

9 Efektuko Pedal Digital Multiefektuaren Diseinu eta Implementazioa

1. Sarrera

Proiektu honen helburua gitarra elektrikorako **pedal digital multiefektu bat** garatzea izan da, efektu hauekin: **Delay, Reverb, Chorus, Flanger, Phaser, Autowah, Distortsioa, Tremolo eta Vibrato**. Sistemak **Teensy 4.0 + Audio Shield** plataforma erabiltzen du audioaren sarrera/irteera kudeatzeko, eta erabiltzaile-interfazea osatzeko **LCD I2C displaya, encoder rotatiboa, potentziometroa eta pultsagailua** integratzen dira. Gailuak aurikularretarako irteera dauka eta **5V DC**-tan funtzionatzen du.

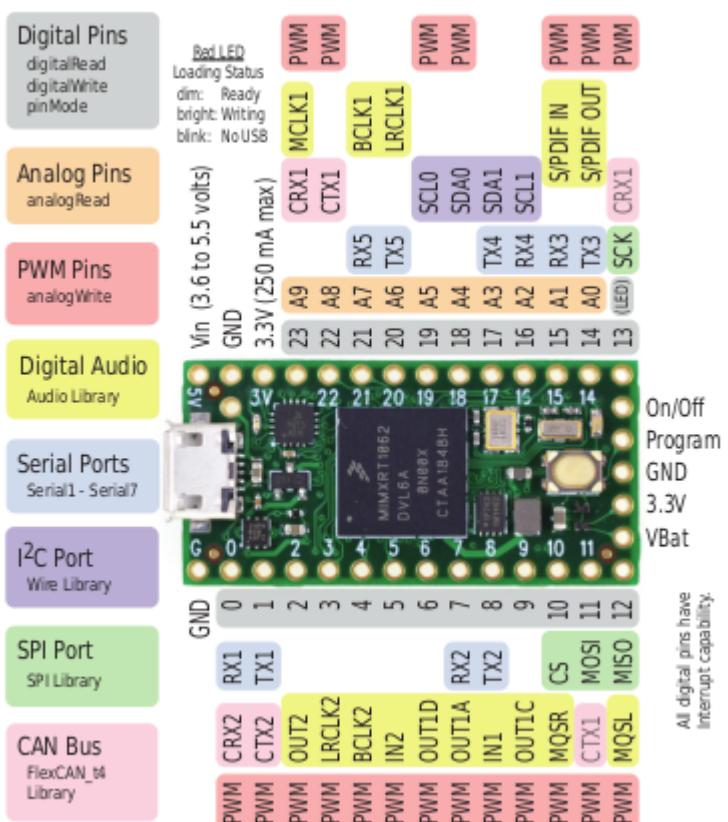
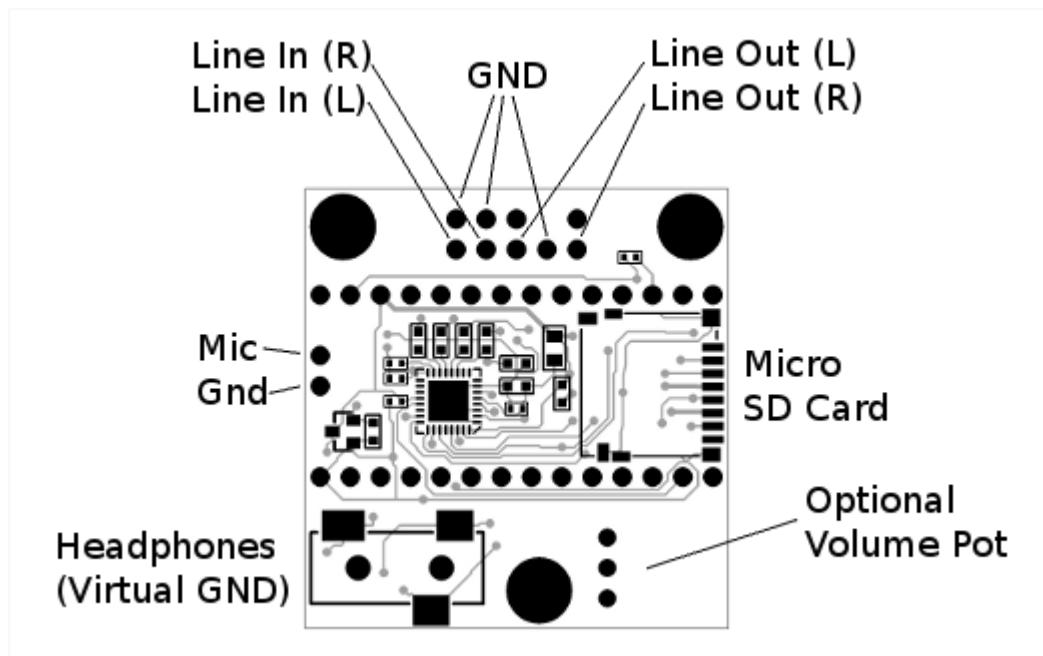
2. Aurretiko ikerketa eta erreferentzien azterketa

