



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO

INDUSTRIA INGENIARITZA TEKNIKOKO ATALA

SECCIÓN INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

# INDUSTRIA ELEKTRONIKAREN ETA AUTOMATIKAREN INGENIERITZAKO GRADUA GRADU AMAIERAKO LANA

2016 / 2017

ENTZUMEN URRITASUNA DUTEN PERTSONEI ZUZENDUTAKO SOINU-  
-SEINALEEN SISTEMA ANTZEMALE/ ADIERAZLE BATEN DISEINU ETA  
INPLEMENTAZIOA

## 1. MEMORIA

### IKASLEAREN DATUAK

IZENA: IGOR

ABIZENAK: LLONA AGIRRE

SIN.:

DATA: 2017/04/25

### ZUZENDARIAREN DATUAK

IZENA: NEKANE

ABIZENAK: AZKONA ESTEFANIA

SAILA: TEKNOLOGIA ELEKTRONIKOA

SIN.:

DATA: 2017/04/25

## **AURKIBIDEA**

1. Sarrera
2. Proiektuaren Helburua eta Irismena
3. Proiektuaren Deskribapena
4. Aurrekariak
5. Alternatiben Analisia
6. Aukeraketa Irizpideak
7. Memoria Deskriptiboa
8. Proiektuaren Jarraitutasuna
9. Bibliografia

## 1. SARRERA

Teknologiaren garapenak, norbere proiektuak bideratzerainoko aukera eskeintzen digunaren abiapuntu horretatik hasiko da lan honen planteamendua.

Bestalde, egungo gizartean behar besteko aipamenik ez duten kolektibo ugarien artean, entzumen urritasuna pairatzen duten pertsonen zuzendutako baliabide gisa ondorengo ideia aurkezten da: ume txikien arduradun diren entzumen gabezia duten pertsonen bideratuta, konponbiderik legoke umeen negarra antzematea ahalbidetzeko?

Aurreko galderari erantzuteko, teknologiaren abantailaz baliatzea eta arazo praktiko bati konponbide bilatzea helburu berean uztartu ditzakegu.

## 2. PROIEKTUAREN HELBURUA ETA IRISMENA

Lan honen helburua beraz, soinu seinaleen eskuraketaz, tratamenduaz eta gerora beharko diren irteerak sortzeaz arduratuko den sistema-elektronikoa garatzea izango da.

Bestalde, proiektuaren izaera praktiko intrinsekoaz gain, lan honen egitasmoa ez da ezagutza teknikoetatik abiatuta sistema funtzional bat eraikitzea solik mugatuko.

Ezer baino lehen, sistemaren inplementazioan parte hartuko duten oinarri teorikoen azterketa sakona egingo da. Honekin, helburu orokorraz aparte zeharkako beste ezagutza espezifikoak landuko dira:

- Soinu uhinen (uhin mekanikoak) izaera; portaera fisikoaren azterketa.
- Seinaleen tratamendurako dispositibo elektronikoen azterketa.
- Zirkuitu integratuen erabileraren abantailak, bereziki mikrokontrolagailuen ( $\mu C$ ) ezaugarriak.
- Instrumentazio elektronikoen ikuspegitik, dispositibo elektronikoen ezaugarrien azterketa (mikrofonoak, iragazkiak, ADCak, komunikazio moduluak, etab.).
- Mikrokontrolagailuen programazioa.

Aurrekoaz gain, industria elektronikoa eta automatikaren ingeniariaren profilarri dagozkion gaitasunak frogatuko dira:

- Dispositibo elektronikoaren bukaerako funtzionalitatea bermatzeko, behar besteko baliabideen aukeraketa egokia burutzea.
- Sistemaren diseinuaren arrazoitzea.
- Sistemaren inplementazio, funtzionamenduaren aztertze eta doiketa.
- Proiektu tekniko baten defentsarako, nahitaezkoak diren idatzizko dokumentuen aurkezpen egokia.
- Proiektuaren ahozko defentsarako, ingeniariaren ezagutzak adierazi eta komunikatzeko gaitasuna.

### **3. PROIEKTUAREN DESKRIBAPENA**

Proiektu honetan, umeen negarrak antzeman, prozesatu eta gerorako bistaratzeaz arduratuko den sistema elektronikoa eraikitzean datza. Funtzionaltasun zabalduko urrutiko *vumetro* digital bat inplementatuko da.

Funtzionalitatearen arabera, proiektua gerora garatuko diren hiru atal edo bloke nagusitan bereizi daiteke. Dokumentu hau jarraituko duten hurrengo ataletan, hala nola alternatiben analisisian dagokion atalean, bloke egitura hau mantenduko da.

- **SEINALEAREN ESKURATZE ETA EGOKITZEA**

Lehen etapa honetan, uhin mekaniko baten harrera eta gerora prozesatuko den seinale analogikoaren atontzea egingo da.

- **PROZESAMENDUA ETA KONTROLA**

- i. Aurretik egokitutako seinale analogikoaren antzematea, laginketa eta kuantifikazioa.

- ii. Informazioaren transmisioa.

- **BISTARATZEA/ OHARTARAZTEA**

Informazioa ohartazi eta ikuskatu.

### **4. AURREKARIAK**

Egun badira vumetro digital bat inplementatzeko aukera ezberdinak eskeintzen diguten hardware/software plataformak. Hala ere, proiektu hau ezintasun bat duten pertsonen bizi kalitatea hobetzeko aukera lez planteatu da, eta berezitasun horren aldetik, gutxi dira helburu berberarekin aurrez egindako saiakuntza komertzialak, eta gutxiagoak, hutsak alegia, erabiltzaileak berak egin ahal izateko existitzen diren diseinuaren aurrekariak.

## 5. ALTERNATIBEN ANALISIA

- SEINALEAREN ESKURATZE ETA EGOKITZEA

### SARRERA

Soinu uhinak, uhin mekaniko elastikoen artean sailkatzen dira. Beste modu batera, medio elastiko eta jarrai batetik transmititzean presio eta dentsitate aldeketak eragiten dituzte. Lan honen interesarako, uhinen propagazio media airea izango da. Aire-presioak jasandako oszilazioak antzemateko, energia akustikoa energia elektrikoan eraldatuko duen transduttore elektroakustiko bat erabiliko da, hau da, mikrofono bat.

#### Giza ahotsa

*Giza komunikazioan, ahotsa 250 Hz ko eta 3000 Hz-ko bitarteko maiztasuneko uhinen tartean aurkitzen da, naihiz eta kasu partikularretan 4000Hz eta 8000Hz-etako maiztasunera hel daitekeen. Bestalde gizonezko ahotsaren oinarritzko frekuentzia osagaiaren batazbestekoa ( $F_0$ ) (100Hz-200Hz) tartean dago, emakumezkoen kasurako berriz (150Hz-300Hz) tartean.*

***Umeen negarren kasuan 400Hz- 600Hz tarteko balioak ditu oinarritzko maiztasunak ( $F_0$ )***

*Ahotsaren transmisioa ulergarria gerta dadin ez da banda zabalera osoa transmititu behar; hortaz, egungo telefono gehienak 400Hz eta 4KHz-ko tartean iragazten dituzte soilik.*

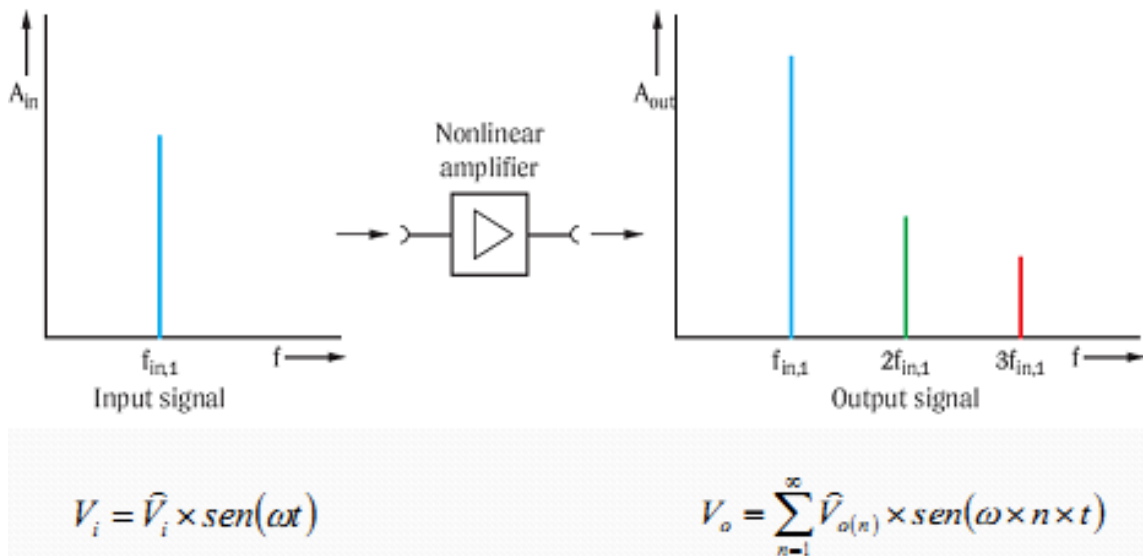
## ALTERNATIBA

### Mikrofonoak

Aireko presio-uhinak seinale elektriko analogikoetan eraldatzeaz arduratzen diren sentsoareak/ transduktoreak dira.

Magnitudee fisikoaren eraldaketarako erabiltzen duten mekanismoaren arabera, mikrofono mota ezberdinen sailkapena egin daiteke: induktibo (*dinamikoak*), kondentsadore bidezkoak, piezoelektrikoak, etab.

Mikrofono orok bere egituraren arabera, bestelako ezaugarriak izango ditu; honela batzuek maiztasun banda zabalagoa antzemango dute, sentikortasun altuagoa beste batzuek (seinalearen anplitude aldakuntza txikiagoetara egokitzeko), distortsio txikiagoak seinalearen anplitude maila bererako (*Total Harmonic Distortion* edo \*THD txikiagoa voltaia zehatz baterako), batzuek besteak baino iraunkorragoak, hauskorragoak, etab.



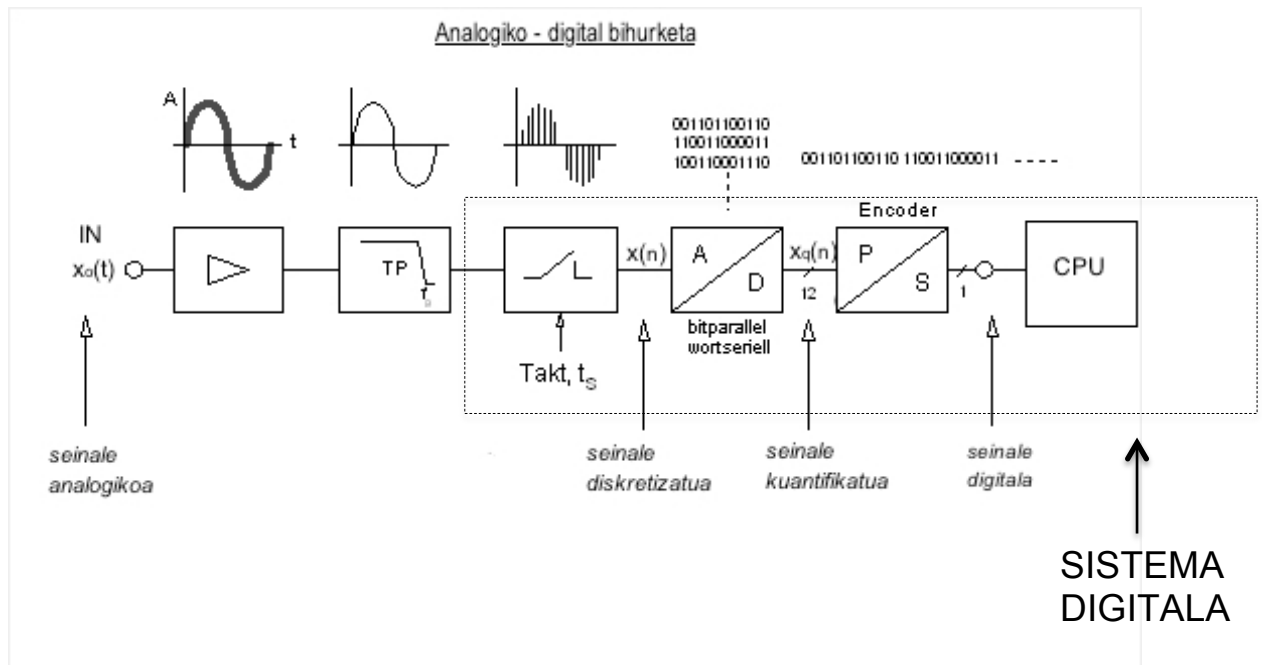
5.1. Irudia. \*THD gertaera (1)

- PROZESAMENDUA ETA KONTROLA

*i. SEINALEAREN ANTZEMATEA, LAGINKETA ETA KUANTIFIKAZIOA*

### SARRERA

Transduktoreen irteerako seinale-elektiko analogikoaren prozesaketa bloke honetan gertatzen da. Seinale analogiko baten tratamendurako, hau da, seinale analogikotik-seinale digitalera bitarteko trantsizioan, hurrengo prozesu nagusiak bereiziko dira: harrapaketa (iragazte etapak beharrezkoak balira), ondorengo laginketa ( "Sample and Hold " S&H zirkuituen erabilera ) eta azkenik kodeketa/kuantifikazio prozesua ( ADC analogiko digital bihurtailuen zeregina). Hurrengo irudiak analogiko-digital bihurtetaren hurbilketa erakusten du.



