

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

*ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa*

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

LABURPENA

Gako Hitzak: *domotika, ZigBee, PI kontrola, hardware askea, software askea*

Azken hamarkadetan zehar, domotika gizartean izan den garapen teknologiko orokorraren atzetik joan da, erronka askori aurre eginez eta gutxinaka etxebizitzetan sartzea lortuz. Gaur egun, ordea, domotika errealitate bat bilakatu da inolako zalantza barik. Izan ere, produktu domotikoen eskaera ikaragarri hazten ari da eraikin berriak direla eta, non balio gehigarri bat bihurtu diren. Domotikak erabiltzaileei eskaintzen dizkien erosotasunez gain, teknologia honen erabilerak aurrezpen energetiko handia ekar dezake.

Dena dela, Gradu Amaierako Lan honi ekin aurretik merkatuan existitzen diren aukera domotiko komertzial desberdinen ikerketa egin da, hauen kostua oraindik altuegia dela ondorioztatuz. Horrenbestez, proiektu honetan etxebizitza batean inplementatzeko moduko temperaturaren kontrolerako sistema merkea, eraginkorra eta moldagarria diseinatzea eta garatzea erabaki da, hardware zein software askearen kontzeptuetan oinarrituz.

Eraikitako sistema bi nodoz osatuta dago, euren arteko komunikazioa haririk gabeko sareentzako ZigBee (IEEE 802.15.4 estandarra) protokoloaren bidez gauzatzen delarik. Nodoetako bat kontrolatu nahi den gelan aurkitzen da, non temperatura sentsore baten bitartez laginketa periodikoa egiten den. Era berean, temperaturari buruzko informazio hori beste nodora helarazten da uneoro. Erabiltzaileak bertan kokatutako LCD pantaila batean gelako temperatura kontsulta dezake, baita gelan nahi duen temperatura nahierara ere ezarri. Honetarako, eskuragarri dituen bi botoiren bidez kontsigna temperatura zehatz bat finkatzeko aukera dauka.

Gelako tenperaturak kontsigna gainditzerakoan, alegia; gelan dagoen haizagailu bat abian jartzen da, tenperatura onargarri bat lortu arte martxan diharduena. Beharrezkoa den energia baino gehiagorik xahutu ez dadin PI kontrola erabili da sisteman, haizagailuak horrela betiere abiadura egokia mantentzen du eta.

RESUMEN

Palabras Clave: *domótica, ZigBee, control PI, hardware libre, software libre*

A lo largo de las últimas décadas, el campo de la domótica siempre ha ido un paso por detrás del avance tecnológico que se daba en la sociedad, teniendo que hacer frente a innumerables desafíos técnicos y teniendo una lenta implantación en los hogares. Hoy en día, sin embargo, la domótica se ha vuelto una realidad sin ningún género de duda. De hecho, la construcción de nueva vivienda ha incrementado de manera notoria la demanda de productos domóticos, convirtiéndose así en un valor añadido de cara a los compradores. Estos dispositivos, además de ofrecer todo tipo de comodidades a los usuarios, son capaces de realizar un eficiente ahorro de energía.

De todos modos, antes de comenzar con este Trabajo de Fin de Grado se ha llevado a cabo un análisis de las diferentes opciones de domótica comercial existentes en el mercado, tras el cual se ha concluido que su coste es demasiado alto. Por lo tanto, este proyecto surge con la intención de diseñar y desarrollar un sistema de control de temperatura domótico asequible, eficiente y versátil, basándose para esto último en los conceptos de hardware y software libre.

El sistema diseñado en este trabajo se compone de dos nodos, los cuales se comunican mediante el protocolo para redes inalámbricas ZigBee (estándar IEEE 802.15.4). Uno de dichos nodos, situado en la habitación cuya temperatura se quiere controlar, efectúa una medición periódica de la temperatura mediante un sensor. Esta información es transmitida en todo momento al segundo nodo, que se encuentra en otra parte del hogar. En él, el usuario posee una pantalla LCD desde la cual puede consultar la temperatura de la estancia, así como regularla

según su voluntad. Para ello, dispone de dos botones con los que establecer la temperatura de consigna.

En cuanto la temperatura de la habitación supera la de consigna se pone en marcha un ventilador, que no cesa su actividad hasta que la temperatura queda por debajo del nivel fijado por el usuario. Asimismo, con el fin de que no se utilice más energía de la necesaria se ha empleado un lazo de control PI, por lo que el ventilador se mantiene a una velocidad adecuada en todo momento.

ABSTRACT

Key Words: *home automation, ZigBee, PI control, Open Hardware, Open Software*

Over the last decades, the field of home automation has always lagged behind the technological development in society, facing countless technical challenges and having a slow implementation in households. Today, however, it has undoubtedly become a reality. In fact, the construction of new housing has significantly increased the demand for domotics, being regarded as an added value. These devices, in addition to offering a wide range of amenities to users, are able to perform an efficient energy saving.

Nonetheless, before starting this Final Degree Project an analysis of the different commercial home automation products has been accomplished, according to which they still remain being quite overpriced. Therefore, this project arises with the intention of designing and developing an affordable, efficient and adaptable home temperature control system, based on the concepts of Open Hardware and Open Software.

The system consists of two nodes, which communicate between themselves by using the ZigBee wireless network protocol (IEEE 802.15.4 standard). One of these nodes, which is located in the room to be controlled, uses a sensor in order to measure temperature periodically. Collected data is transmitted steadily to the other node. This second one can be located elsewhere in the house. It has an LCD screen which allows the user to check the temperature, as well as to regulate it at his will. Actually, the setpoint temperature can be established by using a pair of available buttons.

Thus, as soon as the room's temperature exceeds the setpoint, a fan is started, and it does not cease its activity until temperature falls below the level set by the user. A PI control loop has likewise been used in the system. The loop helps the fan keep an appropriate speed at all times, so that it ensures a great energy saving.

AURKIBIDEA

1. DOKUMENTUA - MEMORIA

1.	SARRERA.....	1
2.	TESTUINGURUA	5
3.	HELBURUAK ETA IRISMENA	9
4.	LANAK DAKARTZAN ONURAK.....	11
5.	GAIAREN EGOERAREN AZTERKETA	13
5.1.	ZIGBEE TEKNOLOGIA.....	13
5.2.	XBEE MODULUAK	17
5.3.	PID KONTROLA	21
5.4.	I ² C KOMUNIKAZIO PROTOKOLOA	23
6.	AUKEREN ANALISIA.....	27
6.1.	1. AZTERGAIA. MIKROKONTROLAGAILU MOTA.....	27
6.1.1.	<i>Aukeren deskribapena.....</i>	28
6.1.2.	<i>Alternatibaren analisisa eta aukeraketa</i>	30
6.2.	2. AZTERGAIA. XBEE MODULU MOTA.....	31
6.2.1.	<i>Aukeren deskribapena.....</i>	31
6.2.2.	<i>Alternatibaren analisisa eta aukeraketa</i>	32
6.3.	3. AZTERGAIA. TENPERATURA SENTSORE MOTA.....	33
6.3.1.	<i>Aukeren deskribapena.....</i>	34
6.3.2.	<i>Alternatibaren analisisa eta aukeraketa</i>	36
6.4.	4. AZTERGAIA. LCD PANTAILA MOTA	37
6.4.1.	<i>Aukeren deskribapena.....</i>	37
6.4.2.	<i>Alternatibaren analisisa.....</i>	39
6.5.	5. AZTERGAIA. RTC MODULU MOTA	40
6.5.1.	<i>Aukeren deskribapena.....</i>	41
6.5.2.	<i>Alternatibaren analisisa.....</i>	42

6.6.	BESTE OSAGAIAK.....	43
6.6.1.	<i>PWM haizagailua.....</i>	43
6.6.2.	<i>XBee Explorer USB.....</i>	44
6.6.3.	<i>XBee Shield.....</i>	44
7.	PROPOSATUTAKO IRTENBIDEAREN DESKRIAPENA.....	47
7.1.	GOI MAILAKO DISEINUA	47
7.1.1.	<i>Urrutiko nodoa.....</i>	48
7.1.2.	<i>Nodo zentrala.....</i>	50
7.2.	BEHE MAILAKO DISEINUA.....	53
7.2.1.	<i>XBee moduluen konfigurazioa</i>	53
7.2.2.	<i>PI kontrol begizta.....</i>	56
7.2.3.	<i>Osagaien arteko konexioak.....</i>	58
7.2.3.1.	<i>Urrutiko nodoko konexioak.....</i>	58
7.2.3.2.	<i>Nodo zentralako konexioak.....</i>	59
7.2.4.	<i>Zirkuituen eskemak.....</i>	60

2. DOKUMENTUA - LANERAKO ERABILITAKO METODOLOGIA

8.	EGINBEHARREKOEN DESKRIAPENA.....	65
8.1.	1. FASEA: PROIEKTUAREN IDENTIFIKAZIOA	65
8.1.1.	<i>1. zeregina: Ideiaren zehaztapena.....</i>	65
8.1.2.	<i>2. zeregina: Helburuen definizioa</i>	66
8.2.	2. FASEA: PLANIFIKAZIOA	67
8.2.1.	<i>1. zeregina: Informazio bilketa</i>	67
8.2.2.	<i>2. zeregina: Proiektuaren planifikazioa.....</i>	67
8.3.	3. FASEA: SISTEMAREN ANALISIA ETA DISEINUA	68
8.3.1.	<i>1. zeregina: Merkatuaren azterketa.....</i>	68
8.3.2.	<i>2. zeregina: Elementuen erosketa</i>	69
8.3.3.	<i>3. zeregina: Egituraren diseinua</i>	69
8.4.	4. FASEA: SISTEMAREN GARAPENA	70
8.4.1.	<i>1. zeregina: Moduluen konfigurazioa.....</i>	70
8.4.2.	<i>2. zeregina: Mikrokontrolagailuen programazioa.....</i>	70
8.5.	5. FASEA: DOKUMENTAZIOAREN GARAPENA	71
8.5.1.	<i>1. zeregina: Dokumentazioaren idazketa.....</i>	71
8.5.2.	<i>2. zeregina: Dokumentazioaren gainbegiratzea.....</i>	72

9.	GANTT-EN DIAGRAMA.....	73
----	-------------------------------	-----------

3. DOKUMENTUA - ALDERDI EKONOMIKOAK

10.	AURREKONTUA.....	77
10.1.	OSAGAIEN AURREKONTUA	77
10.2.	LAN ORDUE N AURREKONTUA	78
10.3.	AMORTIZAZIOEN AURREKONTUA	79
10.4.	AURREKONTU TOTALA.....	80

4. DOKUMENTUA - ONDORIOAK

11.	ONDORIOAK.....	83
-----	-----------------------	-----------

5. DOKUMENTUA - BIBLIOGRAFIA

12.	BIBLIOGRAFIA.....	87
-----	--------------------------	-----------

6. DOKUMENTUA – 1. ERANSKINA

13.	PROGRAMAREN KODEA.....	93
13.1.	URRUTIKO NODOAREN KODEA.....	93
13.2.	NODO ZENTRALAREN KODEA.....	96

IRUDIEN AURKIBIDEA

Irudia 1. Lutron konpainiak ekoiztutako lehenengo argizatze erreguladoreak	6
Irudia 2. Haririk gabeko sareen sailkapena.....	13
Irudia 3. ZigBee protokolo pila [5].....	14
Irudia 4. ZigBee topologia motak.....	17
Irudia 5. XBee modulu baten pin guztiak (ezkerrean) eta beharrezko gutxieneko konexioak (eskuinean).....	18
Irudia 6. AT komando baten egitura [10].....	19
Irudia 7. SM komandoaren konfigurazioak [11].....	20
Irudia 8. Begizta irekiko sistema	21
Irudia 9. Begizta itxiko sistema (berrelikadura negatiboarekin)	21
Irudia 10. PID kontrol sistemaren bloke diagrama [12]	22
Irudia 11. I ² C protokoloaren maisu-morroki konfigurazioa [16].....	23
Irudia 12. I ² C bidezko transferentzia baten egoerak [17]	24
Irudia 13. Arduino Uno plaka	28
Irudia 14. Arduino Mega plaka	29
Irudia 15. Raspberry Pi 3 B plaka	29
Irudia 16. XBee Series 1 modulua	31
Irudia 17. XBee Series 2 modulua	32
Irudia 18. XBee Series 3 modulua	32
Irudia 19. TC74 sentsorea	34
Irudia 20. LM35DZ sentsorea	35
Irudia 21. DHT11 sentsorea	35
Irudia 22. DHT22 sentsorea	36
Irudia 23. Aptofun 1602 LCD pantaila	38
Irudia 24. AZ Delivery 1602 pantaila	38
Irudia 25. AZ Delivery 2004 LCD pantaila	39
Irudia 26. DS3231 RTC modulua	41

GrAL. Irudien Aurkibidea

Irudia 27. DS3234 RTC modulua	42
Irudia 28. Noctua markako PWM haizagailua.....	43
Irudia 29. Sparkfun markako XBee Explorer USB plaka.....	44
Irudia 30. XBee Shield plaka	45
Irudia 31. Sistemaren arkitektura modularra	47
Irudia 32. Arduinoaren eta XBee moduluaren arteko muntaketa Shield-aren bidez	49
Irudia 33. Urrutiko nodoa.....	50
Irudia 34. LCD pantailaren display-a.....	51
Irudia 35. Seinale baten beharrezko saihestaren ostean agertutako errebotea	52
Irudia 36. Nodo zentrala	53
Irudia 37. XCTU programaren interfazea.....	54
Irudia 38. A eta B XBee moduluen serie zenbakiak, hurrenez hurren (SH gorritz eta SL urdinez adierazita).....	56
Irudia 39. Sistemaren kontrol begizta	57
Irudia 40. Urrutiko nodoaren zirkuituaren eskema	61
Irudia 41. Nodo zentralaren zirkuituaren eskema	61
Irudia 42. Gantt-en diagrama	74

TAULEN AURKIBIDEA

Taula 1 1. aztergaiaren kalifikazioak.....	30
Taula 2 2. aztergaiaren kalifikazioak.....	33
Taula 3 3. aztergaiaren kalifikazioak.....	36
Taula 4 4. aztergaiaren kalifikazioak.....	40
Taula 5 5. aztergaiaren kalifikazioak.....	42
Taula 6 XBee moduluei esleitutako balioak.....	55
Taula 7 RGB LED-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak.....	58
Taula 8 LM35DZ-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak	59
Taula 9 PWM haizagailuaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak.....	59
Taula 10 RTC modulua eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak.....	59
Taula 11 LCD pantailaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak.....	60
Taula 12 Botoi pultadorearen, kondentsadorearen eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak ...	60
Taula 13 Ideiaren zehaztapena	66
Taula 14 Helburuen definizioa.....	66
Taula 15 Informazio bilketa	67
Taula 16 Proiektuaren planifikazioa	68
Taula 17 Merkatuaren azterketa	68
Taula 18 Elementuen erosketa azterketa	69
Taula 19 Egituraren diseinua.....	69
Taula 20 Moduluen konfigurazioa	70
Taula 21 Mikrokontrolagailuen programazioa konfigurazioa.....	71
Taula 22 Dokumentazioaren idazketa.....	71
Taula 23 Dokumentazioaren gainbegiratzea	72
Taula 24 Osagaien aurrekontua.....	78
Taula 25 Lan orduen aurrekontua	79
Taula 26 Amortizazioen aurrekontua.....	79
Taula 27 Aurrekontu totala.....	80

AKRONIMOEN ZERRENDA

ADC. *Analog-to-Digital Converter*

AM/PM. *Ante Meridiem/Post Meridiem*

API. *Application Programming Interface*

APL. *Application Layer*

APS. *Application Support Sublayer*

DAC. *Digital-to-Analog Converter*

EEBB. *Estatu Batuak*

EEPROM. *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

GPIO. *General Purpose Input/Output*

GPS. *Global Positioning System*

GrAL. *Gradu Amaierako Lana*

I. *(Kontrol) Integrala*

I²C. *Inter-Integrated Circuit*

IEEE. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

ISM. *Industrial, Scientific and Medical*

LCD. *Liquid Crystal Display*

(RGB) LED. *(Red Green Blue) Light Emitting Diode*

LR-WPAN. *Low Rate Wireless Personal Area Network*

MAC. *Media Access Control*

NRZ. *Non Return to Zero*

NWK. *Network Layer*

GrAL. Akronimoen Zerrenda

OSI. *Open System Interconnection*

P. (Kontrol) Proporzionala

PCB. *Printed Circuit Board*

PHY. *Physical layer*

PD. (Kontrol) Proporzional eta Deribatiboa

PI. (Kontrol) Proporzional eta Integrala

PID. (Kontrol) Proporzional, Integral eta Deribatiboa

PUZ. Prozesatzeko Unitate Zentrala

PWM. *Pulse Width Modulation*

RAM. *Random Access Memory*

RO. *Packetization Timeout*

RTC. *Real Time Clock*

SH. *Serial Number High*

SL. *Serial Number Low*

SoC. *System on Chip*

SPI. *Serial Peripheral Interface*

SRAM. *Static Random Access Memory*

SSP. *Secure Service Provider*

TCXO. *Temperature Compensated Crystal Oscillator*

UART. *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*

USB. *Universal Serial Bus*

WLAN. *Wireless Local Area Network*

WMAN. *Wireless Mteropolitan Area Network*

WPAN. *Wireless Personal Area Network*

WSAN (WSN laburtuta). *Wireless Sensor and Actuator Network (Wireless Sensor Network)*

WWAN. *Wireless Wide Area Network*

XCTU. *XBee Configuration and Test Utility*

ZDO. *Zigbee Device Object*

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

*ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa*

1. DOKUMENTUA - MEMORIA

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: : Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

1. SARRERA

Gratu Amaierako Lan honetan tenperaturaren kontrolerako sistema domotiko bat diseinatu eta eraiki egin da. Proposatutako sistema bi nodoz osatuta egotea erabaki da (urrutiko nodoa eta nodo zentrala), hauen arteko komunikazioa haririk gabeko tekniken bidez gertatzen delarik. Urrutiko nodoak tenperatura neurketak hartzen dituen bitartean, nodo zentralak informazio hau pantaila batean erakusten du. Erabiltzaileak urrutiko nodoan izan nahi duen tenperatura zehaztu dezake nodo zentraletik. Honetarako, kontrol begizta baten bidez egokitu egiten da tenperatura leuntzeaz arduratutako haizagailuaren abiadura.

Proiektu hau burutzeko graduan zehar barneratutako ezagupen ugari aplikatu behar izan dira; hala nola, elektronika digitala zein analogikoa, erregulazioa edota industria automatizazioa. Beraz, baliabide hauek oso erabilgarriak suertatu dira azaldutako arazo desberdinei aurre egiteko.

Garatutako proiektua bere osotasunean ulertzeko, memoria dokumentu hau ondoren azaltzen diren ataletan banatuta dago. Hauetan ezinbesteko azalpenak emateaz gain, kontzeptu zailenak era ulergarrian azaltzen dira.

Lehenik eta behin, testuingurua aurkezten da, non domotikaren mundua eta bertan existitzen diren aukerak laburki azaltzen diren, baita proiektua aurrera eramateko zergatia ere. Ondoren, lan honetan garatutako proiektuaren helburua azaltzen da eta honek eduki lezakeen irismena zehaztu egiten da. Hau azaldu eta gero, proiektuak dakartzan onura tekniko, ekonomiko eta sozialak adierazten dira.

Hurrengo atalean gaiaren egoeraren azterketa ematen da; hots, proiektuko idazki honetan zehar azaldutako kontzeptu eta prozedurentzako oinarri bezala balio duen marko teorikoa. Honen ostean, proiektuaren garapenerako alternatiba ezberdinen soluzio posibleak aztertzen dira, eta irizpide batzuk jarraituta soluzio posible horien arteko egokiena zein den erabaki.

Proposatutako irtenbidearen deskribapena izeneko atalean proiektua soluzio finalera bideratu duen diseinuaren azalpena ematen da, hau bi zatitan bananduz; hots, goi mailako diseinuan eta behe mailakoan. Goi mailakoan

Era berean, memoria deritzon dokumentu honetaz gain, beste zenbait dokumentu erantsita datoz, non lanerako erabilitako metodologia, aurrekontua, proiektua amaitu ondoren ateratako ondorioak eta erreferentzia bibliografikoak azaltzen diren.

Lanerako erabilitako metodologian, 2. dokumentuan, zehazki; bi atal ezberdintzen dira. Lehendabizi, eginbeharrekoen deskribapena deritzon atalean baliabideak era zuzenean antolatzeko eta denborak aurreikusteko burututako proiektuaren faseak izendatzen eta azaltzen dira. Fase hauetako bakoitza aipatutako hainbat zereginenez osatuta dago. Ondoren, pausu guzti hauek betetzeko behar izandako denbora adierazten da lanaren planifikazioa zehazten duen Grantt diagramaren atalean. Adierazpen grafiko honen bidez arduraren desberdinek izandako iraupena aurkezten da, baina euren arteko erlazioak azaldu barik.