Lehenengo fasean, interneten **informazio tekniko eta adibide praktiko ugari** bilatu ziren: antzeko multiefektu-proiektuak, audio digitalaren oinarrizko kontzeptuak, hardware aukera posibleak eta kontrol-interfaze tipikoak. Aurkitutako erreferentziak aztertuta, funtsezko erabakiak hartu ziren: erabiliko den mikrocontroller plataforma, audio sarrera/irteera modua eta erabiltzaile-interfazearen egitura.

3. Sistema hautaketa eta arkitektura orokorra

Ikerketaren ondoren, **Teensy 4.0** hautatu zen prozesamendu-unitate gisa, eta **Audio Shield** audio-kodeketarako/deskodeketarako (ADC/DAC) eta audioaren kudeaketarako. Hautaketa honen arrazoia izan zen:

- DSP aplikazioetarako egokia den errendimendua
- Audio sarrera/irteera interfaze erosoa
- Garapen-ingurunean (Arduino IDE) integrazio erraza



4. Garapen-ingurunearen prestaketa

Garapena abiatzeko, **Arduino IDE-n** beharrezkoak ziren:

- egunerazeak
- liburutegi espezifikoak
- eta plataforma euskarria

instalatu ziren. Honek konpilazioa, kargaketa eta proba iteratiboak modu egonkorrean egitea ahalbidetu zuen.

5. Materialen zerrenda

Proiektuaren garapenerako beharrezkoak izan diren osagai elektroniko eta mekanikoak jarraian zehazten dira. Materialen aukeraketa funtzionaltasunean, bateragarritasunean eta erabilgarritasunean oinarritu da.

Osagaia	Kantitatea
Protoboard	1
Teensy 4.0	1
Audio Shield	1
Potentziometroak (10 kΩ)	3
Encoder motako potentziometroa	1
Pultsagailuak	4

LCD I2C displaya	1
Jack konektoreak	2
Jack / Minijack adaptadoreak	2
Micro SD txartela	1
Kaxa mekanikoa (hardware)	1
Erresistentziak ($10\text{ k}\Omega$)	4
Elikadura-adaptadorea (bateria)	1
Bateria	1

Material-zerrenda honi esker, sistemaren **hardwarearen muntaketa, audio-sarrera/irteera, kontrol-interfazea eta elikadura** modu egokian garatu ahal izan dira.

