izango dena. Aplikazio honetan bi RTD sentsore erabiliko dira: Pt100a, zeinaren erresistentzia handiagoa izango den tenperatura igo ahala eta NTC motako sentsore bat, tenperatura igotzearekin batera erresistentzia baxuagoa izango duena. Hala ere, zenbait desberdintasun esanguratsu dituzte bi sentsore mota horiek.

Batetik, Pt100ak nahiko portaera lineala, zehaztasun ona, epe luzeko egonkortasuna eta nazioarteko estandarrak betetzea dauzka bere alde, oso sentsore erabilia bihurtzen dutena giro tenperaturak neurtzeko aplikazioetan.

Bestetik, NTCak haren alde daukan arlo bakarrenetakoa tenperaturarekiko daukan sentikortasun altua da, baina autoberokuntza koefizientea ere kontuan hartu beharrekoa da, eragin handiagoa baitu Pt100ean eta horren ondorioz, zorrotzagoa izan behar da zirkuituko osagaiak aukeratzeko Pt100ean.

4.1.2. Termopareak

Termopareak material desberdineko bi hari metaliko dituzten tenperatura sentsoreak dira eta eraikuntza honek tentsio diferentzia bat sortzen du, ondoren gailu elektronikora bidaliko dena.

Termopareak [2] dira tenperatura neurketa sistemetan gehien erabiltzen diren sentsoreak hainbat arrazoiengatik: prezio ekonomikoa dute, instalatzeko errazak dira, ez dute elikadurarik behar eta hainbat prozesutara egoki daitezkeen zehaztasuna dute. Hala ere, beste tenperatura sentsore batzuekin alderatuz, termopareek ematen duten erantzuna nahiko motela izan daiteke, baina aplikazio honek giro tenperaturak neurtuko dituzenez, ez da abiadura handirik behar neurketetan, baizik eta fidagarritasuna.

Termopareen artean, hainbat motakoak aurki daitezke:

- J motakoak: burdin eta konstantanez egina, 0°C eta 750°C arteko tenperaturak neurtzeko egokia.
- T motakoak: kobrezko eta konstantanezko alambre bana ditu eta -250°C eta 350°C arteko tenperaturak neurtzeko balio du.
- K motakoak: chromega eta alomega elkargunea dauka eta mota hedatuena da. 300°C eta 1100°C arteko tenperaturatan erabiltzea gomendatzen da.
- E motakoak: chromega eta konstantanez eraikita dago eta haren neurketa tartea -200°C eta 900°C artekoa da.

Mota guztiak aipatu ondoren, esan beharra dago aplikazio honetarako erabiliko den termoparea T motakoa dela, hori baita eskuragarri dagoena.

4.1.3. LM35

LM35a [5] oso hedatua dagoen beste tenperatura-sentsore bat da, tenperaturak neurtzeko eskaintzen duen erraztasunagatik. Sentsore mota honen neurketa tartea -55°Ctik 150°Cra inokoa da eta 10 mV ematen ditu irteeran neurtzen duen °C bakoitzeko,

temperaturarekiko zuzenki proportzionala delarik irteeran emandako tentsioa. Gainera, sensore honek ez du beste osagirik behar temperatura neurtzeko, hau da, nahikoa da sensorea elikatu eta haren irteerako tentsioa neurtzeko jakiteko zenbatekoa den neurtutako temperatura.

Hiru pinetako sensorea da (elikadura, irteera eta GND) eta tentsio irteera analogikoa da, berehalako erantzuna ematen duena temperatura aldaketen aurrean. Hala ere, LM35 motako sensoreek ez daukate zehaztasun handirik eta neurketen zehaztasuna garrantzitsua bada aplikazioan, ez da gomendagarria sensore mota hau erabiltzea.

LM35a hedatuena den arren, badaude funtzionamendu berbera daukaten hainbat temperatura sensore, AD22100a kasu.

4.2. Tresneriako amplifikadorea

Tresneriako amplifikadorea [6] irabazpen diferentzial kontrolatua duen gailu elektronikoa da, inpedantzia altua eta modu komunaren errefusatze altua dituena, hau da, bi tentsio sarreren arteko kenketa faktore batez biderkatzen da, diferentzia hori handitzeko. Amplifikadore mota honek bi etapa ditu: lehen etapa aurre-amplifikazio etapa da eta bigarrena etapa diferentziala. Tresneria amplifikadoreen ezaugarrien artean honakoak aurki daitezke:

- Amplifikadore diferentziala
- Inpedantziak: sarrerakoa altua (idealki infinitua) eta irteerakoa baxua
- Irabazpen aldakorra
- Zarata faktorea unitate batekoa gutxi gorabehera
- Tentsio iturriko kizkurdurari errefusatze altua
- Kapsulatuekin eraiki daiteke
- 3 amplifikadore operazioetan oinarritzen da

Beraz, egin behar den proiekturako oso komenigarria da amplifikadore mota hau erabiltzea, neurtuko direnak tentsioak direlako eta, beraz, tresneriako amplifikadorearen bidez lortuko da seinaleak amplifikatzea. Proiektu honetan erabiliko diren amplifikadoreak AD622 eta INA126 dira, biak tresneriako amplifikadoreak.

4.3. Programak

Proiektua aurrera eraman ahal izateko ezinbestekoa izango da hainbat software erabiltzea, bai simulazioak egin ahal izateko eta bai PCBaren eraikuntza egiteko. Jarraian azalduko dira erabilitako softwareak.

4.3.1. Capture CIS

Zirkuituen simulazioa egiteko erabiliko den softwarea Capture CIS Lite da, zirkuitu elektrikoak eraiki eta simulatzeko aplikazio bat izateaz gain, oso garatua dagoelako eta eskaintzen dituen aukerak anitzak direlako. Bestalde, nahiko aplikazio intuitiboa da, eta zirkuitua eraikitzeke beharrezkoak diren erremintak modu argi batean ikus daitezke lehen begiratuan. Osagaien malgutasunari erreparatuz, osagaia edozein delarik ere haren balio alda daiteke, zirkuitua nahi den modukoa izan dadin eta nahi diren parametroak aukeratu daitezten.

Capturek daukan beste funtzionalitate baliagarri bat liburutegiak dira. Berez, Capturek badakartza hainbat liburutegi bertsio honetan, baina ezinbestekoa da horiek inportatzea erabili ahal izateko. Egingo diren zirkuituetarako, hurrengoak izango dira inportatuko diren berezko liburutegiak (Captureko instalazio karpetan daudenak): ANALOG, BIPOLAR, BREAKOUT, CONNECTOR, DIODE, SOURCE eta SPECIAL. Liburutegi estandarrenak dira horiek eta, beraz, oinarriko osagaiak egongo dira bertan, hala nola, tentsio iturriak, erresistentziak eta lurrak.

Berezko liburutegi horietaz gain, beste hainbat objektu inportatzea ezinbestekoa izango da zirkuituak eraiki ahal izateko. Anplifikadoreak dira berez Capturen ez dauden eta beharrezkoak diren osagai horiek, AD622 zehazki. Hala ere, AD622-aren eredua bilatu arren, ez da lortu haren eredua eta AD623aren eredua izango da hasiera batean simulazioak egiterakoan erabiliko den anplifikadorea, antzeko portaera baitu eta AD622aren oso antzekoa delako. Beraz, ez da beharrezkoa izango zirkuituaren parametro nagusiak aldatzea, lan egiteko modua ez delako aldatzen.

Lehenago esan bezala, zirkuituen eraikuntzaz gain horien simulazioa da Capture erabiltzearen beste arrazoietako bat, aukera ugari ematen baititu simulazioak hainbat aldagairen menpe egiteko, ez bakarrik tentsioaren edo denboraren menpe. Temperatura da eraikiko diren sentsoeen zirkuituen aztergaia eta Captureren bidez tenperaturaren menpeko simulazioa egin daiteke, aplikazio jakin honetarako emaitzen irakurketak asko erraztuko dituen funtzionalitatea bihurtuz. Hala ere Captureren Lite bertsio honek baditu hainbat muga, doako bertsioa baita. Eraikuntza honetan eragin dezakeen mugetako bat nodo kopurua da, hau da, eroale eta osagaien artean egin daitezkeen loturen kopurua; baina eraikiko diren zirkuituak ez direnez oso konplexuak, hasiera batean ez dago muga honetaz kezkatu behar gauzak ongi egiten badira.

Esandako guztiarekin, modu argi batean geratu dira azalduak erabiliko den simulazio softwarearen nondik norakoak zeintzuk diren eta zein funtzionalitate eta gaitasun dauden eskura Capture CIS Lite zirkuituaren eraikuntzarako eta simulazioentzako dituen erremintak erabiltzerakoan.

4.3.2. PCB Editor

PCB Editor Cadencen beste erreminta bat da, PCBak diseinatzera bideratua dagoena. PCBak diseinatzeko beharrezkoak diren tresna guztiak ditu software honek eta nahiz eta proiektu hau erabiltzeko bertsioa “Lite” bertsioa den, ez da bertsio osoaren beharrik egongo, ez delako plakaren eraikuntza oso konplikatua aurreikusten.

Programa honen bidez PCB-a eraiki ahal izateko, lehenengo Capture CIS bidez sortu den zirkuituaren netlista egin behar da PCB Editorera esportatu ahal izateko eta ondoren bertan eraikiko da PCBa. Capture CISen osagai elektronikoko bakoitzari footprint bat (PCBan izango duen itxura) esleituko zaio; nahiz eta berez hainbat footprint dakartzan programak, osagaiaren batek ez balu footprintik edo footprinta aldatu nahiko balitz PCB Editorek footprint berriak sortzeko edo daudenak aldatzeko aukera ematen du.

PCB-a diseinatzeaz amaitu eta gero, PCB Editorek ezaugarri guztiak esportatu eta fisikoki eraikitzeko beharrezkoak diren artxibo guztiak sortzeko aukera ematen du. Guzti hori esanda, PCB Editor oso aukera komenigarria da nahi den prozesua aurrera eramateko, dituen erreminta guztiek software egokia egiten baitute.

5. Prozesuaren analisia

Egingo den prozesua aztertuko da jarraian, baldintzak eta beste hainbat arlo kontuan hartuta balorazio bat egiteko.

5.1. Hasierako baldintzak

Proiektua planteatzerako garaian, bete behar diren hainbat baldintza hartu behar izan dira kontuan arlo funtzionalean eta diseinu arloan, proiektua modu egoki batean egin ahal izateko ezinbestekoak direnak.

Hasteko, sentsoreak zeintzuk izango diren zehaztu da. Temperatura neurketak egiteko lau bide erabiltzea izango da proiektuaren helburua, metodo edo bide bakoitza sentsore mota desberdin batez egingo delarik. Erabiliko diren sentsoreak hurrengoak dira: RTD motako sentsore termikoa, NTC motako sentsore termiko bat, LM35 eta termopare bat. Sentsoreak

zeintzuk izango diren jakiteko, lehentasuna izango dute jadanik Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan daudenak, ahal dela dagoen ekipamendua aprobetxatu nahi delako. Aurrerago zehaztuko da zein diren hautatutako sentsoreak.

Bestalde, anplifikadorearen modeloa zein izango den zehaztu da baita ere: AD622. Anplifikadore hori aukeratzeko irizpidea sentsoreen erabilitakoaren berbera da, hau da, aurretik Ingeniaritza Eskolan dagoen tresneria erabiltzea, amaierako plakaren eraikuntzak ahalik eta kostu txikiena izan dezan.

Azkenik, sentsoreen zirkuituak plaka bakarrean bateratu ahal izateko, bakoitzaren zirkuitua diseinatu ostean eskema elektriko optimizatuena egitea beharrezkoa izango da, guztia PCB batean sartu ahal izateko. Baldintza honen ondorioz, banakako zirkuituen arteko antzekotasunak egotea komenigarria da osagai aldetik, bestela ezinezkoa izango baita amaierako helburua betetzea.

Aipatu diren baldintza nagusiak jarraian laburbiltzen dira:

- PT100, NTC, sentsore komertzial eta termopareak izatea sentsoreak
- AD622 anplifikadorea erabiltzea
- Zirkuituak bateragarriak izatea

5.2. Analisi funtzionala

Baldintzak eta baliabideak ikusita, proiektua bideragarria dela esan daiteke, ez baitago teknikoki ezinezkoa den ezer lehen analisia egin eta gero. Hala ere, ongi zehaztu beharra dago zein den proiektuaren fase bakoitzean dauden helburu eta eginbeharrak, guztiak ongi funtzionatu dezan.

Horretarako, fase bakoitzean erabili behar diren erremintak zeintzuk izango diren zehaztu behar da: zirkuituen analisirako ez da aparteko erremintarik behar, simulaziorako beharrezkoa izango da horretarako bereziki diseinatu dagoen softwareren bat erabiltzea eta PCBaren diseinurako beste software bat erabiltzea ezinbestekoa izango da. Hala ere, aurrez aipatu bezala, baliabide horiek eskura daude eta beraz, ez da aparteko ezer behar proiektua egoki burutzeko.

5.3. Analisi formala

Analisi formalean erabiltzaileek (kasu honetan ikasleek) amaierako plakarekin izango duten elkarrekintza zein izango den hartuko da kontuan. Kasu honetan, amaierako plakak ez du osagairik izango konektatuta hasieran, anplifikadorea kenduta (finko egongo baita). Beraz,

ikasleek egin beharko duten zeregina da hutsune bakoitzean osagai egokia kokatzea, zirkuituak kasu bakoitzean nahi den portaera izan dezan eta neurketak egoki burutu ditzan. Aipatu beharra da plakaren helburuetako bat ahalik eta malguena izatea dela, hau da, hutsuneak izatearen helburua bertan hainbat osagai desberdin sartu ahal izatea da. Modu honetan, sentsorearen arabera zirkuitu desberdina izango denez, hutsuneetan osagaiak ere desberdinak izango dira. Bestalde, nahiz eta hutsune ugari egongo diren, zenbait sentsoreen kasuan ez da beharrezkoa izango hutsune guztietan osagaiak jartzea.

Esan beharra dago plaka hutsuneduna izango denez, nahi diren konexioak egin daitezkeela, ez baitago ezer finko eta beraz, ikasleen esku dago plakak ongi funtzionatzea eta arazorik ez egotea. Beste modu batean esanda, litekeena da zirkuitua gaizki eraikitzea eta zirkuitulaburrak egotea, zenbait kasutan plaka hondatzera eraman dezaketenak. Hori kontuan hartuta, ezinbestekoa da zirkuituaren konexioak ongi eginda daudela ziurtatzea plaka konektatu aurretik, ez bada ondorio txarrik egotea nahi.

Laburbilduz, printzipioz egoki eta arazorik gabe funtzionatzeko diseinatua dagoen arren, erabiltzaileen esku dago amaierako plaka ez hondatzea eta ahalik eta gehien irautea.