Aurrekontuaren dokumentuan GrAL honetan izandako kostu guztiak kontuan hartu dira. Bertan osagaien, zerbitzuen, lan orduen eta bat-bateko ezustekoen kostu totala kalkulatu da, era honetan lanaren ikuspegi ekonomiko bat eskainiz.

Ondorioen dokumentuan, bestalde, proiektuaren helburua bete eta gero egindako hausnarketa azaltzen da. Gainera, proiektuaren geroko hedatze batera begira izandako gogoetak biltzen dira bertan.

Ikerketa lan orotan egin ohi den antzera, bibliografia atala ere erantsi da, lana osatzeko erreferentzia bezala erabili behar izan diren webguneen zerrenda jasotzen duena. Memorian zehar, bai testuetan bai irudietan, erreferentzia hauen erabilpena adierazi da zerrendako ordenaren arabera esleitutako zenbakien bidez.

Azkenik, lan honetako azkenengo dokumentua eranskinei egokitu zaie. Bertan, mikrokontroladoreetan txertatutako programaren kodea atxikitu da, azalpen moduko komentarioekin batera.

2. TESTUINGURUA

Graduko izaera dualari so eginez; hots, elektronikaren eta kontrolaren arloak barne hartzen dituen, arlo hauek biak lotzea lortu nahi izan da proiektuan domotikaren munduan sakonduz.

Domotika etxebizitza baten kontrol zein automatizaziorako diseinatuak izan diren teknologia ororen multzoa da. Domotika terminoa *domus* (latinetik datorrena eta etxe esan nahi duena) eta tika (grekeraz automatika) hitzen arteko elkarketaren ondorio da, hain zuzen ere [1].

Dena dela, domotika jarduera teknikotzat har daitekeen arren, badauka ere bezainbeste garrantzitsua den alderdi sozial bat. Hitz gutxitan, domotika infoteknologia etxebizitzetan sartzean datza, bai, baina egoiliarren bizi kalitatea erabat hobetzea lortzen da honi esker. Are gehiago, pertsonen komunikazio aukerak handitu egiten dira prozesu domestikoak automatizatu eta hauen berri ematearen bitartez. Komunikazio hau ez da soilik euren artean gauzatzen, baizik eta kanpo ingurunearekin ere ematen dela.

Gaur egungo domotikara bideratu duen garapena 50. hamarkada bukaeran ematen hasi zen, Joel Spira izeneko fisikari, asmatzaile eta enpresari estatubatuarrek, argindarra erregulatzeko asmoarekin, tiristoreak erabiltzea erabaki zuenean. Polarizazio zuzeneko etengailu biegonkor baten modura lan egiten duten erdieroale hauetaz baliatuta erreostatoak ordezkatu zituen. Erreostatoak nahiko tamaina handiko elementuak ziren, instalazio konplexu eta garesti baten beharra zutenak, tiristoreak, berriz, pareta batean kokatzeko moduko kutxatxoetan jar zitezkeen. Garai hartan argia erregulatzeko sistemak jada erabiltzen ziren, baina Spira-ren ideia guztiz iraultzailea izan zen, honi esker tiristoreen bidez etxebizitzetan instalatu ahal izan zirelako. Horrela, 1959an patentea erregistratu eta bere emaztearekin batera Lutron Electronics konpainia sortu zuen, argizatze erreguladore berrien ekoizpena ekinez.



Irudia 1. Lutron konpainiak ekoiztutako lehenengo argizatze erreguladoreak

Hurrengo aurrerapauso nabarmena proba modura X10-ean oinarritutako lehenengo automatizazio gailuak agertu zirenean gertatu zen, 70. hamarkadan. X10-a, Pico Electronics izeneko enpresa batek garatutako komunikazio protokolo bat da. Protokolo hau etxeetan automatizazio ekipoen arteko kontrol seinaleak era digitalean bidaltzeko aurretik instalatuta zegoen lerro elektrikoa zerabilen. Edonola ere, ez zen 80. hamarkadara arte izan, etxebizitza idealaren inguruan interesa handitu zenean, lehenengo sistema komertzialak ekoiztera ekin zitzaiola, Estatu Batuetan batez ere.

Gorakada hau ematen ari zen bitartean kableatu egituratuko sistemak erabiltzen hasi ziren edozein motatako terminal periferikoak euren artean konektatu ahal izateko. Datuez gain, sistema horiek ahotsaren garraioa eta segurtasun eta kontrol gailu batzuen konexioa ahalbidetzen zuten. Horrela, kableatu egituratuko sistemaz hornitutako eraikinak eraikin adimendun bezala ezagutzen hasi ziren, interes handia piztuz mundu teknologikoan euren efizientziari esker.

80. hamarkada bukaeran eta 90. hamarkada hasieran, teknologia hauek guztiak etxebizitzetara helduz joan ziren, Informazioaren eta Komunikazioaren Teknologien (IKT) garapenarekin batera. Azken honek sistema domotikoen integrazioa nabarmenki erraztu du azken urteotan. Izan ere, orain 30 urte direla domotika etxeetan ezarri zenetik, komunikazio sare informatikoen, haridunek zein haririk gabekoek (Wi-Fi bidezkoek), prozesua erabat azkartu dutela aipatu beharra dago. Gaur egun, alegia, protokolo berriek inoiz ezagutu ez den garapen maila batera iristea ahalbidetu dute eta merkatu sendo eta anitz bat existitzen produktu domotiko komertzialen inguruan [2] [3].

Izan ere, domotikak dakartzan teknologia berritzaileei esker hobekuntzak lor daitezke etxebizitzetako arlo askotan; esate baterako, erosotasunean eskuragarritasunean, komunikazioen eraginkortasunean, segurtasunean edota aurrezpen energetikoan. Azken honetan egindako aurrerapenek, zehazki, garrantzi handia izango dute etorkizunari begira, mundua osoak pairatzen ari duen larrialdi klimatikoaren testuinguruan oso itxaropentsuak gerta daitezke eta.

Hau guztia kontuan hartuta, ildo horretatik jarraitu nahi izan da proiektu honetan, etxebizitzetan aplikatu daitezkeen kontrol itxiko tenperatura erregulazio sistema bat sortuz. Honetarako izandako motibazio nagusia merkatuan existitzen diren beste tenperaturaren kontrolerako sistema domotikoen aurrean sistema merkeago eta konfigurazio desberdinak erabiltzeko aukera ematen duen sistema bat ekoiztea izan da. Daukaten kostu handiaz gain, sistema komertzialak birkonfiguratu ezin daitezkeen sistemetan oinarritzen dira, hau da, fabrikatik datozen funtzionalitate aurrekonfiguratuak baino ezin dira erabili. Proiektu honetan garatutako sisteman, ordea, erabiltzaileak bai hardware zein software mailan aldaketak egin ditzake, bere beharrak asetzeko konfigurazio espezifikoak zehaztu ahal izanez.

3. HELBURUAK ETA IRISMENA

Gratu Amaierako Lan honen helburu nagusia tenperatura monitorizazio eta kontrol sistema autonomo baten diseinua, programazioa eta muntaia era eraginkor batean garatzean datza.

Helburu nagusi hau bete ahal izateko, bigarren mailako hurrengo helburuak zehaztu egin dira:

- Inguruko **tenperatura datuen jarraipena** LCD pantaila baten bidez inguruko tenperatura bistaratuko da. Pantaila horretan, beste datu batzuk ere ikuskatu ahal izango dira, hala nola ezarritako kontsigna tenperatura, haizegailua ON/OFF dagoen, ordua eta data.
- Open Hardwarearen erabilpena, hau da, **hardwarea** edozein momentutan **hedatzeko aukera** egongo da, nodo berriak gehituz zein beste parametro batzuk (hezetasuna, argitasuna...) neurtzeko aukera izanez.
- Sistemaren diseinurako aukera desberdinak ondo aztertu eta ahal den heinean osagai merkeenak bilatu, proiektuaren **kostua txikia** izateko. Etxebizitza batean aplikatzeko modukoa izan behar denez ez da errentagarria ezta komenigarria kostu handikoa izatea, alegia.
- PI kontrol begiztaren bidez haizagailuak xahututako **energia** elektrikoaren **aurrezpena** lortu, haizagailuaren hegalen biratze-abiadura erregulatuz.
- ZigBee haririk gabeko protokoloaren erabilpena nodoen arteko komunikazioa ezartzeko, **beharrezko kable kopurua txikituz**.

- Erabiltzaile ezberdinen beharretara egokitu daitekeen **programazio kode aldagarria** garatu Open Softwarea erabiltzearen bidez. Horrela sistemaren moldagarritasun ezaugarriak hobetzen dira.
- **Sistemaren askatasuna bermatzea**, hots, ekipo informatiko baten erabilpenik gabe datuak lortzeko gaitasuna izatea.

4. LANAK DAKARTZAN ONURAK

Proiektu hau egitearen onurakasko dira, bai alde teknikotik baita alde ekonomiko, sozial eta akademikotik ere.

Alde teknikoari dagokionez, XBee moduluen konfiguragarritasun errazari esker kontrol sarea edozein momentuan heda daiteke, beste geletako tenperatura edota parametro desberdinak (hezetasuna, presioa, argitasuna..) neurtzeko nodo berriak gehituz. Gainera, sistema kontrolatzeko era intuitiboa ahalbidetzen zaio LCD pantailaren interfaze ulergarriaren bidez. Beraz, pertsona adinduek, edo, oro har, teknologia berriekin trebeak ez diren pertsonak erabiltzeko aproposa ere suertatzen den sistema da.

Alde ekonomikoari begiratuta, bestalde, proiektu honek eskainitako soluzioa merkatuan existitzen diren gainontzeko sistema domotikoak baino askoz merkeagoa da. Izan ere, proiektua garatzen hasi aurretik, helburuetan azaldu bezala, erabilitako osagaiak ahalik eta merkeen izatea (betiere kontrol sistemaren funtzionamendu egoki bat bermatuz) erabaki egin da sistemak abantaila hori eduki dezan.

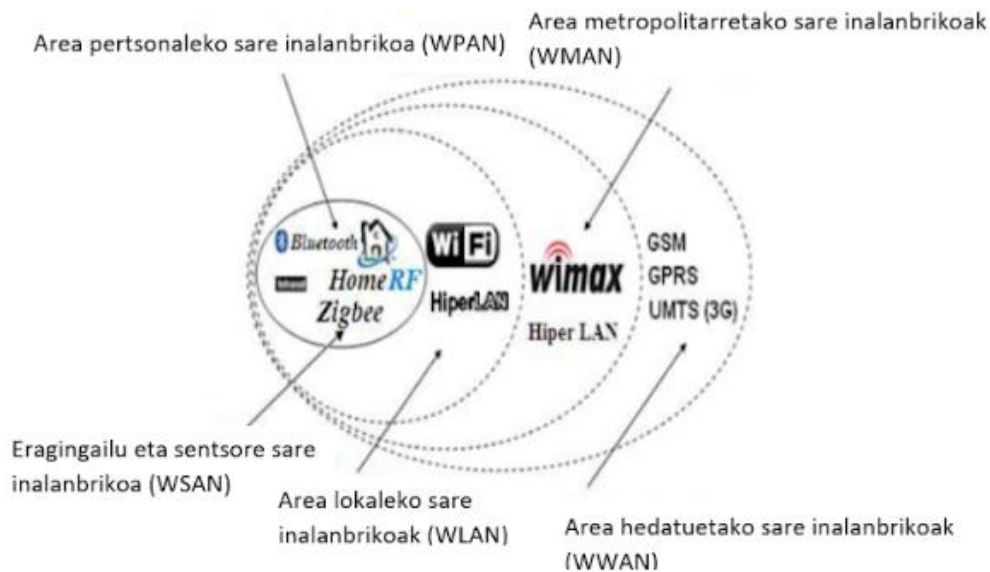
Ekonomiari ez ezik alde sozialari ere erreparatuta, sistema honen ezarpenak dakarren beste onura garrantzitsu bat etxebizitzetara eskainitako aurrezpen energetikoa da. Tenperatura erregulatzeaz arduratzen den haizegailua ez du inoiz gehiegizko energia elektrikorik xahutzen ezarritako lazo itxiko kontrolari esker, modu eraginkorrean gelako tenperatura adierazitako kontsigna tenperatura behetik mantenduz. Horrenbestez, ingurumenarekiko inpaktua txikiagotzea lortzen da era nabarmenean.

Azkenik, ikuspuntu pertsonal batetik aztertuta, proiektu honek graduiko ikasketetan zehar landutako arlo ugari sakontzeko aukera eman du. Ildo horretan, ikaslearen bururako berriak diren gaien inguruko interesa pizteko ere laguntza handia izan da, etorkizunerako baliotsua den formakuntza eskuratuz.

5. GAIAREN EGOERAREN AZTERKETA

5.1. ZigBee teknologia

Proiektu honen garapenerako haririk gabeko komunikazioa erabiltzea erabaki egin da. Izan ere, 2. irudian ikus daitezkeen aukeren artean, datuen transmisioa gauzatzeko, bi nodoen arteko komunikazioa ZigBee sarearen bidez egitea erabaki zen. Hori dela eta, ezinbestekoa da ZigBee komunikazioari buruzko oinarritzko ezagutza batzuk azaltzea proiektuaren ulermen argiago bat lortzeko.



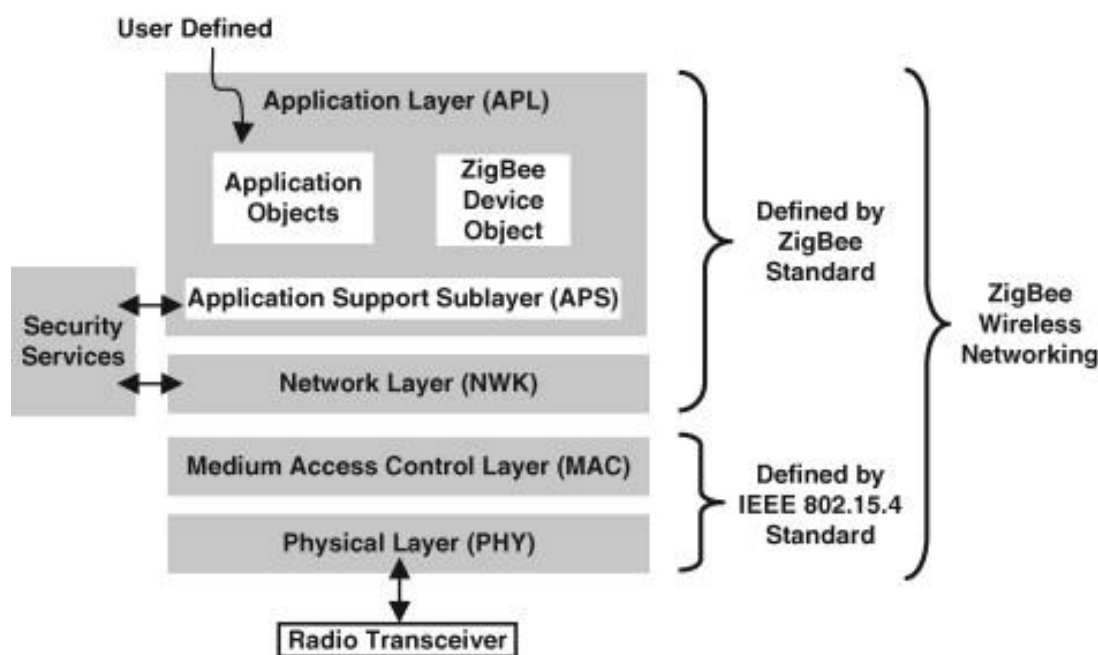
Irudia 2. Haririk gabeko sareen sailkapena

ZigBee protokolo iturri bat da, area pertsonaleko haririk gabeko sare (WPAN) mota bat, hain zuzen ere. ZigBee Alliance izeneko enpresa multzo batek (euren artean Mitsubishi, Honeywell, Philips, Invensys, etab.) 2003. urtean sortu egin zuen, datuak haririk beharren gabe

era merkean bidaltzeko xedearekin. Era honetan, komunikazio segurua eta igorpen tasa zein kontsumo baxua duten aplikazioetan erabiltzeko ezin hobea bilakatu da teknologia hau [4].

Hori dela eta, domotika da bere aplikazio ingurune nagusienetariko bat, aipatutakoez gain protokolo honek eskaintzen duen integrazio elektronikoa erraza edota sarean aldagarritasuna eta hedagarritasuna honetarako oso aproposa bihurtzen baitute.

Teknologia hau, OSI ereduaren antzera geruza desberdinez osatuta dago, baina honen protokolo pilaren 7 geruzak 4 geruzatara laburtzen ditu, bata bestearekiko independenteak izanik. Geruza bakoitza besteekin komunikatzen da datu interfaze eta kontrol interfaze baten bidez. Gainera, geruzez gain, ZigBee arkitekturan bi modulu integratuta datoz; bata segurtasun modulua, eta bestea administrazio modulua.



Irudia 3. ZigBee protokolo pila [5]

Maila baxuagoko geruza, geruza fisikoa (PHY) da. Honek ingurunerako sarbideko geruzarekin batera (MAC), airean zehar, haririk gabe, puntuz puntuko datu-transmisioa ahalbidetzen du. Geruza bi hauek IEEE 802.15.4 estandarrean deskribatuta daude.

Estandar honek ISM lizentziarik gabeko erabilerarako erreserbatuta dauden banden gain lan egiten du; zehazki 868 MHz Europan, 915MHz EEBB-tan eta 2.4GHz mundu mailan. Oro har, 2.4 GHz-tako maiztasun tarte erabili egiten da mundu osoan eskuragarri baitago.

Maiztasun tarte honetarako 16 kanal definitzen dira. Kanal horietako bakoitzak 5 MHz-tako banda zabalera dauka. Era honetan, 10 eta 75 metro artean 250 Kbps-tara hel daitezkeen datu-transmisio tasa baxuak lortzen dira. Hau dela eta, abiadura baxuko WPAN edo LR-WPAN sare bezala ere dira ezagunak ZigBee protokoloa darabilten sareak. [6]

LR-WPAN sareen erabilpena transmisio abiadura altuak behar ez dituzten aplikazio oso zehatzei dagokie. Dena den, nahiz eta ZigBee sare mota hauen artean sailkatuta egon, eragingailu eta sentzore haririk gabeko sareek (WSAN, edo WSN laburtuta) etekin handiagoa ateratzen diote teknologia honi. WSN sareak, alegia, ingurune informatzioa lortu, prozesatu eta era inalanbrikoan nodo koordinatzaile batera bidaltzeko balio duten koste zein kontsumo txikiko hainbat nodoz osatuta egon ohi dira. Nodo hauek presioa, temperatura edota zarata bezalako magnitude fisikoak kontrolatzeko sentzoreak erabiltzen dituzte, mugikorrek zein finkoak izan daitezkeenak.

Sare geruzak (NWK), bestalde, MAC azpigeruzaren erabilera egokia ahalbidetzen du, baita interfaze egoki bat eskaini ere gero aplikazio geruzak erabili dezan. Geruza honen bidez sarea hasieratzen da, datu paketeak bideratzen dira sareko beste nodoetara, jasotako paketeak iragazten dira, etab.

Azkenik, maila gorenean, aplikazio geruza (APL) dago. Geruza honetan ZDO-ak, dispositiboak sarean duen garrantzia definitzeaz arduratzen direnak, APS azpigeruza, nodoak sarean duen rola bermatzeaz nagusiki arduratzen dena, eta erabiltzaileak definitutako aplikazio objektuak aurkitzen dira. Geruza hau, sare geruzarekin batera, ZigBee Alliance-k definituta dator.

ZigBee sare bat 65535 ekipoz osatuta egon daiteke gehienez, hau da, protokoloa ekipokopuru hori kontrolatzeko gai da. Sare horretako ekipoen artean, bestalde, hiru elementu mota desberdin aurkitu ohi dira; **koordinatzaile** bat, **routerrak** eta **bukaerako dispositiboak** (*end devices*).

- **Koordinatzailea.** ZigBee sare bat osatzen duten elementuen artean funtzio garrantzitsuena duena da; hots, sarea sortzea, komunikaziorako kanal egoki bat aukeratuz eta sare identifikadorea (PAN ID) esleituz. Sarea behin sortu delarik, router zein bukaerako dispositibo legez funtzionatzen duten nodoak bertara konektatu daitezke. Koordinatzaileak, orduan, router baten antzera jokatzen du; hau da, datu paketeen enrutazioan parte hartu eta informazioa bidali eta jaso egiten du.

- **Routerra.** Sarean dauden gainontzeko dispositibo guztiekin komunikatzeaz arduratzen den nodoa da, ibilbide banaketan modu aktibo batean parte hartzeaz gain. Izan ere, aukera desberdinak aztertu ondoren datu paketeak helburura heltzeko biderik egokiena hautatzeaz arduratzen da.