5.2. Irudia. Analogiko-digital bihurteta (1)



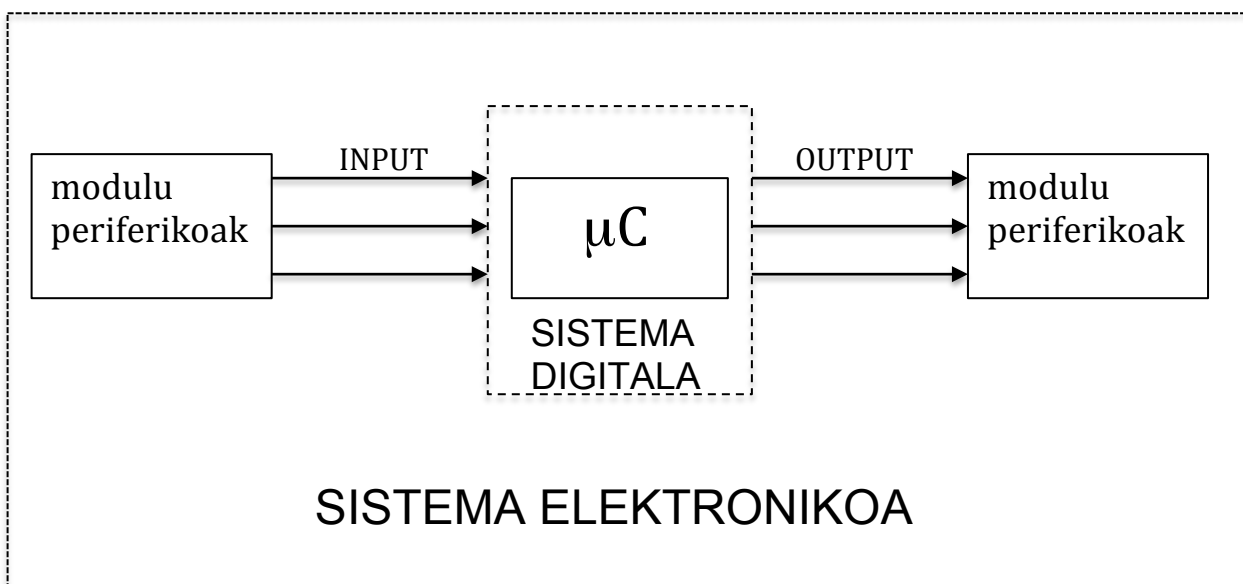
Aurrera egin baino lehen, eta goiko irudiak gaizki ulerturik sortu ez dezan, hemendik aurrera **sistema digitalei** erreferentzia egitean, inplizituki *sistema digital sekuentzialetaz* arituko gara. Jakina denez, sistema digital sekuentzialak, sistema konbinazionalak ez bezela, memoriadun sistemak direnez gero, malgutasun handiagoa eskeintzen dute; konplexutasun altuagoko proiektuen bideragarritasuna ahalbidetzen duena. Halaber euren artean egoera finituz osatutakoak (EFM *egoera finituko makinak*) eta egoera infinitukoak (konputagailu kuantikoak esaterako) bereiziko dira. Gure lanaren kasurako, egoera finituko sistemen zentratuko gara, mikroprozesadoreetan ( $\mu P$ ) oinarritzen direnak hain zuzen. Gainera, mikroprozesadoreetan oinarritutako sistemen artean hurrengo bereizketa egin daiteke (prozesamendu eta kontrolerako beharren arabera):

- **Mikrokonputagailuak/konputagailuak.** Helburu orokorreko sistemak kudeatzeko erabiliak, kalkulu konputazional zorrotza behar dituzten zereginetan, hala nola: prozesamendu grafikoa, programa astunen diseinu zein erabilera. Berezko sistema eragileen bidez kontrolatuak. Aurreko definizioaren eredurik paradigmaticoena, gure eguneroko edozein ordenagailu pertsonal izan daiteke.
- **Sistema txertatutak (*embedded systems*):** Helburu jakin edo betebeharrak zehaztarako diseinatutako sistemak. Prozesamendu eta memoria ahalmen mugatukoak, sistema eragile bereziak (software txertatuaren erabilera), errekurtsio mugatu eta kontsumo txikiaren beharra, denbora errealeko aplikazioetarako baliagarriak, ekonomikoki bideragarriak, etab. (Adibide bezela, egun garatuen dauden sistema txertatuak SoC, *Sistem-on-chip*, itxurakoak dira)

Proiektu honen izaera dela eta, zeregin zehatz baterako hutsetik garatutako sistema-elektronikoa den heinean, sistema digital txertatuen erabilera abiapuntutzat hartuko da. Horrela, lan honetan, sistema digitalaren lekuko, mikrokontroladore ( $\mu C$ ) bat hautatuko da.

Izatez, mikrokontroladoreek aukeraketa logikoa eskeintzen dute gure sistemaren gisako betekizun espezifikoetara zein potentzia edo kontsumo txikiko aplikazioetara bideratutako gehiengo sistemen **kontrolerako** ('mikrokonputagailu txikien' antzera alegia).

*Sistemaren diseinua zehazterako orduan, lan kargarik handiena kontzentratuko duen atala, baita proiektuaren mugak baldintzatuko dituena ere, mikrokontrolagailuaren aukeraketa justifikatua izango da.*



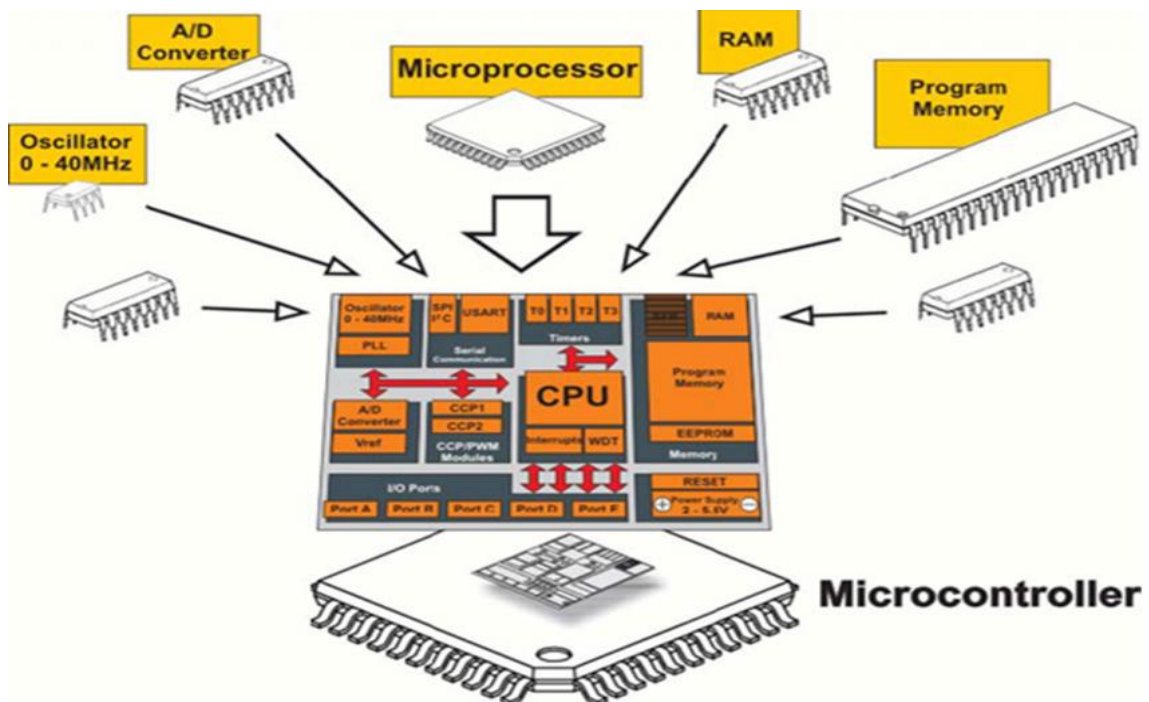
### 5.3. Irudia. Sistema elektronikoa (1)

Irudian ikus daitekeenez, prozesamendu zorrotzaz ezezik, sistema osoaren **kontrola** kudeatzeaz arduratuko da mikrokontrolagailua; seinale analogikoaren laginketa egitetik, komunikazio modulu periferikoetara informazioa bidaltzeraino.

Hain garrantzizkoa izanik, mikrokontrolagailuen arkitekturaren ikuspegi orokorra aipatzea komeni da, osagai nagusiak bereiziz:

- CPUa (Central Process Unit). Instrukzioak (eragiketa aritmetiko eta logikoak) modu sekuentzian exekutatzen dituen bloke funtzionala da. Mikrokonputagailuetan μP-a da CPU-a
- Memoria. Informazioa biltegitzeko.
  - Programa memoria, instrukzioentzat, (ROM, EPROM, EEPROM,..) . Biltegitatze iraunkorrerako.
  - Datu memoria, (RAM, *caché*...) motakoak. Exekuziorako memoria nagusia; orokorrean erdieroalezko memoria lurrunkor eta ausazko atzipenezkoa.

- I/O atakak. Kanpoko munduarekin komunikatzeko
- Busak: informazioa (seinale elektrikoak) beste osagaietara transmititzeko pistak.
  - Helbide busa
  - Kontrol busa
  - Datu busa
- Bestelako moduloak: ADC-ak, UART komunikazio kontrolagailuak, etab.



5.4. Irudia. Mikrokontrolagailu baten arkitektura sinplifikatua (1)

## ALTERNATIBAK

Aurreko atalarekin lotuta, badira mikrokontrolagailuetan oinarritutako plataforma ezagunak, aurrez ensanblatutako *board* edo plaketan aurkeztuak, gure sistema inplementatzeko adina baliabide eskeintzen dituztenak.

Proiektu honek berezko helburu akademikoaz gain, sistema funtzional bat inplementatzean oinarritzen denez, merkatuak eskeintzen dituen aukera anitzak aztertuko dira, zenbait irizpideren arabera. Ondoren beraz, hardware aske zein lizentziapeko alternatiba aipagarrien analisia egingo da, betiere kontuta izanik bukaerako dispositiboak ez duela inongo helburu komertzialik bilatzen.

### Arduino

Arduino zer den definitzeko hiru aspektu kontzideratu ditugu:

- Mikrokontrolagailu erreprogramagarri bat eta honen irteera/sarrera atakak (kanpoko sentsore zein beste moduluekin konektatzea ahalbidetzen digutenak) integratzen dituen hardware askeko plaka (PCB *printed circuit board*) bat da. Mikrokontrolagailuaren arkitektura Atmel etxeak garatutako AVR motakoa da.
- Software askea eta doakoa erabiltzeaz gain, berezko IDEa (garapen ingurunea) eskeintzen du plataforma ezberdin eta garrantzitsuenen sistema eragileekin bateragarria dena (Windows, Mac OS, Linux,...). Honez gain, Arduinon oinarritutako proiektuak autonomoak izan daitezke; hau da, behin mikrokontrolagailua programaturik dagoen, kanpo elikadura iturri baten beharra baino ez da izango.
- Berezko programazioa lengoia askea eta irekia erabiltzen du (betiere, programazioa lengoia, instrukzioak kudeatzeko maila altuko lengoia bezala ulertuta, geroago konpilazio bidez makina lengoia itzuliko dena) nahiz eta, beste programazio lengoia ezagunetatik eratorritako eskema intuitiboa jarraitzen duen (baldintza blokeak, iterazio begiztak, aldagai zein funtzioen deklarazioak,...).

Arduinoren hardwarea, 2003 urtean ikasle batek proiektu pertsonal gisa garatutako *Wiring* delako hardware askeko beste plaka batetan oinarritzen da. Paraleloki, garapen ingurunea eta programazio lengoia, aurrez sortutako *Processing* IDE askean oinarritzen dira. Hala ere *Processing Java* lengoian kodeturik dagoen bitartean, Arduino *C/C++* en oinarritzen da.

Arduino 2005ean Ivrea-ko (Italia) Diseinu Instituto Interaktiboan sortzen da, hardware eta softwarea bateratzen dituzten prototipo elektronikoen eraikuntza errazteko, plataforma irekiko egitasmo bezala.

Badira, goiko ezaugarrietaz aparte, Arduino plataformak eskaintzen dituen beste abantailak. Azpimarragarrienetakoa Arduinoren izaera intrintseko askea eta irekia direla eta, beren hedapenak mundu mailan izan duen harrera. Erabiltzaile komunitate handia edukitzeak, hardware zein softwarearen, baita programazio lengoaiaren, hobekuntza ahalbidetzearekin batera, zabaltze ugari betetako ekosistema eratu du. Honi esker, zeregin espezifiko sistemen diseinurako aproposagoak diren modulu edo *board* bateragarriak garatu dira. Softwarearen aldetik, ordea, aplikazio zehatzetarako *liburutegien\** inplementazioa daukagu.

*\*Liburutegiak: Instrukzio multzo exekutagarriak dira. Zeregin jakinak burutzeko aurrez diseinatutako instrukzio multzoak, hain zuzen; hardwarearen eta softwarearen arteko elkarrekintza kudeatzeko lana errazten dutenak.*

*Liburutegien erabilerak, zenbait proiektu espezifikoetan, hardwarearen ezaugarri oso zehatzak ikertzeari eskeini beharreko denbora aurrezten digu. Honek batzuetan, sistemaren errekurtsoen optimizazioa suposa lezake ere.*

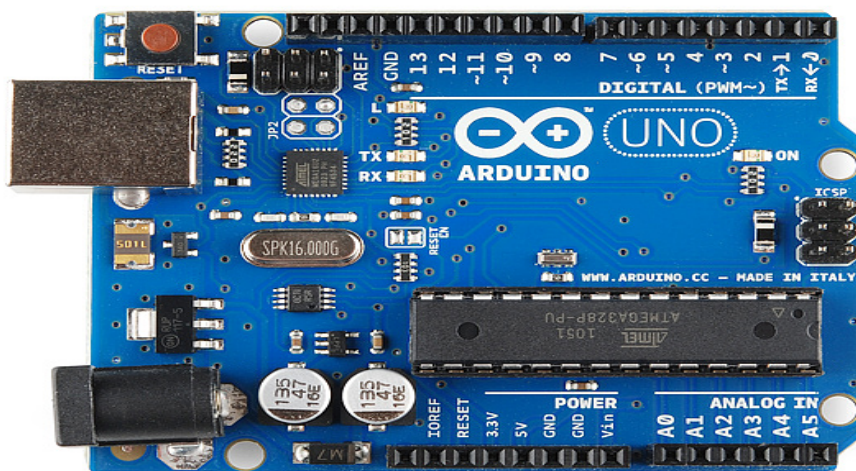
*(Adibe gisa: motorren kontrolari dagokionean, aurredefiniturik dauden liburutegi ugari existitzen dira)*

## Arduino UNO

Arduino Uno plaka elektronikoa, Atmega328 mikrokontroladorean oinarritzen da. 14 sarrera/irteera digital ditu (horietako 6 PWM, *Pulse-width modulation*, irteera bezala erabili daitezke), 6 sarrera analogiko, 16 MHz-ko kuartzo osziladorea, 8 bit-eko erregistroak, 5V-eko tentsioan lan egin dezake, USB konexioa, elikadura konektorea, ICSP (*In circuit serial programming*) konektorea eta *reset* (berrabiarazte) botoia. Plakak, mikrokontrolagailua abiarazi eta kudeatzeko osagai eta modulu nahikoak eskeintzen ditu. *Plug and play* eredua jarraituz, nahikoa da USB kable batez ordenagailura konektatzea, edota saretik AC-DC egokitzaile batez nahiz kanpo iturri batez (bateria bat alegia) elikatzea.

ATmega328P-a ren DIP motako kapsulatua, honek mikrokontroladorea matxuratu ezker, erraz aldatu ahal izatea ahalbidetzen du; betiere plakak bere jatorrizko funtzionaltasuna berreskura dezan, behin osagai matxuratua beste berri batengatik ordeztuta.

"Uno" izena (italiar jatorria) Arduino Software (IDE) 1.0. bertsiotik dator. Egun, Arduino plaka ofizial ezberdinen eskaintza izugarri handitu delarik, Arduino Uno plaka, USB konexioa integratzen duten plaken artean, plataforma ezagutzeko sarrerako produktu gisa kokatzen da.