6. Proiektuaren garapena

Proiektuaren analisi orokorra egin ondoren, azaldutako ideia aurrera eramateko behar diren urratsak azalduko dira. Proiektuaren garapena diziplina askoren konbinazioa denez, zatietako bakoitzaren garapena azalduko da banan bana.

6.1. Zirkuituaren analisisia

Proiektuari ekiterakoan, egin beharreko lehenengo urratsa zirkuituen analisi zuzena egokia egitea da; horretarako, ezinbestekoa da osagai bakoitza zehazki zein izango den jakitea eta horren arabera zirkuitua egitea. Zirkuituaren analisisia sentsoreka egingo da, hau da, sentsore bakoitzarentzat analisi desberdin bat egingo da, haien lan egiteko modua kontuan hartuz eta amaierako irteera ahalik eta gehien optimizatzeko helburuarekin, irteera irakurterraza izan behar baita, frogak erabilgarriak izan daitezzen.

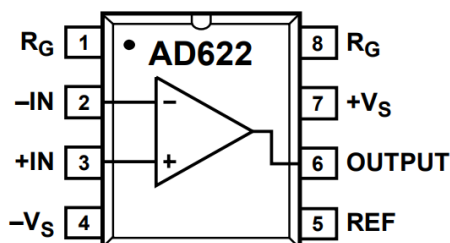
6.1.1. Anplifikadorea

Irteerako seinaleak amplifikatzeko erabiliko den amplifikadorea AD622a izango da, tresneriarako amplifikadorea dena, irabazi gaitasun aldakorrarekin. Anplifikadorearen irabazi gaitasuna jartzen zaion R_G erresistentziaren arabera da eta ezaugarri orrian ikus daiteke zein den erresistentzia bakoitzari dagokion irabazi gaitasuna (G). Emandako taulari behatuta,

ikus daiteke jarritako erresistentziaren balioa txikitzen den heinean amplifikadorearen irabazia handitzen dela.

Anplifikadore honek bi sarreraren arteko tentsio desberdintasuna handituko du irteeran eta gauzak errazte aldera, sarrerako inbertsorea (-IN) lurrera konektatuko da, sarrera ez inbertsorea(+IN) izan dadin irteerako tentsioa baldintzatuko duen aldagai bakarra. Sarrera ez inbertsorea deitzen den arren, litekeena da zenbait kasutan tentsio hori negatiboa izatea, baina izango lukeen eragin bakarria irteera negatiboa izatea da eta ez luke amplifikadorearen funtzionamenduan bestelako ondorioz izango.

Bestalde, amplifikadorea 8 pinetakoa denez, berebizikoa da ongi jakitea zer konektatu behar zaion pin bakoitzari. Ezaugarri orriko informazioari [7] eta 3. irudiari erreparaturaz, pinak honakoak dira:



3. Irudia: AD622 anplifikadorearen pin-en kokapena

PIN	Funtzionalitatea
1	R_G erresistentziaren borne bat
2	Sarrera inbertsorea (-IN)
3	Sarrera ez-inbertsorea (+IN)
4	Elikadura tentsio negatiboa ($-V_s$)
5	REF (lurra)
6	Irteerako tentsioa (OUTPUT)
7	Elikadura tentsio positiboa ($+V_s$)
8	R_G erresistentziaren beste bornea

Gainera, amplifikadorearen helburua seinalea anplifikatzea denez sentsoreen bidez lortutako irteerak irakurtzeko errazagoak izateko, komenigarria da irteerako seinalearen tarte ahalik eta zabalena izatea. Horretarako, ezaugarri orriak dio ± 15 Vkoa dela gehienez aplikatu daskiokeen elikadura eta beraz, hori izango da amplifikadoreak irteeran eman

dezakeen tentsio maximoa idealki. Hala errealitatean ez da ± 15 V horietara iritsiko eta beraz, hobe da gehiegi ez hurbiltzea muturretako tentsio muga horietara. Hori jakinda, amplifikadorea ± 15 Vtan elikatzea erabaki da, irteerako seinalea ahalik eta handiena izateko helburuarekin.

Hala ere, ez da irabazi gaitasuna alde zurratik finkatu, sentsorearen arabera aldatuko baita R_g erresistentzia, zirkuitu bakoitzaren beharrei egokitzeko. Helburu hori betetzeko oso erabilgarria da amplifikadore mota hau, ezaugarri orrietan oinarrituta eta zirkuituaren irteera tentsioa kalkulatu modu egoki batean aukeratu daitekeelako zenbatekoa izango den irabazia lortzeko erresistentzia, zirkuitua dinamikoagoa bilakatuz. Sentsore bakoitzaren zirkuitua garatzean zehaztuko da zenbateko R_G erresistentzia jarri behar zaion amplifikadoreari kasu bakoitzean.

6.1.2. Elikadura

Zirkuituaren elikadura definitzerakoan, hainbat faktore hartu behar dira kontuan. Batetik, amplifikadorearen irteerako seinalearen tartea ahalik eta zabalena izateko helburuarekin, ezarri da haren elikadurak ± 15 Vkoa izan behar duela. Bestalde, gogoan izan behar da zirkuitua Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolako laborategian erabiltzeko izango dela eta, beraz, baliabideak ez direla mugagabeak. Gauzak sinplifikatze aldera, erabaki da amplifikadorean sartu aurretik dagoen zirkuituaren zatia elikadura tentsio berbera aplikatzea, hau da, 15 Vko tentsioa.

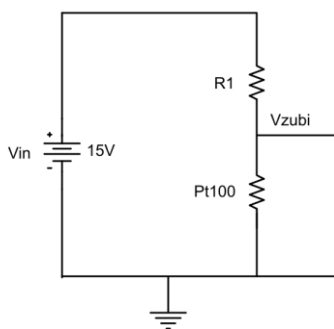
Modu honetan, zirkuitu osoa elikatzeko nahikoa izango da hiru borneko elikadura iturri bakarra erabiltzea. Borneetako batek 15 Vko tentsio positiboa emango du, beste batek -15 Vko tentsio negatiboa eta hirugarrenak 0 V izango ditu, lurraren papera betez. Elikadura hori zirkuituaren atal desberdinetara eramateko konexioak zeintzuk izango diren aurrerago definituko dira. Bestalde, tentsio iturri bera dagoenez, modu autonomo batean lan egitea ahalbidetzen du, ez delako aldaketarik edo egokitzapen gehigarririk egin behar.

6.1.3. Pt100

Pt100 RTD motako tenperatura sentsorea da, haren erresistentzia handitzen delarik tenperaturarekin batera. Sentsore ezagunenetako bat da tenperatura neurketak egiteko eta oso erabilia da haren prezio baxuagatik eta daukan egonkortasunagatik: erresistentziaren hazkuntza nahiko lineala da eta horrek asko errazten ditu egin beharreko neurketak. Linealtasun horren ondorioz, printzipioz ez da beharrezkoa izango aparteko egokitzapenik egitea, berez baita lineala sentsore erresistibo honen portaera.

Hala ere, nahiz eta ez den linealizatorik egin behar, zirkuitua diseinatu eta gainerako osagaien balioak definitu behar dira, lortzen den irteera ahalik eta zabalena izan dadin tentsioan, neurketak errazteko. Anplifikadorearen handitze gaitasuna ere zehaztu behar da eta horretarako, R_G erresistentziaren balioa zein den kalkulatzeko beharrezkoa da.

Pt100ak tentsio irteera bat eman dezan, tentsio zatitzaile bat erabiliko da, 4. irudian ikus daitezkeen bezala. Metodo honen bidez irteera ere lineala izango da, baina tentsioa aldatuko da tenperaturarekin batera. Pt100a bakarrik kokatuko balitz (beste erresistentziarik gabe), nahiz eta erresistentziaren balioa aldatuko litzatekeen, ez zen irteerako tentsioa aldatuko, baizik eta korrontearena; eta kasu honetan neurketak tentsioaren arabera egingo direnez, ez da Pt100 sentsoa bakarrik kokatuko zirkuituan. Erresistentzia berria seriean kokatzearekin batera, irteera aldakorra izatea lortuko da, hasieratik eskaturiko portaera lortuz.

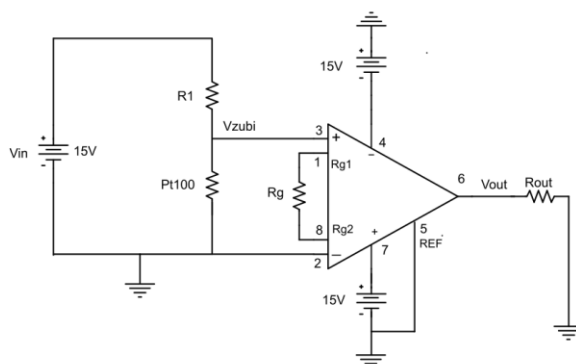


4. Irudia: Pt100aren kokapena tenperaturak neurtzeko

Pt100aren erresistentziaren balioak zeintzuk izango diren jakiteko, ezaugarri orrian [8] emandako balioak hartuko dira oinarritzat. Momentuz, analisia egiteko erresistentziaren goiko eta beheko mugak hartuta nahikoa izango da, muturreko balioekin aztertuko baita ondoren anplifikadoreak ematen duen tentsio irteera. Aurretik aipatu den bezala, giro tenperatura helburu duten neurketak dira landuko direnak eta beraz, tarte hori hartuko da Pt100-aren neurketa tarte moduan, baina gehiago handituko da tarte hori, gerta daitezkeen ustekabeen aurrean zirkuitua babestuta egon dadin. Modu honetan, tenperatura altuena bezala 50°C hartuko da eta tenperatura baxuena bezala -20°C . Balio horiekin, Pt100-ak izango duen balio erresistiborik handiena 119.4Ω izango da; txikiena, aldiz, 92.13Ω . Erresistentzia horiek izango dira zirkuituko kalkuluak egiteko erabiliko direnak.

Behin erresistentziaren balio maximo eta minimoak definituak daudela, definitu beharreko hurrengo osagaia seriean jarriko den erresistentziarena da. Hainbat faktore dira erresistentziaren balioa hautatzerakoan kontuan hartu beharrekoak: batetik, komenigarria

da amplifikatu aurretik lortuko den tentsio altuenaren eta baxuenaren artean ahalik eta tarterik handiena egotea, desberdintasunak agerikoagoak izan daitezten amplifikazioa egin eta gero; bestetik, ez da komeni erresistentzia txikiegia izatea, bestela, litekeena da zirkuituan zehar igarotako korronea oso altua izatea eta horren ondorioz, osagaiak gehiegi berotzea, Pt100aren neurketei fidagarritasuna kenduz. Horretarako, gomendagarriena 0.1 mA baino korrone txikiagoak egotea da, modu honetan ez baita sentsorearen berokuntza gertatuko eta neurketak fidagarriak izango baitira. Hori guztia aintzat hartuta eta erresistentzia balio desberdinekin zirkuituaren analisisia egin ondotik, aukeraturiko serieko erresistentziaren balioa 5 k Ω koa izatea erabaki da, zirkuituaren amaierako itxura 5. irudian agertzen delarik.



5. Irudia: Pt100 bidez tenperaturak neurtzeko eraikitako zirkuitua

Erresistentzia horrekin, -20°Cko tenperatura neurtzen duenean 9.207 mVko balioa emango du teorikoki amplifikatu aurreko irteeran; bestalde, tenperatura altuenean, hau da, 50°C-tan 11.931 mV izango da zirkuituak emango duen irteera.

$$V_{zubi -20^{\circ}C} = 15V * \frac{92.13\Omega}{150k\Omega + 92.13\Omega} = 9.207 mV$$

$$V_{zubi 50^{\circ}C} = 15V * \frac{119.4\Omega}{150k\Omega + 119.4\Omega} = 11.931 mV$$

Bi balioak lortu ondoren, hurrengo zeregina amplifikazioa zenbatekoa den zehaztea izango da. Hori egiteko, amplifikadorearen handitze tarte ahalik eta gehien erabiltzea da komenigarriena, hau da, 15Veko baliora hurbiltzea goiko tartean, betiere balio hori gainditu gabe eta tarte txiki bat utziz, errealitatean ez baita 15Vkoa izango elikadurak emandako tentsioa (analisiak kasu idealetan egiten dira). Beraz, hori kontuan hartuta, erabaki da lortu beharreko amplifikazioa $G=989.3$ dela, amplifikadoreak eman dezakeen gehiena. Modu honetan, 50°Ctan egongo den irteera 11.803 Vkoa izango da, hau da, 15V baino balio baxuagoa; bestetik, -20°Ctan egongo den irteerako tentsioa 9.108 V izango da.

$$V_{out -20^{\circ}C} = 9.207 \text{ mV} * 989.3 = 9.108 \text{ V}$$

$$V_{out 50^{\circ}C} = 11.931 \text{ mV} * 989.3 = 11.803 \text{ V}$$

Kasu honetarako, R_G erresistentziaren balioa 51.1Ω koa izan behar dela kalkulatu da, anplifikadorearen $G=989.3$ izan dadin.

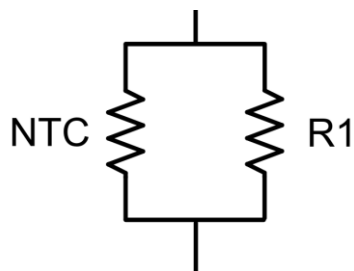
Horrekin guztiarekin, guztiz definituta geratzen da Pt100 sentsoare erresistiboaren zirkuituarentzat zeintzuk diren parametroak. Beraz, laburbilduz serieko erresistentzia $R=150 \text{ k}\Omega$ izango da eta anplifikadorearen erresistentzia $R_G=51.1 \Omega$ izango da.

Osagaia	Balioa
R1	150k Ω
Vin	15V
Rg	51.1 Ω
G	989.3

6.1.4. NTCLE100E3103

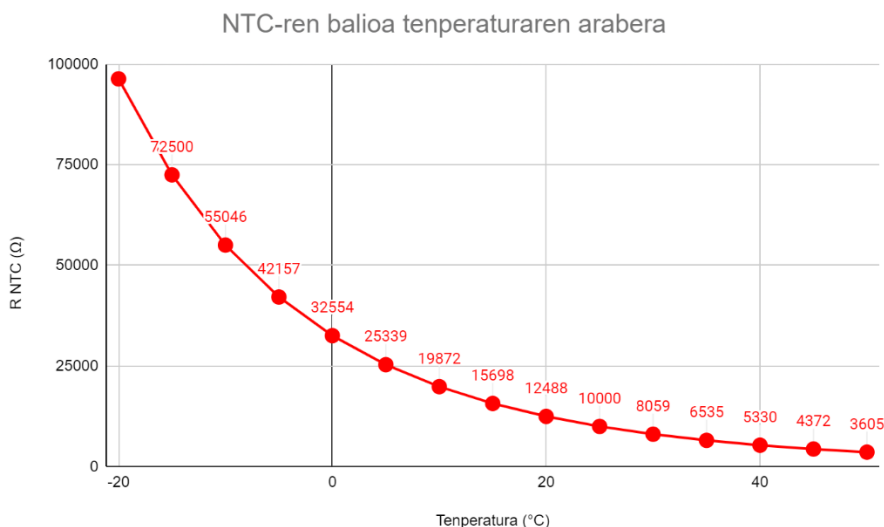
Erabiliko den NTC motako tenperatura sentsoarea NTCLE100E3103 da, tenperatura handitzearekin batera haren erresistentziak behera egingo duen termistorea, hain zuzen. Termistore hau erabiliko da Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan badaudelako jada, eta ez delako aparteko erosketarik egin behar NTC motako sentsoare bat lortzeko. Termistorea zein den zehazki jakiteko, haren kanpoko geruzan dagoen kolore kodeari erreparatu zaio, termistorearen portaera desberdina izango baita kolore kode desberdinekin (barne egitura desberdina izango duelako modelo bakoitzak). Sentsoare mota hau oso erabilia den arren, haren portaera ez da batera lineala eta irakurketak egin ahal izateko linealizatzeko zirkuitu bat diseinatzea beharrezkoa izango da, emaitzak fidagarriak izan daitezen.