5.1. Material bakoitzaren funtzioa

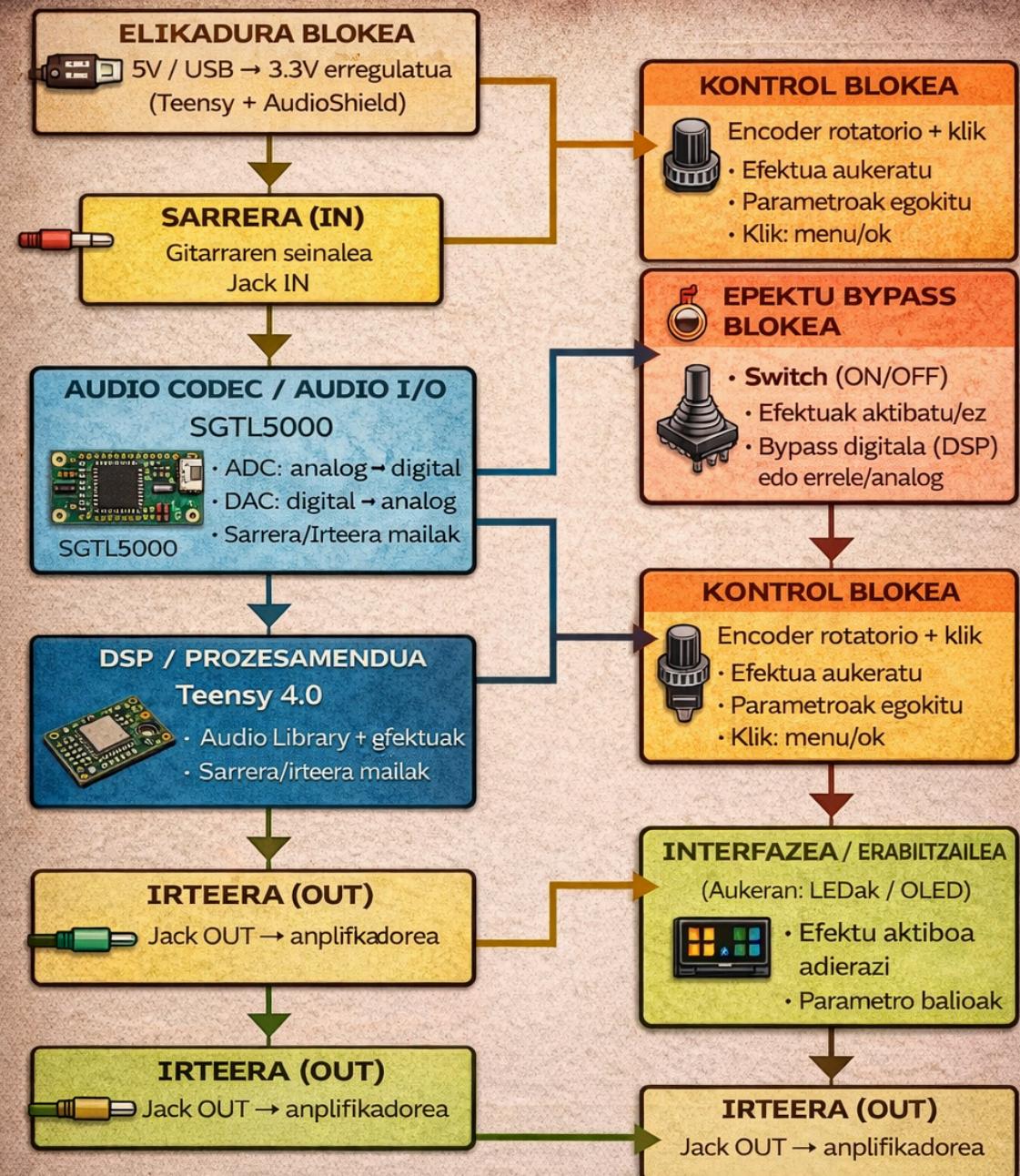
- **Protoboard (1):** zirkuitua behin-behinean muntatzeko eta prototipoa azkar probatzeko.
- **Teensy 4.0 (1):** prozesamendu-unitatea; audio DSP algoritmoak (9 efektuak) exekutatzen ditu.
- **Audio Shield (1):** ADC/DAC bidez audioa digitalizatu eta berriro analogikora bihurtzen du; audio I/O kudeatzen du.
- **Potentziometroak 10 kΩ (3):** erabiltzaileak parametro analogikoak doitzeko (adib. mix, rate, feedback...).

- **Potentziometro encoder (1):** menu/efektu aukeraketa eta parametroen nabigazioa (inkrementu/dekrementu).
- **Pultsagailuak (4):** efektua aktibatu/desaktibatu, menu-funtzioak edo preset/aldaketa azkarrak egiteko.
- **LCD I2C displaya (1):** efektu aktiboa eta parametroen balioak bistaratzen ditu.
- **Jack konektoreak (2):** audio sarrera eta irteera nagusia (gitarra ↔ pedal ↔ amplifikagailua).
- **Jack/Minijack adaptadoreak (2):** konektibilitatea egokitzeko (adib. aurikularrak edo bestelako kableak).
- **Micro SD txartela (1):** audio-fitxategiak, presetak edo konfigurazioak gordetzeko/irakurtzeko (erabileraren arabera).
- **Kaxa mekanikoa (1):** osagai guztiak babestu eta pedal-formatuko erabilera mekanikoa ahalbidetzen du.
- **Erresistentziak 10 kΩ (4):** pull-up/pull-down, zatiketa edo sarrera egonkortzeko (kontrol eta seinale osagarriean).
- **Elikadura-adaptadorea (bateria) (1):** elikadura-knexioa eta egokitzapena (5V sistemarako).
- **Bateria (1):** elikadura eramangarria emateko (kanpoko elikadurariik gabe erabiltzeko).