5.5. Irudia. *Arduino Uno* (1)



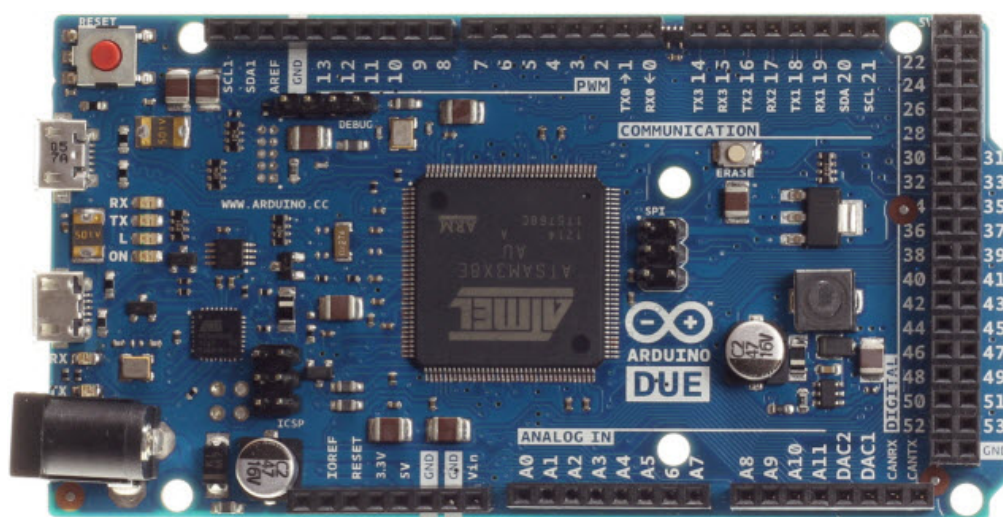


### Arduino DUE

Arduino Due plakak SAM3X8E mikrokontroladorea integratzen du, zeinek ARM cortex-M3 CPUa erabiltzen duen. Prozesadore honek ARM motako nukleoa du, 32-bit eko erregistroen arkitekturarekin eraikia. Beraz, Arduino Due plakak , 32 biteko CPUa duen mikrokontrolagailuaren berezitasuna du, gainerako plakekin alderatuta. (32 bit-eko intrukzioak kudeatzeko gaitasunak, prozezamendu konplexuagoko aplikazioak ahalbidetzen ditu).

Due plakak gainera, 54 sarrera/ irteera pin (horietako 12 PWM irteera moduan erabilgarriak), 12 sarrera analogiko, 4 UART (serie ataken eta komunikazio kontrolerako unitatea), 84 MHz-eko osziladorea, USB On-The-Go konexio aukera, 2 DAC (*digital to analog converters*), 2 TWI ( $I^2C$ ) komunikazio protokolo interfazeak, jack motako elikadura konektorea, SPI konektorea, JTAG konektorea (JTAG interfazerako, arazketa ahalbidetzeko), *reset* (berrabiarazte) eta *erase* (flash memoriaren edukia ezabatzeko) botoiak.

*Oharra:* Arduino plaka gehienak ez bezela, Arduino Due-a 3.3v-eko tentsioa erabiltzen du. I/O pinak jasan dezaketen tentsio balio maximoa 3.3v-ekoa denez, tentsio balio handiagoak aplikatzeak, atakak eta plaka hondatu ditzake.



5.6. Irudia. Arduino Due plaka (1)

## **Raspberry Pi**

Raspberry Pi plaka, izen bereko fundazioak Erresuma Batuan garatutako kostu txikiko plaka-konputagailua (SBC, *single board computer*) da. Konputagailuen zientzia ikastetxeetara hedatzeko helburuarekin sortzen da. Hardware erregistratua eta software askea erabiltzen ditu plataformak.

Diseinuak *System-on-chip* motako Broadcom BCM2835 zirkuitu integratua du, hau ARM1176JZF-S prozesadore zentralan (CPU) oinarritzen da, zeinek 700 MHz-tan funtziona dezake (berezko firmwareak *overclocking*-a egitea ahalbidetzen du, bermerik galdu gabe, prozesadorearen exekuzio abiadura 1 GHz-taraino eramanez "*Turbo moduak*" konfiguratzeko). Txipak gainera Video Core IV prozesadore grafikoa (GPU) eta 512 MB-eko RAM memoria integratzen ditu. Diseinuak ez du disko gogorrik ezta egoera solidoko unitaterik (SSD) integratzen, ordez, SD txartel bat erabiltzen du biltegitratze iraunkorrerako. Kanpoko elikadura iturriaren beharra du.

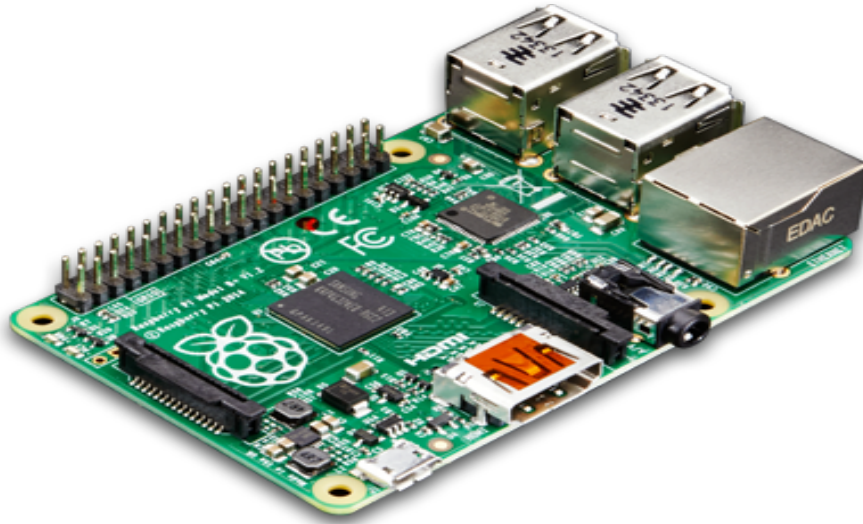
Raspberry plakaren bi modelo (A eta B) merkaturatzen dira. Funtsean berdinak, A modeloak, USB konexio bakarra du. B modeloak aldiz, USB konexio bi ditu eta Ethernet 10/100 Mb-eko kontroladorea gehitzen du. Prezioaren aldea honetan datza.

Modelo bietan teklatuak edo saguak bezalako periferikoak konekta daitezke USB portuaren bidez. A modelotan ordea, USB egokitzaila bat konektatu daiteke Wi-Fi seinaleak hartzeko eta honela hari gabeko sareetara eta Internet sarera sarbidea izateko.

Dispositibo hauek duten traba nagusia barne erloju falta da, horregatik dispositiboak ordua eskatuko du pizten denean. Badaude modulu batzuk denbora errealeko erlojua gehitzen dutenak.

Hasiera batean Raspberry plakek 256 Mb-eko RAM memoria zuten (128 Mb CPU-arentzat eta 128 Mb GPU-arentzat) baina memoria urria zen hainbat zereginetarako. Egun ordea 512 Mb-eko RAM memoria dute eta nahi den konfigurazioa aukeratu daiteke CPU eta GPU-aren artean memoria banatzeko.

Dispositibo hauek GPU-aren erabilerarako cache memoria bat dute, 128 kB dituena. Erabilitako arkitekturaren ondorioz, ARM-en 6. bertsioa, zenbait Linux sistemek, Ubuntu sistema eragilea akaso, bateraezintasunak aurkezten dituzte.

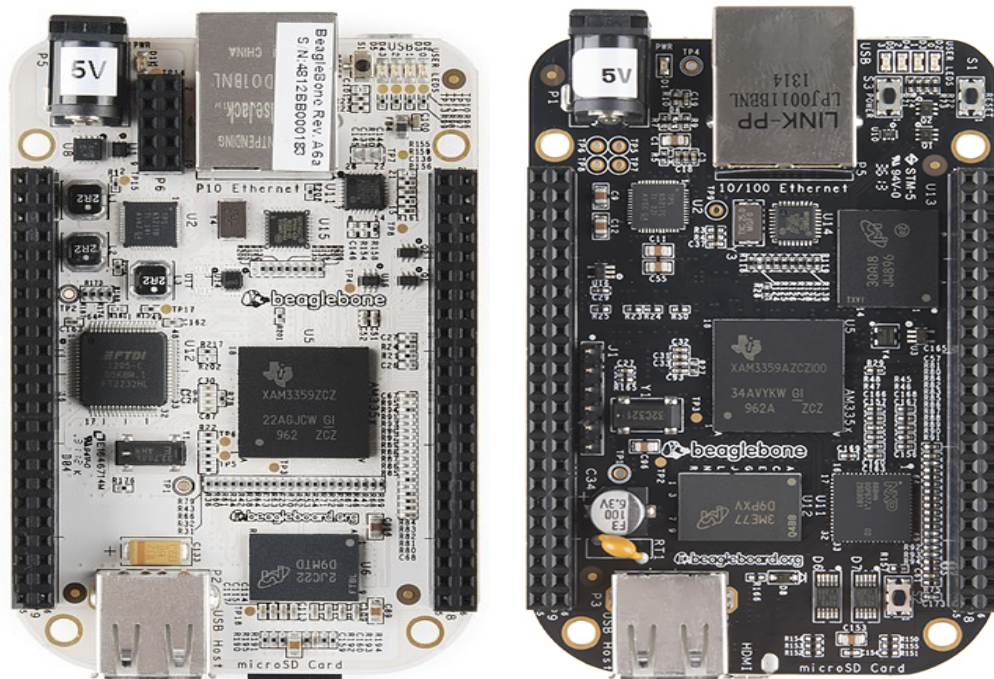


5.7. Irudia. *Raspeberry Pi* (1)

### **BeagleBoard/Bone familiak**

BeagleBoard *Texas Instruments*-eko (TI) langileek, *Digikey* eta *Newark element14*-rekin elkarlanean diseinatutako hardware askeko eta kontsumo murriztuko plataforma elektronikoa bat da. Jatorriz *Texas Instruments*-eko OMAP3530 sistema txertatuaren prozesamendu potentziala eta ahalmena erakusteko ideia lez garatu zen.

TI-ko ingeniari talde batek kode irekiko software eta hardware askearen abantailak hedatzeko asmoz, lehen BeagleBoard plaka-konputagailua sortzen dute. Plaka OrCAD (eskema elektrikoaren diseinurako softwarea) eta Cadence Allegro (PCB-en produkzioarako) erabiliz eraiki zen.



5.8. Irudia. *BeagleBone eta Beagleone Black (1)*

## BeagleBone

Beagle bone 2011.urtean merkatura ateratako eta Linux sistema eragilearen gainean eraikitako 'konputagailu'- plaka da. Kreditu txartel baten tamainarekin, Internetera konektatzeko prestaturia, Ubuntu eta Adroid 4.0 sistema eragileak kargatu eta ingurune hauen softwarea maneiatzea ahalbidetzen du.

I/O anitzak ditu eta AM335x 720MHz ARM prozesaroreak eskeintzen duen prestakuntzei esker (2x PRU, *programmable real-time unit*, 32-bit RISC, *reduced instruction set computer*, CPUak, 256MBeko DDR2 RAM '*caché memoria*', 3D grafikoak mugiarazteko optimizaketa, etab.) egokia da denbora errealeko datuen analisirako.

Konektibitateari dagokionez: 2x46 I/O pin, Ethernet, USB bidezko zerbitzari/ bezero portaera, etab. gehiago.

BeagleBone plakarekin lan egiteko, modulu periferiko berezien implementazioak existitzen dira. Modulu hauetako batzuk (3.5"ko eta 7"ko LCD *touchscreen* pantailak

kudeatzeko moduluak, DVI-D, Brekaout boards, CAN modulua, RSI-232 modulua, esaterako.) BeagleBone plakari gainezarri dakizkieke.

### **BeagleBone Black**

BeagleBone-aren bertsio eguneratuagoa. USB konexio bidez Linux, Android eta bestelako HLOS-ak (*high level operating systems*) kargatu daitezke. AM335x  $\mu$ P-a erabiltzen du, 1GHz -ko ARM® Cortex-A8 prozesadorean oinarritzen dena. ARM-aren nukleotik bereizitako MRU eta PUR (*Programmable Real-Time Unit: RISC, reduced instruction set computer*, teknologiaz baliatzen den nukleo berezia) unitateak edo azpisistemak ditu, prozesamendu karga arintzen laguntzen dutenak. Unitate hauek berezko erloju independenteak erabiltzen dituzte eta  $\mu$ P zentralari zama kentzeko diseinaturik daude; kasurako, etenduren kudeaketa independentea eginez denbora errealeko erantzuna hobetuz, PROFINET, PROFIBUS, Ethernet Powerlink eta bestelako protokoloen kudeaketaz arduratuz, eta beste hainbat funtzio betez.

Ezaugarri bereziak: 512MB DDR3 RAM, 4GB 8-bit eMMC *on-board flash storage*, 3D *graphics accelerator*, NEON floating-point accelerator, 2x PRU 32-biteko mikrokontrolagailuak...

## **Bestelako aukerak**

Badira egun merkatuan sistema txertatuetan oinarritutako plataformen zerrenda txit luzeak. Orain arte ikusi den bezela, gehienak, mikrokontrolagailuten oinarritzen diren plakak edo PCB-ak diseinatzen dituzte, funtzionaltasuna gehitzeko balio duten modulu ezberdinak gaineratuz (fabrikatzailearen arabera) .

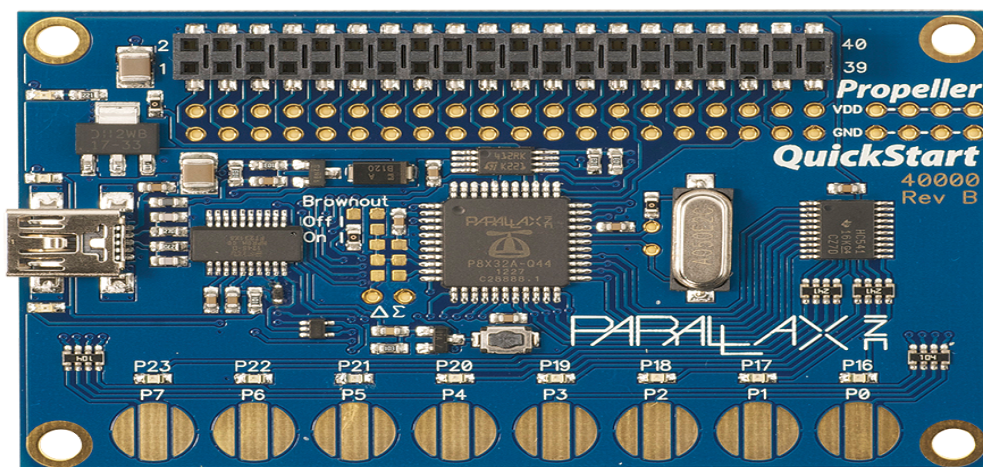
### **Parallax Propeller P8X32A**

Parallax Inc. 1987an Californian sortutako mikrokontrolagailuen eta hauentzako osagaien manufaktura-industria. Egun Propeller P8X32A  $\mu$ C-an inguruan eraikitako plakak eskeintzen ditu (*P8X32A QuickStart board*-a adibidez).