Termistorearen portaera ez denez lineala, aurretik RTDarentzat aplikaturiko zirkuituak ez du balio, tentsio zatitzaile soil baten bidez ez delako posible emaitza onargarriak lortzea, ez baita haren portaera ez lineala konponduko tentsio zatitzailea aplikatuz. Beraz, beste konponbide batzuk aztertzea ezinbestekoa da sentsoarearen irteera linealizatzeko helburuarekin. Dauden irtenbideen artean, hautaturikoa erresistentzia paralelo bidezkoa izan da, 6. irudian ikusten den bezala. Erresistentzia paraleloko linealizazioaren bidez, NTC termistorea beste erresistentzia arrunt batekin kokatuko da paraleloan eta modu egoki batean egiten bada, irteera lineal onargarri bat lortuko da.



6. Irudia: NTC-a linealizatzeko erabiliko den egitura

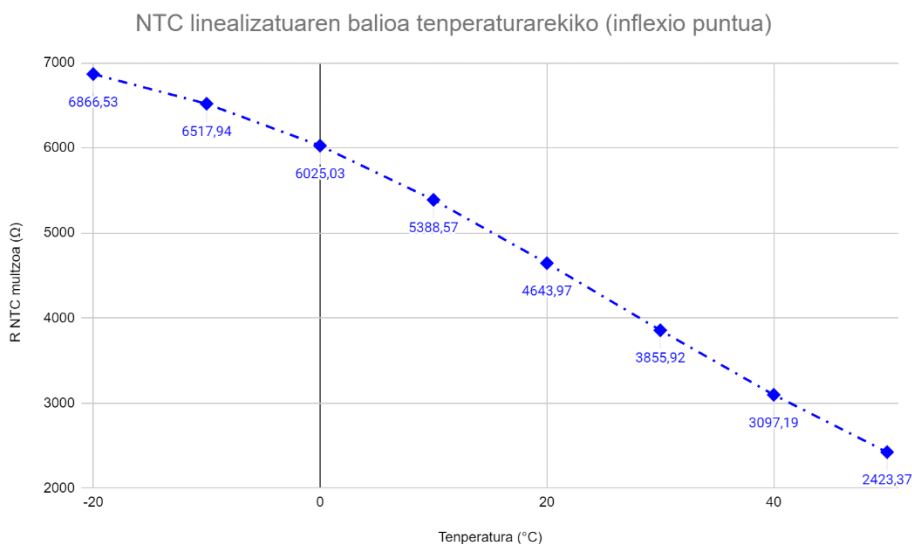
Metodoa finkatua dagoen arren, paraleloan jarriko den erresistentziaren balioa zehaztea falta da, eta horretarako, hainbat metodo daude, hala nola, inflexio puntu bidezkoa eta 3 puntu bidezkoa. Kalkuluak egin baino lehen, NTCaren [9] hainbat parametro ezagutu behar dira, ezinbestekoak baitira erresistentzia kalkulatzeko prozesuan. Ezaugarri horiek B parametroa eta erresistentziaren balio izendatuaren tenperatura dira, hau da, zein tenperaturatan balio duen NTCak 10000Ω (fabrikatzaileak emandako balio izendatua). Beraz, bi parametro horien balioak $B=3977$ eta $T_c=25^\circ\text{C}$ (298K) dira, hurrenez hurren. Bestalde, ezaugarri-orrian agertzen diren erresistentzia balioak 7. irudian ikus daitezke ordenatuak, -20°C tik 50°C arte, 5°C tako tarteekin balio erresistiboen artean.



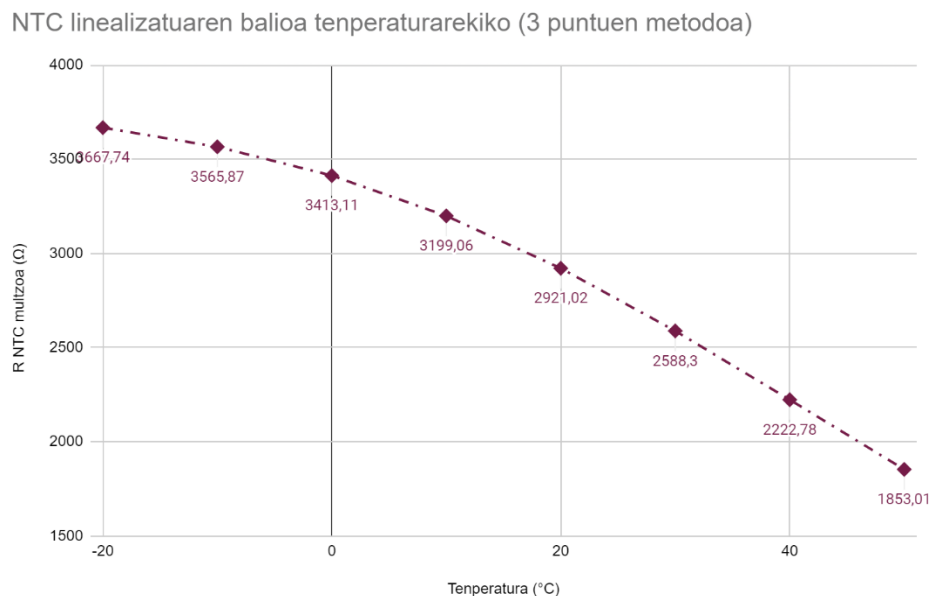
7. Irudia: NTCaren erresistentziaren balioa, tenperaturaren arabera

Metodo bakoitzarentzat kalkuluak egin ostean lortu diren erresistentzien balioak honakoak dira: 7393.39Ω inflexio puntu bidezko metodoan eta 3812.87Ω 3 puntu bidezko metodoan. Bi erresistentzia posibleen balioak lortu ondoren, NTCarekin paraleloan kokatuko dira eta paraleloko erresistentziaren balioak kalkulatu ondoren, erresistentzia egokiena aukeratuko da bi metodoak konparatuz.

Temperatura tarte giro temperaturakoa denez, NTCaren balioak -20°C -tik 50°C -tara hartuko dira berriz ere kalkuluak egiterakoan. Metodo bakoitzarekin lortutako balioak kalkulu orri batean sartu eta bi maldak alderatuko dira, ikusteko zein den emaitza linealenak ematen dituenena. Bertatik lortu diren grafikoak 8. eta 9. irudietan agertzen direnak dira, lehen inflexio puntuaren metodoaren bidez lorturikoa eta bigarrena hiru puntuen metodoaren bidez lorturikoa.



8. Irudia: inflexio puntu bidezko metodoa erabiliz erresistentzia multzoak izango duen balioa

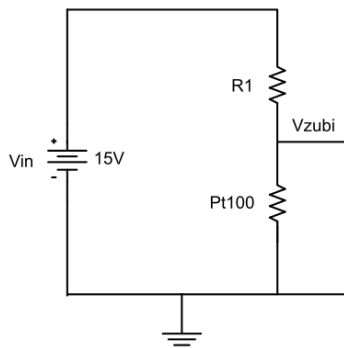


9. Irudia: 3 puntuen linealizazio metodoa erabiliz erresistentzia multzoak izango duen balioa

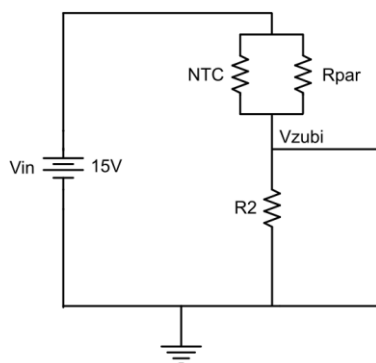
Bi metodoak aztertu ondoren eta funtzioen R^2 ezaugarriari erreparatuz, esan daiteke bi metodoetan egokiena inflexio puntu bidezkoa dela 1era gehien hurbiltzen delako haren R^2 .

Beraz, inflexio puntu bidez kalkulatutako erresistentzia paraleloan jarrita lortuko da NTCaren irakurketak ahalik eta gehien linealizatzea, eta horrekin batera, egingo diren temperatura neurketak askoz fidagarriagoak izango dira linealizatu gabeko NTC batekin alderatuz edo 3 puntuen metodoaren bidez linealizatuta baino, aztertu behar den tartean linealagoa delako inflexio puntu bidez linealizatu dena. Lehen aipatu bezala, erresistentziaren balio teorikoa 7393.39Ω koa izango da.

Behin NTCa linealizatua dagoela, zirkuituko gainerako osagaiak zeintzuk izango diren zehaztuko dira. NTCaren zatia linealtzat hartuta, Pt100arentzat erabilitako zirkuitu berbera aplikatu daiteke kasu honetan baita ere. Hala ere, Pt100aren kasuan tentsio zatitzailean lehenengo osagaia erresistentzia arrunta izan da eta ondoren Pt100a kokatu da temperatura handitu ahala irteerako tentsioa handitzeko helburuarekin 10. irudian ikus daitekeenez, eta kasu honetan ez da hori gertatuko, 11. irudian ikusten den bezala. Zirkuitu bera aplikatuko balitz, temperatura igotzearekin batera irteerako tentsioa jaitsiko litzateke eta horrek emaitzen interpretazioa zaildu dezake. Beraz, ondorioztatu da egokiagoa dela osagaien hurrenkera aldatzea: lehenengo NTCaren zati paraleloa kokatuko da eta ondoren erresistentzia.



10. Irudia: Pt100aren zirkuituaren egitura tentsioa anplifikadorera sartu aurretik



11. Irudia: NTCaren zirkuituaren egitura tentsioa anplifikadorera sartu aurretik

Erresistentzia arrunterako, erabaki da 100 Ω ko erresistentzia kokatzea eta autoberokuntza baldintzak betetzen ote diren aztertzea. Horretarako, NTCaren ezaugarri orrian agertzen den disipatutako potentzia maximoa zenbatekoa den jakin behar da eta 12. irudian ikus daitekeen bezala 500mWekoa da potentzia maximoa.

Maximum power dissipation at 55 °C	500	mW
------------------------------------	-----	----

12. Irudia: NTCaren potentzia aktibo maximoa zehazten duen ezaugarri-orriaren atala

Balio hori jakinda, kalkulatu da hautatutako erresistentziarekin balio horren azpitik ote dagoen potentzia disipazioa eta kalkuluak egin ondoren, jakin da aukeratutako erresistentziak balio duela. Kalkuluak egiterakoan, 50°Cekin egin dira, temperatura horretan izango baita NTCaren erresistentzia baxuena eta beraz, korronterik altuena.

$$P_{disipatua} = I_{NTC}^2 * R_{NTC} = (0.004 A)^2 * 3605 \Omega = 0.05768 W < 0.5 W$$

Modu honetan, -20°Cko temperaturan anplifikatu gabeko irteerako tentsioa 0.215 Vekoa izango da eta 50°Ctan 0.5945 V egongo dira anplifikatu gabeko irteeran. Irteerako muturreko tentsioen artean ahalik eta desberdintasun handiena egon dadin eta ez dezan gehieneko tentsioak 15 Veko muga gainditu, anplifikadorearen G=24 izatea da egokiena.

$$V_{zubi -20^{\circ}C} = 15V * \frac{100\Omega}{\frac{7393.39\Omega * 96358\Omega}{7393.39\Omega + 96358\Omega} + 100\Omega} = 0.215 V$$

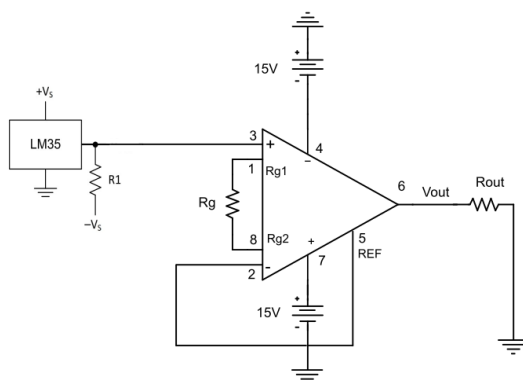
$$V_{zubi -50^{\circ}C} = 15V * \frac{100\Omega}{\frac{7393.39\Omega * 3605\Omega}{7393.39\Omega + 3605\Omega} + 100\Omega} = 0.5945 V$$

Anplifikadorean irabazi hori lortu ahal izateko datasheetera joan beharra dago eta bertan zehazten diren irabaziak aztertuz anplifikadorean agertzen den formularen bidez, hau da, $R_G = \frac{50.5 k\Omega}{G-1}$, R_G erresistentziaren balioa zenbatekoa den kalkulatu da. G. Formula aplikatu ostean, ezarri da $R_G=2195.7 \Omega$ koa izan behar dela G=24 irabazia lortzeko erresistentzia egokia.

$$V_{out -20^{\circ}C} = 0.215 V * 24 = 5.16 V$$

$$V_{out 50^{\circ}C} = 0.5945 V * 24 = 14.268 V$$

Azken parametro hori definituta dagoenez, zirkuitua guztiz dimentsionatua dagoela esan daiteke eta osagaien balioak honakoak dira: NTCarekin paraleloan jarriko den erresistentzia $R_{par}=7393.39 \Omega$, tentsio zatitzailea aplikatzeko seriean jarriko den erresistentzia $R=100 \Omega$ eta



16. Irudia: LM35aren bidez tenperatura neurketak egiteko eraikitako zirkuitua

Osagaia	Balioa
R1	330 k Ω
Rg	2 k Ω

6.1.6. Termoparea

Temperatura neurtzeko erabiliko den azken sentsorea termoparea izango da, T motako termopare bat, hain zuzen. Zirkuitua eta haren ezaugarriak definitu aurretik, termopare bat zer den azaltzea komeni da.