11.6. Hardwarearen bloke-diagrama

PEDAL MULTIEFEKTU DIGITALA

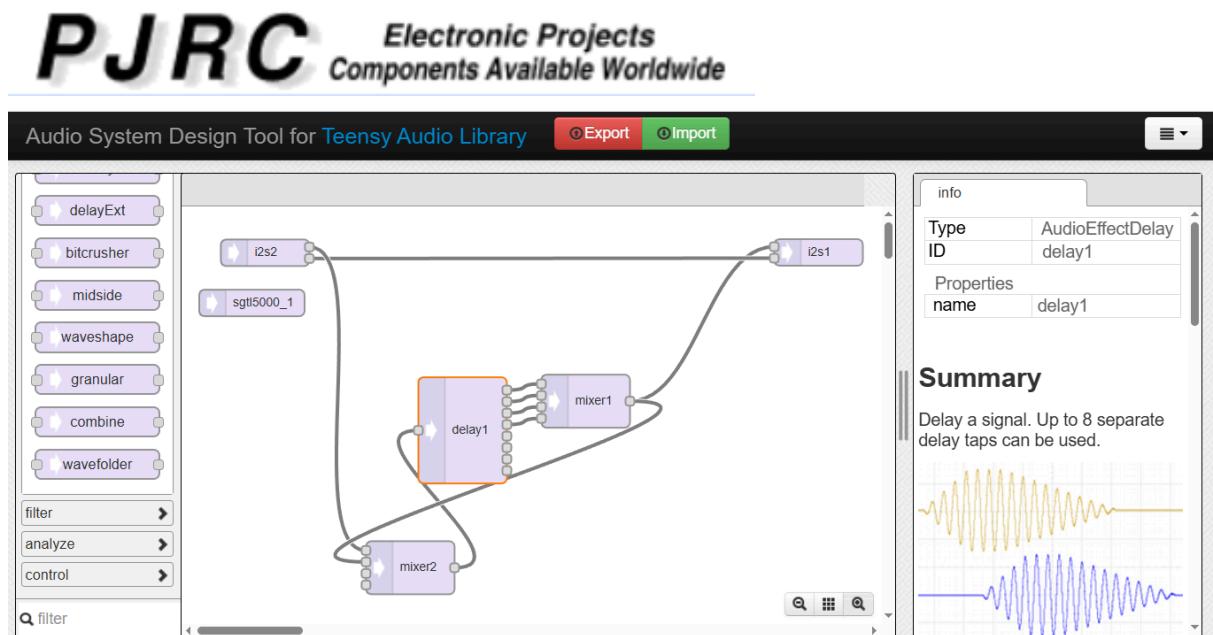
– HARDWARE BLOKE DIAGRAMA –



6. Softwarearen garapena

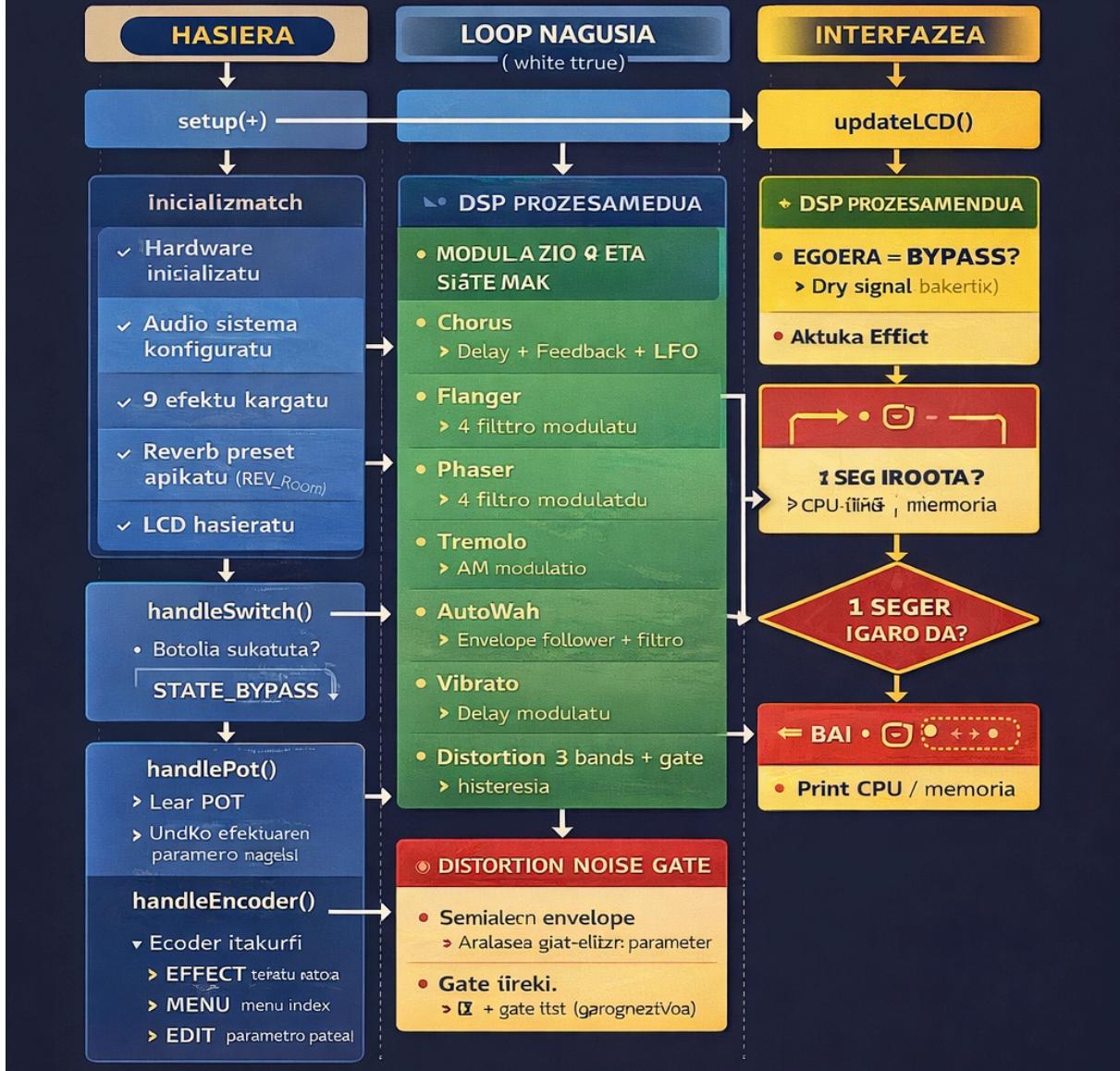
Efektu-sistemaren logika eta kontrola **C++-n** garatu ziren, **Arduino IDE** erabiliz. Softwarearen helburu nagusiak izan ziren:

- audio-seinalea denbora errealean prozesatzea
- 9 efektuen artean aukeraketa eta konfigurazioa ahalbidetzea
- erabiltzaile-interfazea (display + encoder + pot + botoia) integratzea
- irteera (anplifikagailua / aurikularrak) modu fidagarrian ematea



PROGRAMAREN FLUXU DIAGRAMA

Arkitektura modularra – State Machine + DSP pipeline



LEGENDA:

= Kontrola

▲ DSP

= Erabakia

● Denbora / Debug

Krotola DSP Erábakis Denbora / Debug

MIEJORA TÉCNICA CLÁTUK

ERABILTZAILEAREN INPUTA

- handleSwitch – Statar
- handlePot – Efektua – Námmeter
- handleEncoder – Emnolgarek