P8X32A-a zortzi nukleoko, *cogs* deituak, egitura du, bus kontrolagailu batek (*Hub*) kontrolatzen dituena. Denbora errealeko aplikazioetara enfokatuta dago (32-bit luzerako instrukzioak prosezatzeko gaitasuna). Programaziorako: C lengoaia , mihiztadura lengoaia, eta azkenik, Parallaxek sortutako *Spin*, maila altuko lengoaia eta garapen askekoa, erabili daitezke.

*P8X32A QuickStart* plakak ondorengo prestakuntzak gehitzen dizkio mikrokontrolagailuari: USB bidezko elikadura, 32 I/O pinetarako zuzeneko konexioa (baita Vdd eta Vss-ra), 5 MHz-eko kristala, USB-ra akoplatutako 3.3 V-eko tentsio erregulatzailea 500 mA-ko intentsitate limitearekin, 64 kB-eko EEPROM-a (32 kB mikrokontrolagailuaren programa memoriarako eta gainerakoa erabilera librerako), *sigma/delta* motako kanpoko ADC bihurgailuak erabiltzeko zirkuitu egokituak, komunikaziorako (USB,  $I^2C$ ,...), kanpotiko *Brownout Reset* gertaera programatzeko aukera, etab.

Fabrikatzaile ezberdin gehiagoren antzeko dispositiboak aztergai izan dira era: (*LinkIt One, Wio Link*,...)



5.9. Irudia. Parallax Propeller P8X32A QuickStart (1)

## Microchip familiako PIC kontrolagailuak

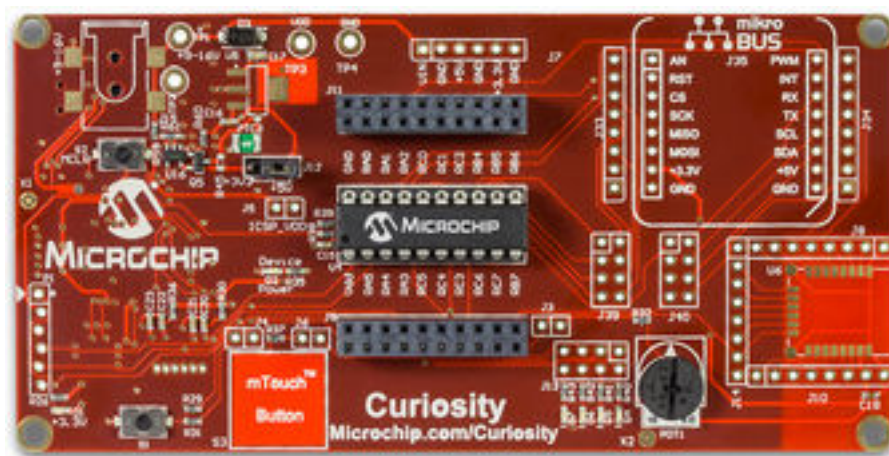
Microchip Technologies mundu mailako multinazionala da. 1985. urtetik egunerarte PIC familiako mikrokontrolagailu ospetsuen asmatzaile izanagatik arrakasta lortu du. Egun 8-bit eko PIC10, PIC12, PIC16, PIC18 mikrokontrolagailuen familatik hasita, 16-bit eko dsPIC33 / PIC24 eta 32-bit eko PIC32 familiako dispositiboak merkaturatzen ditu.

Egun gainera, *development board* deritzoten garapen plakak eskura daitezke, zeinen bidez mikrokontrolagailuarekin kudeatu daitezkeen era askotariko modulu periferikoekin interakzioa errazten den, horrela sistema konplexu askoren funtzionalitatea xafla bakarrean integratuta dagoelarik.

Esandakoaren adibide hurrengo garapen kit-ak proposa daitezke, beste askoren artean:

**Curiosity Development Board (DM164137) (8-bit)**

Plaka honen 8, 14 eta 20 pinetako 8 bit-eko MCUak onartzen ditu, zeinek voltaia txikiko programaziorako proposak diren. 8 bit-eko MCU-aren adibide bat PIC16F1619 litzateke (10 bit-eko ADC-a eta 10 bit-eko 2x PWM moduluak bezalako ezaugarriak dituena).



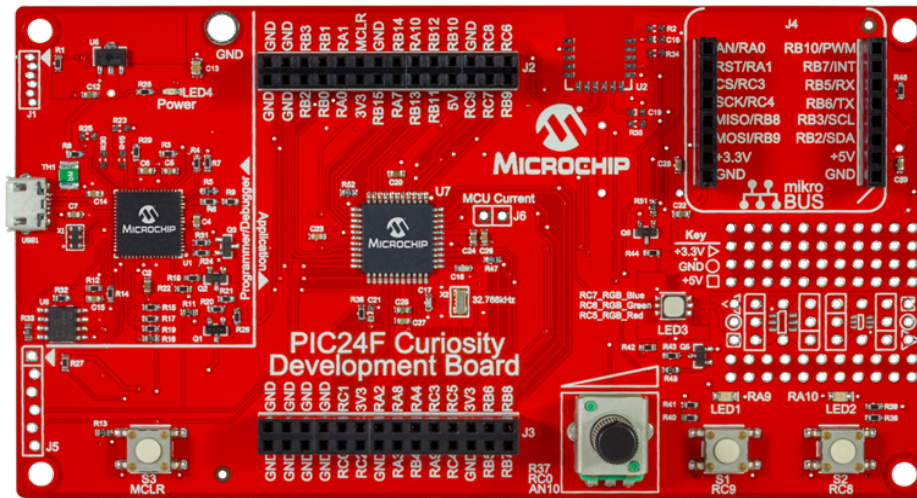
5.10. Irudia. *Curiosity Board (1)*

**PIC24F Curiosity Development Board (DM240004) (16-bit)**

PIC24F Curiosity Board-a kostu txikiko garapen plataforma da programatzaile bat eta arazle bat integratzen dituena. MikroBUS interfazearen bidez erraz hedatu daiteke beste plaka, modulu edo hardware dispositiboetara konektatuta, diseinu ezberdinak implementatzeko aukera errazteko. (Funtzionarazteko ez da bestelako hardwarerik erabili behar; gainera, programaziorako adibide gisa erabili daitezken kodeekin aurre kargaturik dator).

Plaka honek PIC24FJ128GA204 eXtreme Low Power (XLP) dispositiboa (MCU-a) dakar. Mikrokontrolagailu honek 128 kB Flash memoria eta periferiko ugari integratzen ditu (16 bit-eko 5 Timer, 10/12 bit eta 12 kanaleko ADC-a, Input Capture, Output Capture/ PWM moduluak,...) PIC24F familiarekin bateragarriak direnak.





5.11. Irudia. *PIC24F Board (1)*

Puntu honetan, orain arte aipatutako zenbait aukeren artetik, gure sistemaren oinarri izango den plataforma aukeratuko da. Hori dela eta, laburpen bezala, lagungarria izan daiteke ondorengo taulak sintetizatzen dituen dispositibo ezberdinen ezaugarri nagusien arteko konparaketa. (Ikusi hurrengo orrian)

		Devices			
Platform		Arduino	Propeller	Beagle Board	Raspberry Pi
	Variant	Uno	PropStick	Rev. C4	Model-B
<b>Software</b>					
	Operating System	-	-	Android, Linux, Windows CE, RISC OS	Linux, RISC OS
	Dev. Environments / Toolkits	Arduino IDE, Eclipse	Propeller/Spin	Eclipse, Android ADK, Scratchbox	OpenEmbedded, QEMU, Scratchbox, Eclipse
	Programming Language	Wiring-based (~C++)	Spin / Propeller Assembly	Python, C, etc.	Python, C, possibly BASIC
	Architecture	8Bit	32Bit	32Bit	32Bit
<b>Hardware</b>					
	Processor	ATMEGA328	P8X32A-M44	TI DM3730 (ARM)	BCM2835 (ARM)
	Speed	16Mhz	20kHz/12Mhz (Internal) or 4-8Mhz external	720Mhz	700Mhz
	RAM	2Kbyte	32Kbyte	256MB	256MB
	ROM	32Kbyte	32Kbyte	256MB Flash	SD
	I/O (various protocols)	14	32	22 (on expansion header)	8
	ADC	6	-	internally used	internally used
	USB	-	-	1 x 2.0	2 x 2.0
	Audio	-	-	Stereo In/Out	Stereo Out, In w/ USB mic
	Video	-	VGA, NTSC or PAL	DVI-D, S-Video	HDMI, NTSC or PAL
	Misc.	Many shields available for added capability	8 processors for parallel tasking	SD/MMC, RS-232, JTAG, USB OTG, LCD	SD, 10/100 Ethernet, JTAG
Price		27.5 €	50 \$	45 \$	40-45 \$

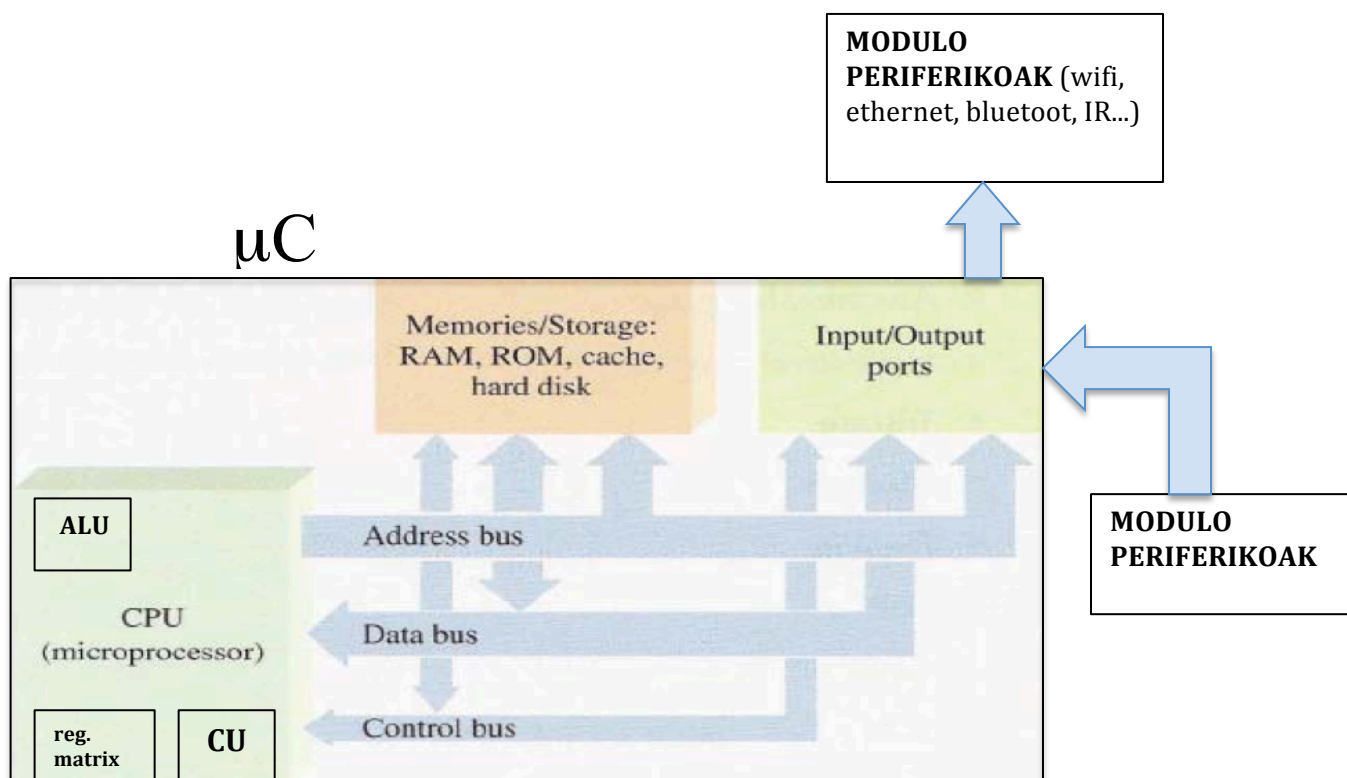
## 5.12. Irudia. Dispositiboen konparaketa taula (1)

## ii. INFORMAZIOAREN TRANSMISIOA

### SARRERA

Behin mikrokontrolagailuak datuen prozesamenduarekin amaituta, hurrengo pausua informazio horren transmisioan datza. Honetarako, suposa daitekeenez, informazioa igortzeko gai den dispositiboen beharra izango da.

Arduraten gaituen kasurako jadanik badakigu prozesamendu zein kontrol funtzioak mikrokontroladore batek beteko dituela; eta beraz, hurrengo lerroetan informazioa transmititzea ahalbidetuko duen moduluaren aukeraketari ekingo zaio.



5.13. Irudia.  $\mu C$  + Modulu Periferikoak (1)

Dena den, lehenbizi, komunikazio interfazeak hobeto ezagutzeko, protokolo edo *standar* ezagunen gaineko errepassoa egitea komenigarria litzateke.

## ALTERNATIBAK

### Bluetooth

Bluetooth (IEEE 802.15.1 araua) irismen laburreko sare inalambriko mota baten ezaugarriak definitzen dituen estandarra da. Bere betekizuna, distantzia txikietara (metro gutxi batzuetara) dauden dispositibo elektronikoen arteko komunikazioa ahalbidetzen duen protokoloa zehaztea da.

Protokolo honen abantaila, ohiko sare tradizionaletan erabiltzaileak kontrolatu beharreko sareen helbideratzeak, baimenak, etab.-en gaineko kudeaketa sinplifikatzea da.

Datuen transmisiorako, Bluetooth sareak 2.4 GHz-etako ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) banda erabiltzen du. ISM banda irrati frekuentziaren erabilera ez komertzialerako erreserbatutako bandak dira, beraz aplikazio askeko erabilera bermatzen dute (potentzia limite batzuen barruan).

Bluetooth protokoloaren barruan 'dispositibo perfilak' definitzen dira. Gailu bakoitzak implementatzen duen perfilaren arabera, perfil hura, protokolo orokorrari gainezartzen zaio.