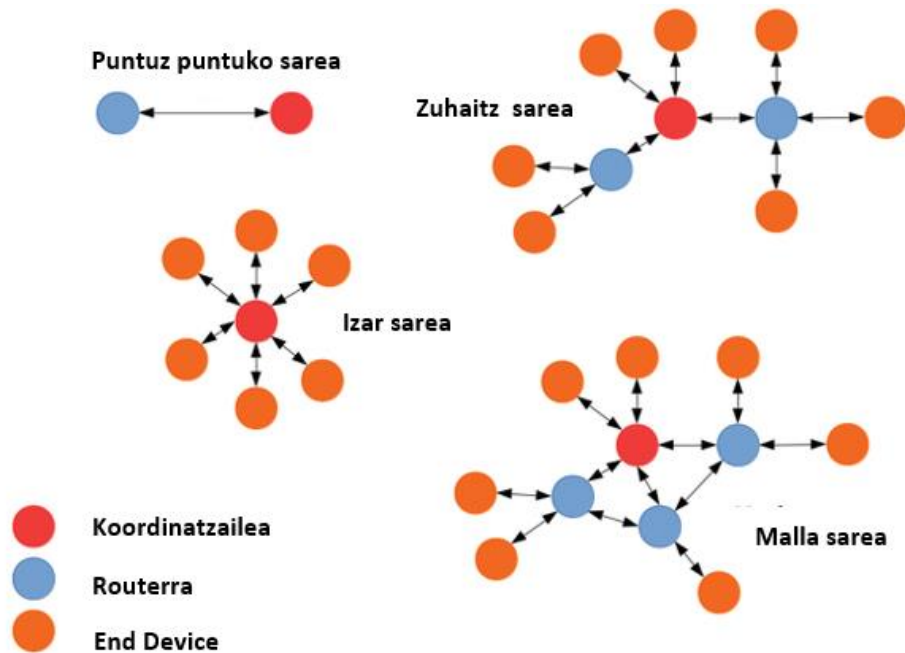
- **Bukaerako dispositiboa (*End device*).** Ezin da beste bukaerako dispositiboekin zuzenean komunikatu; hots, ez da gai paketeak sarean zehar bideratzeko. Horretarako, bere gain dagoen nodo guraso batekin komunikatu behar da lehenik eta behin, nodo hau router edo koordinatzaile bat izan daitekeelarik. Hori dela eta, bere kontsumoa txikiagoa izan ohi da. Gainera, ez dauka mezuak bideratzeko ibilbideen hautaketan parte hartzeko gaitasunik.

ZigBee sarea osatzen duten elementu hauek hainbat eratara konektatu daitezke euren artean, hurrengo topologia mota desberdinak eratuz:

- **Puntuz puntuko sarea.** Topologia guztietatik hau da sinpleena. Koordinatzaile eta bukaerako dispositibo bana daude. Batak informazioa bidali eta besteak jasotzen du, kable sinple baten antzera.

- **Izar sarea.** Hainbat bukaerako dispositibo daude, hauek guztiak sarearen erdigunean kokatuta dagoen koordinatzaile bakarrera konektatuta daudelarik. Hortaz, komunikazioa koordinatzailearekin bakarrik ezarri dezakete. Sare topologia honen arazo nagusia koordinatzaileak huts egiterakoan dator, sare osoa gelditzen baita.

- **Zuhaitz sarea.** Euren artean elkartutako izar sare multzo baten antzera lan egiten du. Koordinatzaile batek hasierako sarea eratzen du, eta routerrak, aldi berean, beste bukaerako dispositibo batzuetara konektatzen dira beren muturretan.
- **Malla sarea (*mesh*).** Edozein elementu beste batekin komunikatu daiteke, baina komunikazio oro kontrolatzeaz arduratzen den koordinatzaile bat dago. Fidagarritasun handia eskaintzen du nodo bakoitza beste hainbatetara konektatuta baitago. Elementuren batek huts egiten badu koordinatzailea informazioa enrutatzeko beste bide bat aurkitzen du, akatsa ere zuzenduz. [7]

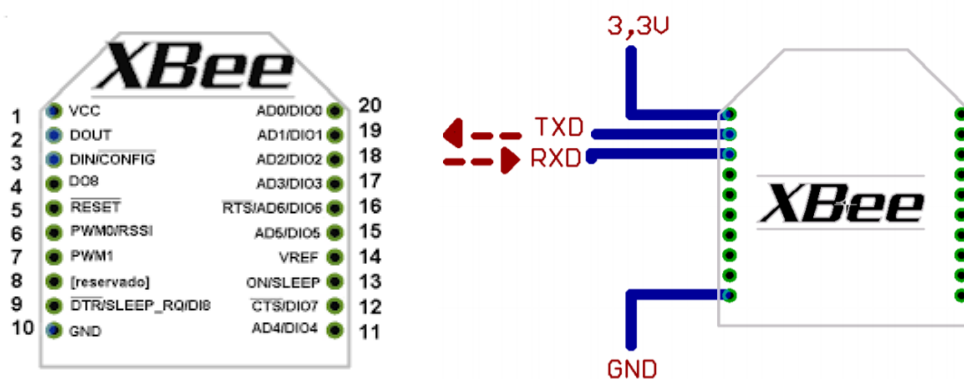


Irudia 4. ZigBee topologia motak

5.2. Xbee moduluak

XBee izenez ezagutzen dira *Digi International* enpresak sortutako irrati moduluak, ZigBee estandarrean oinarrituta daudenak. Dena dela, XBee modulu mota ugari existitzen dira, eta batzuk ZigBee estandarra darabilten bitartean, beste askok estandarren aldaketak erabiltzen dituzte.

XBee moduluek 3.3V-tako tentsiora lan egiten dute (elikatzea 2.8V-etatik 3.4V-etara joan daitekeelarik); beraz, euren pinek ezin dute 5V-tako tentsioa jasan. Hau, adibidez, Arduinoko plakekin konektatzerakoan gertatzen da, plaka hauen serie komunikazioa 5V-tara baita. Kasu hauetan, XBee moduluak Arduino plakekin lan egitea nahi denean, bi irtenbide posible existitzen dira; hots, tentsio zatitzaile bat aplikatu edota tentsioa 5V-etik 3.3V-etara moldatzen duen modulu egokitzaile bat erabili [8].



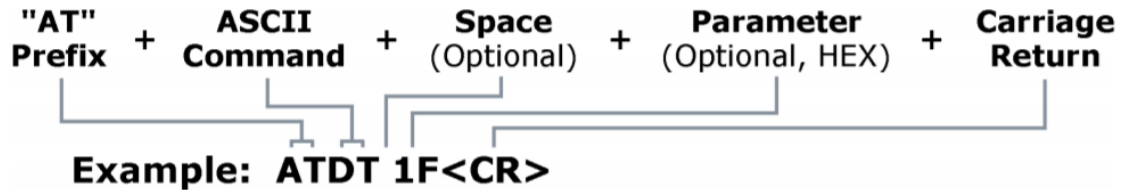
Irudia 5. XBee modulu baten pin guztiak (ezkerrean) eta beharrezko gutxieneko konexioak (eskuinean)

Elikatzeaz gain, 4. irudian ikus daitekeen moduan XBee moduluek gutxienez lurrerako konexioa (GND) eta UART-aren bidezko datu transmisio lerroak (TXD eta RXD) behar dute mikrokontrolagailu batekin edo zuzenean serie portu batekin komunikatzeko, azkenengo kasu honetan lehen esan bezala tentsiorako modulu egokitzaile bat beharko litzatekeen arren. XBee moduluek 5 konfigurazio edo lan modu desberdin dituzte, sarearen aplikazioaren eta datuen garrantziaren arabera direnak. Dena dela, moduluak ezein lan modutan egoterakoan *Idle* egoeran daudela esan ohi da.

- **Komando modua.** XBee moduluen zenbait parametro; helbide propio zein helburuarena, besteak beste, konfiguratzea edo aldatzea ahalbidetzen du AT komandoen erabileraren bidez.

Komando hauek Hayes komando multzoari dagozkie, Hayes Communications enpresak garatu zuen lengoaiaren barne. “AT” karaktereak komandoen aurretik datoz, “kontuz” edo “*attention*” esan nahiez. Horren ondorioz, komando multzo honi AT

komando bezala ere ezagutzen zaio. Komando hauek bidali ahal izateko beharrezkoa da Windows-eko Hyperterminal, XCTU programa edo UART darabilen eta komandoak gordeta dituen mikrokontrolagailuren bat erabiltzea. [9]



Irudia 6. AT komando baten egitura [10]

- **Jaso/igorri modua.** Modulua modu honetan aurkitzen da RF pakete bat antenaren bidez jasotzerakoan (jaso edo *receive* modua) edo informazio seriala 3. pineko (Data In) bufferrera bidaltzerakoan, ondoren transmititzeko (igorri edo *transmit* modua).

Igorritako informazioa zuzena edo zeharkakoa izan daiteke. Hau da, modu zuzenean informazioa berehala bidali egiten da helburuko helbidera; zeharkakoan, ordea, informazioa denbora batez atxikitzen da eta soilik helburuko helbideak eskatzerakoan bidali egiten da.

- **Modu gardena.** XBee moduluek berez dakarten modua da. Puntuz puntuko konexio bat behar denean erabili ohi da, non inongo kontrol motarik behar ez den. Moduluetako 2. pina (*Data Out*) eta 3. pina (*Data In*) erabili egiten dira datu paketeak jaso zein igortzeko. 3. pinak, hau da, irakurketa pinak, paketeak jasotzen baditu sarrerako bufferrean gorde egiten ditu.

RO komandoa nola konfiguratuta dagoen arabera, informazioa karaktere bat heldu bezain pronto bidaltzen da (RO=0) edo denbora tarte zehatz baten ondoren karaktererik jaso behar barik. Informazio bidaltzeko, sarrerako bufferrean gordetakoa hartu, RF pakete batean sartu eta, azkenik, igortzen da. Informazio bidal dadin beste

baldintza posible bat sarrerako bufferra gainezkatzea da; 100 byte baino gehiagoko informazioa gordetzea, alegia.

- **API operazio modua.** Modu hau gardena baino trinkoagoa da, datuen jasotzea ziurtatzeko goiburuak dituzten *frame*-ak erabiltzea ahalbidetzen du eta. Hau da, datu paketeak euztura finkoa duten paketeetan; hots, *frame*-tan, gordetzen dira, eta haiei esker sarean jasotako paketei buruzko informazioa (jatorria, RSSI, ..) jakin daiteke.

- **Kontsumo baxuko modua (*Sleep mode, SM*).** Moduluak ez du informaziorik jasotzen ezta bidaltzen ere gailua erabiltzen ari ez denean, kontsumo baxuko egoera batean sartuz. Horretarako hurrengo bi baldintzetako bat bete behar da; edo 9. Pina (*Sleep_RQ*) egoera altuan egotea eta aldi berean moduluak *sleep mode* pinean egotea, edo, pausaldian egonez, denbora tarte zehatz bat (*ST, Time before Sleep*) igarotzea. Lehenengo kasuan, *SM* komandoa 1, 2 edo 5 izan daiteke, bigarreanean, ordea, *ST* aktibatuta egoteko beharrezkoa da *SM*-k 4 edo 5 balioak hartzea, 5. irudian ageri den legez.

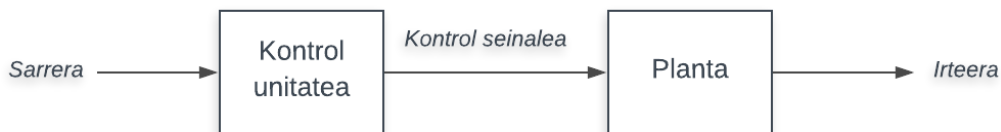
SM	0 - 6	Configura el modo de operación SLEEP. Defecto = 0. 0 Deshabilitado. 1 Pin de Hibernado. 2 Pin Doze. 3 (reservado) 4 Remoto Cyclic SLEEP. 5 Remoto Cyclic SLEEP (con pin Wake-up). 6 SLEEP Cordinador.
-----------	-------	--

Irudia 7. *SM* komandoaren konfigurazioak[11]

Izan ere, kontsumo baxurako moduaren zikloak *SM* AT komandoaren parametroaren arabera konfiguratzeko dira. Berez, lo egiteko modua desaktibatuta dago, hau da, *SM*=0. Era honetan, moduluak pausaldian dago, komandoei erantzuteko prest egonez momentu oro.

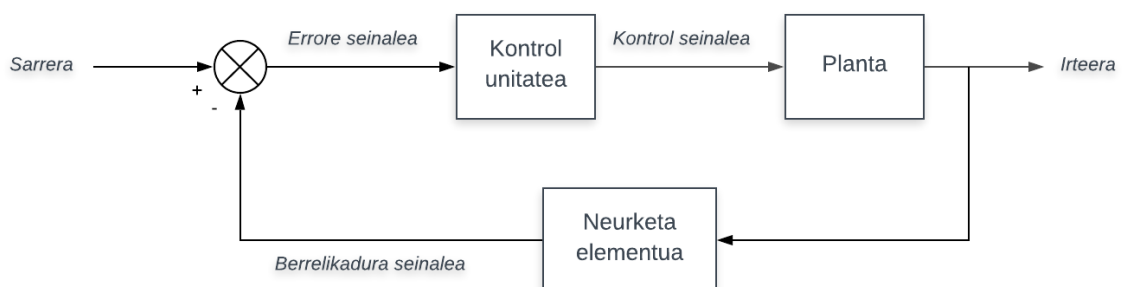
5.3. PID kontrola

Kontrol sistema batek errorerik gabeko erantzun zehatz bat lortzea du helburu. Erantzun hau lortzeko bi motatako sistemak aurkitzen dira; begizta irekikoak eta begizta itxikoak. Begizta irekikoek kontrol seinale bat ezartzen dute kontrolatu nahi den prozesu edo sisteman; hots, plantan. Dena den, honako hauetan plantaren irteerak ez du inolako eraginik sistemaren sarreraren. Begizta itxikoetan, ordea, berrelikadura existitzen da irteera eta sarreraren artean, bide itxi bat eratuz. Berrelikaduraren bidez, alegia, irteeraren zati proportzional bat sarrerara berbideratzen da sistemaren jokaera aldaketa edo perturbazioen aurrean kontrolatzeko.



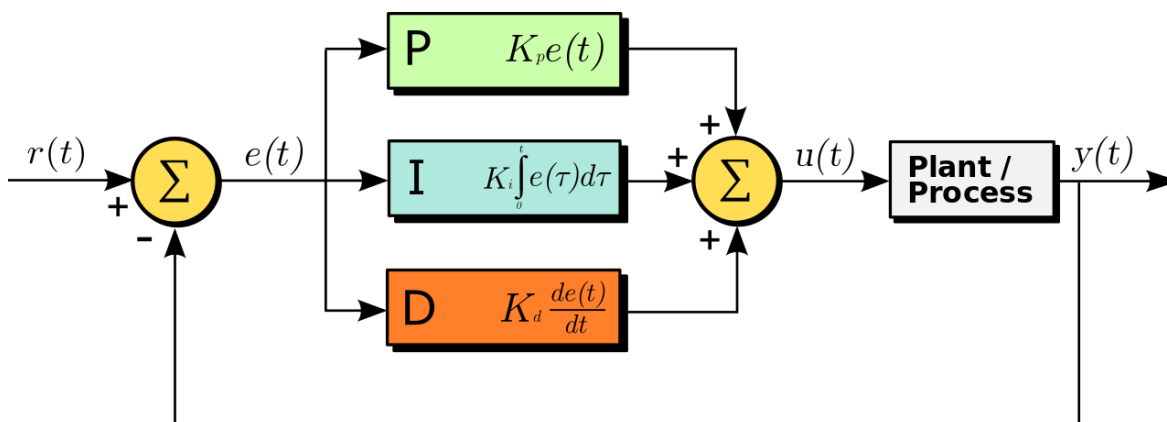
Irudia 8. Begizta irekiko sistema

Lazo itxiko sistemetako berrelikadura, bestalde, positiboa ala negatiboa izan daiteke. Berrelikadura positiboaren kasuan plantara doan seinaleak handitzeko joera dauka berrelikadura seinalea begiztako sarrerako seinaleari gehitzen zaio eta. Negatiboan, ordea, berrelikadura seinalea sarrerako seinaleari kentzen zaio, plantara bideratutako seinalea kenketa honen emaitza izanez. Era honetan, sistemak orekara jotzen du. Berrelikadura negatiboa da kontrol sistema automatikoetan erabili ohi den berrelikadura mota, alegia.



Irudia 9. Begizta itxiko sistema (berrelikadura negatiboarekin)

PID siglek, alegia, kontrol Proporzional, Integral eta Deribatibo deritzon berrelikadura negatiboko kontrol sistema bati dagokie. Izan ere, ekintza proporzionalak berehalako errorea zehazten du, ekintza integralak erroreaken integralarekiko proporzionala den zuzenketa ematen du eta deribatiboak, azkenik, errorea gertatzerako denboraren erreakzioa determinatzen du.



Irudia 10. PID kontrol sistemaren bloke diagrama [12]

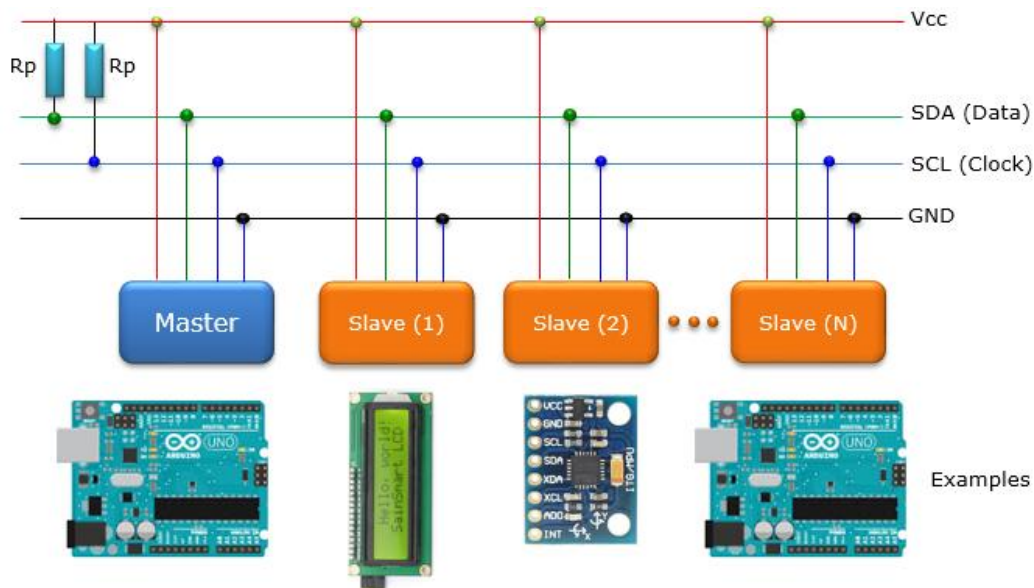
- Proporzionala.** Errore seinalearen, $e(t)$, eta proporzionaltasun konstantearen, K_p , arteko biderkaketaren emaitza da. Honen bidez egoera egonkorreko errorea zerora hurbiltzen saiatzen da. Konstantea zenbat eta handiagoa izan, bestalde, orduan eta azkarragoa izango da kontrol sistemaren erantzuna. Dena den, honen balioa handiegia bada ezegonkortasunak sor daitezke sisteman.
- Integrala.** Errore seinalearen integrala denboran kalkulatu eta emaitza konstante batez, K_i , biderkatzen du. Bere helburua egonkorreko errorea ezabatzea da.
- Deribatiboa.** Errore seinalea deribatu eta konstante deribatiboarekin, K_d , biderkatzen du. Errore absolutuan aldaketarik ez denean aktibatu egiten da, errorea gutxienera mantenduz. Izan ere, errorea sortzeko hartutako abiadura berdinarekiko proporzionalki egiten du honen zuzenketa.

Dena den, nahiz eta PID kontroladorea hiru kontrol funtzioen arteko batura izan eta erantzun oso azkarra eman, kontrol algoritmo erabiliena PI motakoa da. D elementua, ekintza

deribatiboari dagokiona, alegia; zaratarekiko oso sentikorra da, eta hori dela eta, PI kontrola gehiago implementatu ohi da. Era berean, aplikatu nahi den egoeraren arabera, P, I edota PD bezalako kontroladoreak ere erabili daitezke [12] [13] [14].

5.4. I²C komunikazio protokoloa

Inter-Integrated Circuit protokoloa Philips Semiconductors enpresak garatu egin zuen 1982an. Gaur egun oso hedatuta dagoen estandar sinplea eta implementazio errazekoa da. Honen bidez, alegia, **slave** edo **morroi** diren zenbait sistema txertatu **master** edo **maisua** den beste txip batekin era sinkronoan komunikatzea ahalbidetzen da. Gainera, maisu anitzeko konfigurazioetan (*multi-master*) erabiltzeko aukera ere ematen da; hots, nagusi bat baino gehiago erabili ahal da, maisuaren funtzioak aldi berean gailu bakarrak har ditzakeen arren [15].