Termopare batek hainbat osagai ditu. Hasteko, bi hariz osatua dagoela esan behar da, hari bakoitza material desberdinez egina dagoelarik. Hariaren mutur bana zirkuituari lotuko zaio eta beste muturrean beste materialarekin egingo da lotura. Beste modu batera esanda, eroale bakarra bezala ulertzen bada termoparea, zirkuitua ixteko moduan sartu behar da zirkuituan; modu honetan, bi materialak elkartzen diren puntua erdian geratuko da. Bestalde, esan beharra dago elkargune bakoitzak izen espezifiko duela. Hala, bi materialak elkartzen diren puntuari elkargune beroa deituko zaio eta zirkuituari lotzeko bi borne askeei elkargune hotza.

Elkargune beroa izango da neurtu nahi den temperaturan kokatuko den termoparearen zatia. Hori eginez, bi materialen artean tentsio desberdintasun bat sortuko da eta bi borneen artean agertuko da tentsio desberdintasun hori, neurtutako temperaturaren arabera aldatuko dena. Hobe ulertzeko, termopareetan dauden efektuak zeintzuk diren azalduko dira[10]:

- Seebeck efektua: bi metal homogeen desberdinez osatutako zirkuitu batean eta tenperatura desberdinean dauden bi elkargunerekin, korrante elektriko bat sortzen da, edo baita zirkuituan erabilitako metalen araberako eta tenperatura

diferentziaren arabera indar elektroeragile bat irekitzen bada. Formula honetan laburtzen da efektua: $\alpha_{AB} = \frac{dE_{AB}}{dT} = \alpha_A - \alpha_B$, α_A eta α_B direlarik A eta Bren potentzia termoelektiko absolutuak, metal bakoitzaren ezaugarri direlarik. α_{AB} orokorrean ez da konstantea, T tenperaturaren arabera baizik.

- Peltier efektua: efektu hau bi eroaleren elkargunearen hozkuntzan edo berokuntzan datza, bertatik korrante elektriko bat igarotzean. Berokuntza edo hozkuntza hori elkargunearen konposizio eta tenperaturaren arabera da soilik. A eta Bren artean trukaturako bero potentzia $\dot{Q}_P = \pm \pi_{AB} * J = \pm J * T(\alpha_B - \alpha_A)$ formularen kalkulaturakoa da, π_{AB} delarik Peltier koefizientea, denbora eta korrante unitatean trukaturako beroa bezala definituta dagoena: $\pi_{AB} \equiv \frac{\dot{Q}_P}{\int_S J * dS} = T(\alpha_B - \alpha_A)$, J korrante elektrikoaren fluxua, S azalera, T tenperatura absolutua eta α_B eta α_A B eta A materialen Seebeck koefizienteak direlarik.
- Thomson efektua: korrantea daraman eta tenperatura banaketa ez homogenea duen eroale elektriko homogeen baten bero xurgapen edo askapenean datza. ρ erresistibitatea, luzerako tenperatura gradientea eta J dentsitateko korrantea daraman eroale baten potentzia kalorifikaren fluxu garbia $\dot{q} = \frac{J^2}{\rho} + \sigma \nabla T * J$ izango da, σ Thomson koefizientea delarik. Lehen terminoa Joule efektuari dagokio eta bigarrenak Thomson efektua definitzen du. Adierazpena garatzen bada Thomson eta Seebeck koefizienteen arteko erlazioa lortzeko eta Peltier eta Seebeck efektuak definitzen dituzten ekuazioak kontuan hartuz hurrengo lortzen da: $\sigma \equiv \frac{\dot{q} \rho}{\nabla T * J} = T \frac{\partial \alpha}{\partial T}$ eta elkargunearentzat ondorengo adierazpena garatzen da: $\sigma_A - \sigma_B = T \frac{\partial \alpha_A}{\partial T} - T \frac{\partial \alpha_B}{\partial T} = T \frac{\partial}{\partial T} (\alpha_A - \alpha_B)$

Efektu horiez gain, termopareen legeak zeintzuk diren ere hartu behar da kontuan [11], haien portaera ikustea ahalbidetzen dutenak:

- Tarteko metalen legea: A eta B soldadura puntu batean tenperatura uniformea baldin bada, indar elektroeragile guztien batura independentea da.
- Zirkuitu homogeenaren legea: beroaren eraginez ez da korrante elektrikoaren zirkulazioa eusten, eroale metaliko homogeenoa izateagatik.
- Ondoz ondoko tenperaturen legea: T1 eta T2 elkarguneak dituzten indar elektroeragileen eta termopare berberaren indar elektroeragileen batura aljebraikoa lortzen da, eta hirugarren metal bat sartzen bada, batura hori

6.2.1. Anplifikadorea

Simulazioa egiteko INA126a [13] aukeratu da oso anplifikadore erabilia delako eta simulazio ereduak baduelako. Portaera aldetik, AD622aren oso antzeko portaera dauka, nahiz eta parametroak desberdinak izango diren. Horren ondorioz, ez da beharrezkoa izango zirkuituen egiturak aldatzea, sarrerako tentsioa ez baita aldatuko. Aldatuko den parametro bakarra anplifikadorearen irabazia egokitzeko R_G erresistentzia izango da. Beraz, ez da beharrezkoa izango zirkuituen tentsio balioak berriz ere kalkulatzeko, anplifikadorea aldatzeak ez duelako aldaketa esanguratsurik ekartzen. Hori egin beharrian, simulazioen emaitzak ikusita aldatuko da R_G erresistentzia, ez dadin elikadura tentsioa baino handiagoa izan irteerako tentsioa eta balioak irakurtzeko errazak izan daitezzen.

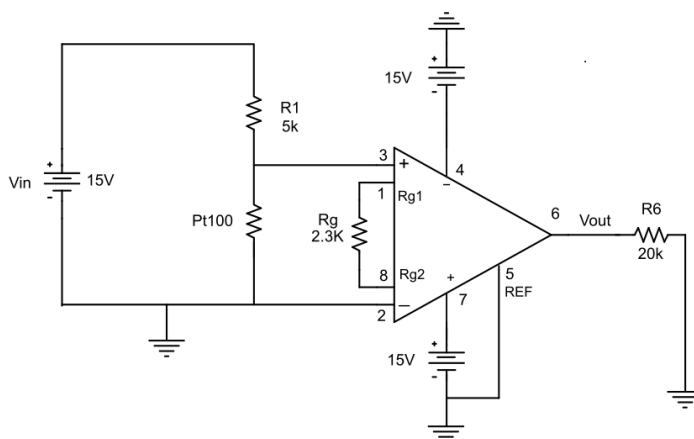
Ondorio bezala, INA126a erabiliko da simulazioak egiteko anplifikadore bezala, baina zirkuituaren gainerako zatiak ez dira aldatuko. Gainera, nahiz eta simulazioak ez diren aztertutako zirkuituaren berdinak, simulazioak ongi badoaz ondoren egin beharko den aldaketa bakarra anplifikadorea eta haren R_G erresistentzia izango da, beste guztiaren portaerak berdin jarraituko duelako.

6.2.2. Zirkuituak

Capture CISen eraikiko diren zirkuituek aurretik azaldutako egitura jarraituko dute, zirkuituaren analisisan zehaztu diren parametro eta formarekin. Hala ere, posible da zenbait aldaketa egin behar izatea simulazioak egoki funtziona dezan, batzuetan beharrezkoa baita moldaketak egitea osagaien portaera errealengatik. Bestalde, aipatu behar da amaierako tentsioaren pin-a zuzenean lurrera konektatu beharrian erresistentzia bat kokatuko zaiola, simulazioan tentsio bat agertu dadin bertan.

6.2.2.1. Pt100

Pt100aren zirkuitua eraikitzeko ez da osagai berezi askorik behar, zirkuituaren analisisan erabilitako elementuak oso ohikoak direlako: elikadura iturriak, erresistentzia arruntak eta anplifikadorea. 20. irudian ikusten den eskema azalduko da ondoren.



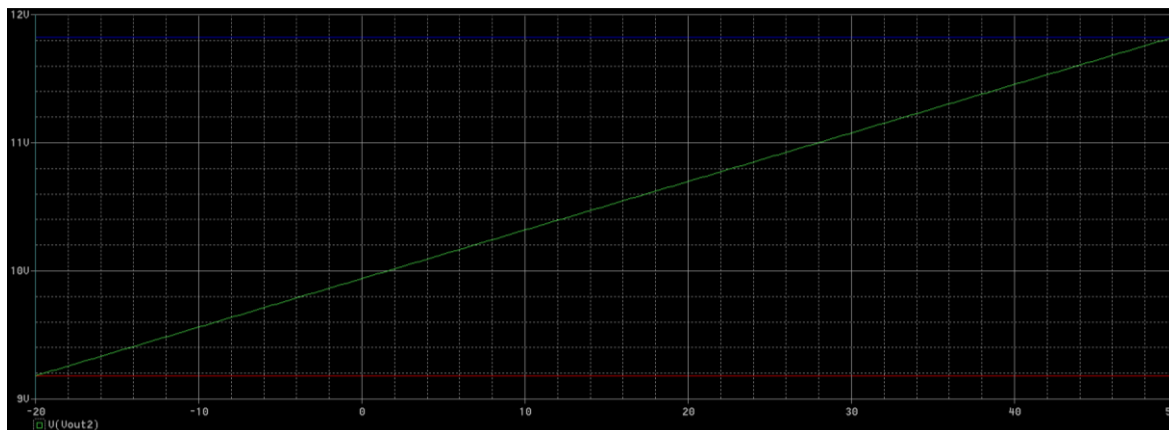
20. Irudia: Pt100aren simulazioa egiteko eraikitako zirkuitua

Simulatzeko osagairik zailena Pt100 sentsore erresistiboa bera da, temperaturaren araberako parametroa baitu. Osagaiari forma egoki emateko, ezinbestekoa da jakitea zein den haren TC1 parametroa, hori baita Capturek eskatzen duen parametroetako bat. TC1 parametroa erresistentzia eraikitzerakoan izango duen lehen ordenako temperatura koefizientea da eta erresistentziaren hazkuntza zehaztuko du temperatura aldaketan aurrean. Esan beharra dago kasu honetan TC1 balioa dela erabiliko dena Pt100 sentsoreak portaera lineala duelako (simulazioak egiteko portaera lineala duela suposatuko da) eta parametro horren balioa $TC1=0.00385$ ppm/K-ekoa da Pt100erako, 0°C tik (kalibrazio temperatura) 100°C tara duen aldaketak zehazten duena ($100\ \Omega$ 0°C tan eta $138.5\ \Omega$ 100°C tan). Bestalde, Pt100 erresistentzia 0°C tan kalibratuko da, hau da, 0°C tan $100\ \Omega$ eko balioa hartzen duenez, programan datu hori sartzea ezinbestekoa da, ez dezan $100\ \Omega$ eko balio hori beste temperatura batetik hartu. Hori gaizki egingo balitz, simulazioa ez litzateke zuzena izango.

Beste elementuei dagokienez, R1 erresistentzia $150\ \text{k}\Omega$ ekoa izango da, elikadura iturria $15\ \text{V}$ koa (anplifikadorea positiboki eta negatiboki elikatuko da) eta irteerako tentsioaren ondoren kokatuko den erresistentzia $20\ \text{k}\Omega$ ekoa izango da, irteerako korrrontea ez dadin oso altua izan. INA126 amplifikadoreari dagokionez, haren R_G erresistentzia $100\ \Omega$ izatea erabaki da simulazioak nahi diren ezaugarriak izan ditzan. 20. Irudian ikus daiteke zirkuituaren amaierako itxura.

Zirkuitua guztiz eraikitzen bukatu eta gero, temperaturaren araberako simulazioa egingo da Capturek dituen erremintak erabiliz. Horretarako, -20°C eta 50°C arteko temperaturak simulatuko dira eta lortutako emaitzak espero direnak ote diren aztertuko da.

Simulazioa egin ostean, 21. irudian ikusten da irteerako tentsioak itxura lineala duela eta beraz, nahi den portaera izan duela zirkuituak. Bestalde, tentsioari erreparatuz, 22. irudian ikusten den bezala -20°C tan 9.1806 V lortuko dira irteeran eta 50°C -tan 11.824 V. Hortaz, 2.65 Vko neurketa tartea lortuko da zirkuituak ematen duen tentsioa amplifikatu eta gero, tarte hori nahikoa delarik neurketak zehaztasun erlatibo batekin egin ahal izateko.



21. Irudia: Pt100aren simulazioen irteera, temperatura tarte osoan

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	-20.000	49.750	-69.750
CURSOR 1,2	V(Vout2)	9.1806	11.824	-2.6437

22. Irudia: Pt100aren simulazioen irteera maximo eta minimoa

Horrekin guztiarekin, amaitutzat jo daiteke Pt100aren simulazioa eta lortu diren emaitzak onargarritzat jo daitezke, portaera lineala eta tentsio diferentzia nahikoa lortu baitira amplifikazioaren ostean.

6.2.2.2. NTC

NTC-aren kasuan Pt100erako behar izan diren osagaiak baino gehiago erabili dira zirkuitua eraikitzeko, zirkuituaren analisisan ikusi den bezala. Hala ere, zirkuituaren eraikuntza ez da Pt100aren zirkuitutik asko aldentzen, osagaiak berberak direlako orokorrean.

Elikadura iturriak orain arte esan bezalakoak izango dira, hau da, 15 Vkoak, bai positiboki eta bai negatiboki. Bestalde, zirkuituaren analisisan aipatu bezala, kasu honetan erresistentzia finkoa izango da lurrera konektatua egongo dena eta NTC linealizatua egongo da 15 Vrekin elikatua tentsioa temperaturarekin batera hazi dadin.

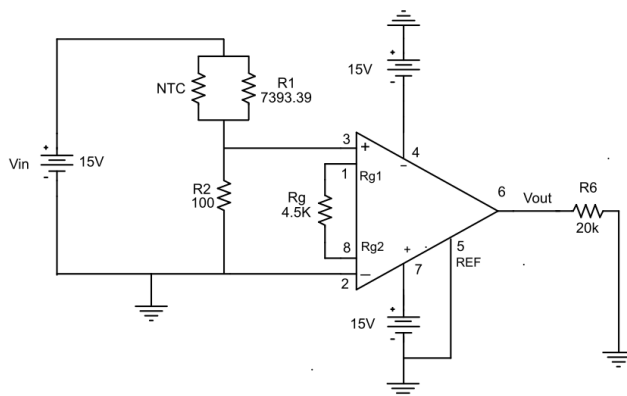
Bestalde, kasu honetan NTCaren portaera irudikatzeko erabilitako sistema nolakoa izan den azaltzea komeni da. Pt100aren kasuan TC1 koefizientea erabili da sentsorearen portaera lineala izatetik oso gertu dagoelako eta beraz, malda konstante bat bezala irudikatu da Pt100aren erresistentzia aldaketa temperaturaren funtzioan. Gainera, simulazioa

temperatura aldakorrek egin da. Baina aurrez erabilitako sistema ezin da NTCaren kasuan erabili, haren portaera ez baita temperaturarekiko linealtzat kontsideratu eta kurba esponentzial baten antzeko formarekin aldatzen delako erresistentziaren balioa temperaturaren arabera.