### Wi-Fi

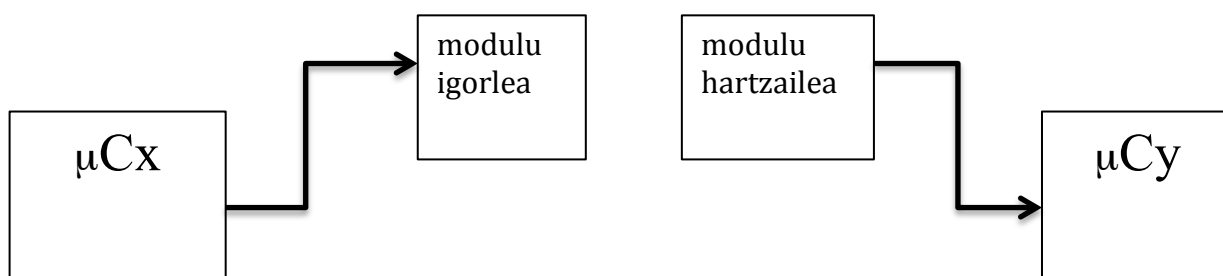
Bluetooth-a bezala, hau ere, sistema elektronikoen artean kablerik gabeko komunikazio inalambrikorako protokoloa zehazten duen estandar bat da (IEEE802.11). Izatez 802.11b, 802.11g eta 802.11n sareak existitzen dira; bakoitzak 11 Mbits/s, 54 Mbits/s, 600 Mbits/s-ko datuen transmisio abiadura ahalbidetzen duelarik. 2.4GHz-eko ISM banda erabiltzen du ere, baina potentzia altuagoko seinaleen erabilerarako inplementatutako araua da. Hori dela eta, Wi-Fi-aren erabilerak konexio egonkorragoak, segurtasuna, bizkortasuna eta informazioa distantzia handiagoetara transmititzea ahalbidetzen du. Honetarako ordea, aurre konfigurazio konplexuagoa eskatzen du. Edozein dispositibok WiFi sare baten parte izateko IP/ MAC helbideak behar ditu (Ethernet-en kasuan lez). Baina honez gain, WiFi protokoloa erabiltzen duen sare

batean badaude beste zenbait ezagugarri garrantzitsu, horien artean aipagarrienak: Sarbide Puntua (Access point), portaera atributu moduak (*Master mode, Managed mode,..*), datu paketearen identifikatzailea (SSID-a), transmisio kanalak (2.4GHz-eko banda, 22MHz-ko banda zabalareko kanaletan mailakatzen da; kanal kopurua herrialde bakoitzaren legediak arautzen du), transmisioaren segurtasuna ziurtatzeko zifraketa algoritmoak daude (WEP, WPA-TKIP, WPA2...).

### **Bestelako aukerak**

#### **RF bestelako moduluen erabilera**

Egun mikrokontrolagailuen bidez kontrola daitezkeen irrati frekuentziatzko moduluen eskaintza zabala dago. Transmisio sistema hau normalean igorle/ hartzaile modulu bikote batez osatzen da.



5.14. Irudia. *IF moduloak (1)*

Irrati maiztasunen erabilera mugatzen dute banda komertzial eta libreak daude. Orokorrean, dispositibo gehienak 433.92 MHz-ko, 915 MHz-ko eta 2400 MHz-ko (Wi-Fi familia) bandetan erabilgarriak izateko prestatuta daude. Hala ere, eskala eta irismen txikiko proiektu ez arautuentzat 315 MHz eta 868 MHz bandak erabiltzeko aukera dago. Banda horiek, irrati-frekuentzia bidezko komunikaziorako garatutako proiektu industrial zein zientifikoetarako erregulaturik daude. Nahiz eta erabilera librekoak izan, potentzia igorpen mugak daude (herrialde bakoitzeko legeek finkatuta).

- BISTARATZEA/ OHARTARAZTEA

## SARRERA

Gogora dezagun proiektuaren alde praktikoa, entzumen urritasuna duten pertsonak ohartarazteko sistema bat inplementatzea dela. Horretarako, jatorrizko ideiaaren planteamentutik, ohartarazte modu edo funtzio ezberdin bi kontenplazten dira:

1. Uneoro zarata mailaren informazio bisuala eskeintzen digun funtzioa, denbora errealean, soinu intentsitatearen berri emango duena. (*vumetro* digitala)
2. Umea negarrez dagoela baieztatu ahal izateko baldintzak ematen badira...aurretik finkatutako soinu-intentsitate atari balio batez baino goragoko baliorik gertatu ezker eta erabakitako denbora batez mantentzen bada, estimulu fisiko/ sentikor batez abisatzea.

Hori dela eta, azken bloke honetan, aurreko etapetan prozesatutako eta transmititutako informazioa adierazi/ bistaratzeko medioak analizatuko dira.

## **ALTERNATIBAK**

### **Banakako LED-ak/ LED matrizeak**

*Vumetroa* implementatzeko modurik sinpleena, baina funtzionala. Aukeratutako mikrokontrolagailua, edozein delarik ere, LED-ak erraz kudea ditzake irteerako seinale digitalen bidez (LED arruntek, orokorrean, 1.8V-3.8V bitarteko atari tentsioak dituzte, igortzen duten argi uhin-luzeraren arabera, eta 10mA-20mA bitarteko korrante intentsitatea jasan dezakete). Disipatutako potentzia txikiari esker, kontsumo mugatua dute, eta instalaziorako ez da bestelako osagai elektronikoren beharrik izango (zenbait erresistore salbu).

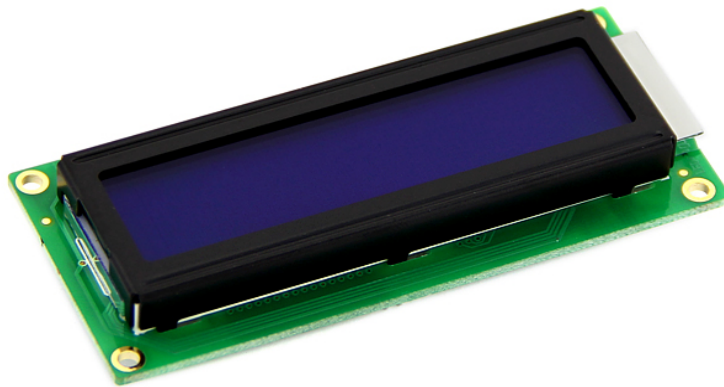
### **LCD pantailak**

LCD pantaila bat (*Liquid Crystal Display*) argiaren -en pausoa ahalbidetu edo oztopatzen duten zenbait geruza iragazle eta polarizatuzaileek eratzen dute. Honez gain, pantailak, argi iturri baten gainean jarritako pixel monokromatiko edo polikromatikoez osatuta daude. \*

Interesatzen zaigun partetik, printzipioz, LCD baten kudeaketak prozesamendu exigentzia handiagoa suposatuko du mikrokontrolagailu ororentzat.

Prozesamenduaren eskakizun handiagorekin lotuta, programazioaren ikuspegitik ere (aukeratutako lengoia eta softwareak edozein izanik alegia), kodearen konplexutasuna handiagotzen du LCD-aren kontrolak.

*\*Oharra: LCD-aren teknikaren atzean dagoen eduki teorikoa nahiko zabala den aldetik, lan honen helburua gaintu eta bere ildotik desbideratuko luke teknologian honetan gehiago sakontzeak.*



5.15. Irudia. *LCD pantaila (1)*



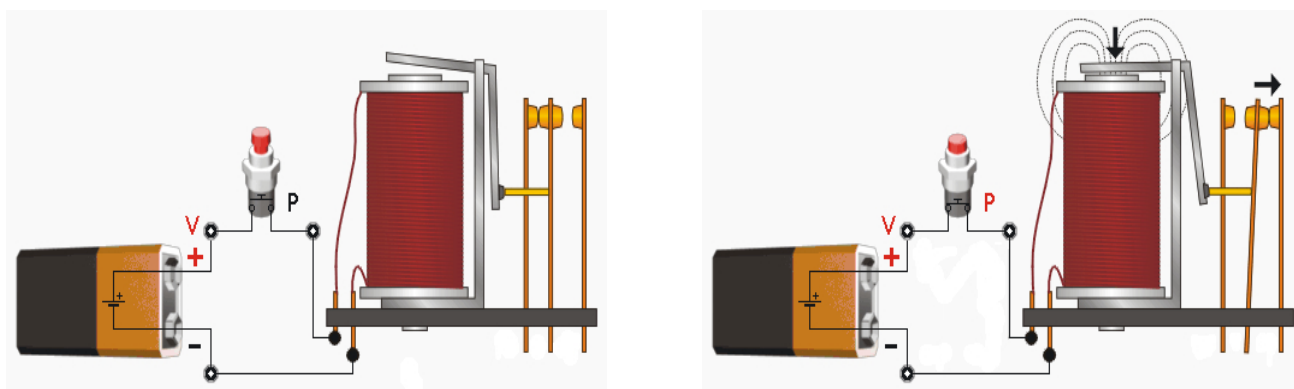
## Buzzer-ak

Transduktore elektroakustikoak dira. Proiektu honentzat baliagarriak, elektromekanikoak eta piezoelektrikoak izan daitezke.

### Elektromekanikoak

Hasiera batean, lehenengo dispositiboak, kanpaia elektriko baten antzeko portaeran oinarritzen ziren.

Erreleek duten portaera printzipio bera jarraitzen dute; elektroimanen eta material ferromagnetikoen arteko elkarrekintzan oinarritutakoa hain zuzen.



5.16. Irudia. Errele baten funtzionamendua (1)

## Piezoelektrikoak

Disko metaliko deformagarri batez eraikitako dispositiboak dira. *Efektu Pizoelektrikoa\** deritzon propietate fisikoarengatik (materiale batzuek elektrikoki polarizatzen dira esfortzu edo tentsio mekanikoen eraginez. Kuartzoko kristalak esaterako) diska deformatu egiten da korrante elektrikoa aplikatzean.

Propietate horien aplikazio praktikotzat, pulsu tren batez elikatzean diskak pultsuen maiztasunaren araberako oszilazioak jasango ditu. Izatez, diskoa deformatzen eta berehala bere egoera egonkorrera bueltatzen arituko da; prozesuan antzemangarriak diren bibrazioak eraginez.

*\* Propietate Piezoelektrikoa: tentsio mekanikoen eraginez material batzuek elektrikoki polarizatzeko gai dira. (Material hauen propietate bereizgarria, beraien geometria osatzen dituzten egitura kristalinoen zentroide edo simetria zentroaren gabezia da). Hasieran dipoloak eratzen dira, geroago kargak materialaren gainazalean bertan metatzen dira. Ondorioz, kargen desoreka handituz dihoan einean, potentzial elektriko diferentzia sortuko da; materialaren aurkako gainazalen artekoa. Prosezu hau kontrara ere gerta daiteke: material batzuei tentsio elektrikoa aplikatzean, hauetan deformazioak eragingo dituzten barne indarrak agertuko dira. Kasu bietan, efektu piezoelektrikoa alderantzgarria da.*

## **DC motorrak**

DC motorrak (korrante zuzeneko motorrak), eremu magnetiko baten eraginpean, energia elektrioa energia mekanikora eraldatzen duten makinak dira.

DC makina baten bi osagai nagusi bereizten dira: alde batetik estatorea (parte finkoa), makinaren poloak osatzen dutena. Polo hauek nukleo ferromagnetiko bat inguratzen duten kobrezko harilkadurez, hau da elektro-imanez, edo iman-irunkorrez eraiki daitezke. Bestetik errotorea legoke (parte birakaria). Ardatz birakari batek eutsita, normalean forma zilindrikoa du eta nukleo ferromagnetiko baten inguruko harilkadurekin eraikitzen dira ere. Kolektorea osatzen duten delgen eta estatoreko eskuilen kontaktupean korrontearen igarotzea ahalbidetzen da.

### **Funtzionamendu printzipioa**

Lorentz-en ekuazioan oinarritzen da:  $\int \overrightarrow{dF} = \int I \overrightarrow{dl} \times \overrightarrow{B}$ .

Moduluekin  $F = \int I \cdot dl \cdot B \sin(\Phi)$  Non,

F: indar magnetikoa (N)

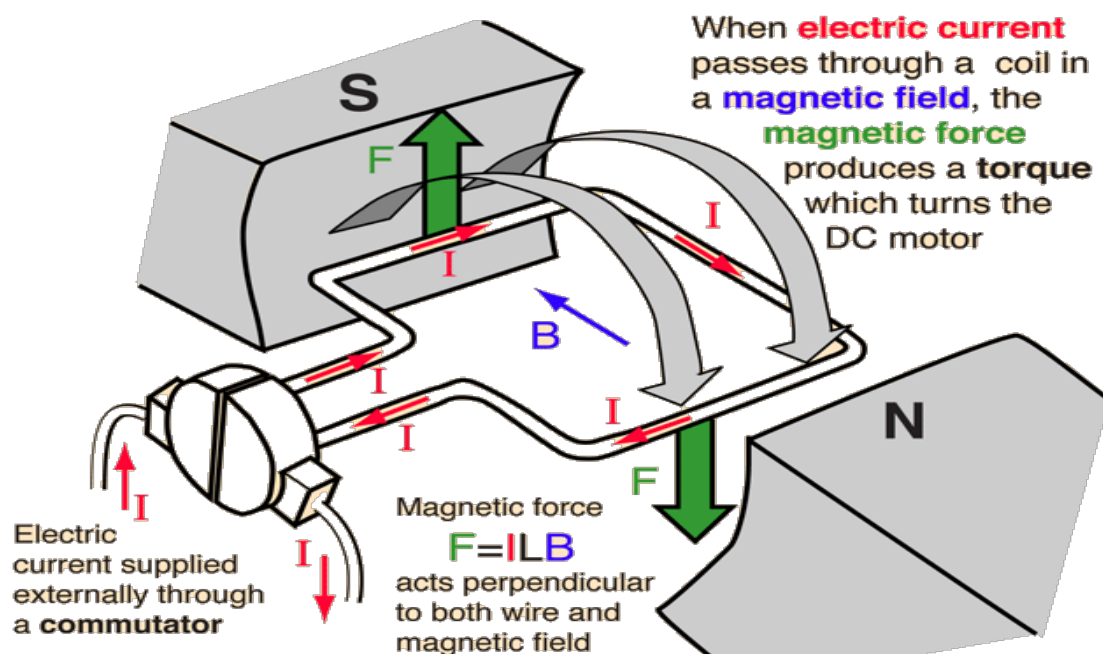
dl: eroale diferentzialaren luzera (m)

I: eroaletik dihoan intentsitatea (A)

B: eremu magnetikoaren intentsitatea (T)

$\Phi$ :  $\overrightarrow{dl}$  eta  $\overrightarrow{B}$ -ren arteko angelua

Eremu magnetiko batenpean eroale batetik korrontea zirkularaztean indar magnetiko bat agertzen da, zeinek eroalea azeleratu (mugiarazi) dezakeen. (Errotoreen kasuan indar pare bat azalduko da).



5.17. Irudia. DC motorra funtzionamendu printzipioa (1)

### Ezaugarri aipagarrienak

Indar kontraelektroeragilea ( $\mathcal{E}'$ ) : errotorea abiaraztean, biratzen hastean, potentzial diferentzia edo induzitutako indar elektroeragile bat (IIE edo  $\mathcal{E}$ ) azalduko da eroalean zehar. Honek, Lenz-en legearen arabera bere kausa induzitzailearen aurka egingo du; motorraren abioaren kasurako IIE-a errotoreko biraketa mugimendua oztopatuko du (balazta eginez), edo beste era batera ikusita, jatorrizko fluxu-magnetikoaren aldaketa eragozten saiatuko da (estatoreko elektroimanek ala iman- iraunkorrek eratutako eremu magnetikoa alegia).