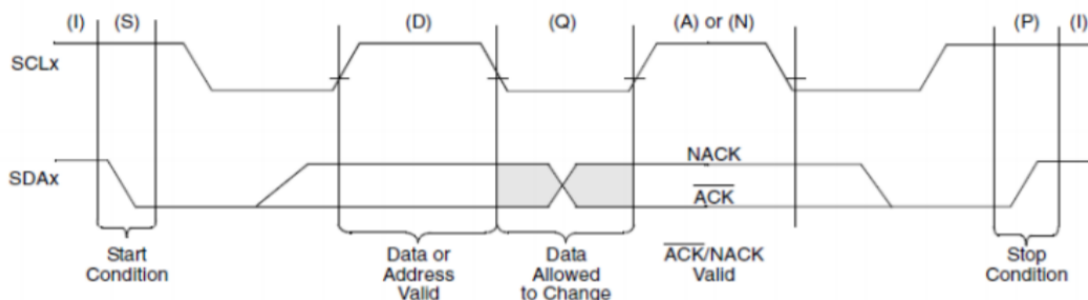
Irudia 11. I²C protokoloaren maisu-morroi konfigurazioa [16]

SPI protokoloaren antzera, distantzia laburreko komunikazioetarako diseinatuta dago eta banda-zabalera txikiko transmisioetarako (10 Kbit/s eta 3.4 Mbit/s bitartekoak) erabili ohi da, transmisioa soilik norabide bakarrean gauzatzen bada 5 Mbit/s-tako abiadurara hel daitezkeen arren.

7 eta 10 biteko helbideak erabiltzen dira protokolo honetan mezuaren gailu hartzailea aukeratzeko, hau da, 1024 gailu konektatzera hel daitezke. Gailu hauek, besteak beste EEPROM txipak, ADC zein DAC bihurgailuak, GPS hartzaileak edo LCD kontrolagailuak izan daitezke.

Hardware oso sinpleko protokoloa da, bi seinale baino ez baititu erabiltzen; bata SDA, eta bestea SCL izenekoa. SDA seinaleak NRZ kodetutako serieko datuak garraiatzen ditu, eta bestea, SCL, gailuak elkarren artean sinkronizatzeko erloju seinalea da. Lerro bi hauek konektatutako edozein gailu drainatzaile irekian egongo da, elikadurara lotutako *pull-up* erresistentziekin batera *wired AND* zirkuitu bat eratuz. Izan ere, I²C protokoloa logika positiboarekin lan egiten du. Hots, busa maila altuan egoteak 1 bat bidaltzen ari dela esan nahi du; maila baxuan egoteak, berriz, 0 bat. Gainera, drainatzaile irekiko terminalak erabiltzen direnez komunikazio bidirekzionala gauzatzen da; hau da, SDA lerrotik maisuak zein morroiek bidal dezakete informazioa.

Beraz, ondo definitutako protokoloa da, non hurrengo egoerak eman ahal diren datu transferentzia bateanzehar:



Irudia 12. I²C bidezko transferentzia baten egoerak [17]

- **Start Data Transfer (S):** Erloju seinalea maila altuan dagoelarik SDA seinalearen *High-to-Low* ekintza batek *Start* egoera ezarri egiten du.
- **Stop Data Transfer (P):** Erloju seinalea maila altuan dagoelarik SDA seinalearen *Low-to-High* ekintza batek *Stop* egoera ezarri egiten du.

- **Repeated Start (R):** Wait egoera baten ondoren SCL lerroa maila altuan dagoelarik SDA seinalearen *High-to-Low* ekintza batek *Repeated Start*-a ezartzen du. Honek maisuari hartzailearen helbidea aldatzea ahalbidetzen dio busaren kontrolari uko egin gabe.
- **Data Valid (D):** *Start* baten ondoren, SDA seinalearen egoerak zehazten du datuaren balioa baldin eta balioa konstante mantentzen den SCL seinalea maila altuan dagoen bitartean. Datu balio bakarra dagokio SCL lerroaren erloju seinale bakoitzari.
- **Acknowledge (A) / Not Acknowledge (N):** Datu transmisio guztiek *ACKNOWLEDGE* (\overline{ACK}) edo *NOT ACKNOWLEDGE* (NACK) seinalea jaso behar dute hartzailearen eskutik. Hartzaileak SDA seinalea jaitsiko du \overline{ACK} bat egiteko eta batera jasoko dut NACK bat egiteko.
- **Wait/Data Invalid (Q):** Gailuek erloju seinalea maila baxuan dagoen denbora luzatu dezakete bertan 0 bat ezarriz eta, era honetan, busean *Wait* bat ezarriz.
- **Bus Idle (I):** Bai SDA eta bai SCL lerroa maila altuan egon behar dira *Start* seinalearen aurretik eta *Stop* seinalearen ondoren busa libre gera dadin [17].

6. **AUKEREN ANALISIA**

Proiektuaren diseinuarekin hasi aurretik, bost eztabaida nagusi sortu dira erabili beharreko osagaien inguruan. Horrenbestez, hautabiderik onena aukeratzeko aztergai den aspektu bakoitzarentzat kalifikazioaren arabera batura haztatuaren metodoa erabili da.

Metodo honi jarraituz, lehenengo, faktore bakoitzak hautabidearen erabakian duen pisua erabaki da, ez baitira faktore guztiak bezain beste garrantzitsuak. Ondoren, aukerei kalifikazio bat esleitu zaie faktore bakoitzeko. Azkenik, kalifikazioen batura haztatuaren arabera, nota handiena jaso duenak hautetsizat hartu da.

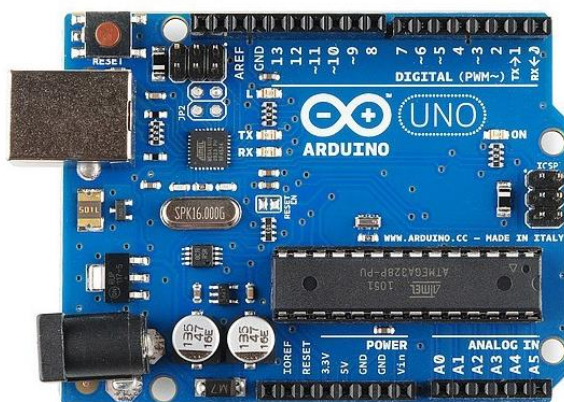
6.1. **1. aztergaia. Mikrokontrolagailu mota**

Mikrokontrolagailua aplikazio txertatueterako erabili ohi den zirkuitu integratua da. Besteak beste, PUZ-a (gailuaren nukleoa dena), programa memoria, datu memoria, kontagailuak, tenporizadoreak, ataka analogiko zein digitalak eta komunikaziorako elementuak (SPI, UART, USB...) ditu bere baitan. Gainera, *Harvard* arkitektura erabili ohi du, hau da, aginduak eta datuak memoria dedikatuetan metatzen dira; *Von Neumann* arkitekturarekin gertatzen den ez bezala, non memoria berean gordetzen diren.

Egun, mikrokontrolagailuak oso merkatu handia dauka eta fabrikatzaile ugari daude honen munduan, beharrian desberdin bakoitzera egokitzen diren motak existitzen direlarik. Izan ere, azken urteotan honen erabilpena automobilgintza, industria-komunikazio edota medikuntza bezalako esparruetan handitu da, horren ondorioz prezioak nabariki merketuz.

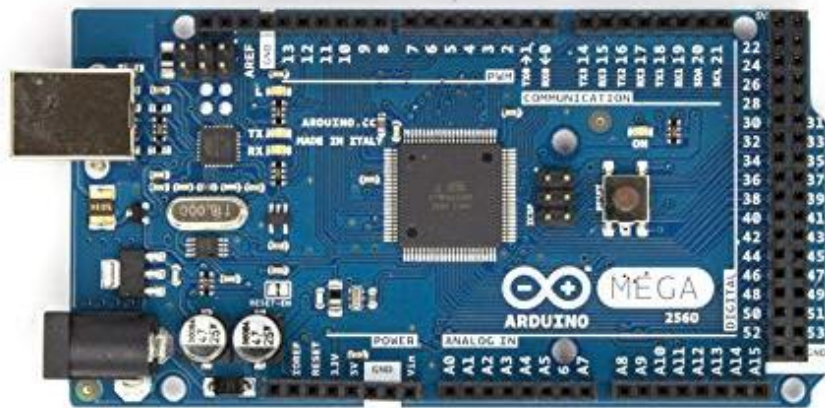
6.1.1. Aukeren deskribapena

- **Arduino Uno.** ATMEAVR ATmega 328 mikrokontrolagailuan oinarritutako kode irekiko plaka da, guztira 14 sarrera/irteera pin digital (horietako 6 pinek PWM seinalea sortarazten dute) eta 6 sarrera analogiko dituena. Gainera, 2 Kb-etako SRAM, 1Kb-etako EEPROM eta 32 Kb-etako flash memoriez hornitua egoteaz gain, USB, ICSB eta elikatzerako atakak ditu, baita erreseteatze botoi bat ere. Osziladorearen bidez 16 Mhz-tako erloju maiztasuna lortzen da eta funtzionamendu tentsioa 5V-takoa da. Elektronikaren erabilera sustatzeko asmatutako gailua da, C/C++ lengoian programatzeko garapen ingurune propioa duelarik; Arduino IDE delakoa, alegia.



Irudia 13. Arduino Uno plaka

- **Arduino Mega.** Arduino Uno ez bezala, ATMEAVR ATmega2560 mikrokontrolagailuan oinarrituta dago. Erloju maiztasun zein tentsio berberarekin lan egin arren, plaka honek pin kopuru zein memoria tamaina handiagoa dauka. Izan ere, 54 sarrera/irteera pin digital (15 pinek PWM seinalea ahalbidetzen dutelarik) eta 16 sarrera pin analogiko ditu eta, memoriari dagokionez, 8 Kb-etako SRAM, 4Kb-etako EEPROM eta 256 Kb-etako flash memoriekin diseinatua izan da.



Irudia 14. Arduino Mega plaka

- **Raspberry Pi 3 B.** Mikroprozesadore bat da, tamaina murriztuko ordenagailu bat, azken finean. Maila altuko programazio lengoaiak erabili ohi ditu, eta Mac, Windows zein Linuxetik kargatu daitezke sistema eragileak. Broadcom kontroladorea darabil. SoC honek ARM cortex A-53 prozesadorea dauka, 64 biteko arkitekturarekin. RAM memoria 1 Gb-etakoa da, eta GPIO konexioa 40 pinekoa. Gainera, plaka Internetera konektatu daiteke Ethernetarako duen irteeraren bidez [18].



Irudia 15. Raspberry Pi 3 B plaka

6.1.2. Alternatibaren analisisa eta aukeraketa

Proiektuan erabiliko den mikrokontrolagailu mota aukeratzeko lau faktore edo irizpide hartu dira kontuan; hots, I/O pin kopurua, memoriaren tamaina, programaziorako erraztasuna eta prezioa. Sarrera/irteera ataka kopuruaren eta memoriaren kasuan kalifikazioa eman zaie mikrokontrolagailuei zenbat eta parametro hauek handiagoak izan. Programaziorako ingurunearen erraztasuna (kode irekia izatea, IDE-aren ulergarritasuna...) eta prezio baxua kalifikazio altuarekin ere epaitu dira. Pisuei edo garrantziari dagokionez, bestalde, prezioa eta programazioa izan dira ehuneko handienak eduki dituztenak, proiektuaren alde ekonomikoa eta bere aldagarritasuna zein hedagarritasuna eztabaida nagusienetariokoak direlako, helburuetan zehaztu bezala.

1. taulan aipatutako irizpideentzat hautagai ezberdinen kalifikazioak aurkezten dira.

Faktorea	Pisua	Kalifikazioa		
		Arduino Uno	Arduino Mega	Raspberry Pi 3 B
1. I/O pin kopurua	%10	7	9	8
2. Memoria	%10	5	6	9
3. Programazioa	%40	9	9	6
4. Prezioa	%40	9	8	6
GUZTIRA	%100	8.4	8.3	6.5

Taula 1 1. aztergaiaren kalifikazioak

Beraz, aztergaiaren analisisa egin ostean aukeratutako mikrokontrolagailua **Arduino Uno** izan da. Memoria eta ataka aldetik hoberena ez den arren, proiektuko helburuetan zehaztutako parametroekin gehien egokitzen den aukera da.

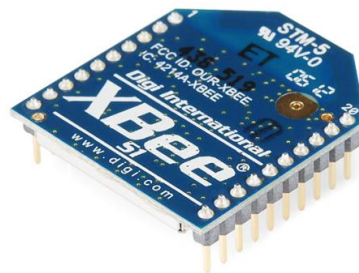
6.2. 2. aztergaia. XBee modulu mota

Gaiaren egoeraren azterketa deritzon atalean azaldu bezala, XBee modulu bat ZigBee estandarrean oinarritutako irrati modulu bat da. Hau da, beste XBee modulu batekin edo gehiagorekin inalanbrikoki komunikatzeko gai da, era anitzeko sareak osatuz (puntutuz puntukoak, izar, zuhaitz edo mesh motatakoak).

Honelako moduluen aplikagarritasuna oso handia da igorpen tasa baxuak eta kontsumo aurrezpena behar duten erabileretan, presentzia handia izanez domotikaren munduan, non eskakizun hauek oso ohikoak diren.

6.2.1. Aukeren deskribapena

- **XBee Series 1.** Ez da konfiguratu behar, berarekin lan egitea nahi erraza izango delarik. Puntutuz puntuko sare topologia mota onartzen du. Ez da bateragarria Series 1 ez diren moduluekin [11].



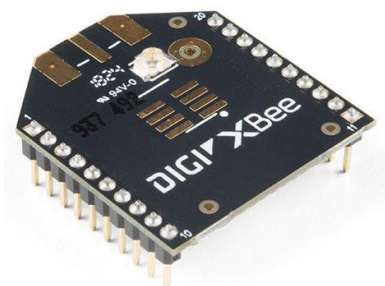
Irudia 16. XBee Series 1 modulu

- **XBee Series 2 (ZB).** Series 2 izeneko sortaren moduluen artean berriena da, hardwareari dagokionez hobekuntzak eskaintzen ditu aurrekoekin alderatuta. Konfiguratu beharra dago, eta malla sare zein puntuz puntuko topologia motetan aplikagarria da. Modu gardenean zein API komando bidezko moduan lan egin dezake.



Irudia 17. XBee Series 2 modulua

- **XBee Series 3.** Ez du inongo mikrokontralagailuren beharrik. Microphytonek emandako euskarriari esker, modulu hau erabat programagarria da, informazio guztia zuzenean prozesatzen duelarik. Puntuz puntuko, izar sare eta malla sare topologiekin bateragarria da [19].



Irudia 18. XBee Series 3 modulua

6.2.2. Alternatibaren analisisa eta aukeraketa

Haririk gabeko komunikazioa ezartzeko erabili den XBee modulu mota hiru faktore desberdinen arabera aukeratuko da. Faktore hauek gailuaren irismena, konfiguragarritasuna eta prezioa dira.

Eskaintako seinalearen irismena zenbat eta handiagoa izan, orduan eta kalifikazio handiagoa esleitu da. Era berean, puntuz puntuko sarea konfiguratzeko erraztasun handiena eskaintzen duenak ehuneko handiena jaso du eta prezio txikiena duenak kalifikazio altuarekin

ere epaitu egin da. Pisuei dagokionez, bestalde, prezioa eta konfiguragarritasuna izan dira faktore garrantzitsuenak. Irismenak, ostera, ez du garrantzi handirik proiektuaren bideragarritasunari dagokionez; oro har 100 metro baino handiagoko distantziak ez baitira emango aplikazio domotiko honen bi nodoen artean.

2. tulan aipatutako irizpideentzat hautagai ezberdinen kalifikazioak aurkezten dira:

Faktorea	Pisua	Kalifikazioa		
		XBee Series 1	XBee Series 2	XBee Series 3
1. Irismena	%20	6	7	8
2. Konfiguragarritasuna	%40	9	6	6
3. Prezioa	%40	8	7	6
GUZTIRA	%100	8	6.6	6.4

Taula 2 2. aztergaiaren kalifikazioak

XBee modulu motarentzako hautaketa tulan lortutako kalifikazioak kontuan izanda, aukerarik onena **Xbee Series 1** dela erabaki da. Kostuaren eta, batez ere, konfiguragarritasun mailaren aldetik ez dauka lehiarik dispositibo honek.

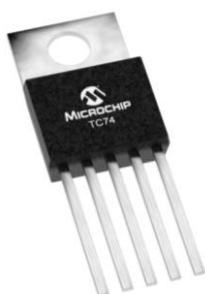
6.3. 3. aztergaia. Temperatura sentsore mota

Temperatura sentsorea inguruneko temperaturari buruzko informazioa, edota hezetasunari buruzkoa ere, jasotzen duen gailua da. Informazio hori, ondoren, seinale digital edo analogiko bezala plaka elektronikoko batera bidali ohi da.

Aplikazio ugari izan ditzake, estazio meteorologiko baten garapenetik hasita pertsonen presentzia detektatzeko moduko alarma sistema baten diseinura arte joanda. Izan ere, era orotako tenperatura sentsoreak existitzen dira aplikazio desberdinetarako; zehaztasun, erantzun-denbora edota sentikortasun bezalako parametroen arabera.

6.3.1. Aukeren deskribapena

- **TC74.** Koste baxuko aplikazioetarako diseinatua izan den tenperatura sentsoare digitala da. Tenperaturaren datua 8 bitetako seinale batekin transmititzen da, eta komunikazioa mikrokontroladorearekin I2C protokoloaren bitartez gauzatzen da. Sentsoare honek detekta dezakeen tenperatura tartea, bestalde, -40°C eta 125° artean dago.



Irudia 19. TC74 sentsoarea

- **LM35DZ.** Irteera analogikodun sentsoarea da; tenperatura zentigraoarekiko zuzenki proportzionala den irteerako tentsioa sortzen du, alegia. Bere zehaztasuna $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ -takoa da, eta -55°C eta 150°C arteko tenperatura tartean lan egin dezake.



Irudia 22. DHT22 sentsorea

6.3.2. Alternatibaren analisisa eta aukeraketa

Proiektu honetan lortu nahi den kontrol sistemarako erabiliko den temperatura sentsorea honek duen zehaztasunaren, prezioaren, Arduinoarekiko bateragarritasunaren eta erabileraniztasunaren arabera hautatu da. Erabileraniztasunaren atalean temperaturaz gain sentsoreak neur ditzakeen beste magnitudeak baloratu dira, etorkizunean gerta litekeen proiektuaren hedatze bati begira. Dena dela, pisu gutxien duen faktorea izatea erabaki da, helburuak betetzeko sentsoreak kostu baxua eta doitasun zein mikrokontroladorearekiko bateragarritasun maila handia izatea gailendu da eta.

3. taulan aipatutako irizpideentzat hautagai ezberdinen kalifikazioak aurkezten dira:

Faktorea	Pisua	Kalifikazioa			
		TC74	LM35DZ	DHT11	DHT22
1. Erabileraniztasuna	%10	5	5	8	8
2. Bateragarritasuna	%30	6	8	9	9
3. Prezioa	%30	9	9	6	5
4. Zehaztasuna	%30	6	8	9	9
GUZTIRA	%100	6.8	8	7.4	7.7

Taula 3 3. aztergaiaren kalifikazioak

3. taulan aukera desberdinek lortutako kalifikazioei erreparatuta, proiektu honetan inplementatu beharreko temperatura sentsorea **LM35DZ** modelo izatea erabaki da. DHT11 zein DHT22 aukerak hiru alor desberdinetan zeharo hobeak izan arren, LM35DZ-ak daukan prezio baxuak eta portaera onargarriak merkatuan dagoen aukerarik onena bihurtzen dute.

6.4. 4. aztergaia. LCD pantaila mota

LCD pantaila bat; hots, kristal likidozko pantaila, plaka elektroniko batek bidalitako seinale elektrikoak duten informazioa modu ulergarri batean bistaratzen dituen gailua da. Argi polarizatuaren propietateetatik baliatuz, eta iragazki batzuk erabilita; hezetan, tentsio edo temperatura bezalako parametroei dagozkien datuak bertan erakustea lortu egiten da.

LCD-a, oro har, edozein hardware askerekin bateragarria den pantaila da, merkatuan modelo sorta handia existitzen delarik. Modelo hauetako bakoitzak, eskaini ditzakeen funtzionalitate gehigarrietatik gain, tamaina desberdin bat aurkezten du. Hau da, lerro eta zutabe kopurua aldatuz doa erabiltzailearen beharretara egoki daitezten.

6.4.1. Aukeren deskribapena

- **AptoFun 1602.** 16 karakterrentzako 2 lerro dituen LCD pantaila da. Kontraste tasa handia lortzen dauka, letrak beltzez atzealde berdearen gainean irudikatzen dira eta.



Irudia 23. Aptofun 1602 LCD pantaila

- **AZ Delivery 1602.** 2x16 karakterrentzako dimentsioa daukan LCD pantaila da, I2C interfazerako modulua txertatuta ere duenari. Azken honi esker, lau pin baino besterik ez behar dira mikrokontroladorearekin konektatzeko; hots, SDA, SCL, GND eta VCC. Letrak zuriz irudikatzen dira atzealde urdinaren gainean, eta honen argitasuna pantailaren I2C moduluan bertan datorren potentziometro baten bidez erregula daiteke.