NTC sentsorearen portaeraren antzeko zerbait irudikatzea posible izango litzatekeen arren, kasu honetan ez da beharrezkoa ikusten hori egitea, NTCak temperaturaren arabera hartzen dituen balioak ezagunak baitira eta datasheetean baitaude. Balio horiek aintzat hartuta, askoz errazagoa da kasu honetan simulazioak egitea. Beraz, simulazioak egiteko NTCaren balioa izango da aldatuko den balioa eta -20°C et 50°C arteko temperaturan izango dituen balio erresistiboak izango dira mugak. Kasu honetan, -20°C tan $96358\ \Omega$ izango ditu NTCak eta $3605\ \Omega$ izango ditu 50°C tako temperatura neurtzen duenean. Hala ere, ondorengo taulan agertzen dira NTCak hartuko dituen balioak temperatura bakoitzarekin, 5°C ko tartek hartuta:

T (°C)	R_T (Ω)	T (°C)	R_T (Ω)	T (°C)	R_T (Ω)
-20	96358	5	25339	30	8059
-15	72500	10	19872	35	6535
-10	55046	15	15698	40	5330
-5	42157	20	12488	45	4372
0	32554	25	10000	50	3605

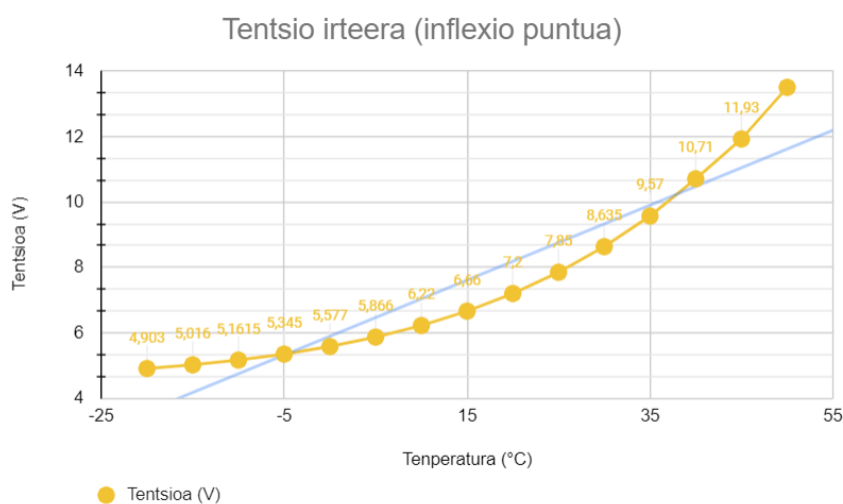
Definitzeko falta den azken parametroa INA126 aplikadorearen R_g erresistentziarena da, handitze gaitasuna zehaztuko duena. Hainbat froga egin ostean, erabaki da $4.5\ \text{k}\Omega$ koa izatea erresistentzia hori. Azken parametroa definitu ondoren zirkuituak izango duen itxura 23. irudian ikus daiteke.



23. Irudia: NTC-aren simulazio zirkuituaren itxura

Zirkuituko elementu guztiak finkaturik daudela, simulazioak egin dira eta honako irteerako tentsioak lortu dira horietan: -20°C -tako temperaturan 4.9032 V eta 50°C -tan 13.505 V. Irteerako tentsioaren neurketa tartea oso zabala da kasu honetan: 8.6 Vko tartea dago neurketak egiteko eta horren ondorioz, lortuko diren emaitzak fidagarriagoak izango dira, neurketa eskala zabalago batek tarte gutxiago uzten duelako neurketa erroreak egiteko.

Simulazioak NTC erresistentziaren balioen arabera egin direnez, taulako temperaturen balioak hartzean irteerako tentsioak erregistratu dira eta beste grafiko batean irudikatu da irteera, 24. irudiko grafikoa lortuz. Nahiz eta irteera ez den guztiz lineala, askoz fidagarriagoa da horrela egitea linealizatu gabe egitea baino.



24. Irudia: inflexio puntu bidez linealizatutako NTCaren zirkuituak izango duen tentsio irteera

Azken neurketa hauekin esan daiteke egindako simulazioak arrakastatsuak izan direla eta zirkuituak erantzun onuragarria eman duela NTCaren frogen aurrean.

6.2.2.3. LM35

LM35a da erresistiboa ez den lehen sentsorea egingo diren simulazioen artean, eta horren ondorioz eraikiko den zirkuitua nahiko desberdina izango da aurrekoekin alderatuz. Anplifikadorearen aldearen egitura berdin mantenduko da hala ere.

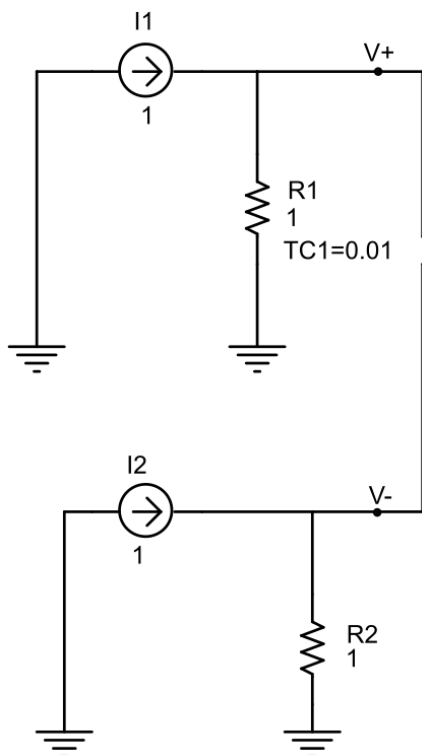
LM35aren simulazio eredia egiteko, haren portaera nolakoa den gogoratzea komeni da. Hasteko, gogoan izan behar da hiru pin dituen sentsore bat dela, pin bat elikadurarako, beste pin bat lurrera konektatzeko eta tarteko pina, temperaturaren araberrako tentsioa emango duena. Bestalde, jakin behar da LM35ak emango duen tentsioa temperaturarekin batera

haziko dela eta tentsibilitatearen balioa ezaguna dela, hau da, $\Delta V = \frac{10mV}{^{\circ}C}$ da LM35ak emango duen tentsio hazkuntzaren balioa. Hori guztia argi izanda, LM35aren eredua egingo da.

LM35aren eredua egiteko erabiliko den zirkuitu zatiak bi punturen arteko tentsio diferentzia (V+ eta V-) izango du abiapuntutzat, tenperaturaren arabera aldatuko dena eta ondoren tentsio-korronte bihurgailu baten bidez igaroko da tentsio diferentzia horren emaitza zirkuituaren beste zatira.

Lehenik V- tentsioak zertan datzan azalduko da. Tentsio honen balioa oso sinplea da, beti izango baita 1 Vkoa. Hala ere, tentsio hori lortzeko ez da tentsio iturri bat erabiliko, bi adarretan antzeko egitura mantentzeko korronte iturriak erabiliko baitira. Korronte iturriak 1 Ako korrontea emango du eta ondoren bi adar irtengo dira hurrengo nodotik: lehenengoan 1 Ω eko erresistentzia jarriko da eta ondoren lurrera konektatuko da; bigarrenean eroale baten bidez lortutako tentsioa tentsio-korronte bihurgailuaren sarrera negatiboari lotuko zaio.

V+ tentsioaren funtzionamendua antzekoa den arren, hainbat aldaketa ditu. Oinarrizko egitura berdina da, hau da, 1 Ako korronte sorgailu bat eta ondoren bi adar: lehenengoa erresistentzia batera konektatua eta bigarrena tentsio-korronte bihurgailuko sarrera positiboari konektatua. Hala ere, kasu honetan erresistentziari hainbat aldaketa egingo zaizkio irteerako tentsioa aldakorra izan dadin tenperaturaren aldaketan arabera. Hori lortzeko, Pt100ean erabili den prozeduraren antzekoa erabiliko da, hau da, erresistentzia 0°Ctan kalibratuko da (temperatura horretan 1 Ω eko balioa izango du) eta TC1=0,01 balioa finkatuko zaio. Modu honetan, $\Delta V = \frac{10mV}{^{\circ}C}$ ko tentsio malda izango du V+ puntuak, tenperaturarekiko erresistentzia aldakorak tentsioan eragingo baitu, korrontea konstantea delako. Azalpen teoriko guztia hobe ulertzeko, 25. irudia ikustea komenigarria da.

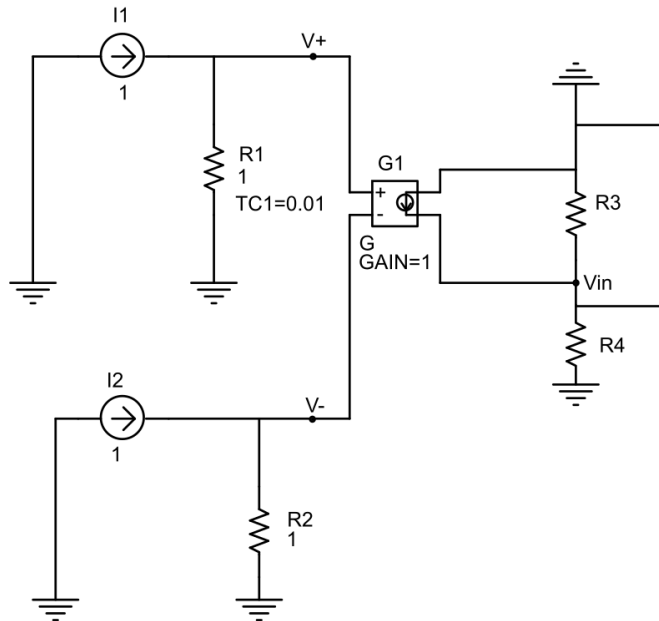


25. Irudia: LM35aren portaera izango duen zirkuituaren zatia

Bi puntuetako tentsioa finkatua dagoela, tentsio-korronte bihurgailuko sarrerak izango dira bi tentsioak, aurretik azaldu den bezala. 0°Cko temperaturarekin, V+ adarreko erresistentziaren balioa ez da aldatuko eta V- adarra finko egongo denez, ez da tentsio desberdintasunik egongo eta tentsio-korronte bihurgailuak ez du korronterik emango irteeran, LM35aren portaerarekin bat eginez. 0°Ctik abiatuta, gainerako temperaturetan sortuko den tentsio desberdintasuna $\Delta V = \frac{10mV}{^{\circ}C}$ sentsibiltatearen araberakoa izango da.

Ondoren finkatuko den osagaia tentsio-korronte bihurgailua da. Tentsio-korronte bihurgailua erabiltzearen arrazoia zirkuituaren gainerako zatia lehenengoarekiko menpekoa izatea da, hau da, LM35arekin gertatuko zen bezala, sentsoreak haren kabuz egingo du lan eta ondoren, tentsioa zirkuituaren gainerako zatiari pasako dio, bigarren zati honek lehenengoari batere eragin gabe. Osagai honek sarrerako tentsioa korronte bilakatzen du G irabazpen batekin. Kasu honetarako, bihurgailuari finkatuko zaion irabazpena $G=1$ izango da. Irabazpena finkatua dagoela, beharrezkoa da sortuko den korrontea tentsio bilakatzea berriro, hori baita anplifikadoreak behar duen sarrerako aldagaia. Horretarako, erresistentzia bat kokatuko da lurraren eta sarrera positiboaren artean. Korronte/tentsio erlazioa unitarioa izatea nahi denez eta bihurgailuaren irabazpena $G=1$ denez, erresistentziak ere $R=1 \Omega$ eko balioa izango du. Bestalde beharrezkoa izango da tentsioa izango duen pinaren eta lurraren

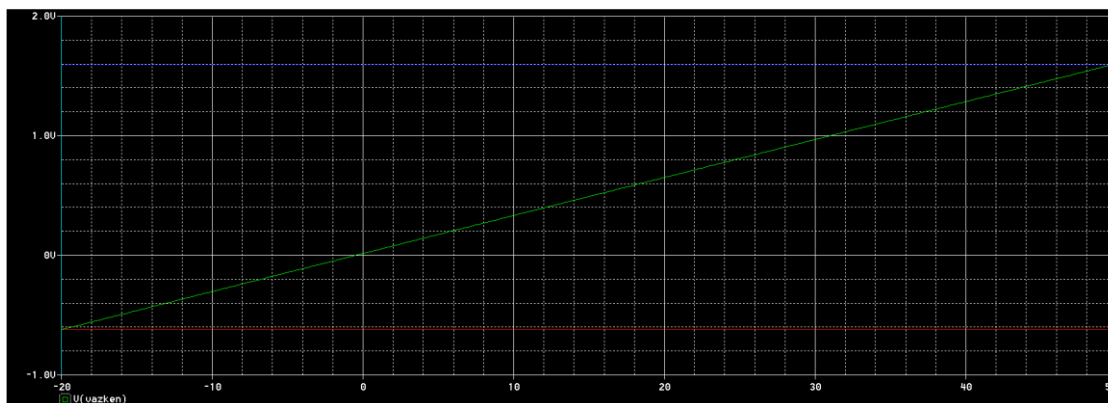
artean beste erresistentzia bat kokatzea, tentsioa egon dadin puntu horretan. 26. irudian agertzen da aurretik azaldutako osagai guztiak bateratuak.



26. Irudia: lorturiko tentsio diferentzia korrante bihurtzeko egindako tentsio/korrante bihurgailua

Azken osagai horrekin, definitua geratu da LM35aren portaera simulatzeko sortutako osagaia. Zirkuituaren gainontzeko atala anplifikadorearena da eta aurreko osagaien egitura berbera mantenduko du, anplifikazio gaitasuna aldatzeko R_g erresistentzia izanik aldatuko den osagai bakarra. Kasu honetarako, hainbat froga egin ondoren ebatzi da erresistentzia hori $6\text{ k}\Omega$ koa izatea, eta simulazio zirkuituaren azkeneko itxura 27. irudian erakusten dena izango da.

Definitu beharreko hurrengo parametroa amplifikadorearen R_G erresistentzia da eta kasu honetarako, 100Ω eko balioa ezarri zaio, seinalea ahalik eta gehien amplifikatzeko. Guztia jakinda, simulazioei ekin zaie eta 31. eta 32. irudietan ikus daitekeen bezala -20°C rentzat lorturiko tentsioa -620mV koa da eta 50°C rentzat lorturikoa 1.595V koa. Beraz, irteeran lortu den neurketa tartea 2.25V ingurukoa da. Ez da aurreko kasuetakoa bezain zabala, baina amplifikatu aurretik dagoen tentsio eskala oso txikia denez, onargarritzat jo daiteke irteeran lorturiko tentsioa.



31. Irudia: termoparearen simulazio zirkuituko tentsio irteera temperatura tartean

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	-20.000	49.750	-69.750
CURSOR 1,2	V(vazken)	-620.182m	1.5950	-2.2152

32. Irudia: termoparearen simulazio emaitzen balio minimo eta maximoa

Honekin, amaitutzat ematen da termopareari dagokion simulazioa, lortutako emaitzak zuzenak eta baliagarriak direla ondorioztatuz.