Mugimenduari oztopatzen zaion heinean IIE-ari , indar kontra-elektroeragilea izena ematen zaio ( $\mathcal{E}'$ ).

Betiere, motorra biratzen hasi baino lehen indar kontra-elektroeragilea nulua izango da; eta behin biraketa hasita, bere balioa motorraren biraketa abiadura eta fluxu magnetikoaren arabera aldatuko da.

Hasierako gainkorroneak: hasierako abio unean, korronte tontor handiak sortzen dira,  $\mathcal{E}'$ -ren gabezia, harilak erresistentzia txikiko eroale baten portaera duelako.

Beste ezaugarri nagusiak: polo eta eskuilen kopurua, burdin-artearen diseinua (histeresi galerak eta Foucault korroneak eragindakoak ekiditeko), alderantzgarritasuna (korronte zuzeneko makinek motor zein sorgailu portaera izan dezakete; hau dau energi elektrikoa energia mekanikora eraldatu eta baita alderantzizkoa).



5.18. Irudia. DC motorra (1)

## 6. AUKERAKETA IRIZPIDEAK

Behin gure proiektuak egituratzen duten hiru bloke nagusientzako alternatibak aztertuta, behin behineko emaitza eta bukaerako diseinuaren aukeraketa justifikatuko duten irizpideak aurkeztuko dira jarraian.

- **Kostua**

Aipatu bezala, proiektuak ez du inolako helburu komertzialik jarraituko ezta geroko etekin ekonomikorik bilatuko. Puntu honetan beraz, hardware zein software askeko aukerak baloratuko dira bestelako alternatiben gainetik. Planteamendu honekin erabiltzaileari, norberak dispositiboa gauzatzeko aukera eman nahi zaio.

Bestetik, proiektu beraren aurrekontua (baliabide materialak nahiz giza baliabideak bereganatzen dituen) kostu logikoa izan dezan baloratuko da.

- **Eraginkortasuna**

Aukeratutako pozesaketa eta kontrol blokerako sistemaren errekurtso mugatuek baldintza nahikoa behar lukete, bukaerako dispositiboa modu eraginkorrean inplementatzeko, bere betekizun nagusia bermatuz betiere.

Hala moduz, seinalearen egokitzeaz eta bistarazi/ohartarazteaz arduratuko diren dispositiboaren aukeraketarako ere irizpide bera jarraituko da.

- **Funtzionaltasuna eta malgutasuna**

Lanaren helburua errespetatuz, bukaerako dispositiboa betebeharrak praktiko zehatz baterako diseinatuko dena ziurtatuko da.

Hala ere, sistema diseinatzeko orduan, malgutasuna kontutan izango da gerora behar besteko moldaketak egitea ahalbidetuko baitu.

- **Eskuragarritasuna eta informazioa**

Bukaerako prototipoa eraikitzeke beharrezko baliabideak eskuratze errazak izateaz besteko garrantzia izango du dispositiboekin lotutako dokumentazio eta informazioa eskuratzeko erraztasuna (bibliografia zabala eta bestelako informazio iturriak, hala nola: web orriak, erabiltzaileen komunitateak, aldizkariak, etab.).

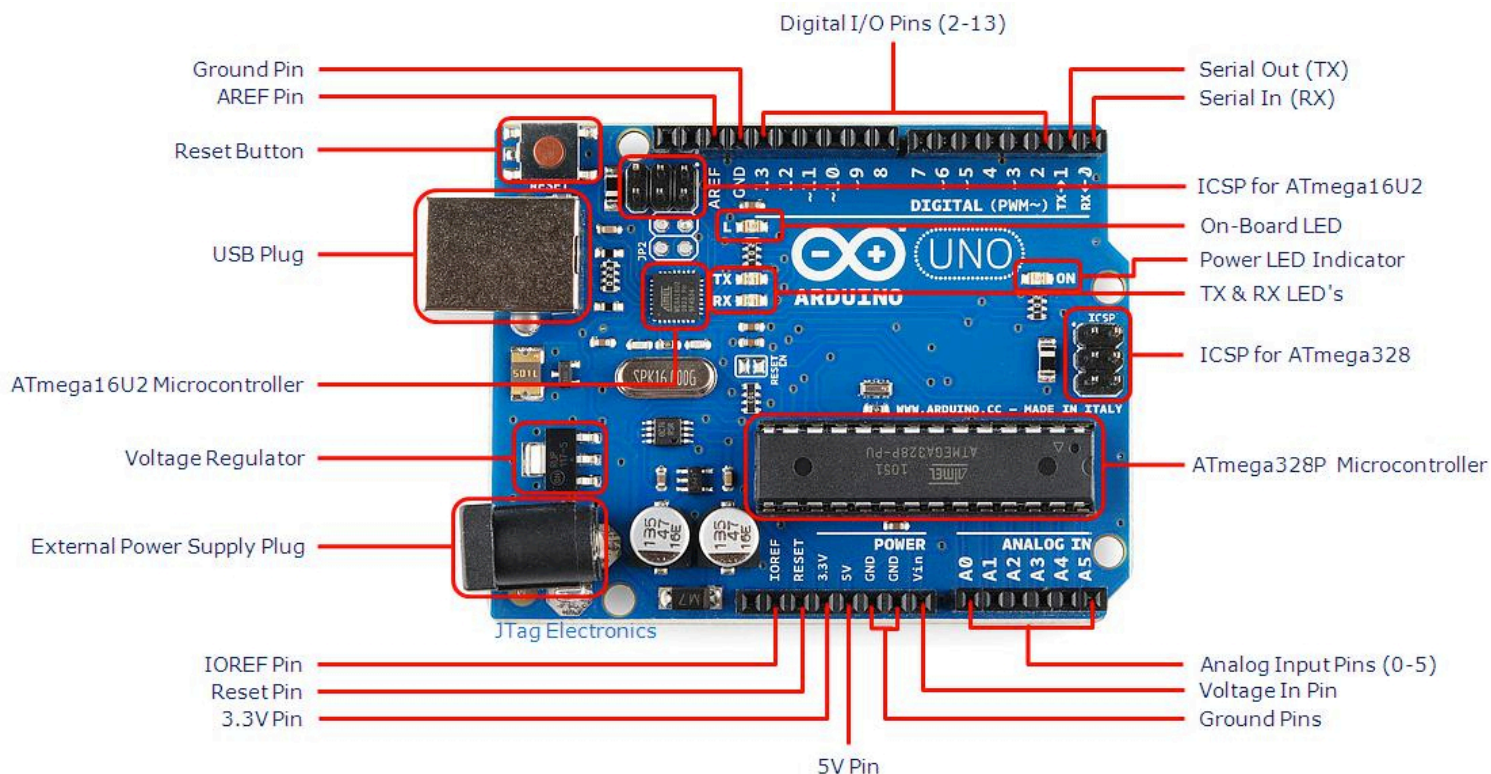
Horrela, aurreko irizpideak kontutan hartuta, behin-behineko sistemaren diseinuaren parte diren osagaien deskripzioa eta zehaztasun esanguratsuenak azalduko dira dokumentu honen hurrengo atalean, lehenik prozesamendu eta kontrolerako gailuei erreferentzia eginda eta ondoren, modulu periferikoen aukeraketan zentratuta.

## 7. MEMORIA DESKRIPTIBOA

### PROZEMENDUA ETA KONTROLA

#### Arduino UNO

Arduino plataformak eskeintzen duen produktuen artean hedatuena, eredu estandarra izateagatik, ArduinoUNO plaka da. Plaka hau ATmega328P mikrokontrolagailuan oinarritzen da eta bertsio bitan aurki daiteke  $\mu\text{C}$  -aren enkapsulatu motaren arabera (SMD edo DIP).



7.1. Irudia. *Arduino UNO* plaka (1)

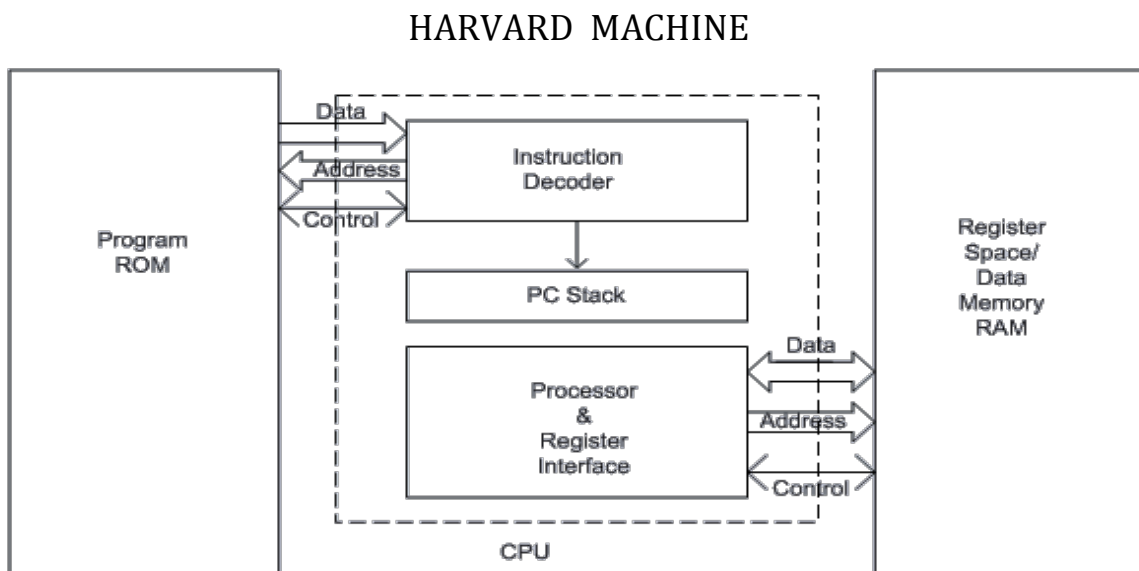
ATmega328P  $\mu\text{C}$ -a Atmel etxeak patentatutako AVR arkitekturarekin eraikita dago, zehazki "megaAVR" azpifamiliaren parte da.



Ondoren ATmega328P-aren ezaugarri nagusiak eta bestelako osagaien aipagarriaenak azalduko dira.

### Memoriak motak:

Hasi orduko, aipagarria da AVR motako mikrokontroladoreak Harvard arkitektura jarraitzen dutena. Hau da, Programa memoria (instrukzioak biltegitzen ditu) eta Datu memoria (gure programaren aldagaiak, etab. gorde) bereizirik daude eta bakoitza CPU-arekin independenteki komunikatzen da.



7.2. Irudia. *Harvard arkitektura (1)*

**Flash memoria:** memoria iraunkorra, edo programa memoria. Idazketa/Irakurketa onartzen ditu eta 32kB-eko biltegitarte ahalmena du. Arduino UNO plakaren kasuan, ATmega328P-aren flash memoriaren parte bat, 512 byte-ek osatutakoa, balio lehenetsiz idatzita aurkitzen da. Toki hau, hain zuzen, *bootloader* delako "abiaratze programa" baten konfigurazio lehenetsiarentzat erreserbatzen da. Programa edo firmware honek arduino plaka era erraz eta azkar baten abiarazten laguntzeaz gain, flash memoriaren grabeketa prozesua kudeatzeko aurrez definitutako konfigurazioa gordetzen du.

**SRAM memoria (Static RAM):** memoria hegazkorra da, datuen memoriatik kargatutako, eta aldiuneko exekuzio beharra duen instrukzioen arabera, edukia biltegitartzeko erabilia. (cache memoriaren antzekoa: programatik uneoro behar diren datuak azkar eskuratzeko erabilia). Memoria hegazkorra denez elikaduraren beharra du datuak mantentzeko.

ATmegaren kasuan 2 kB-ko tokia dago.

**EEPROM memoria:** memoria *ez hegazkorra*\* (flash memoriaren aurrekaria nahiz eta flash memoria askoz azkarragoa den).  $\mu$ C-ari elikadura kendu eta hurrengo berrabiarazterarte gorde nahi diren datuak biltegitartzeko. 1 kB-eko edukiera.

\*EEPROM (*electrically erasable programmable read-only memory*): datuak elektrikoki ezabatzea eta gainidazketa ahalbidetzen du.

### Erregistroak

Mikrokontrolagailuaren ezaugarrietaz aritzean ezaugarri esanguratsuenetarikoa erregistro kopurua eta hauen bit zabalera izan ohi da, mikroaren mugen berri ematen digun parametroetako bat da.

Erregistroak, aldiuneoro, *erakusleak* adierazten duen hurrengo instrukzio exekutagarriak beharrezkoak dituen datuak, aldi baterako, berehala eskuragarri edukitzeko erabiltzen dira; baita operazioen emaitzak tenporalki gordetzeko ere.

Esaterako, erakuslearen erregistro berak ere ( PC edo *program counter*) hurrengo instrukzio exekutagarriaren helbidearen informazioa gordetzen du.

Badaude xede orokorreko erregistroetaz gain erabilera berezi edo erreserbatutakoak ere, adibide bezala: metagailua (*accumulator*), egoera erregistroa, ataken erregistroak, pilaren erakuslea (SP edo *stack pointer*) edo aurretik aipatutako programaren erakuslea bera (*program counter*), beste askoren artean.

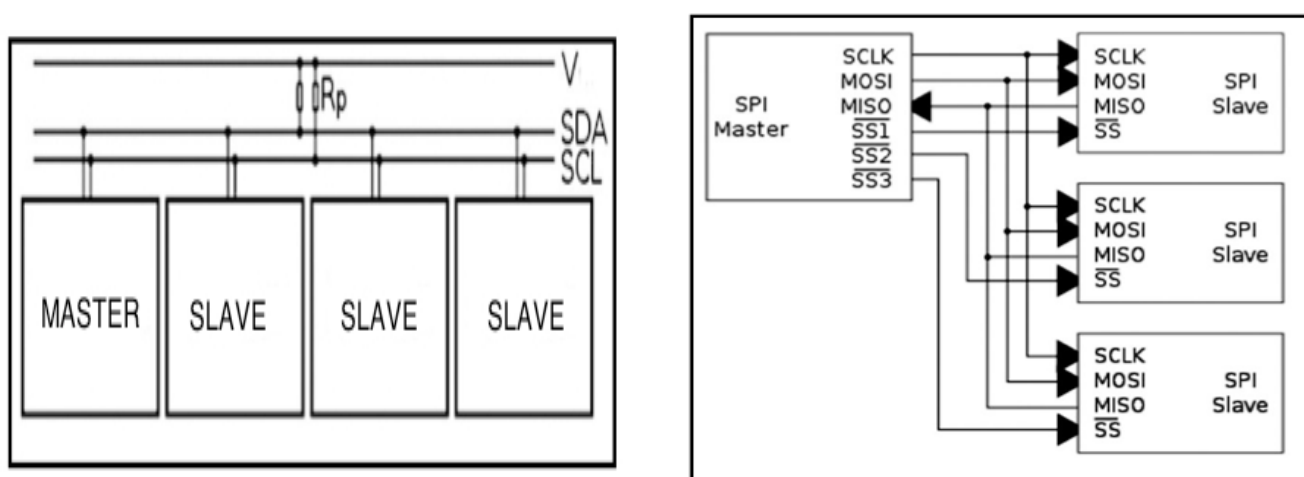
Arduino UNOko ATmega328P-ak erabilera orokorreko 8 bit-eko 32 erregistro ditu.