Irudia 24. AZ Delivery 1602 pantaila

- **AZ Delivery 2004.** Aurrekoaren ezaugarri berberak ditu, baina honek 20 karakterrentzako 4 lerrotako espazioa dauka 16 karakterrentzako 2 lerro izan ordez.



Irudia 25. AZ Delivery 2004 LCD pantaila

6.4.2. Alternatibaren analisisia

Erabiltzaileak era grafiko batean temperaturaren zein honen kontrolerako beharrezkoak diren beste datu batzuen berri izan dezan proiektu honetan inplementatuko den LCD pantailarako aukera desberdinak bateragarritasunaren, prezioaren eta *display*-aren dimentsioaren arabera ebaluatu dira. Azken hau beste biak baino garrantzitsuagoa da datu ugari pantailaratu behar direlako, eta horrenbestez, parametro mugatzaileagoa delako.

Bateragarritasunean, bestalde, mikrokontroladorearekin komunikazioa ezartzeko erabilitako kable zein ataka kopurua kontuan hartu egin da. Izan ere, muntaiaren konplexutasun mailaz gain lanaren hedagarritasuna baldintzatzen du honek, pantailarekin konektatzeko zenbat eta sarrera/irteera ataka gehiago erabili orduan eta pin gutxiago soberan geratuko dira eta.

4. taulan aipatutako irizpideentzat hautagai ezberdinen kalifikazioak aurkezten dira:

Faktorea	Pisua	Kalifikazioa		
		AptoFun 1602	AZ Delivery 1602	AZ Delivery 2004
1. Bateragarritasuna	%30	6	8	8
2. Prezioa	%30	9	8	8
3. Dimentsioa	%40	5	5	8
GUZTIRA	%100	6.5	6.8	8

Taula 4 4. aztergaiaren kalifikazioak

Lortutako kalifikazioak aztertu ondoren, datu-bistaratzeko pantaila aukeratua **AZ Delivery 2004** modeloa izan da. Duen kostu txikiaz gain, dimentsio zein bateragarritasun ataletan dituen abantaila ugariak balioetsi beharra dago, aukerarik aproposena bihurtuz.

6.5. 5. aztergaia. RTC modulu mota

RTC modulu bat denbora errealeko erloju bat da; denbora erabili ohi diren denbora unitateetan neurtzea ahalbidetzen duen gailu elektronikoa, alegia. Ohiko erloju elektronikoak ez bezala, denbora soilik seinale baten pultsuen arabera neurtzen dutenak, RTC modulua denbora neurtzerakoan existitzen diren salbuespenak (egun kopuru desberdinak dituzten hilabeteak, urte bisurteak...) kontuan izateko gai da bere elektronikari esker.

Gainera, energia kontsumoa baxua eta zehaztasun handia eskaintzen ditu, eta plaka elektronikoa denbora kontatzearen erantzukizunaz askatu egiten du.

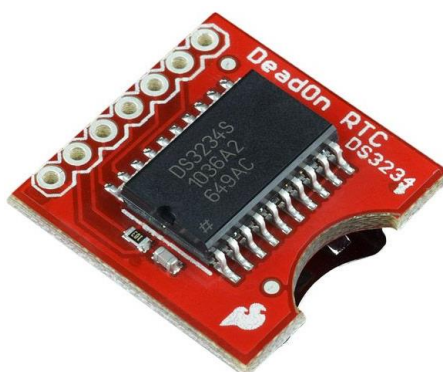
6.5.1. Aukeren deskribapena

- **DS3231.** I2C interfazea darabilen denbora neurketarako (ordua zein data) modulua da. 24 zein 12 orduko formatuetan lan egin dezake, azken honetarako AM/PM adierazpena dakarrelarik; eta bi alarma programagarri desberdin gehitzeko aukera ere badauka. Informazio guzti hau 24C32 EEPROM txip baten barnean gorde egiten da eta, elikadura iturri nagusia etetzekotan galez dadin, moduluak 3V-tako litiozko bateria bat konektatzeko hartunea txertaturik dauka. Gainera, tenperaturarekiko isolatutako 32kHz-tako kristalezko osziladore bat (TCXO) erabiltzen du. Osziladore hau, alegia, kanpo tenperatura aldaketekiko nahiko babestuta dago, urtero ± 2 minutuko zehaztasun batean barruan funtzionatzea lortuz [21].



Irudia 26. DS3231 RTC modulua

- **DS3234.** Oro har, DS3231 moduluarekin alderatuta ezaugarri oso antzekoak dituen RTC modulua da. Egunero bi alarma programagarri konfiguratzeko aukera ematen du eta doitasun handia lor dezake, TCXO osziladorea ere du eta. Dena dela, modulu honek I2C-aren ordez SPI busa darabil mikrokontroladorearekin komunikatzeko eta 256 byte-tako SRAM memoria batez hornituta dago.



Irudia 27. DS3234 RTC modulua

6.5.2. Alternatibaren analisisia

Segundo, minutu, egun, hilabete eta urteen informazioa LCD pantailan ikuskatzea ahalbidetzen duen RTC modulu mota aukeratzeko prezioa, doitasuna eta bateragarritasuna hartu dira kontuan.

5. taulan aipatutako irizpideentzat hautagai ezberdinen kalifikazioak aurkezten dira:

Faktorea	Pisua	Kalifikazioa	
		DS3231	DS3234
1. Doitasuna	%40	8	8
2. Prezioa	%20	7	6
3. Bateragarritasuna	%40	9	7
GUZTIRA	%100	8.2	7.2

Taula 5 5. aztergaiaren kalifikazioak

Biak aukera onak izan arren, DS3231 RTC modulua erabiltzea erabaki da alternatiba aztertu eta gero. Izan ere, erabaki hau hartzearen arrazoi nagusia I²C bidezko komunikazioa SPI bitartekoa baino askoz sinpleagoa izatea da, bi lerro baino besterik behar baitira protokoloa

gauzatzeko. Dena dela, bere memoria ahalmenari esker alarma programagarriak gehitzeko bezalako beste helburu batzuetarako DS3234 moduluak interesgarriagoa izango litzateke.

6.6. Beste osagaiak

Azpiatal honetan euren inguruan eztabaidarik sortu ez duten gainontzeko osagaiak azaltzen dira. Hots, proiektuaren helburuak bete daitezten merkatuan existitzen diren zalantzarik gabeko aukera onenak edota bakarrak dira hurrengo osagaiak.

6.6.1. PWM haizagailua

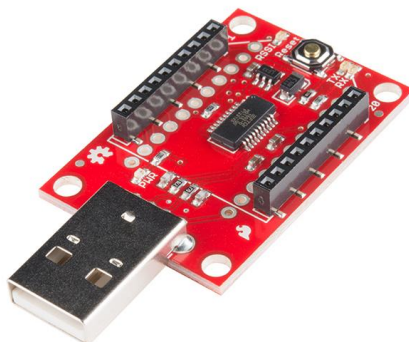
5V-tako PWM haizagailua da, gehienez 2000rpm-tara bira egin dezakeena. Polaritate aldaketan aurkako babesa duten 4 pin ditu irteera moduan; abiadura sentsorearena (rpm-tan monitorizatzeko), PWM seinalearen kontrolerakoa, eta 5 V-tako elikadura iturrira zein lurrera konektatzekoak, alegia.



Irudia 28. Noctua markako PWM haizagailua

6.6.2. XBee Explorer USB

XBee Explorer USB plaka ordenagailuaren eta XBee moduluen arteko zubi bezala lan egiten du USB ataka batera konektatuz gero. Izan ere, inprimatutako plaka txiki honek XBee moduluentzako konexio-pinak ditu, hauek programatzeko eta bertatik datuak hartzeko balio duen kontroladore batez gain.



Irudia 29. Sparkfun markako XBee Explorer USB plaka

XBee modulu mota orotarako balio du eta, besteak beste, erreseteatze botoi bat, elikadura iturrirako tentsio erreguladore bat, eta 4 LED adierazle ditu, azken hauek moduluan *debug* egiten laguntzen dutenak.

6.6.3. XBee Shield

XBee moduluak Arduino mikrokontroladorerako duen konexioa errazten duen hedatze plaka da. Plaka honek duen 3.3V-tako (eta 500 mA-tako gehienezko korronteko) tentsio erreguladoreari esker XBee moduluak elikatu daitezke Arduinoak dituen 5V-en bidez. Gainera, elikaduraren presentzia zein DIN, DOUT, RSSI eta DIO5 pinen egoera adierazten duten LED-ak ditu. Era berean, Shield-a gainean kokatzerakoan Arduino plakaren erreseteatze botoia ezkutatuta geratzen denez, honek beste botoi bat dauka Arduinon dagoena ordezkatzeko.

XBee/USB posizioen artean konmutatzea ahalbidetzen duen *jumper* bat ere badauka. XBee moduan Shield-aren gainean konektatutako modulua irradi moduan aktibatzen da; modulua DOUT pina mikrokontroladorearen RX pinera eta DIN pina TX pinera konektatuz. USB moduan, ordea, XBee modulua konfigurazioa eskuragarri bihurtu egiten da. Modu honetan XBee-aren DOUT pina RX pinera eta DIN pina TX pinera konektatu egiten dira [22].



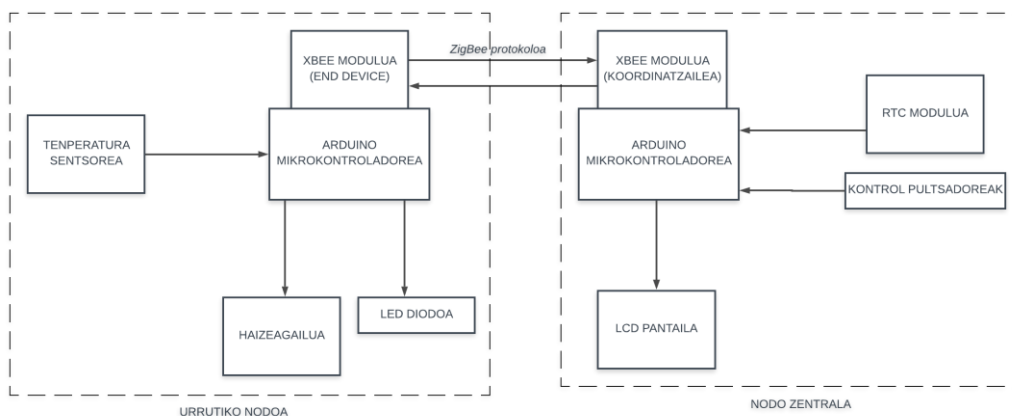
Irudia 30. XBee Shield plaka

7. PROPOSATUTAKO IRTENBIDEAREN DESKRIBAPENA

Behin aukera guztiak aztertu eta hobereenenak hautatu ondoren, proiektu honen garapenerako diseinua erabaki da 3. atalean zehaztutako helburuak bete daitezzen. Diseinu hau bi zati desberdinetan banatzen da.

7.1. Goi mailako diseinua

Beraz, amaierako muntaiako nodo bakoitza XBee Series 1 baten bidez komunikatzen da beste nodoarekin puntuz puntuko sare baten barnean. Urrutiko nodoko moduluak bukaerako dispositibo edo *end device* bezala lan egiten du; nodo zentralekoak, berriz, koordinatzaile modura.



Irudia 31. Sistemaren arkitektura modularra

31. irudiko arkitektura modularrean ikus daitekeenez, alde batean, eremu tresnek eta Arduino Uno mikrokontroladoreak osatutako urrutiko nodoa aurkitzen da, eta bestean, nodo zentrolean, beste Arduino Uno plaka dago.

Urrutiko nodoa metakrilatozko kutxa batean sartu egin da etxebizitza bateko gelaren batean kokatuta egongo balitz bezala. Sistemaren atal honen betebeharrak bi dira, batetik egindako tenperatura neurketak nodo zentralera bidaltzea eta betetik tenperatura neurketa horiek nodo zentraletik jasotako kontsigna gainditzekotan haizagailua aktibatzea. Honen eragina erregulatzeaz arduratuko den PI algoritmoa mikrokontroladorean txertatuta dago, alegia.

Nodo zentrala, aldiz, jasotako tenperatura datuak LCD pantailan erakustez arduratzen dena da, horretaz gain erabiltzaileak ezarritako tenperatura kontsigna, haizagailua ON/OFF egoeran ote dagoen eta ordua zein data ere erakutsiz. Izan ere, bertatik erabiltzaileak beste nodoa kontrola dezake bertan dauden bi botoiren bidez, horrela gelan izango den gehienezko tenperatura kontsigna ezarri ahal izango du eta honi buruzko informazioa uneoro ikusi ahal izango du pantailaren bidez.

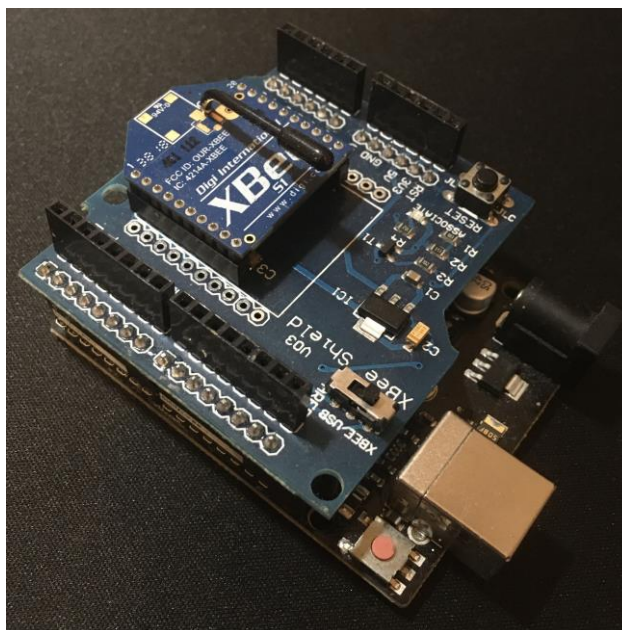
7.1.1. Urrutiko nodoa

Lehen azaldu bezala, nodo hau mikrokontroladoreaz eta hainbat eremu tresnez osatuta dago, hurrengoak direnak:

- **Temperatura sentsorea.** DHT22 sentsorea, sentsore digitala dena, tenperatura laginak hartu egiten ditu segundoro sistema aplikatu nahi den gelan, informazio hau mikrokontroladorera helaraziz.
- **Haizagailua.** Sentsorearen bidez neurtutako tenperatura nodo zentraletik jasotako kontsigna tenperatura baino handiagoa izatekotan abian jartzen da inguruko

temperatura balio horren azpitik gera dadin. Honetarako, bere abiadura erregulatzen da PID kontrolaren bidez, beharrezko energia baino gehiagorik xahutu ez dadin.

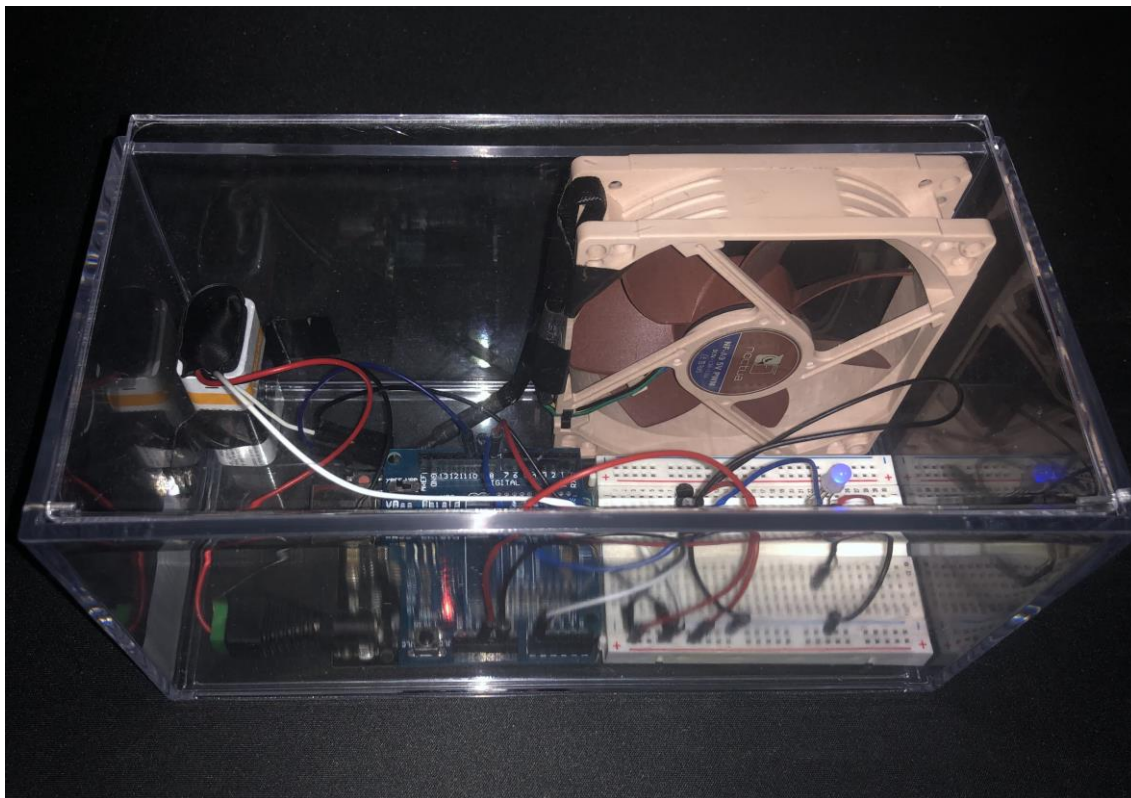
- **LED diodoa.** Kolorezko LED diodo honek haizagailuaren, eta horrenbestez, kontrol sistemaren, egoera adierazten du. Hau da, gelako temperatura jasotako kontsigna temperatura baino handiagoa bada gorritz piztu egiten da, haizagailua martxan dagoela adieraziz. Sentsoreak lortutako temperatura kontsignako balioa baino txikiagoa den kasuan, berriz, kolore urdinez piztu egiten da. Honek haizagailua geldirik aurkitzen dela esan nahi du.
- **Mikrokontroladorea + XBee modulua.** Aukeren analisisan ondorioztatu den bezala, proiektu honetarako mikrokontroladore egokiena Arduino Uno plaka da. Hau XBee Series 1 irrati moduluarekin konektatzeko, Xbee Shield hedatze plaka erabili da, 31. irudian ikus daitekeen modura.



Irudia 32. Arduinoaren eta XBee moduluen arteko muntaketa Shield-aren bidez

Arduino Uno plakak eta XBee modulua osatutako multzoa, horrenbestez, LM35DZ sentsoretik jasotako temperatura datuak ZigBee protokoloaren bidez nodo zentralera igortzeaz arduratuko da. Aldi berean, nodo zentraletik jasotako kontsigna

temperaturaren arabera PID kontrola ezarriko du, haizegailuaren abiadura egokituz temperaturaren balioa ezarritako kontsigna temperaturaren azpitik mantendu dadin.



Irudia 33. Urrutiko nodoa

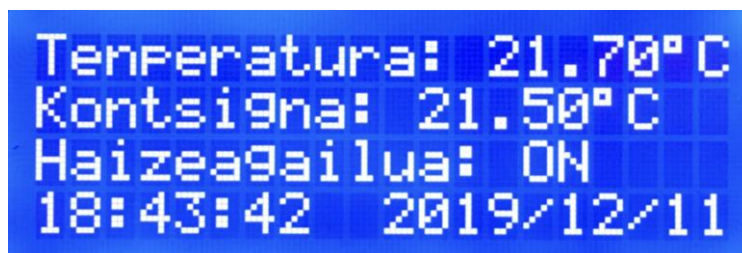
7.1.2. Nodo zentrala

Nodo hau hurrengo lau ataletan banatuta dago:

- **LCD pantaila.** Proiektuko helburuetako bat edozein ekipo informatikorekiko askatasun osoz lan egin dezakeen sistema bat lortzea denez, erabiltzaileak eskuragarri duen interfazea pantailan aurkezten da, non hurrengo informazioa ageri den:

- **Temperatura.** Urrutiko nodotik jasotako balioari dagokiona. °C-tan adierazten da.

- **Kontsigna.** Erabiltzaileak nodo zentrolean bertan dauden pultsadoreen bidez konfiguratu dezakeen balioa. °C-tan adierazten da baita.
- **Haizagailua.** Uneoro haizagailuaren egoeraren berri ematen duena. Temperatura kontsignaren gainetik dagoenean ON bezala adierazten da bere egoera, eta OFF bezala, berriz, urrutiko nodoan erregistratuko balioa egokia denean.
- **Ordua eta data.** Ordua oo:mm:ss (24 ordukoa) eta data uuuu/hh/ee formatuetan adierazten dira.