6.3. Prototipoa

Prototipoa egitearen helburu nagusia zirkuituaren portaera aztertzea da, sentsore bakoitzaren zirkuitua eraiki eta seinale elektrikoak nolakoak diren deskribatzeko. Horretarako erabiliko den materiala Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan eskuragarri dagoena izango da, ahal den neurrian bertako baliabideekin moldatzea baita proiektuak duen helburuetako bat. Beraz, bertan dauden sentsoreak eta zirkuituak egiteko erabiliko direnak Pt100a, NTCa eta LM35a dira. Sentsoreez gain, erresistentziak eta eroaleak izango dira zirkuituetan erabiliko diren oinarritzko osagaiak, eta horietatik badago nahikoa Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan. Amplifikadorea da zirkuituaren beste atal garrantzitsu bat eta erabiliko den modeloa AD622a izango da, osagaiak azaldu diren atalean aipatu den bezala Teknologia Elektronikoko sailean jada badagoen tresneria amplifikadorea delako.

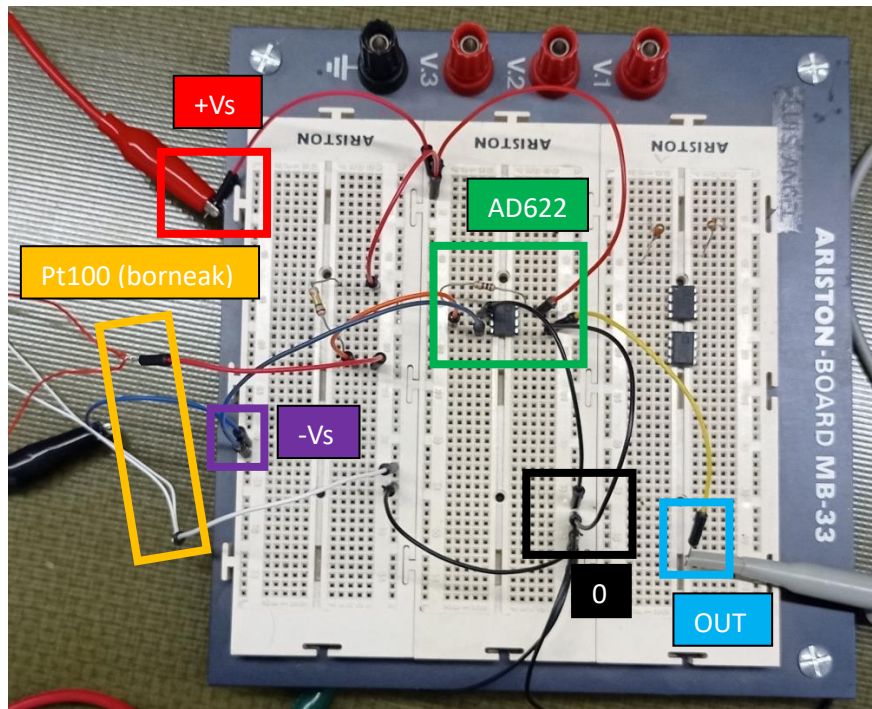
Aurretik azaldu den bezala, eraikiko diren zirkuituek ± 15 Vko elikadura dute oinarritzat eta tentsio hori ematen duten iturriak badaude eskuragarri, zirkuitua elikatzeke erabiliko direnak. Bestalde, protoboard baten gainean muntatuko dira zirkuituak, modurik errazena delako osagaien arteko konexioak egiteko eta osagai bakoitza era antolatu batean kokatzeko. Gainera, zirkuituen portaera eta haien irteerak neurtzeko osziloskopioa erabiliko da, modu honetan ikus baitaiteke nolako aldaketak egongo diren tentsioan eta neurketa zehatzagoak egiteko aukera ematen duelako.

6.3.1. Pt100

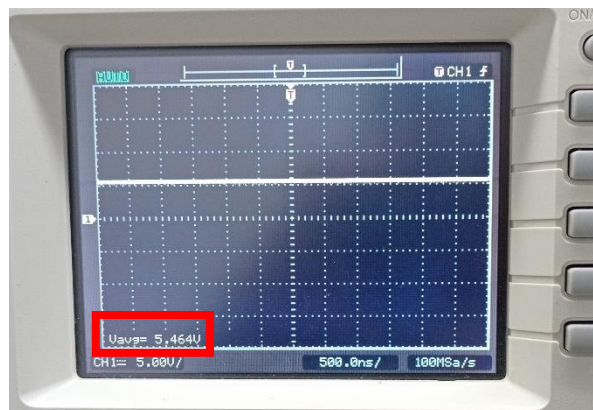
Pt100aren prototipoa eraikitzeke beharko diren osagaiak erresistentziak, anplifikadorea eta Pt100 sentsorea dira, elikadura iturriez gain. Zirkuituaren analisisan osagai idealekin lan egin den arren, osagai errealek ez dute portaera ideal hori eta garrantzitsua da haien balioa zenbatekoa den jakitea. Kasu honetan, anplifikadorearen irabazpena zehaztuko duen erresistentzia $R_G = 98.9 \Omega$ koa izango da, $G = 511.61$ bihurtuko duena gutxi gorabehera ($R_G = \frac{50.5 \text{ k}\Omega}{G-1}$ formula bidez kalkulatu dena). Nahiz eta kalkulu teorikoetan 989.3ko irabazpena zen helburua, laborategian ikusi ahal izan da anplifikadoreak ez zuela ongi funtzionatzen hain irabazpen altuarekin, eta jaistea erabaki da. Bestalde, 150 k Ω eko erresistentziarik ez dagoenez, 149.6 k Ω eko erresistentzia kokatu da Pt100-arekin seriean. Gainera, elikadura iturriaren tentsioa neurtu ondoren ikusi da haren balioa 14.9 Vkoa dela. Aldagai guztiak kontuan hartuta, kalkulu teorikoa egin da jakiteko zenbatekoa izango den irteerako tentsioa eta $V_{out} = 5.489 \text{ V}$ izango dela lortu da.

$$V_{OUT} = 14.9 \text{ V} * \frac{107.79 \Omega}{107.79 \Omega + 149.6 \text{ k}\Omega} * 511.61 = 5.489 \text{ V}$$

Horrekin guztiarekin, prototipoa eraiki da, 33. irudiko itxura duena, eta irteerako tentsioa neurtu ondoren 7.46 V lortu dira, 34. irudian ikusten den bezala. Nahiz eta irteera ez den zehazki 5.489 Vkoa, esan daiteke ez dagoela balio horretatik oso urrun eta anplifikadorean gerta daitezkeen erroreei egotzi zaie errorea, dagoen desberdintasuna ez baita oso esanguratsua.



33. Irudia: Pt100aren egokitzapen zirkuituaren prototipoa

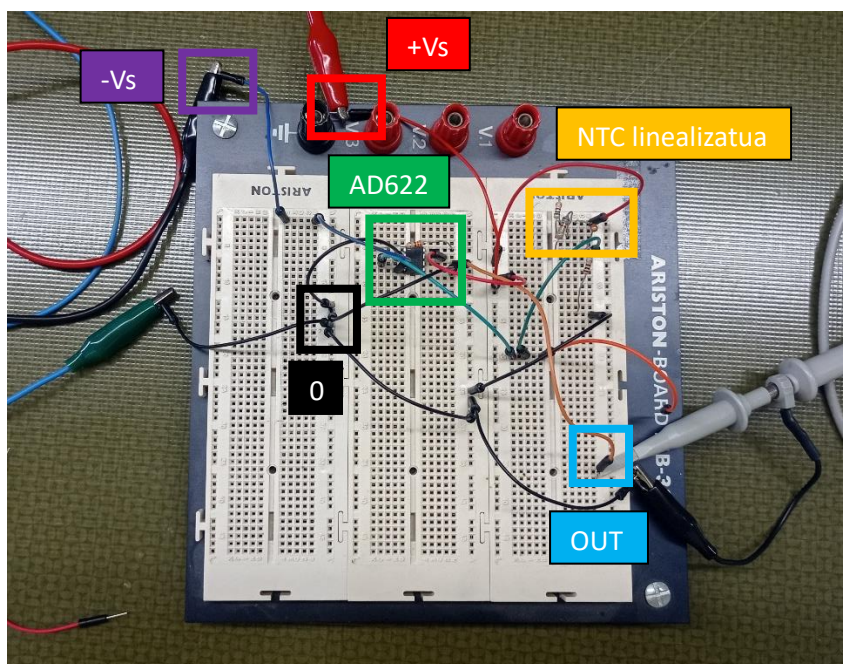


34. Irudia: Pt100aren prototipoko zirkuituaren irteera

6.3.2. NTC

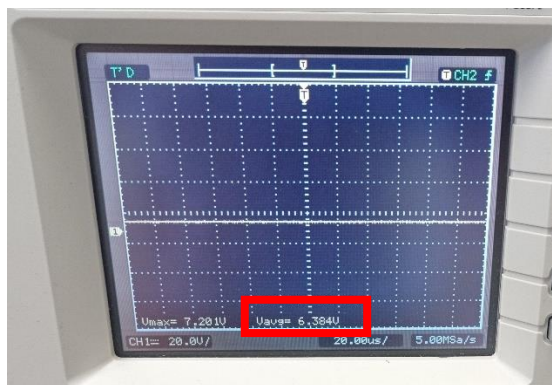
NTCaren prototipoa egiteko erabiliko diren osagaiak Pt100a eraikitzeke erabili diren mota berekoak dira, hau da, erresistentziak, anplifikadorea eta sentsorea, kasu honetan NTC motakoa izango dena. Aurreko prototipoan gertatu den moduan, zirkuitua eraikitzerakoan ez dira osagai idealak izango, laborategian eskura dauden osagaiak baizik. Gauzak horrela, NTC sentsorearekin paraleloan kokatu behar den erresistentziaren balioa inflexio puntu bidez kalkulatu da eta 7393.39Ω koa den arren, prototipoa egiterakoan erabili den erresistentzia 7300Ω koa izan da, bi erresistentzia seriean kokatzearen emaitza dena. Bestalde, aipatu beharra dago hainbat proba egin direla R_g erresistentzia desberdinekin eta beraz, anplifikazio desberdinekin. Erabili diren erresistentzien balio errealak $3.3 \text{ k}\Omega$ eta 4.67

$k\Omega$ dira, 16.30 eta 11.81ko irabazia emango dutenak, hurrenez hurren. Bestalde, paraleloko osagai horrekin seriean kokatuko den erresistentziaren balio neurtua 98.8Ω koa da. 35. irudian ikus daiteke prototipoaren itxura.

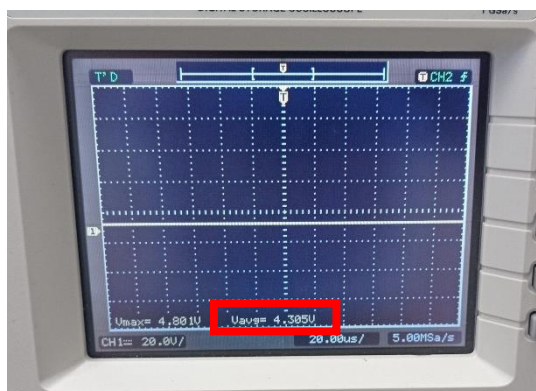


35. Irudia: NTCaren egokitzapen zirkuituaren prototipoa

Gauzak horrela, kalkulu teorikoak egin dira jakiteko zeintzuk diren osagai errealekin irteeran espero daitezkeen tentsioak eta honakoa lortu da: lehen kasuan (16.30-ko irabazpena) 5.55 Vko irteera eta bigarrean (11.81ko irabazpena) 4.03 Vkoa. Emaitza errealak bestalde, honakoak dira: 6.23 V lehen kasurako eta 4.2 V bigarrenerako. Beraz, kalkulaturako emaitzak eta emaitza errealak alderatuta, esan daiteke irteerak oso antzekoak direla, nahiz eta lehen kasuan desbiderapena handiagoa den, eta anplifikadorearen irabazpen errorean ondorioz daudela desbiderapen txiki horiek; 36. eta 37. iruditan ikus daitezke osziloskopio bidez lorturiko seinaleak. Honekin, esan daiteke egokiagoa dela 11.81eko irabazpena erabiltzea kasu honetarako, emaitzak gehiago hurbildu direlako itxarondako emaitzara.



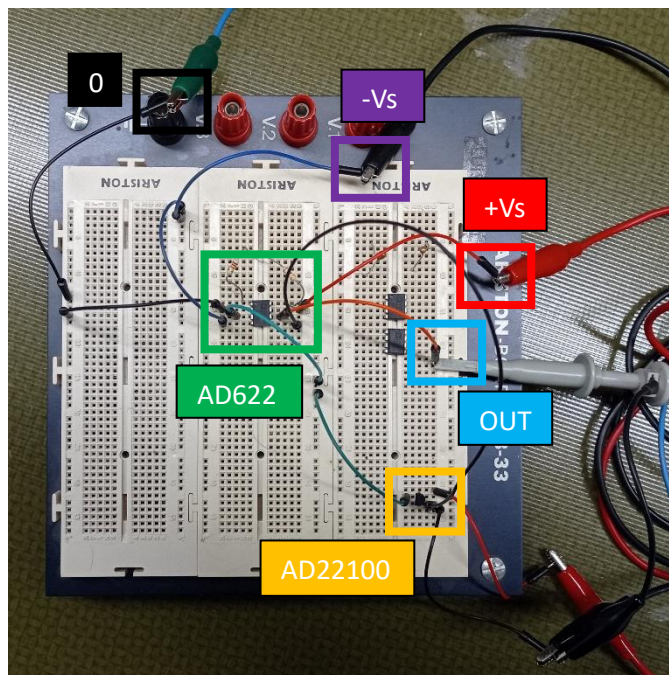
36. Irudia: NTCaren prototipoko zirkuituaren irteera, 16.30eko irabazpenarekin



37. Irudia: NTCaren prototipoko zirkuituaren irteera, 11.81eko irabazpenarekin

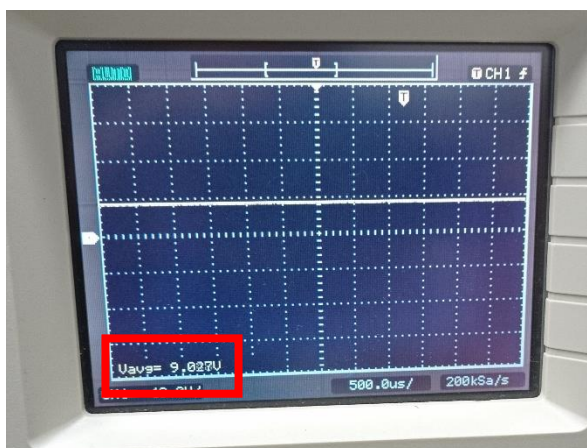
6.3.3. LM35

LM35aren prototipoa egiteko ez da LM35a erabiliko, AD22100a baizik, oso antzeko portaera duena, hau da, tentsio batekin elikatuz (kasu honetan 5V) neurtzen duen arabera irteerako tentsio bat emango du. LM35arekin gertatzen den antzera, AD22100ak sentsibilitatea positiboa du tentsio/temperatura maldan, tentsioa temperaturarekin batera handitzen baita, $22.5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ko malda duelarik. Sentsore honetan, -20°C ko temperaturari dagokion tentsioa 0.925 V izango da eta 50°C ri dagokiona 2.5 V . Muturreko tentsioak ezagunak direla, anplifikadorearen irabazpena finkatuko da eta erabaki da $G=5$ izatea, neurketa tartea handitzeko. Horretarako, R_G erresistentzia osatzeko $11.9 \text{ k}\Omega$ eko eta 670Ω eko erresistentziak jarri dira seriean eta horrela gutxi gorabeherako irabazpena $G=5.018$ izango da, kalkuluen arabera. Prototipoak duen itxura 38. irudian ikus daiteke.