### Komunikazio Protokoloak

Atmega328P kontroladoreak serie komunikaziorako protokolo bi ulertzen ditu  $I^2C$  (*Inter integrated circuit, half-duplex* motakoa) eta SPI (*Serial Peripheral Interface, full-duplex* motakoa) .

Nolanahi ere, mikrokontrolagailuak TTL-UART \*(*universal asynchronous receiver transmitter*) chip-a gaineratzen du serie komunikazioa kudeatzeko.

\* TTL teknologiak HIGH "bit 1"edo LOW "bit 0" balio digitalak interpretatzen ditu, 5V eta 0V-ko pultsuen transmisio nahiz harreraren bitartez).



7.3. Irudia.  $I^2C$  eta SPI protokoloen eskema (1)

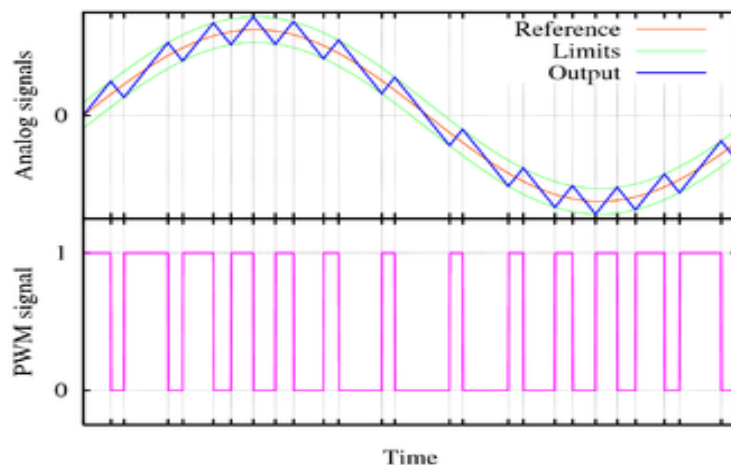
### Bestelako ezaugarriak

- Osziladoreak:** UNO plakak 16 MHz-ko erlojua, *ceramic resonator*, integratzen du (teorikoki 16 MIPS exekutatzeko ahalmena). Konfigurazio lehenetsiak ordea 1:128ko aurre eskalatuaren bidez maiztasunaren balio txikiagotzen du, kontsumoa murrizteko.

Horrela,  $16\text{MHz}/128 = 125\text{kHz}$  erloju seinalearekin lan egingo da defektuz ( $\pm\%0,5$ -eko zehaztasun errorea kontutan izan gabe, erloju zeramikoaren izaeragatik).

Bestetik, ATmega328P chip-ak berak, 8MHz-eko RC motako barne erlojua dakar (zehaztasun txikikoa).
- Sarrera ataka analogikoak:** 10 bit-eko erresoluzioa duen ADC-a (1024 balio ezberdin itzultzeko gai, defektuz 0 V eta 5 V-eko erreferentziazko tartean nahiz eta AREF pinak balio hori aldatzeko aukera ematen duen). Bihurketa bat egiteko ADC-ak 13 erloju ziklo erabiltzen ditu. Hortaz 125 kHz-eko maiztasunarekin lan eginez,  $125\text{kHz}/13 = 9615\text{Hz}$ -ko **laginketa maiztasun maximoa** lortzen da.

- **Irteera ataka digitalak:** Gehienezko 40 mA-ko korrontea jasan dezakete eta 20 k $\Omega$ -eko barne *pull up* erresistoreetara konektatuta daude. 8biteko erresoluzioa duen PWM (*pulse width modulation*) seinale analogikoa sortzeko aukera dago 3, 5, 6, 9, 10 eta 11 ataken bitartez.



7.4. Irudia. *PWM seinalea (1)*

- **USB konektorea:** Arduino UNO plakak USB protokoloa uler dezake. Honetarako ATmega16U2 mikrokontroladore sekundarioa integratzen du, zeinek, bere firmwareak implementatzen duen konfigurazio lehenetsiari esker, USB-serie protokoloaren erabilera ahalbidetzen du ATmega328P-ak uler dezan.

## MODULO PERIFERIKOAK

### *Electret* mikrofonoa



7.5. Irudia. *Electret* mikrofonoa (1)

Arduino UNO plakaren ezaugarriak direla eta proiektua osatzeko aukeratuko den transduktorea, *electret* motako mikrofonoa izango da. Mota honetako gailuak, proposagoak dira soinu intentsitatearen gorabeherak edo aldaketak antzemateko, maiztasun zehatzen detekzio diskriminatu baterako baina. (Lan honen proposamenerako interesekoa izango da, baldin eta soilik soinu maila jaso nahi denerako).

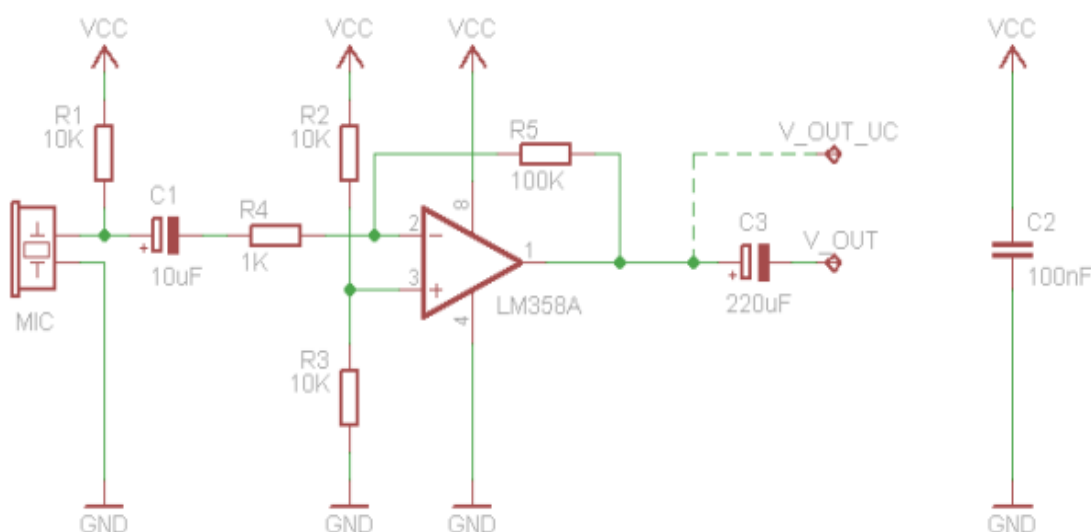
Esan bezala sentikortasun ona dute, sarrerako seinalearen intentsitatea eta irteerako seinale elektrikoarenaren (voltaia) arteko erlazioa ikusterreza delarik. Gainera omnidirekzionalak dira (soinuaren iturria edozein norabideetan antzeman dezakete), baita tamaina eta kostu txikikoak.

Orokorrean, espektro entzungarrian (20Hz-20KHz), maiztasun erdi-altuetan erantzun hobe dute, beraz aproposak dira ahotsaren detekziorako. Ohiko erabilera dute giza komunikaziorako aplikazioetan (telefono mugikorretan, ordenagailuen mikrofonoetan, etab.)

Bestalde, *electret* mikrofonekin lan egitean irteerako seinalearen amplifikazioa kontsideratuko da. Berez irteerako balioa, "linea mailako balioa" ere deitua, 0V eta

100mV bitartekoa izan ohi da ( txikiegia mikrokontrolagailua sarrera analogikoetara zuzenean konektatzeko; gogoratzekoa ere ATmega328P-aren ADC-ak 0V eta 5V eko erreferentziazko balioak erabiltzen dituela defektuz bihurketa egiketo). Horrela,  $\mu$ C-a elikatu aurretik amplifikazio etapa baten beharra izango da seinalea atontzeko.

Azaldutako traba konpontzeko, aukera bi ebatzen dira: batetik amplifikazio etapa bat hutsetik diseinatzea eta bestetik, amplifikazio etapa integratuta duen gailu bat erabiltzea. Lehen aukerak zirkuitu baten diseinua suposatzen du, eta noski inplizituki, prototipoak eraikitzea, laborategiko frogak egitea eta beharrezko kalkuluak egitea osagai egokien aukeraketa justifikatzeko (transistoreak, osagai elektroniko pasiboak,...).



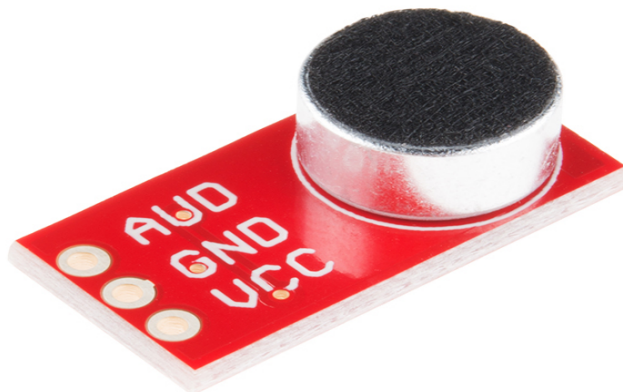
7.6. Irudia. Amplifikazio etapa baten adibidea, AOP-tan oinarrituta (1)

Bigarren aukerarentzat berriz, existitzen dira *electret* mikrofonoa eta amplifikazio etapa plaka integratzen duten aurrez ensanblatutako "breakout plakak". Modulu hauek normalean hiru konexio dituzte Vcc, GND eta Data Output-a (Irteera analogikoa); azken hau Arduino UNO plakara zuzenean konekta daiteke, seinale atondua ematen baitu.

Breakout plaken artean bereizketa bat egin daiteke, uhinaren tratamenduaren arabera. Izan ere, badira irteeran seinale originalaren antzeko doitasun handiko seinale amplifikatua lortzen dutenak (MIC motako seinaleak); eta bestalde, jatorrizko bolumen

mailaren araberako voltai proportzionala ematen dutenak irteerako seinale bezala (SPL, *sound pressure level*, motakoak). Azken hauek zehaztasun gutxiagoko aplikazioetara bideratuak.

Gure proiektuaren kasurako MIC motatako irteera seinalea eskeintzen duen plaka aukeratuko da. Gainera fabrikatzeile ezberdinen eskaintza zabala existitzen denez, kostu aldetik bideragarriak dira eta eskuratze errazak.



7.7. Irudia. MIC irteeradun Breakout plaka (1)

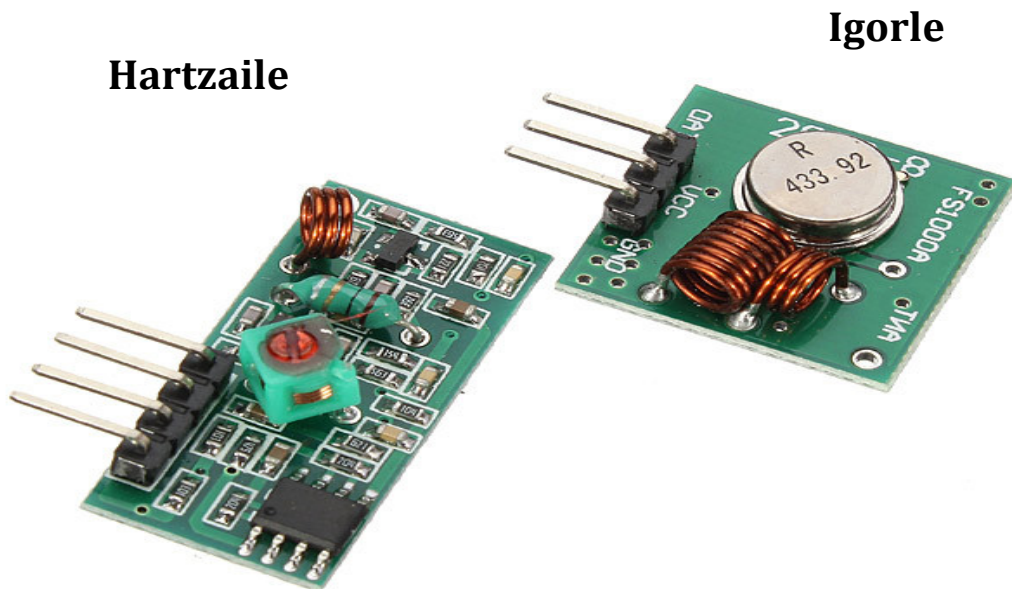
### **RF moduluak**

Memoriako 5. puntuan aipatzen den lez, modulu hauetako batzuk 433MHz-eko banda erabiltzen dute komunikaziorako. Funtzionamendu printzipioa uhin-garraiatazailearen emisioa, gaitu/ez-gaitu, konmutatzean oinarritzen da "1" eta "0" balio logikoak simulatzeko. Teoriko ASK (*amplitude-shift keying*) modulazio eskema erabiltzen dute. Teknika hau uhin-garraiatazailearen anplitudea eraldatzean datza, maiztasuna eta fasea konstante mantenduz, horretaz baliatuta balio logiko ezberdinetara itzulketa egiteko. Nolanahi ere, AM-ren (anplitude modulazioa) antzera, ASK modulazioa lineala\* da ere eta zarata atmosferiko zein bestelako distorsioei sentikorra.

Proiektuari dagokionez, RF igorle zein hartzaile moduluak UNO plakaren sarrera digitaletara konektatuko dira eta ATmega328P-aren UART moduluarekin serieko komunikazioa izango dute.



Modulu hauen eskuragarritasuna erraza da egun, eta eskuratze kostuak nahiz erabilera kostuak (kontsumoa barne) txikiak dira. Hau dela eta, proiektu honetan informazioaren transmisiorako irrati frekuentziako modulu igorle eta hartzaile pare bat erabiliko da.