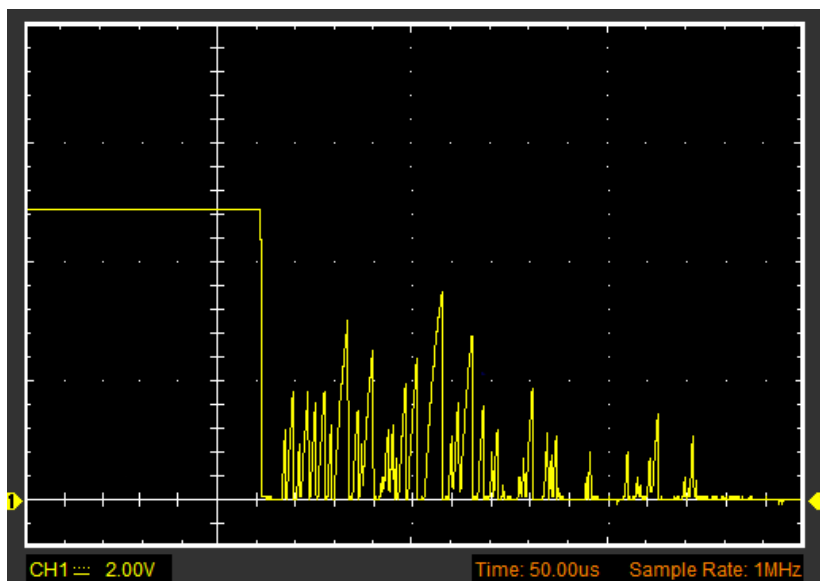


Temperatura: 21.70°C
Kontsigna: 21.50°C
Haizeagailua: ON
18:43:42 2019/12/11

Irudia 34. LCD pantailaren display-a

- **RTC modulua.** I2C protokoloaren bitartez mikrokontroladorearekin komunikatzen da, ordua eta data LCD pantailan ere ager daitezten.
- **Kontrol pultsadoreak.** Botoi pultsadore bi hauen bitartez urrutiko nodoa kokatuta dagoen gelan lortu nahi den temperatura finka daiteke. Sakatutako pultsadorearen arabera, kontsigna temperatura 0.5°C jaitsi edo igo egingo da.

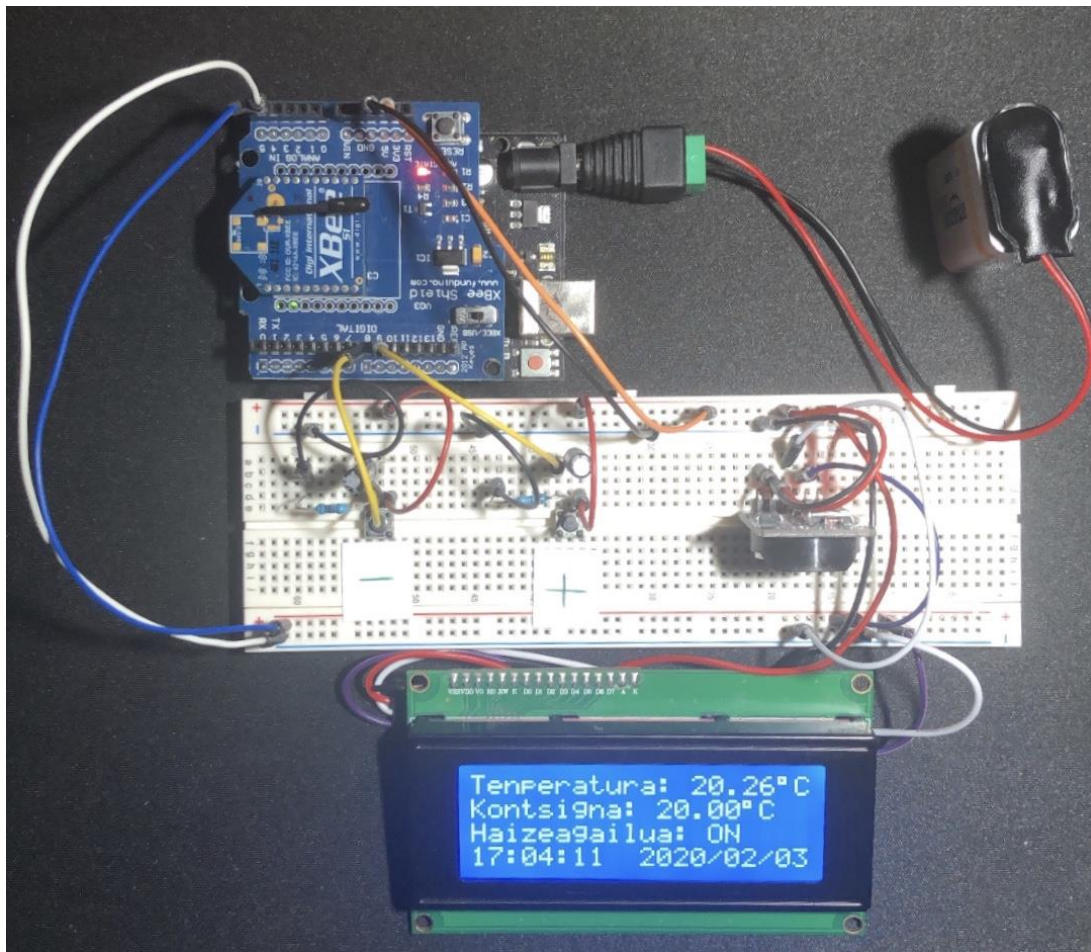
Era berean, pultsadoreak sakatzerakoan agertutako errebotea (edo *switch bounce, inglez*); hots, seinale baten egoera logikoa aldatzerakoan honen saihestetan sortu ohi den zarata, saihestu nahi izan da. Honetarako hardware bidezko *debounce* deritzon prozesua erabili da, hau da, kondentsadore elektrolitiko bana kokatu egin da pultsadore bakoitzarekiko paraleloan, seinalea iragaziz.



Irudia 35. Seinale baten beheranzko saihetsaren ostean agertutako errebotea

- **Mikrokontroladorea + XBee modulua.** Urrutiko nodoaren antzera, Arduino Uno plaka Xbee Shield-aren bitartez konektatu egiten da XBee Series 1 modulura.

Mikrokontroladore honek, ordea, urrutiko nodotik uneoro tenperatura datuak jaso eta bertara kontsigna tenperatura bidali egiten du. Tenperatura hau aurretik finkatutakoa (21°C) edo pultsadoreak erabilia erabiltzaileak zehaztutakoa izan daiteke. Era berean, informazio hau gehi haizagailuaren egoera eta RTC modulutik jasotako ordu zein data datuak LCD pantailara igortzeaz arduratzen da.



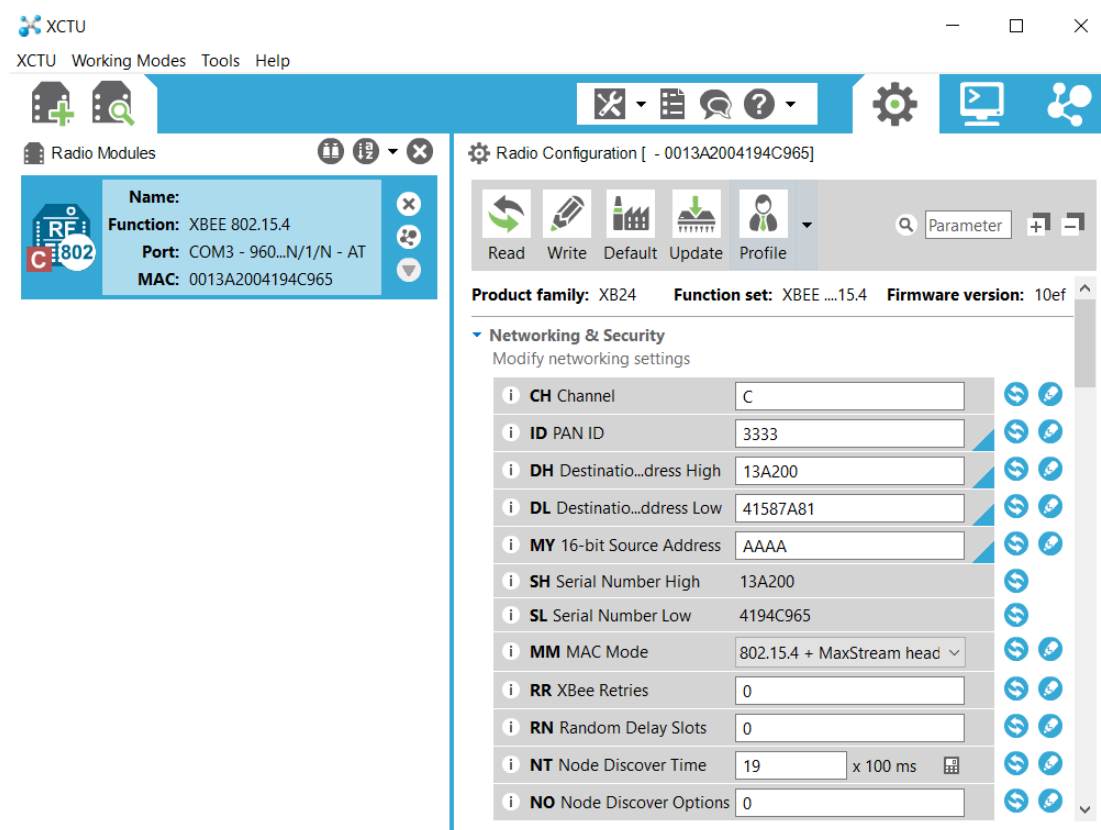
Irudia 36. Nodo zentrala

7.2. Behe mailako diseinua

7.2.1. XBee moduluen konfigurazioa

XBee moduluek ZigBee protokoloaren arabera informazioa bidal dezaten beharrezkoa da aurretik XCTU softwarearen bidez konfigurazioa ezartzea. Izan ere, XCTU programak moduluekin lan egitea ahalbidetzen duen interfaze grafikoa eskaintzen du. Interfaze honi esker modulu bakoitzaren konfigurazioa zein den aztertuta daiteke eta, beharrezkoa izatekotan, aldaketak egin. Horrenbestez, XCTU firmwarea ezartzeko, eguneratzeko eta probak egiteko balio du.

XBee moduluen arteko puntuz puntuko komunikazioa modu gardenean lortzeko (“Gaiaren egoeraren azterketa” atalean azaldu bezala), lehenengo eta behin XBee moduluak banan-banan konfiguratu behar izan dira, XBee Explorer USB-aren bitartez ordenagailura konektatuz. Bertatik, XCTU programan sartu eta *Discover radio modules connected to your machine* aukeraren bidez Explorer-a konektatuta dagoen portua detektatu egiten da. *Next* sakatu eta gero, USB/Serial portuaren parametroak zehaztu dira. Kasu honetan balio lehenetsiekin lan egin da; hots, 9600 baudiotako erratioa, 8 datu bit, “stop” bit bakarra eta fluxu kontrola zein parekotasuna desgaituta daudelarik. Hau behin eginda XCTU-ak portura lotutako XBee moduluak arakatzeko, aurkitu ondoren gailua gehitzeko aukera emanez. Gailua programara gehituta dagoelarik interfazeak parametro guztiak aldatzeko aukera ematen du.



Irudia 37. XCTU programaren interfazea

Proiektu honetan lortu nahi den komunikazioa lortzeko hurrengo parametroak finkatu behar izan dira:

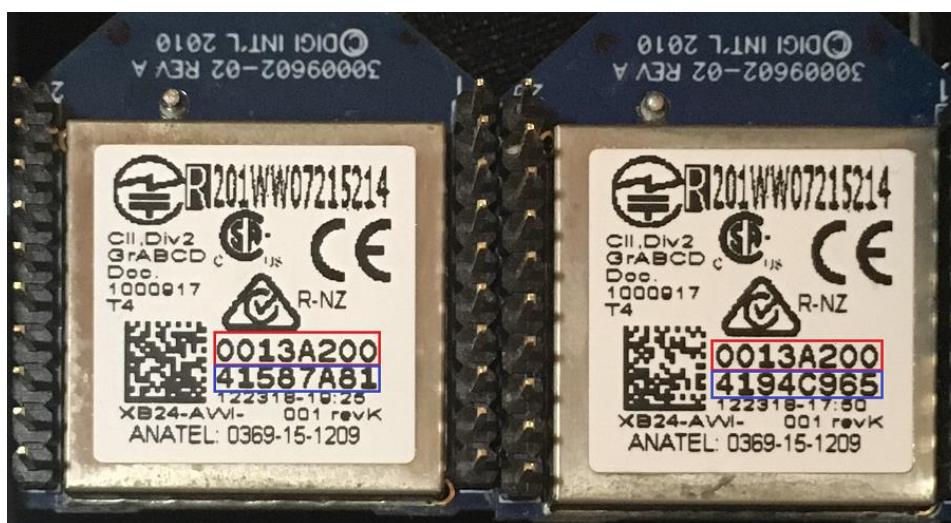
- ID, PAN ID:** Sare identifikatzailea. Sarera konektatutako modulu orok ID identifikatzaile bera eduki behar dute, sistema hamaseitarrean 0 eta FFFF arteko balioa izan daitekeelarik.
- DH, Destination Address High:** Informazioa helarazi nahi zaion moduluari dagokion helbidearen goiko zatia.
- DL, Destination Address Low:** Destinoaren helbidearen beheko zatia. FFFF bezala konfiguratuz gero, datuak sareko dispositibo guztietara bidali egiten dira.
- CE, Coordinator Enable:** Gailua koordinatzaile edo bukaerako dispositibo bezala konfiguratzeko parametroa (1: koordinatzailea, 0: bukaerako dispositiboa).
- MY, 16-bit Source Address:** Sareko modulu bakoitzak zehaztuta izan behar duen 16 biteko helbidea (PAN ID-a bezala 0 eta 0xFFFF artekoa izan daiteke).

Beraz, puntuz puntuko komunikazioa lor dadin hurrengo balioak esleitu zaizkie azaldutako parametroei:

XBee A	XBee B
ID - 3333	ID - 3333
DH - 13A200	DH - 13A200
DL - 4194C965	DL - 41587A81
MY - AAAA	MY - AAAA
CE - End Device [0]	CE - Coordinator [1]

Taula 6 XBee moduluei esleitutako balioak

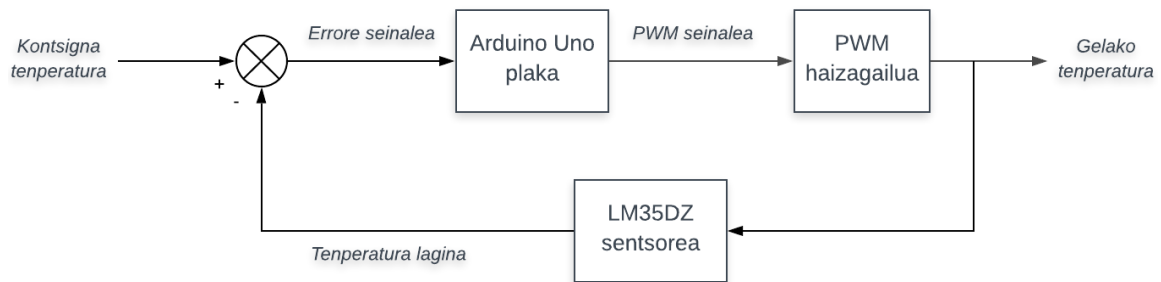
6. taulan ikus daitekeenez, XBee modulu biak sare identifikatzaile eta MY helbide bereberkin konfiguratu dira. Era berean, modulu bakoitzaren DH eta DL helbideak beste moduluaren SH eta SL zenbakien arabera ezarri dira, hurrenez hurren. Zenbaki hauek, alegia, moduluek identifikazio modura berez duten zenbaki bat dira, DH eta DL helbideen modura bi zatiz osatuta egonik. Beste aukera posible bat DH helbidea bietan 0 balioarekin uztea eta MY helbide desberdinak esleitzea zen, bakoitzaren DL helbidea beste moduluaren MY helbidearen arabera konfiguratuz. Azkenik, A XBee moduluak bukaerako dispositibo modura eta B moduluak koordinatzaile modura lan egitea erabaki da CE parametroaren bidez. Behin aldaketa hauek eginda, *Write* botoia sakatu behar izan da konfigurazio berria gorde dadin.



Irudia 38. A eta B XBee moduluen serie zenbakiak, hurrenez hurren (SH gorritz eta SL urdinez adierazita)

7.2.2. PI kontrol begizta

Arduinoko plataformak PID kontrol begizta programazioan era errazean inplementatzeko aukera eskaintzen du *PID_v1.h* deritzon liburutegi baten bidez, proiektu honetan erabili izan dena. Beraz, sisteman inplementatutako berrelikadura negatiboko begiztaren kontrol unitatea Arduino Uno plaka da, bertan PID liburutegia txertatu da eta. Planta PWM bitartez erregulatutako haizagailua da, eta berrelikadura edo sistemaren berri ematen duen neurketa elementua, ordea, LM35DZ sentsoare analogikoa.



Irudia 39. Sistemaren kontrol begizta

Kontrol honetarako, bestalde, beharrezkoa da ekintza proportzional, deribatibo eta integralaren balioak zehaztea, baita *setpoint*-arena ere, erabiltzaileak kontrol pultsadoreen bidez finkatutako kontsigna tenperatura dena. *Setpoint* balioa gainditzerakoan, alegia, PID kontrolerako kalkuluak egitera ekiten dio inplementatutako liburutegiak.

Dena den, Arduinoko liburutegiaren bidez sistema kontrolatzeko PID begizta konfiguratu daitekeen arren, lan honetan PI kontrola soilik erabiltzea erabaki da, ekintza deribatiboa deuseztatuz. Gaiaren egoeraren azterketan azaldu den bezala, ekintza deribatiboa zaratarekiko oso sentikorra da, sistema honen kontrolaren fidagarritasuna txikituz. Izan ere, zarata egotekotan sistemak egoera egonkorrean duen portaera ezegonkorrago bilakatzea eragin ohi du. Beraz, PID kontrol begizta batean ekintzen doitzea PI batean baino askoz zehatzagoa izan behar da. Era berean, sistemaren berezko ezaugarriek prezisio maila oso altua eskatzen ez dutenez, Ziegler-Nichols-en metodoa aplikatu ordez kontrolerako doiketa metodo heuristiko edo eskuzkoaren bidez egitea erabaki da. Horrenbestez, PI kontrol algoritmoa ezarri da, PID-arekin alderatuta aproposagoa baita zehaztasun gutxiago eskaintzen duen doiketa metodo baterako, nahiz eta azken honek perturbazioekiko erantzun azkarragoa eskaini.

Eskuzko doiketa metodorako lehendabizi I eta D balioak zerora jarri egin dira. Ondoren, P balioa handitu egin da begiztaren irteerak oszilazioak jasan arte. Hurrengo urratsa P ekintzaren balioa lehen ezarritakoaren erdira murriztea izan da. Azkenik, I handitu da kontrola zehaztutako denboran egonkortu dadin. Hau kontu handiz egin da, I ekintzaren gehiegizko balio batek ezegonkortasuna sorrarazi dezake eta. Hortaz, asko ez igotzen saiatu egin da. Lortutako balioak hurrengoak izan dira:

- **Kp** (proportzionaltasun konstantea): 40.
- **Ki** (konstante integrala): 8.
- **Kd** (konstante deribatiboa): 0.

Era berean, *WindowSize* aldagaia; hots, kontrolaren erantzunerako gehieneko denbora, segundo batekoa izan dadin finkatu da. Izan ere, tenperatura laginketa periodoaren berdina da.

7.2.3. Osagaien arteko konexioak

Atal honetan, taula desberdinen bidez proiektuaren garapenerako beharrezkoak izan diren osagaien arteko konexioak errenkadaka azaldu egiten dira, zutabe bakoitzak osagai bati dagokiolarik.

7.2.3.1. Urrutiko nodoko konexioak

- **RGB LED-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak**

RGB LED	ARDUINO UNO
1-R (Red)	9 DO (Digital Output)
2-GND	GND**2
3-B (Blue)	8 DO

Taula 7 RGB LED-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

*220 Ω -ta ko erresistentzia bat tartekatuta dagoelarik.

*2 Masa edo GND-ra konektatzen da katodo komuneko RGB LED bat erabili delako.