38. Irudia: AD22100aren prototipoko zirkuituaren eraikuntza

Hori eginda, lehenik amplifikatu gabe sentsoreak ematen duen irteera zein den neurtuko da eta osziloskopioan ikusi da tentsio hori 1.82 Vkoa dela, gutxi gorabehera 20°Cri dagokion tenperatura. Ondoren, sentsorearen irteera amplifikadoreari konektatu eta irteerako tentsioa neurtuz jakin da 9.05 V ematen dituela amplifikadoreak haren irteeran, 39. irudian ikusten den bezala; beraz, $G=5$ eko irabazpena lortu da. Honekin guztiarekin, esan daiteke eraikitako prototipoa egokia dela mota honetako sentsoreentzat eta ongi neurtu dituela tenperaturak.



39. Irudia: AD22100aren zirkuituko irteeraren irakurketa osziloskopioaren bidez

6.4. PCB-a

Prototipoen bidez zirkuituen bideragarritasuna eta emaitzak aztertu ostean, horiek PCB plaka batean integratzea da egin beharreko hurrengo urratsa. Horretarako, Capturen

eraikitako zirkuituen netlistak sortu eta PCB Editor softwarearen bidez egingo da plakaren diseinua.

6.4.1. Diseinu parametroak

Plaka diseinatzerakoan, kontuan hartu behar da zein den zirkuituen helburua, hau da, zein testuingurutan erabiliko diren plakak. Aurretik aipatu den bezala, zirkuituen helburua ez da komertziala, baizik eta didaktikoa eta xedea oso garrantzitsua da plakaren diseinu parametroak zehaztu behar direnean, ez direlako ezaugarri berberak nahi plaka komertzial edo didaktiko batean.

Plakaren helburua zehaztua dagoela, helburu horrek dakartzan ondorioak zeintzuk diren deskribatuko dira. Batetik, plakaren tamaina izango da kontuan hartu beharreko lehen gauza, ikasleei bidea errazteko komenigarria delako plakaren tamaina txikiegia ez izatea; beraz, ohikoa izango litzatekeena baino tamaina handiagoa izango du diseinatuko den PCB plakak, kostu ekonomikoen garrantzia bigarren plano batean utziz. Bestetik, zirkuituaren osagaiak kokatu beharko liratekeen tokian hutsuneak egongo dira, berriz ere plakaren helburu didaktikoarekin lotuta dagoena. Nahiz eta ulergarriena osagaiak haren lekuan kokatzea litzatekeen, ikasleek zirkuituak analizatu ondoren osagai bakoitza dagokion lekuan kokatzea lortu nahi da eta beraz, finko mantenduko den osagai bakarria anplifikadorea izango da. Azkenik, tenperatura neurtzeko modu desberdinak dituzten lau zirkuituak plaka bakarrean integratu nahi dira eta, horren ondorioz, zirkuitu guztiak bateratzeko moduko plaka eraikitzea lortu behar da.

Osagaien dagokienez, beharrezkoa izango da osagai bakoitzari dagokion footprinta (plakan izango duen espazioaren forma eta ezaugarri fisikoak) egoki hautatzea eta horren arabera diseinua egitea. Osagai horien footprintetako ugari daude Cadencek dakarren stockean, baina footprint espezifikoak lortu ahal izateko ezinbestekoa da kanpoko liburutegiak inportatzea PCB Editorera eta beharrezkoa balitz, osagaien bat editatzea.

Horrez gain, sarrerako tentsioa egonkortzeko, bi kondentsadore kokatuko dira: bat +15Vko iturriarentzat eta beste bat -15Vko iturriarentzat. Kondentsadore horiek ez dute eraginik izango lortuko diren emaitzetan, bai ordea zirkuituaren egokitasunean, tentsioen gorabeherak zuzenduko direlako kondentsadoreen bidez.

6.4.2. Zirkuituen bateratzea

Zirkuituak bateratzeko, lehenik eta behin gogoan izan behar da lau zirkuitu desberdin daudela: bat neurketa sentso bakoitzerako (Pt100, NTC, LM35 eta termoparea). Zirkuituek

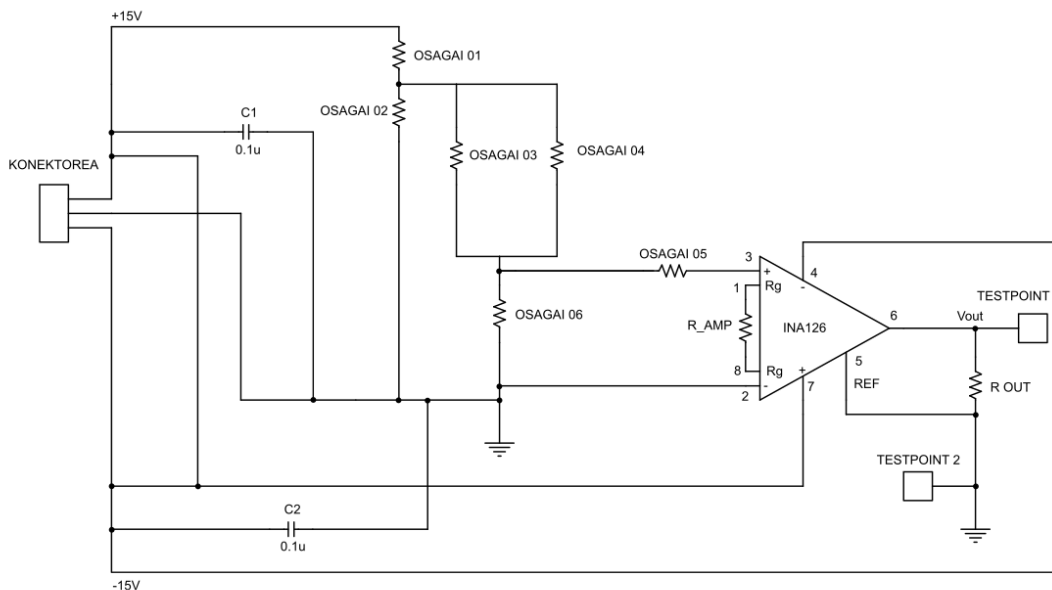
haien artean dituzten antzekotasunak aurkitu behar dira ahalik eta elementu gutxien izateko eta ikasleen zirkuitu eraikuntza sinplifikatzeko, elementu asko sartzeak akatsak egiteko tarte handiagoa uzten baitu eta beraz, plakak hondatzeko aukera handiagoa dago epe luzera.

Behatu daitekeen lehen antzekotasuna Pt100 eta NTCaren artekoa da, zirkuituak ia berdinak direlako, nahiz eta Pt100a OSAGAI 06 posizioan jarriko den eta NTCa OSAGAI 03 posizioan. Bestalde, NTCak duen paraleloko erresistentzia OSAGAI 04 posizioan kokatuko da; hala ere, serieko lehen osagaian bi bide paraleloetako bat irekita posible da zirkuitua eraikitzea, nahikoa baita bi bideetako bat zirkuitu irekian uztea serieko bide bat sortzeko (OSAGAI 03 edo OSAGAI 04 konektatu gabe).

LM35ari dagokionez, pin bat 15 Vtara, beste pin bat lurrera konektatua eta tarteko pina irteera denez zirkuituari aplikatu behar zaio. Beraz, hiru pin behar ditu LM35ak: lehena zuzenean 15 Veko iturritik datorrena, lurrera joango den pin-erako bide bat irekiko da zuzenean joan dadin lurrera eta irteerako tentsioa emango duen pina zirkuituaren gainerako zatiari konektatuko zaio. Aurreko egitura eraikitzeko, LM35a OSAGAI 01 eta OSAGAI 02ren artean kokatu behar da. Serieko lehen osagaian bide bat bakarrik egongo da itxita eroale batekin (ez da erresistentziarik kokatuko eta OSAGAI 04 edo OSAGAI 03 eroale batekin itxiko da), baina serieko bigarren osagaian 330 k Ω eko erresistentzia kokatuko da tenperatura negatiboak neur ditzan.

Azkenik, termoparearen zirkuitua egiteko LM35arena hartuko da oinarritzat, aurretik azaldu den bezala. Hala ere, serieko erresistentzien zatia desberdina izango da: lehen osagai multzoan, paraleloko bi bideetako bat irekita utziko da (OSAGAI 03) eta bestean (OSAGAI 04) 250 k Ω eko erresistentzia kokatuko da; eta bigarren osagaian (OSAGAI 06) 1 k Ω eko erresistentzia kokatuko da tentsio zatitzailea sortzeko (LM35aren eta termoparearen neurketa eskalak berdintzeko). Azkenik, serieko bi zatien arteko nodoan (anplifikadorearen sarrerara doana) kokatuko da termoparea (OSAGAI 05). OSAGAI 01 eta OSAGAI 05 eroale banarekin itxiko dira eta OSAGAI 02an zirkuitu irekia utziko da.

Zirkuituaren gainontzeko zatiak berdinak izango dira zirkuitua edozein dela ere: tentsio iturritik amplifikadorera joango den elikadura, amplifikadorearen pinak eta R_G erresistentziarentzat egingo den tokia (nahiz eta erresistentzia aldatuko den). Horrekin guztiarekin, definitua geratzen dira PCBan jarriko diren osagaiak eta haien kokapena eta 40. irudian agertzen den itxura izango du, modu eskematikoan.

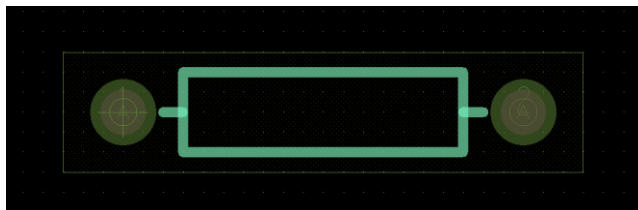


40. Irudia: sentsore bakoitzaren zirkuituak bateratzean erabiltzen den eskema elektrikoa

6.4.3. Footprintak

Aurrez aipatu den bezala, footprintak osagai bakoitzak plakan izango duen eremua adierazten duen forma dira eta Capture bidez egin den zirkuituan osagai bakoitzari footprint bat egokitu behar zaio, ondoren PCB Editorera esportatu ahal izateko. Eraikiko den plaka honen kasuan, sei footprint desberdin baino ez dira behar, jarraian azalduko direnak.

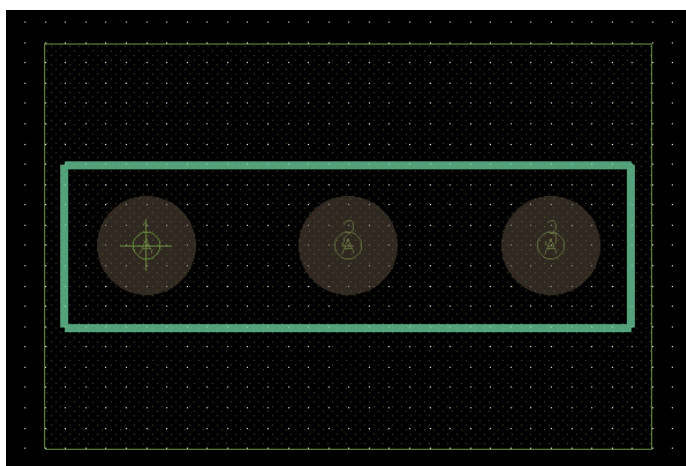
Lehenik, erresistentzia estandar baten footprinta editatuko da pinen arteko distantzia 10 mmtakoa izan dadin. Bestalde, zuloen diametroa aldatzea beharrezkoa izango da baita ere, through-hole zuloetan sartzeko euskarriak kokatu behar baitira, bertan osagaien pinak sartu ahal izateko. Beraz, finkatu da zulo horien diametroa 0.7112 mmtakoa izango dela. Zuloak finkatuak daudela, inguruko marrak egokituko dira koherenteak izan daitezkeen osagaiaren osotasunarekin, 41. irudian ikusten denez.



41. Irudia: PCB-ko osagai estandarren footprint-aren itxura

Bestalde, tentsio iturritik datorren tentsioa aplikatzeko konektore bat kokatzea nahitaezkoa da, kasu honetan hiru pineko konektorea izango dena: -15 V, 0 V eta 15 V. Osagai

horren footprinta egiteko beharrezkoa da osagai errealaren neurriak zeintzuk diren jakitea, pin-en arteko distantzia egoki zehazteko. Neurketa bidez jakin da 5 mmkoa dela pin arteko distantzia; zuloei dagokienez, 0.7112 mmtako diametroa duten zuloak esleitu zaizkie konektorearen pinei. Zuloen diametroa eta haien arteko distantzia zehaztuta, inguruko marrak editatu dira konektorearen dimentsioak izan ditzan. 42. irudian ikusten da nolako itxura izango duen sortutako osagaiak.



42. Irudia: 3 pin-eko konektorearen footprint-aren itxura

Jarraitzeko, testpointen footprintak egin behar dira. Testpointak neurketak egiteko erabiliko diren osagaiak dira: horietako bat amplifikadorearen irteerako tentsioarekin egongo da lotuta eta bigarrena lurrera, tentsio diferentzia egoki neurtu ahal izateko. Pin bakarreko osagaiak direnez, beste footprint pertsonalizatu bat egitea ezinbestekoa izango da, zuloa berriz ere 0.7112 mmtakoa izango duena eta kanpoko marrak egokituak izango dituena. Testpointen antzeko egitura izango dute plaka eusteko erabiliko diren zuloek. Zulo hauek ez dute zirkuituan inongo funtziorik betetzen, baina beharrezkoak dira plaka eutsi ahal izateko, bertan torlojuak jarri eta plaka beste gainazalen batean finkatuko baita. Zulo horientzat erabiliko den diametroa 3.1 mmtakoa izango da. 43. irudiko taulan ikus daitekeen bezala, guztira 0.7112 mmtako 23 zulo eta 3.1 mmtako 4 zulo egongo dira plakan.