7.8. Irudia. RF Igorle/Hartzaile moduluak (1)

**\*Oharra.**

Modulazio analogikoren espresio orokor bat:

$$s(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c(t))$$

Non, uhin garraiatzailea:  $c(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_c t)$

Nola uhin garraiatzaileak anplitudea (ez fasea, ez maiztasuna ASK-ren kasuan) modulatzaileraren funtzioan aldatzen duen, erlazio lineala dago modulazioan:

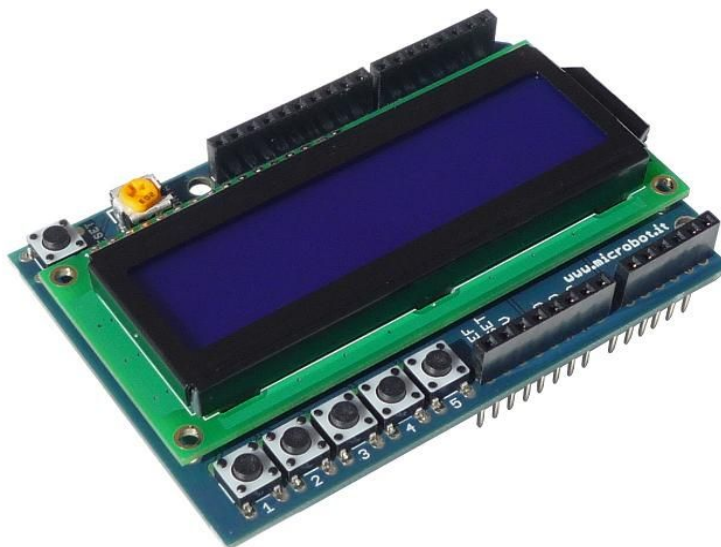
$$s(t) = A_c(t) \cdot \cos(\omega_c t)$$

## **LCD modulua**

Bistaratzeari dagokionez, azkenik, LCD dispositiboaren alde egingo da. Memorian aipatutakoaz gain, hautaketa honen bidez ikusgarritasuna gehitzen zaio bukaerako diseinuari eta lanaren helburu pragmatikoa bermatzen da. (Gainera malgutasuna ematen du: oharrak ikuskatu, hizkuntza aldatu, funtzioak gaineratu,...)

Ikuspuntu praktikoarekin jarraituz, aukeraketa honek mikrokontrolagailuek (gure kasuan ATmega328P) LCD-pantaila baten kudeaketa egiteko beharrezkoak dituen baliabideak ikasteko balioko digu ere.

Orain arte aztertutako beste moduluekin gertatzen zen bezala, badira merkatuan Arduino UNO plakarekin ensablaketa zuzena ahalbidetzen duten aurrez-soldatutako LCD plakak ere, eskuratze errazak eta erabilterrezak.



7.9. Irudia. *LCD board* (1)

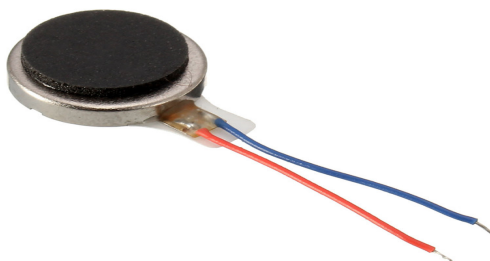
## **Bibraziozko DC motorra (ERM)**

LCDaren kasuan bezala, ohartarazteaz edo "alarma seinale bat sortzeaz" ari garenean, *Buzzer* bat zein korrante zuzeneko motor bibratzaile txiki baten aukeraketak erabaki

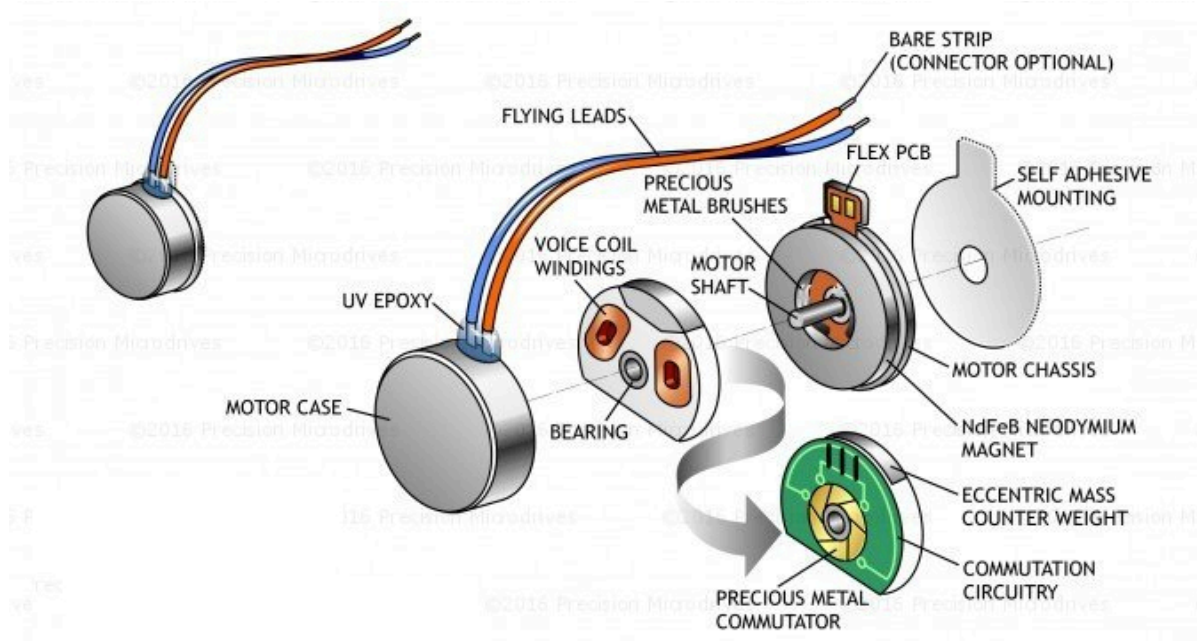
logikoena dirudite bukaerako diseinuari errealismo eta praktikotasun kutsua gehitzeko. Bai funtzionaltasun zein kostu aldetik ere.

Honela, bukaerako diseinurako ERM motore (*eccentric rotating mass vibration*) bat erabiliko da. Tamainagatik, aproposak dira PC baten integrazteko (ohiko erabilera hainbat dispositibotan: telefono mugikorrak, medikuntza herramintatan, etab.)

Funtzionamendu printzipioa, DC motorren diseinu partikular baten oinarritzen da. Bereiztasun hori errotoreari axtikitzen zaion masa txiki batek sortzen du. Masa honen ondorioz, biraketarekin batera, errotorearen desorekatzea gertatzen da eta indar zentripetu baten agerpenak bibrazio efektua sortzen du, motorra bera eta honen euskarri puntua den gainazalaren arteko elkarrekintzarengatik.



7.10. Irudia. ERM motorea (1)



7.11. Irudia. ERM motorearen osagaiak (1)

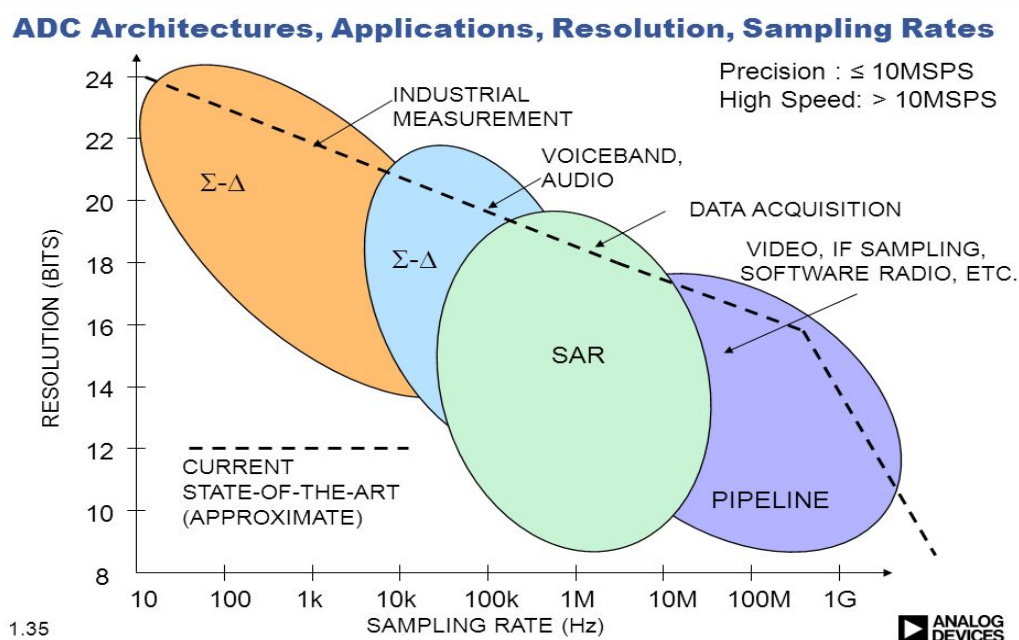
## 8. LANAREN JARRAITUTASUNA

### Proiektuaren mugak

- ATmega328P-aren laginketa abiadura  $\sim 10$  kHz-ekoa delarik, laginketa prozesuan *aliasing*-a gerta liteke (sarrerako seinalaren maiztasuna laginketa maiztasuna baino handiago denean). (Gogora dezagun giza ahotsak 20Hz-20000kHz bitarteko maiztasunak sortzeko gai dela).

Dena den, proiektu honen helburua lagindutako seinalea berriro erikitzea ez den aldetik, funtzionaltasuna bermatuta geratzen da.

Edonolaz ere, ATmega328Pak 10 biteko SA-ADC (*successive approximation* motako ADC-a) erabiltzen du kuantifikazio etapan. Errosoluzio balio hori eskasa izan liteke doitasun handiagoko aplikazioentzat.



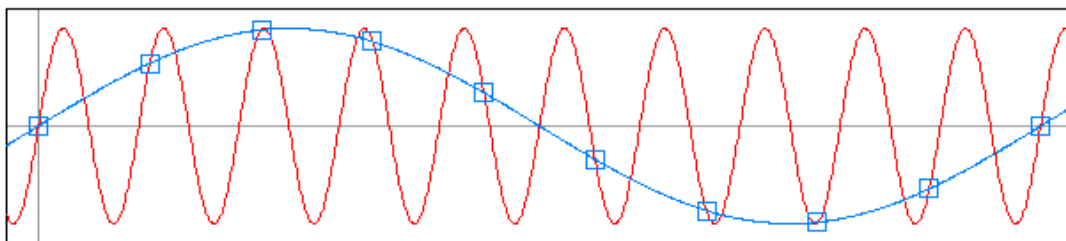
8.1. Irudia. ADC-en ezaugarri eta aplikazioak (1)

- RF moduluen komunikazio bidirekzionaltasuna falta. Hau da, uneoro, datuak norabide bakarrean transmititu daitezke (igorletik hartzailera, hain zuzen).

## Proposamen irekiak

- Lan honeri jarraipen bideetako bat, digitalizatutako seinalearen berreraikitzea litzateke. Hau da, ADC etaparen ondorengo DAC prozezaketa lantzea.

Bide honetatik bai, Nyquist-Shannon-en laginketaren teorema baldintzatua\*, baldin eta ATmega328P ko  $\sim(10 \cdot 10^3 \text{ lakin/s})$  laginketa ratioa erabiliz, 5 kHz -eko maiztasun balio maximotik beheragoko seinaleak berreraiki ahalko dira. Maiztasun balio hori eta goragoko uhinekin, *aliasing* efektua azalduko da.



8.2. Irudia. *Aliasing gertaera (1)*

- Garatzeko beste esparru bat, seinalearen prozezaketa blokearen fintzetik bideratu daiteke.

Proposamen bat, maiztasun zehatzeko uhin detekzioa izan daiteke. Bakarrik frekuentzia jakineko soinu-uhinen detekzioa fintzeko, FFT (Fourier-en transformatu azkarra) bezelako algoritmoak implementa daitezke. Nahiz eta ATmegak328P muga propioak jartzen dituen, existitzen dira Arduinorentzat zehazki garatutako FFT algoritmoak kudeatzeko liburutegiak.

(Lan honi dagokionez, seinalea berreraiki gabe, umearen ahotsa beste soinuetatik iragaz zitekeen FFT algoritmoa erabilita. Edonolaz ere, aplikazioa hedatzeko asmoarekin litzateke hori; proiektu hoenertarako suposatutako baldintzetan, umea logelan lotan dagoela, ez bait legoke bestelako soinuren konziderazio beharrik).

- Informazioaren transmisiorako, bestelako komunikazio moduluen erabilera, hala nola; Bluetooth moduluak, Wifi moduluak, etab.

### **\*Oharra**

Nyquist-Shannon-en laginketaren teoremak hurrengoa dio: *matematikoki seinale analogiko baten laginketa **prozesua itzulgarria** izan dadin (hau da, seinale diskretutik berriro jatorrizko seinale analogikoa eraikitzea), laginketa maiztasuna lagindutako seinalearen maiztasun maximoaren bikoitza edo handiagoa behar du izan.*

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

Non,  $f_s$  (laginketa maiztasuna)

$f_{\max}$  (seinalearen maiztasun maximoa)

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Banzi M.(2011). *Getting started With Aduino* [2nd edition]. O'Reily
- McRoberts M. (2010). *Beginning Arduino*. Apress
- José Rafael Lajara Vizcaíno; José Pelegri Sebastià (2013). *Sistemas Integrados con Arduino*. Alfaomega
- Oscar Torrente Artero (2013). *Arduino. Curso práctico de formación*. Alfaomega
- Charles K. Alexander; Matthew N. O. Sadiku (2006). *Fundamentals of Electric Circuits* [third edition]. McGraw-Hill
- Miguel Angel García Pérez. *Instrumentación electrónica*. Paraninfo
- Chris Bowick (2007). *RF Circuit design* [Second edition]. Newnes
- Richard G. Lyons (2004). *Understanding Digital Signal Processing* [2nd edition.] Prentice Hall
- J.G. Proakis. *Advanced digital signal processing*, Prentice Hall
- Ronald K. Jürgen (1997). *Digital consumer electronics handbook*. McGraw-Hill

### Argitalpenak/aldizkariak

"Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications". Claudia Manfredi - *Firenze University Press, 2011*

### Web orriak

<http://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2004/cc044c.pdf>  
<http://www.microchip.com/design-centers/audio-and-speech/technology/digital-audio-basics>  
<http://cienciapc.idict.cu/index.php/cienciapc/article/view/47/1493>  
<http://www.pighixxx.com/else/?q=how+to+sample+sound>  
<https://bochovj.wordpress.com/2013/06/23/sound-analysis-in-arduino/>  
<https://www.arduino.cc/>  
<http://www.arduino.org>  
<https://www.raspberrypi.org>  
<http://beagleboard.org/bone>  
[www.microchip.com/](http://www.microchip.com/)  
<https://www.ti.com/product/am3358>  
<https://www.parallax.com/product/40000>  
<https://www.adafruit.com>  
<https://www.sparkfun.com>  
<https://www.precisionmicrodrives.com/>  
<https://forum.arduino.cc>  
<https://electronics.stackexchange.com>

## MEMORIA

---

(1) Lan honetan testu azalpenen lagungarri bezala erabili diren irudi, ilustrazio edo argazkiak *Creative Commons* lizentzia dute edota erabilera pertsonalerako baimena; betiere helburu komertzialik gabeko erabilera soilik eta jabegotza intelektuala errespetatuta, egilearen berezko baimeneik ezean hirugarrengoein partekatzeko debekua.