• **LM35DZ-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak**

LM35DZ	ARDUINO UNO
1-VCC	VCC
2-OUT	7 DO
3-GND	GND

Taula 8 LM35DZ-aren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

• **PWM haizagailuaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak**

PWM HAIZAGAILUA	ARDUINO UNO
1-GND	GND
2-VCC	VCC
3-PWM CTRL	10 DO

Taula 9 PWM haizagailuaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

7.2.3.2. Nodo zentraleko konexioak

• **RTC modulua eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak**

RTC MODULUA	ARDUINO UNO
1-SCL	4 AI (Analog In)
2-SDA	5 AI
3-VCC	VCC
4-GND	GND

Taula 10 RTC modulua eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

- LCD pantailaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

LCD PANTAILA	ARDUINO UNO
1-SCL	4 AI
2-SDA	5 AI
3-VCC	VCC
4-GND	GND

Taula 11 LCD pantailaren eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

- Botoi pultadorearen, kondentsadorearen eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

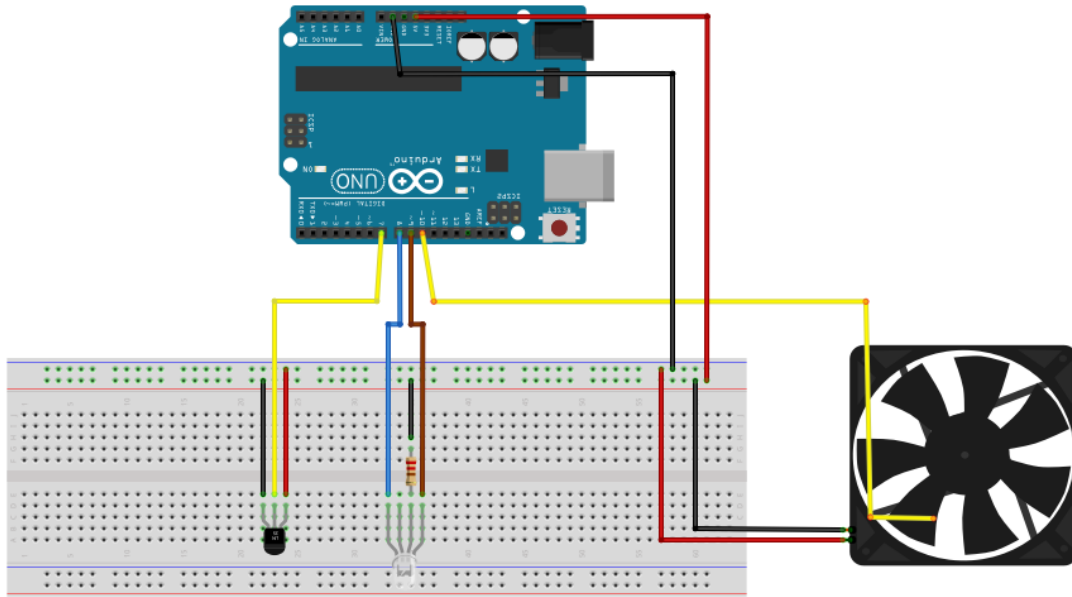
BOTOI PULTADOREA	KONDENTSADORE ELEKTROLITIKOA	ARDUINO UNO
1-1. HANKATXOA	BORNE NEGATIBOA	GND* / 8 DO (+); 9 DO (-)
2-2. HANKATXOA	BORNE POSITIBOA	VCC

Taula 12 Botoi pultadorearen, kondentsadorearen eta Arduino Uno plakaren arteko konexioak

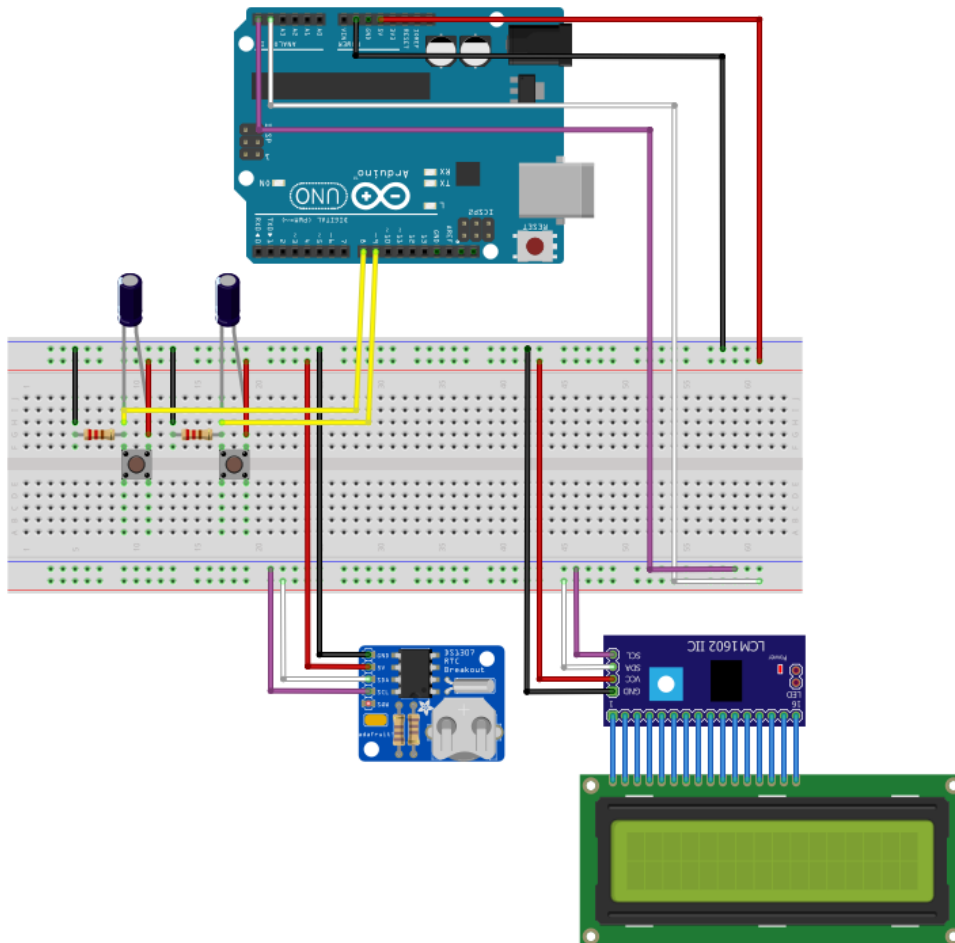
*220 Ω -tako erresistentzia bat tartekatuta da goelarik.

7.2.4. Zirkuituen eskemak

Atal honetan egindako garapen finaleko bi zirkuituen eskemak ageri da. Ematen diren irudietan aurreko azpiatalean azaldutako osagaien arteko konexioak agertzen direlarik. Eskema hauen diseinua *Fritzing* plataformaren bidez burutu da.



Irudia 40. Urrutiko nodoaren zirkuituaren eskema



Irudia 41. Nodo zentralaren zirkuituaren eskema

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema domotikoa

2. DOKUMENTUA - LANERAKO ERABILITAKO METODOLOGIA

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

8. EGINBEHARREKOEN DESKRIBAPENA

Atal honetan proiektuaren hasierako planteamendutik honen dokumentazioaren idazketara arte emandako urrats guztien azalpena ematen da. Hau da, proiektuaren gauzatzea lortzeko izandako zeregin ororen deskribapen laburra, iraupena eta erabilitako baliabideak zehaztu egiten dira.

Proiektu honen plana 5 fase edo lan paketetan banandu egin da, hauetako bakoitza aldi berean zeregin batean edo gehiagotan zatituta dagoelarik.

8.1. 1. fasea: Proiektuaren identifikazioa

Fase honen barruan GrAL honen ideia nagusia zein bete nahi diren helburuak zehaztu egin dira.

8.1.1. 1. zeregina: Ideiaren zehaztapena

Proiektu hau aurrera eramateko emandako lehengo urratsa lanaren ideia aukeratzea eta garatzea izan da. Honetarako, ideia propioak zein beste ikasle batzuek aurreko urteetan izandakoak alderatu dira, bideragarriak izan liratekeen ideien zerrenda bat zuzendariari aurkeztuz. Ideien zerrenda honetan domotikaren inguruko proposamenak asko izan dira, PLC baten bidezko etxebizitza oso baten sistema domotikoaren garapena bezalakoak.

Dena den, ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema domotikoa gailendu da aukera guztiak sakon aztertu eta gero. Izan ere, ideia honen garapenerako bideragarritasuna handia da.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Proiekturako ideien zerrendatzea eta egokienaren aukeraketa
Erabilitako baliabideak	Internet (Addi plataforma)
Iraupena	6 egun

Taula 13 Ideiaren zehaztapena

8.1.2. 2. zeregina: Helburuen definizioa

Idea nagusia definitu eta gero honen irismena zehaztu nahi izan da. Lehenik eta behin, helburu nagusia definitu da. Logikoa denez, tenperatura kontrol sistema era eraginkorrean lan egitea izatea erabaki da. Ondoren, proiektua helburu honen lorpena bideratuko duten bigarren mailako helburuak definitu egin dira; Memoriaren 3. atalean aipatutakoak, alegia.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Sistemak bete beharreko helburu nagusiaren, eta era berean, bigarren mailako helburuen, definizioa
Erabilitako baliabideak	Word
Iraupena	2 egun

Taula 14 Helburuen definizioa

8.2. 2. fasea: Planifikazioa

Proiektuaren oinarriak eta baldintzak kontuan hartuz, jarraitu beharreko prozesuen planifikazio bat burutu da.

8.2.1. 1. zeregina: Informazio bilketa

Zeregin honetan ideia nagusiaren inguruan sakondu nahi izan da, proiektuko hastapenak aztertzeko asmoarekin. Hau da, erabili behar diren teknologia eta prozesuei buruzko informazioa bilatu da, proiektuaren garapenerako ezagutza eskuratuz honen oinarrien argipena abiapuntutzat izanik.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Proiektuko hastapen azterketa informazioa lortzearen bidez
Erabilitako baliabideak	Internet, unibertsitateko liburutegia, Word
Iraupena	12 egun

Taula 15 Informazio bilketa

8.2.2. 2. zeregina: Proiektuaren planifikazioa

Behin hastapenak argi izanda, proiektuaren ideia nagusia garatzeko jarraitu beharreko prozedurak erabaki dira, hauen arteko ordena eta iraupena ere planifikatuz.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Garapenean zehar eman beharreko urratsen zehaztapena
Erabilitako baliabideak	Internet, unibertsitateko liburutegia, Word
Iraupena	10 egun

Taula 16 Proiektuaren planifikazioa

8.3. 3. fasea: Sistemaren analisia eta diseinua

Proiektuan aplikatu beharreko teknologiek eskaintako aukera ezberdinak aztertu dira, egokienak erosituz. Gainera, sistemaren itxura aurreikusi da diagrama eta eskemen bidez.

8.3.1. 1. zeregina: Merkatuaren azterketa

Inplementatu nahi diren teknologien merkatuak aztertu dira urrats honetan, existitzen diren aukera ezberdinak ezagutzuz eta proiektuko helburuak bete daitezkeen egokienak aukeratzuz.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Teknologien aukera ezberdinak ikertu eta helburuen arabera proposenak hautatu
Erabilitako baliabideak	Internet, Word
Iraupena	7 egun

Taula 17 Merkatuaren azterketa

8.3.2. 2. zeregina: Elementuen eresketa

Aukera egokienak zeintzuk diren erabaki ondoren, hauen eresketa gauzatu da sareko plataformen bidez nahiz elektronikako denda fisiko batean.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Aurreko zereginen erabakitako osagaien eresketa
Erabilitako baliabideak	Internet
Iraupena	2 egun

Taula 18 Elementuen eresketa azterketa

8.3.3. 3. zeregina: Egituraren diseinua

Sistemaren egitura diseinatzeko lehenengo eta behin beharrezkoa izan da maketako atalen osaera kontzeptualki garatzea diagrama modular baten bidez, betiere euren arteko bateragarritasuna kontuan hartuz. Hau egin ondoren, osagaien arteko konexioak zehaztu dira eskema elektrikoaren bidez irudikatuz.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Proiektua garatzeko maketaren egituraren diseinua
Erabilitako baliabideak	LucidChart, Fritzing
Iraupena	3 egun

Taula 19 Egituraren diseinua

8.4. 4. fasea: Sistemaren garapena

Elementuen ezarpen fisikoa eta hauen konfigurazioa zein programazioa gauzatu dira fase honetan definitutako norainokoak bete daitezzen.

8.4.1. 1. zeregina: Moduluen konfigurazioa

XBee irrati moduluak konfiguratu dira euren artean informazioa bidal dezaten. Honetarako moduluen arteko komunikazio mota erabaki da eta beharrezko parametroak zehaztu dira, bakoitzari funtzio edo "rol" bat esleituz.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	XBee moduluen arteko komunikaziorako parametroen konfiguraketa
Erabilitako baliabideak	XCTU plataforma
Iraupena	2 egun

Taula 20 Moduluen konfigurazioa

8.4.2. 2. zeregina: Mikrokontrolagailuen programazioa

Zeregin honetan mikrokontrolagailuak A/B moduko USB kablearen bidez konektatu dira ordenagailura eta Arduinoko IDE-aren bitartez programazioa garatu da. Honetarako, beharrezko liburutegiak jaitsi eta mikrokontrolagailuek euren sarrera zein irteerak kontrolatzeko kodea idatzi da.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Mikrokontrolagailuen funtzioak kontrolatzeko kodearen idazketa
Erabilitako baliabideak	Arduino IDE
Iraupena	46 egun

Taula 21 Mikrokontrolagailuen programazioa konfigurazioa

8.5. 5. fasea: Dokumentazioaren garapena

Azkenengo fase honetan aurreko faseetan emandako urrats guztiak biltzen dituen idazkia burutu da. Gainera, honen gainbegiratzeari denbora eskaini zaio akatsen zuzenketa zein formatuaren egokitasuna lortzeko.

8.5.1. 1. zeregina: Dokumentazioaren idazketa

Zeregin honetan proiektuko azalpena eta deskribapena egin da, baita erabilitako metodologia zein baliabide ekonomikoen azterketa ere. Gainera, lanaren helburuak bete eta gero ondorioztatukoak eta behar izandako erreferentzia bibliografikoak aipatu dira. Idazkia hainbat taula eta irudiz osatu da azaldutakoaren ulergarritasuna errazteko asmoarekin, halaber.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Proiektu osoaren deskribapena eta azalpena
Erabilitako baliabideak	Word, PDF, FluidChart
Iraupena	42 egun

Taula 22 Dokumentazioaren idazketa

8.5.2. 2. zeregina: Dokumentazioaren gainbegiratzea

Dokumentazioaren egokitasuna bermatzeko errepasso orokor bat egin da, idazkiak arautegiko eskakizun guztiak betetzen dituela ziurtatuz. Zeregin honekin proiektuari itxiera eman zaio.

Arduraduna	Daniel Lasa
Zuzendaria	Goretti Sevillano
Zereginaren deskribapena	Proiektuko idazkiaren akatsen konponketa eta errepasso orokorra
Erabilitako baliabideak	Word, PDF
Iraupena	4 egun

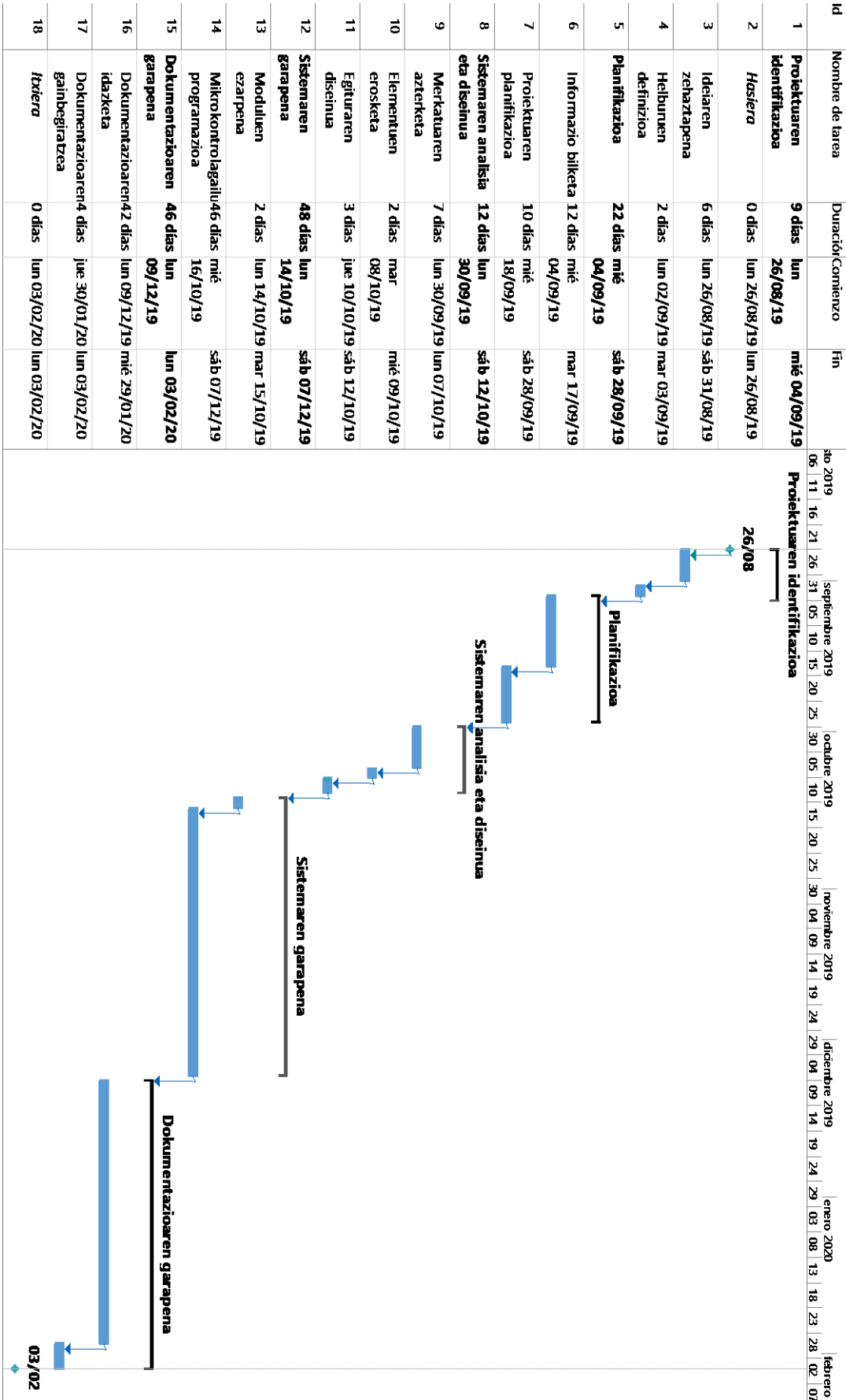
Taula 23 Dokumentazioaren gainbegiratzea

9. GANTT-EN DIAGRAMA

Atal honek Gantt-en diagramari dagokio, non proiektuaren plangintza esleitu egin den. Sistema honen bidez, alegia, zeregin desberdinak betetzeko behar izandako denbora-epaek irudikatzen dira era grafiko batean. Bi ardatz ditu; ardatz bertikalean proiektuaren hasieratik amaierara arte bete beharreko ardura guztiak zerrendatzen dira, eta ardatz horizontalean, berriz, denbora-tarteak adierazi egiten dira. Horrela, modu erraz batean ikuskatu daiteke proiektuaren kronologia, proiektuaren kudeaketa hobea bermatuz.

Hurrengo irudian (42. irudia) atxikitutako diagramaren ulerpen egokirako bi puntu garrantzitsu argitu beharra dago. Alde batetik, zeregin bakoitzaren iraupena egunetan adierazita egon arren, egun horietako bakoitzean 2,5 ordu erabili dira proiektua egiteko. Bestetik, asteko egun guztietan zehar lan egin da, igande eta jaiegunetan ez ezik. Honela, proiektuaren iraupen totala **137 egunekoa izan da, 2019ko abuztuaren 26an hasi eta 2020ko otsailaren 3an bukatuz.**

GrAL. Lanerako Erabilitako Metodologia



Irudia 42. Gantt-endiagrama

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa***

3. DOKUMENTUA - ALDERDI EKONOMIKOAK

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

10. AURREKONTUA

Atal honetan proiektuaren garapenean zehar eman diren kostuak adierazten dira (BEZa kontuan izanda). Bertan erabilitako osagaiak, emandako lan orduak eta behar izandako baliabideen zati proportzionalaren kostuak (hau da, erabilitako baliabideen amortizazioak) kontuan hartu dira, baita prozesuan gertatutako ezustekoei dagokien ehunekoa ere.

10.1. Osagaien aurrekontua

Hemen proiektuan diseinatutako prototipoaren eraiketarako beharrezko elementuen kostuari dagokion aurrekontuaren atala zehazten da.

OSAGAIA	PREZIOA UNITATEKO	UNITATEAK	PREZIOA GUZTIRA
PWM HAIZAGAILUA	17.88 €	1	17.88 €
RTC MODULUA	7.09 €	1	7.09 €
XBEE SERIES 1 MODULUA	26.90 €	2	53.80 €
XBEE SHIELD	8.25 €	2	16.50 €
XBEE EXPLORER	36.97 €	1	36.97 €
20x4-KO LCDPANTAILA	11.99 €	1	11.99 €
ELEGOO UNO	9.99 €	2	19.98 €

LM35DZ SENTSOREA	2.29 €	1	2.29 €
METAKRILATOKO KUTXA	9.99 €	1	9.99 €
9V-TAKO BATERIA	1.28 €	2	2.56 €
ARDUINORAKO BATERIA KONEKTOREA	1.56 €	2	3.12 €
PROTOBOARD PLAKA (x3)	9.99 €	1	9.99 €
10 μ F-TAKO KONDENTSADORE ELEKTROLITIKOA	0.20 €	2	0.40 €
BOTOI PULTSADOREA	0.07 €	2	0.14 €
AR-AR KABLEAK (x130)	8.99 €	1	8.99 €
10 k Ω -TAKO ERRESISTENTZIA	0.10 €	1	0.10 €
220 Ω -TAKO ERRESISTENTZIA	0.10 €	2	0.20 €
RGB LED DIODOA	0.18 €	1	0.18 €
TOTALA	202.17 €		

Taula 24 Osagaien aurrekontua

10.2. Lan orduen aurrekontua

Aurrekontuaren atal honetan proiektuaren garapenean parte hartu duten pertsonek emandako lan orduak eta hauen kostua aintzat hartzen dira. Lan orduen kostua langilearen erantzukizun mailaren zein bere esperientziaren araberakoa da.