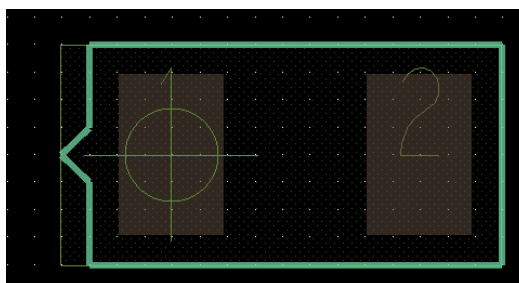
DRILL CHART: TOP to BOTTOM			
ALL UNITS ARE IN MILLIMETERS			
FIGURE	FINISHED_SIZE	PLATED	QTY
.	0.7112	PLATED	23
.	3.1	PLATED	4

43. Irudia: PCB plakak izango dituen zulo kopuruak eta haien tamaina, PCB Editor-en Drill Table bidez ikusita

Amaitzeko, stockean dauden footprintak zeintzuk diren azalduko dira: aplikadorearentzat SOIC 8 motako kapsulatzea duen footprinta ezarriko da eta kondentsadorearentzat SMDentzako footprinta ezarriko da, mota horretakoak baitira PCBtan kokatzen diren kondentsadoreak. 44. irudian ikusten da nolako itxura duten SMD motako kondentsadoreek eta 45. irudiak erakusten du haientzako footprinta.



44. Irudia: SMD motako kondentsadore baten itxura



45. Irudia: SMD kondentsadore baten PCB-ko footprint-aren itxura

6.4.4. Gainontzeko ezaugarriak eta eraikuntza

Osagaiak eta parametro nagusiak definiturik daudela, plakaren azken ezaugarriak definitzea beharrezkoa izango da. Hasteko, plakaren dimentsioak 99x86.4 mm-takoak izango direla definitu da, osagai guztientzat lekua egon dadin eta ez daitezen oso elkartuta egon.

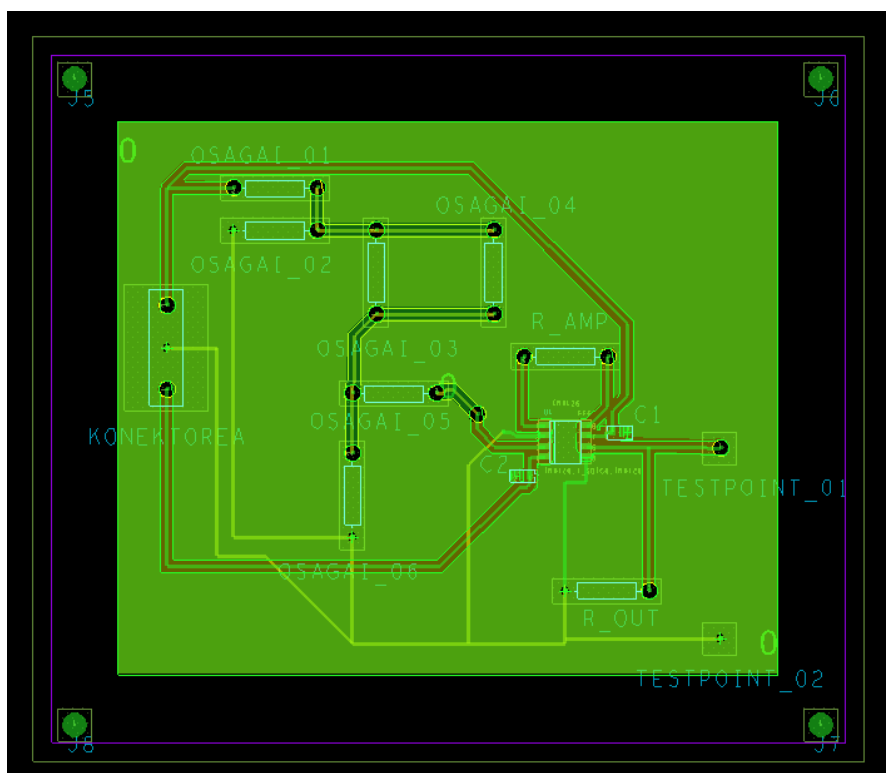
Ondoren, PCBan egongo diren pista eroaleen dimentsioak zehazterakoan, hainbat baldintza aztertu ondoren ezarri da eroaleen lodiera 0.5 mmkoa izatea. Gainera, eroale gutxiago erabiltzeko 45°ko bideak erabiliko dira hainbat pistetan, materiala aurrezteko (beti pista angeluzuzenak erabili ordez). Bestalde, plaka sinplea denez eta haren helburua ikasleentzat didaktikoa izatea denez, osagaiak alde bakarrean kokatuko dira, kasu honetan, TOP geruzan kokatuko dira zirkuituetako osagaiak. Hala ere, hainbat eroale BOTTOM geruzara bidaliko dira ez daitezen TOP geruzako eroaleekin gurutzatu.

Horrez gain, eroale geruza handi bat (79x65.9 mm) kokatuko da TOP geruzan, lurrarekin lotuta egongo dena konektorean eta zirkuituan konexioak erraztuko dituena, ez baita beharrezkoa izango uneoro lurreko pinera konexioak egitea, nahikoa izango delako geruza eroalearekin konektatzea. Lurrera ez doazen eroaleen kasuan, tarte bat utziko da eroale

horren eta lurrera konektatuta dagoen geruzaren artean, ez daitezten potentzial desberdineko bi gainazal konektatu.

Amaitzeko, nahiz eta PCBa fabrikatzerako garaian ohikoena osagaiak soldatzea den, kasu honetan ez da osagairik atxikiko plakan. Horren orde, eskuz soldatuko dira. Erresistentziak eta sentsoreak kokatuko diren zuloetan osagai horiek sartu ahal izateko pinak soldatuko dira. Testpointak, SMDak, konektorea eta anplifikadoreak finko mantenduko dira eta horiek ere soldatzea ezinbestekoa da. Azkenik, torlojuentzat egindako zuloetan torlojuak sartuko dira gero plaka nonbait kokatu nahiko balitz.

Hori guztia azalduta, 46. irudian ikusten da PCBak izango duen amaitutako itxura PCB Editor bidez ikusita.



46. Irudia: amaierako PCB plakaren goitiko bista, PCB Editor bidez ikusita

7. Zailtasunak eta arazoak

Proiektua egiterakoan hainbat arazo egon dira prozesuak aurrera egin ahala, jarraian azalduko direnak.

7.1. Anplifikadore modeloa simulazioan

Zirkuituaren analisisian AD622arekin egin da lan, kalkulu guztiak anplifikadore horren parametro eta beharretara egokituz. Hala ere, esan bezala AD623a izan da simulazioak

egiteko erabiliko den anplifikadore eredia, baina anplifikadore horren eredia bilatzerakoan, hainbat arazo egon dira haren portaeraren inguruan. Simulazioetarako ereduak dituzten hainbat orritan aurkitu da anplifikadore horren eredia eta hasiera batean, esleitutako kodeak zuzena zirudien arren, ez du era egokian funtzionatu lehen simulazio frogak egiterakoan.

Ereduarekin sortutako arazoa irteerako tentsioan agertu da, edozein sarrerako tentsio emanda ere, irteeran beti tentsio berbera ematen baitu. Gainera, ez da edonolako tentsioa izan: anplifikadorea -15 V eta +15 Vrekin elikatu arren, MVtako eskalakoa baita irteeran lortzen den tentsioa. Hasiera batean hainbat hipotesi izan dira funtzionamendu oker hori azaltzeko: pinak kodean zehazten den moduan ez esleitzea, hautatutako anplifikadore eredia okerra izatea edo eredia inportatzerakoan zerbait gaizki egitea. Hala ere, web orri ugaritan bilatu ostean AD623arentzat topaturiko ereduaren kodea berbera da eta beraz, ondorioztatu da erabili den kodea zuzena dela. Horrez gain, pinen esleipena zuzena ote den egiaztatu da hainbat aldiz, kodean zehaztutako argibideak jarraituz eta anplifikadorearen konexio guztiak ongi egin direla ziurtatuz. Hori eginda ere, anplifikadoreak gaizki funtzionatzen jarraitu du. Azkenik, eredia zuzen inportatu ote den egiaztatu da eta ikusi da hori ere ongi egin dela, Capturek sortutako liburutegia eta bertako fitxategiak identifikatu eta irakurtzen baititu. Ondorio bezala, ebatzi da ezingo dela AD623aren eredia erabili simulazioak egiteko eta konponbide bezala beste anplifikadore bat erabiltzea erabaki da: INA126a.

7.2. Sentsore komertziala

Sentsore komertzial bidezko neurketak egiteko, hasierako kalkuluetan LM35arekin planteatu dira analisi guztiak. Hala ere, prototipoarekin frogak egiteko ez da sentsore komertzial hori eta haren ordez beste sentsore bat erabili behar izan da: AD22100a. Nahiz eta sentsoreen portaerak oso antzekoak diren, zirkuituaren diseinuan aldaketa batzuk daude eta ez da hasieran planteaturiko moduan egingo prototipoa.

Hori esanda, ez du eragin larririk izango prototipoan beste sentsore komertzial bat erabiltzeak, honek ere tenperaturaren araberako tentsio irteera emango baitu.

8. Ondorioak

Prozesu guztia amaituta, hainbat ondorio atera daitezke proiektuan landu eta garatu diren puntuen inguruan. Batetik, esan daiteke sorkuntza prozesuak norabide lineal bat jarraitu duela, ekoizpen antolatu batek jarraitu beharrekoak. Laburbilduz, testuinguruaren

azterketa egin ondoren, helburua aurrera eramateko pausoak modu egokian eman dira aldagaiak eta sor daitezkeen akatsak kontuan hartuz. Testuingurua azertu ondoren, produktua garatzeko urratsak eman dira: analisia, simulazioa, prototipoa eta plakaren eraikuntza.

Aipatzekoa da, bestalde, prozesuan osagaiekin koherentzia mantentzen saiatu den arren beti ez dela posible izan, hala nola, amplifikadorearen kasuan ezin izan da simulazioetan hasieran proposaturiko amplifikadorea erabili kontrolpean ez dauden baldintzengatik (AD622aren ereduaren funtzionamendu okerra). Sentsoreei buruz, esan daiteke prototipoetan lorturiko emaitzak aurreko ataletan (analisia eta simulazioa) lortu direnekin alderatuta zentzudunak direla. Hala ere, ezin izan dira sentsore guztiak prototipoan probatu, ez baita termopararik lortu haren proba egiteko, baina Pt100 eta NTCaren emaitzak ikusita esan daiteke ez lukeela arazorik eman beharko termoparearen neurketak, prototipora arteko urrats guztiak zuzenak izan baitira.

Temperaturari dagokionez, laborategiko baldintzan ezin izan dira hasieran planteatu diren muturreko temperaturak lortu, hau da, -20°C eta 50°C ; baina giro temperaturarako egin diren neurketak zuzenak izan direnez eta erabili diren sentsoreen portaerak oso azertuak eta normalizatuak daudenez, ia ziurtasun osoz esan daiteke temperatura tarte horretan egingo diren neurketak bat etorriko direla aurretik egin diren kalkuluekin.

Proiektuaren helburuari dagokionez, plakaren egiturak eta osagaiak kokatzeko prestatu diren tarteak ikasleen erabilerarako egokituak daude, ez dadin zaila izan osagaiak manipulatzeko eta bakoitza dagokion hutsunean sartzea. Gainera, testpointak kokatu direnez amplifikadorearen irteeran eta lurrera lotutako nodo batean, osziloskopio edo beste neurgailu batekin neurketak egitea asko errazten da. Finkatutako beste helburuetako bat zirkuituak Vitoria-Gasteizko Ingeniaritza Eskolan eskuragarri dauden osagaiak erabiliz eraikitzea da eta behin prozesu osoa egingo dagoela, baieztatu daiteke lortu dela helburu hori betetzea, kanpotik lortu beharreko osagai bakarra plaka delarik (kanpoan fabrikatu behar da).

9. Etorkizuneko hobekuntzak

Hori guztia esanda, esan daiteke proiektua egoki eraman dela eta aurretik planteaturiko helburu eta zereginak betetzea lortu dela, helburu didaktikoa delarik guztietan garrantzitsuena. Hala ere, etorkizunean ikusi beharko litzateke nolakoak diren eraiki den plaka erabiliz egiten diren laborategiko praktikak eta egindako neurketak, helburua

errealitatean betetzea lortu ote den behatzeko. Neurketak aztertuz eta baloraturaz, plaka hobetzea izan daiteke egin daitekeen gauzetako bat, zehaztasuna eta errepikagarritasuna ziurtatu ahal izateko, temperatura neurketa fidagarriak izatea baita helburua.

Bestalde, emaitzak monitorizatu eta kontrolatu ahal izateko, LabView edo antzeko programa bat erabiliz aplikazio bat sortzea izan daiteke egin daitekeen beste atal bat. Modu honetan, askoz era txukunago eta irakurterrazago batean kontrolatu daitezke plakaren bidez lortzen diren temperatura neurketak.

10. Erreferentziak

1. Calvo, I., Gil-García, J.M., Carrascal, E., Armentia, A., Barambones, O., Basogain, X., González, J.M., Rico, T., Escudero, C., Tazo, I., Mesanza, A., García-Adeva, A.J., Apiñaniz, E., Introduciendo Sostenibilidad y Multidisciplinaridad en los Grados de Ingeniería (2022)
2. Tipos de Sensores de Temperatura, <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>
3. Sensor de temperatura Pt100 – lo que hay que saber, [https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber#:~:text=Versi%C3%B3n%20en%20ingl%C3%A9s\)-,Autocalentamiento,ser%C3%A1%20el%20calentamiento%20del%20sensor.](https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber#:~:text=Versi%C3%B3n%20en%20ingl%C3%A9s)-,Autocalentamiento,ser%C3%A1%20el%20calentamiento%20del%20sensor.)
4. Pt100, Pt1000 or NTC – which is the right sensor?, https://blog.wika.com/knowhow/pt100-pt1000-or-ntc-which-is-the-right-measuring-element/?doing_wp_cron=1685624067.6573789119720458984375
5. LM35 – El sensor de temperatura más popular, <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>
6. Amplificador de instrumentación: ¿qué es? Etapas, características y funcionamiento, <https://amplificadores.info/amp-op/instrumentacion>
7. AD622 Datasheet, <https://html.alldatasheet.es/html-pdf/48092/AD/AD622/19/1/AD622.html>
8. PT100 RTD Sensor, <https://components101.com/sensors/pt100-rtd-temperature-sensor>
9. NTCLE100E3 product information, <https://www.vishay.com/en/product/29049/>
10. Introducción a la termoelectricidad, [https://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE\(c\).htm](https://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE(c).htm)
11. Termopares, <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-copia-de-tipos-de-termomet>

12. Termopares, <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-copia-de-tipos-de-termomet>
13. INA126 Datasheet, <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/56682/BURR-BROWN/INA126.html>