IZENA	ERANTZUKIZUNA	LAN ORDUAK	KOSTUA ORDURO	GUZTIRA
GORETTI SEVILLANO	ZUZENDARIA	18 h	40 €/h	720 €
DANIEL LASA	INGENIARI JUNIORRA	342.5 h	8 €/h	2 740 €
TOTALA				3 460 €

Taula 25 Lan orduen aurrekontua

10.3. Amortizazioen aurrekontua

Proiektua burutzeko beharrezkoak izan diren programa eta gailuei euren erabileragatik dagokien kostu proportzionala kalkulatu egin da aurrekontu honetan. Honetarako, hurrengo formula erabili da:

$$\text{Baliabidearen amortizazioa} = \frac{\text{Erosketa balioa}}{\text{Bizitza erabilgarria (h)}} \cdot \text{Erabilitako denbora (h)}$$

BALIABIDEA	EROSKETA BALIOA	BIZITZA ERABILGARRIA	ERABILITAKO DENBORA	GUZTIRA
MICROSOFT OFFICE 365	99 €	1 URTE (8 760 h)	150 h	1.70 €
ORDENAGAILUA	850 €	7 URTE (61 320 h)	335 h	4.64 €
ARDUINO IDE	DOHAIN	-	90 h	0 €
FRITZING	DOHAIN	-	2 h	0 €
XCTU	DOHAIN	-	12 h	0 €
TOTALA				6.34 €

Taula 26 Amortizazioen aurrekontua

10.4. Aurrekontu totala

Azkenik, aurreko ataletan azaldutako aurrekontuen totala kalkulatu egin da, azpi-totalaren gainera %5 bateko ezusteko gehigarriak kontuan izanda.

AURREKONTU TOTALA	
OSAGAIEN AURREKONTUA	202.17 €
LAN ORDUEN AURREKONTUA	3 460 €
AMORTIZAZIOEN AURREKONTUA	6.34 €
AZPI-TOTALA	3 668.51 €
EZUSTEKOAK (%5)	183.42 €
TOTALA	3 851.94 €

Taula 27 Aurrekontu totala

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

*ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa*

4. DOKUMENTUA - ONDORIOAK

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

11. ONDORIOAK

Temperaturaren kontrolerako sistema honen garapenaren bitartez domotika komertzialaren merkatuan benetako aplikazio bat izan dezakeen produktu bat ekoiztea lortu da. 3. atalean zehaztutako helburu guztiak erdietsi dira, hasiera batean proiektuaren gauzatzeari ekin aurretik planteatutako ideari forma emanez. Izan ere, ZigBee protokoloaren bidez haririk gabeko komunikazioaren bidez tenperatura kontrolatzeko eta lortutako informazioa uneoro LCD pantaila batean bistaratzeko gai den kostu txikiko sistema autonomo bat diseinatu eta garatu da.

Gainera, proiektuan erabilitako baliabideei esker moldagarritasun handiko ekipoa eraiki egin da, bai hardware bai software aldetik. Horrenbestez, proiektuaren bideragarritasun teknikoa positibotzat har daiteke sistemak egokitze, hobetze edota funtzio aldatze ahalmena eskatzerako orduan.

Etorkizunari begira, alegia, sistema neurketa parametro gehiago gehituz hedatu liteke. Erabilitako LM35DZ sentsorea hezetasuna ere neurtzeko gai den beste sentsore batengatik ordezkatu litzateke. Gainera, argitasuna edo zarata bezalako parametroak neurtzeko sentsoreak ere erabili ahal izango lirateke, erabiltzaileak gelari buruzko informazio gehiago eskuragarri edukiz.

Beste luzapen posible bat erabilitako PI algoritmoari ekintza deribatiboa gehitzea izan litzateke, PID kontrol begizta lortuz eta erantzun denbora azkarragoak lortuz. Honek zehaztasun handiagoa eskatuko luke, metodo heuristikoen ordez Ziegler Nichols-en metodoa aplikatu behar izanez ekintzen balioak kalkulatzeko.

Era berean, edozein API erabilia (ThingSpeak, Xively, Fitbit...) lortutako tenperaturari buruzko informazioa monitorizatu ahal izango litzateke. Honetarako sarea hedatu beharko litzateke, XBee Explorer USB baten bidez ordenagailu batera konektatutako beste XBee modulu bat erabiliz. XBee modulu honek nodo zentraletik jasoko luke informazioa, grafikoki erakutsiz API-an diseinatutako interfazean.

Ikuspuntu pertsonalago bati dagokion hausnarketa eginez, GrAL hau erronka handia izan dela aipatu beharra dago. PI kontrol begiztaren inplementazioa, esaterako, ez da batere erraza izan liburutegi konkretu bat eduki arren, emaitza egokiak lortu arte proba asko egin behar izan baitira metodo heuristikoa erabilia. Dena den, graduko ikasketetan zehar barneratutako ezagutza teoriko ugari era praktikoago eta bisualago batean jorratzeko aukera ezin hobea izan da proiektu hau. Era berean, alor desberdinetako ezagutza berriak eskuratu dira honi esker, batez ere Arduino plataformari eta ZigBee protokoloari dagokienez. Ikerketan emandako denbora garapenean emandakoa baino askoz handiagoa izan arren, plataforma zein protokolo hauetaz baliatuta etorkizunean proiektu berriak garatzeko oinarria lortu egin da.

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa***

5. DOKUMENTUA - BIBLIOGRAFIA

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

12. BIBLIOGRAFIA

Proiektu honen garapenerako beharrezkoak izan diren informazio iturriak eta erreferentziak hurrengoak dira:

- [1] Wikipedia, (azken eguneraketa) 2019. *Domótica* [online]. Eskuragarri: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%B3tica>> webgunean [Erabilita: Abenduak 10, 2019]
- [2] Hugo Martín Domínguez eta Fernando Saéz Vacas, 2006. *Domótica: Un enfoque sociotécnico* [online]. Eskuragarri: <http://www.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf> [Erabilita: Abenduak 10, 2019]
- [3] M^a Isabel Yáñez Collado, 2010. *La domótica, un bien para todos* [online]. Eskuragarri: <https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_30/ISABEL_YANEZ_1.pdf> [Erabilita: Abenduak 10, 2019]
- [4] Manuel Fernández Barcell, 2003. *Introducción a las redes inalámbricas de sensores (WSN)* [online]. Eskuragarri: <<http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>> [Erabilita: Irailak 4, 2019]

- [5] Shahin Farahani, 2008. *ZigBee and IEEE 802.15.4 Protocol Layers* [online]. Eskuragarri: <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol>> [Erabilita: Irailak 3, 2020]
- [6] Alejandro Cama, Emiro De La Hoz eta Dora Cama, 2012. *Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas* [online]. Eskuragarri: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869014.pdf>> [Erabilita: Irailak 4, 2019]
- [7] Javier Martín Moreno, Daniel Ruiz Fernández, 2007. *Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)* [online]. Eskuragarri: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf> [Erabilita: Irailak 5, 2019]
- [8] AprendiendoArduino, 2016. *ZigBee/XBee* [online]. Eskuragarri: <<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee/>> webgunean [Erabilita: Irailak 10, 2019]
- [9] Wikipedia, (azken eguneraketa) 2019. *Conjunto de comandos Hayes* [online]. Eskuragarri: <https://es.wikipedia.org/wiki/Conjunto_de_comandos_Hayes> webgunean [Erabilita: Irailak 16, 2019]
- [10] Digi, 2018. *ZigBee RF Modules* [online]. Eskuragarri: <<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000976.pdf>> [Erabilita: Irailak 16, 2019]
- [11] Andrés Oyarce, 2010. *Guía del usuario, XBee Series 1* [online]. Eskuragarri: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43436815/XBee-Guia_Usuario.pdf?response-content-

disposition=inline%3B%20filename%3DGuia_del_Usuario_XBEE_Series_1.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190926%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190926T100138Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=2ec903f16e4ae744ded391ecf9107399d93e2826da5e814d3e40790b5e16eb24> [Erabilia: Abenduak 14, 2019]

- [12] ElProCus, 2017. *The Working Principle of a PID Controller for beginners* [online]. Eskuragarri: <<https://www.elprocus.com/the-working-of-a-pid-controller/>> [Erabilia: Urtarrilak 19, 2020]
- [13] Virginia Mazzone, 2002. *Controladores PID* [online]. Eskuragarri: <<https://wwweng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>> [Erabilia: Urtarrilak 18, 2020]
- [14] Karl Johan Aström, 2002. *PID Control* [online]. Eskuragarri: <<https://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch6.pdf>> [Erabilia: Urtarrilak 20, 2020]
- [15] SparkFun Electronics, 2013. *I²C* [online]. Eskuragarri: Eskuragarri: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>> webgunean [Erabilia: Irailak 7, 2019]
- [16] ShareTechnote, 2009. *Embedded System – I2C* [online]. Eskuragarri: Eskuragarri: <http://www.sharetechnote.com/html/EmbeddedSystem_I2C.html> webgunean [Erabilia: Irailak 7, 2019]

- [17] Microchip, 2013. *Section 24. Inter-Integrated Circuit™ (I²C™)* [online].
Eskuragarri:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61116F.pdf>>
[Erabilia: Irailak 19, 2019]
- [18] Sergio Martín Casco, 2014. *Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black*
[online]. Eskuragarri: <<http://jeuzarru.com/wp-content/uploads/2014/10/MiniPCs.pdf>> [Erabilia: Abenduak 12, 2019]
- [19] Wikipedia, (azken eguneraketa) 2019. *XBee* [online]. Eskuragarri:
<<https://en.wikipedia.org/wiki/XBee>> [Erabilia: Abenduak 19, 2019]
- [20] Proyecto Arduino, 2014. *Sensor de temperatura* [online]. Eskuragarri:
<<https://proyectoarduino.com/sensor-de-temperatura/>> [Erabilia:
Abenduak 20, 2019]
- [21] Last Minute Engineers, 2019. *Interface DS3231 Precision RTC Module with Arduino* [online]. Eskuragarri: <<https://lastminuteengineers.com/ds3231-rtc-arduino-tutorial/>> [Erabilia: Abenduak 8, 2019]
- [22] Arduino, 2019. *XBee Shield* [online]. Eskuragarri:
<<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>> [Erabilia:
Abenduak 17, 2019]

INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN
INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***ZigBee bidezko tenperatura kontrol sistema
domotikoa***

6. DOKUMENTUA – ERANSKINA

Ikaslea: Lasa, Ribeira, Daniel

Zuzendaria: Sevillano, Berasategui, Maria Goretti

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon, 2020ko otsailaren 10ean

13. PROGRAMAREN KODEA

Atal honetan tenperaturaren kontrol sistamarako garatutako programazioa azaltzen da. Hau da, Arduino IDE bidez burutu eta Arduino Uno plaketan txertatutako kodea aurkeztu egiten da hemen, idatzitakoaren komentario argigarriak barne.

13.1. Urrutiko nodoaren kodea

```
#include <PID_v1.h> //PID kontrolerako liburutegia

#define LM35 A0 //LM35DZ sentsorearen irteera konekatuta dagoen pin analogikora adierazten duen aldagaia

double Setpoint, Input, Output; //PID-erako aldagaiak ezarri

float Kp=40, Ki=8, Kd=0; //PID ekintzen balioak ezarri (PI kontrola)

float tenpKont; //kontsigna tenperaturaren aldagaia ezarri

const int PWMPin=10; //haizeagailuaren PWM irteera (P4, urdina) konektatuta dagoen pin digitalera adierazteko aldagaia

int WindowSize=1000; //PID-aren erantzunerako denbora

unsigned long windowStartTime; //kontrolaren erantzunaren hasierako denboraren aldagaia

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

```
union floatByte_t //aldagaia float eta byte array bezala ezarri
{
    double f;
    byte b[4];
};

floatByte_t tenp;
floatByte_t kont;

void setup()
{
    windowStartTime=millis(); //kontrolaren erantzunaren hasierako denboraren
    harrapaketa

    Setpoint = 20; ////hasierako setpoint-a 20°C-tara ezarri (hori baita hasierako konstigna
    tenperatura)

    myPID.SetOutputLimits(0,WindowSize); //irteeraren mugak ezarri

    myPID.SetMode(AUTOMATIC); //hasierako ekintzen balioen arabera kontrolaren irteera
    betiere automatikoki kalkulatu

    pinMode(PWMPin, OUTPUT); //haizeagailuaren PWM irteerarekin (P4, urdina)
    konektatuta dagoen pin digitala irteera bezala ezarri

    pinMode(LM35,INPUT); //LM35DZ sentsorearen irteerarekin konektatuta dagoen pin
    analogikoa sarrera bezala ezarri

    Serial.begin(9600); //portu seriala 9600 baudiotara finkatu
}
```

```
void loop()

{

  tenp.f=analogRead(LM35); //A0 pin analogikoa irakurri

  tenp.f=(tenp.f*5.0*100.0)/1023.0 //tenperatura gradu zentigradotan lortzeko bihurteta

  Input=tenp.f; //neurtutako tenperatura PI kontrolaren sarrera bezala ezarri

  for(int i=0;i<4;i++)

  {

    Serial.write(tenp.b[i]); //neurtutako tenperatura 4 bytetan banatuta bidali portu

    serialaren bidez

  }

}

for(int i=0;i<4;i++)

{

  kont.b[i]=Serial.read(); //kontsigna tenperatura 4 bytetan banatuta jaso portu

  serialaren bidez

}

if (tenp.f <= kont.f) //kontsigna tenperaturak neurtutako tenperatura gainditu edo

berdindu

{

  analogWrite(PWMPin, 0); //haizagailua geldirik mantendu

  digitalWrite(8, HIGH); //RGB LED-a kolore urdinez piztu

  digitalWrite(9, LOW);

}

}
```

```
else

{

    tenpKont=kont.f;

    Setpoint= tenpKont; //kotsigna temperatura setpoint-a bezala ezarri

    myPID.Compute(); //PI kontrolaren kalkulaketa

    analogWrite(PWMPin, Output); //PI-ak irteera bezala kalkulaturako PWM seinalea
    haizagailuaren PWM pinera bidali

    digitalWrite(8, LOW); //RGB LED-a kolore gorritz piztu

    digitalWrite(9, HIGH);

}

delay(1000); //segundo oro freskatu

}
```

13.2. Nodo zentralaren kodea

```
#include <RTCLib.h> //RTC modulurako liburutegia

#include <Wire.h> //I2C protokoloaren bidezko komunikaziorako liburutegia

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //LCD pantaila kontrolatzeko liburutegia

float tenpKont=20; //hasierako kotsigna temperatura 20°C-tara ezarri

const int tenpKontIgoPin=9; //kotsigna temperatura igotzeko botoiaren irteera
    konekatuta dagoen pin digitalera adierazteko aldagaia

int tenpKontIgo=0; //kotsigna temperaturaren igotze aldagaia zerora ezarri

const int tenpKontJaiPin=8; //kotsigna temperatura jaisteko botoiaren irteera
    konekatuta dagoen pin digitalera adierazteko aldagaia
```

```
int tenpKontJai=0; //kontsigna tenperaturaren jaiste aldagaia zerora ezarri
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,4); //16 karaktereko eta 4 lerroko LCD pantailaren helbidea  
0x27-ra ezarri
```

```
RTC_DS1307 RTC; //RTC_DS1307 motako RTC aldagaiaren definizioa
```

```
union floatByte_t //aldagaia float eta byte array bezala ezarri
```

```
{  
    float f;  
    byte b[4];  
};
```

```
floatByte_t tenp;
```

```
floatByte_t kont;
```

```
void setup()
```

```
{  
    pinMode(tenpKontIgoPin, INPUT); //kontsigna tenperatura igotzeko botoiaren  
        irteerarekin dagoen pin digitala sarrera bezala ezarri  
    pinMode(tenpKontJaiPin, INPUT); //kontsigna tenperatura jaisteko botoiaren  
        irteerarekin dagoen pin digitala sarrera bezala ezarri  
    Wire.begin(); //Wire liburutegia hasieratu  
    RTC.begin(); //RTC modulua hasieratu  
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); //funtzio honen bidez sketch-a esta  
        funcion establecera en el modulo la fecha de creación del archivo .hex generado al  
        compilar el sketch.
```

```
Serial.begin(9600); //portu seriala 9600 baudiotara finkatu

lcd.backlight(); //LCD pantailaren argiztapena piztu

lcd.init (); //LCD pantaila hasieratu
}

void loop()
{
    kont.f=tenpKont;
    for (int i=0;i<4;i++)
    {
        Serial.write(kont.b[i]); //kontsigna tenperatura 4 bytetan banatuta bidali portu
        serialaren bidez
    }

    for (int i=0;i<4;i++)
    {
        tenp.b[i]=Serial.read(); //neurtutako tenperatura 4 bytetan banatuta jaso portu
        serialaren bidez
    }

    lcd.clear(); //LCD pantaila hustu, garbitu

    lcd.setCursor (0,0); //lehenengo ilaran lehenengo karakterean idazten hasi

    lcd.print("Tenperatura:");

    lcd.setCursor (13,0); //lehenengo ilaran hamairugarren karakterean idazten hasi

    lcd.print(tenp.f); //tenperaturaren balioa LCD-an agerrarazi

    lcd.print((char)223); //graduen sinboloa erakutsi
```



```
lcd.print("C");

lcd.setCursor (0,1); //bigarren ilaran lehenengo karakterean idazten hasi

lcd.print ("Kontsigna:");

lcd.setCursor (11,1); //bigarren ilaran hamaikagarren karakterean idazten hasi

lcd.print (tenpKont); //kontsigna tenperatura erakutsi

lcd.print((char)223); //graduaren sinboloa erakutsi

lcd.print("C");

lcd.setCursor (0,2); //hirugarren ilaran lehenengo karakterean idazten hasi

lcd.print ("Haizagailua:");

tenpKontIgo=digitalRead(tenpKontIgoPin); //9. pin digitalaren egoera logikoa irakurri

tenpKontJai=digitalRead(tenpKontJaiPin); //8. pin digitalaren egoera logikoa irakurri

if (tenpKontIgo==HIGH) //kontsigna tenperatura igotzeko pultsadorea sakatuta
{
    tenpKont=tenpKont+0.5; //kontsigna tenperatura gradu erdi igo
}

if (tenpKontJai==HIGH) //kontsigna tenperatura jaisteko pultsadorea sakatuta
{
    tenpKont=tenpKont-0.5; //kontsigna tenperatura gradu erdi jaitsi
}

if (tenp.f > tenpKont) //neurtutako tenperaturak kontsigna tenperatura gainditu
{
    lcd.setCursor (14,2); //hirugarren ilaran hamalagarren karakterean idazten hasi
```

```
lcd.print ("ON"); //haizagailua martxan dagoela adierazi
}

if (tenp.f <= tenpKont) //kontsigna tenperaturak neurtutako tenperatura gainditu edo
berdindu
{
    lcd.setCursor (14,2); //hirugarren ilaran hamalagarren karakterean idazten hasi
    lcd.print ("OFF"); //haizagailua itzalita dagoela adierazi
}

mostrarRTCLCD(); //RTC moduluko datuak irakurri eta ondoren display-an erakusten
dituen funtzioari deia

delay(1000); //tenperaturaren datua segundo oro freskatu LCD pantailan
}

void mostrarRTCLCD() //RTC moduluko datuak irakurri eta ondoren display-an erakusten
dituen funtzioa
{
    DateTime now = RTC.now(); //datuak RTC modulutik irakurri
    lcd.setCursor(10,3); //laugarren ilaran hamargarren karakterean idazten hasi
    lcd.print(now.year(), DEC); //urtea erakutsi
    lcd.print('/');

    if(now.month() < 10)
    {
        lcd.print("0");
    }
}
```

```
lcd.print(now.month(), DEC); //hilabetea erakutsi
```

```
lcd.print('/');
```

```
if(now.day() < 10)
```

```
{
```

```
    lcd.print("0");
```

```
}
```

```
lcd.print(now.day(), DEC); //eguna erakutsi
```

```
lcd.setCursor(0,3); //laugarren ilaran hirugarren karakterean idatzten hasi
```

```
if(now.hour() < 10)
```

```
{
```

```
    lcd.print("0");
```

```
}
```

```
lcd.print(now.hour(), DEC); //ordua erakutsi
```

```
lcd.print(':');
```

```
if(now.minute() < 10)
```

```
{
```

```
    lcd.print("0");
```

```
}
```

```
lcd.print(now.minute(), DEC); //minutuak erakutsi
```

```
lcd.print(':');
```

```
if(now.second() < 10)
{
    lcd.print("0");
}

lcd.print(now.second(), DEC); //segundoak erakutsi
}
```