DSP PRoZESSAMENUA

- Delai mg ▶ Feedback + Istateak

```

1  #include <Audio.h>
2  #include <Wire.h>
3  #include <SPI.h>
4  #include <Bounce.h>
5  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
6  #include <Encoder.h>
7
8 // ===== AUDIO =====
9 AudioInputI2S     i2sIn;
10 AudioOutputI2S    i2sOut;
11 AudioControlSGTL5000 audioShield;
12
13 AudioEffectFreeverb  reverb;
14 AudioEffectDelay    delayFx;
15
16 AudioMixer4        mixer;      // mezcla dry / fx
17 AudioMixer4        delayFB;   // feedback delay
18
19 // ===== PATCHES =====
20 // Dry
21 AudioConnection pDry(i2sIn, 0, mixer, 0);
22
23 // Reverb
24 AudioConnection pRevIn(i2sIn, 0, reverb, 0);
25 AudioConnection pRevOut(reverb, 0, mixer, 1);

```

7. Prototipoa, kargaketa eta balidazioa

Kodea amaitutakoan, **prototipoaren mutuaia** egin zen eta programa **Teensy-ra kargatu** zen. Ondoren, proba funtzionalak egin ziren:

- efektu bakoitzaren aktibazioa eta aldaketa egiaztatzu
- kontrolen erantzuna eta erabiltzaile-esperientzia aztertuz
- audioaren egonkortasuna (etenik/zaratarik gabe) bermatuz



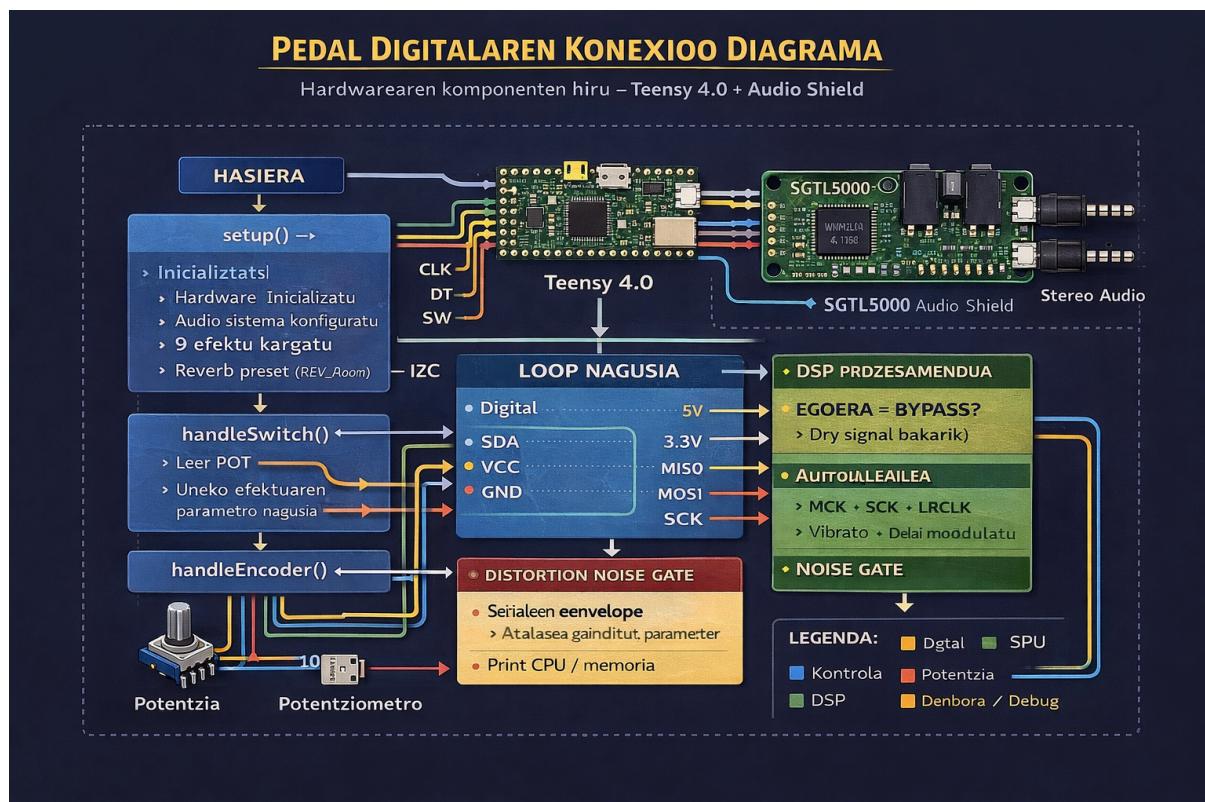
8. Integrazioa eta muntaketa fisikoa

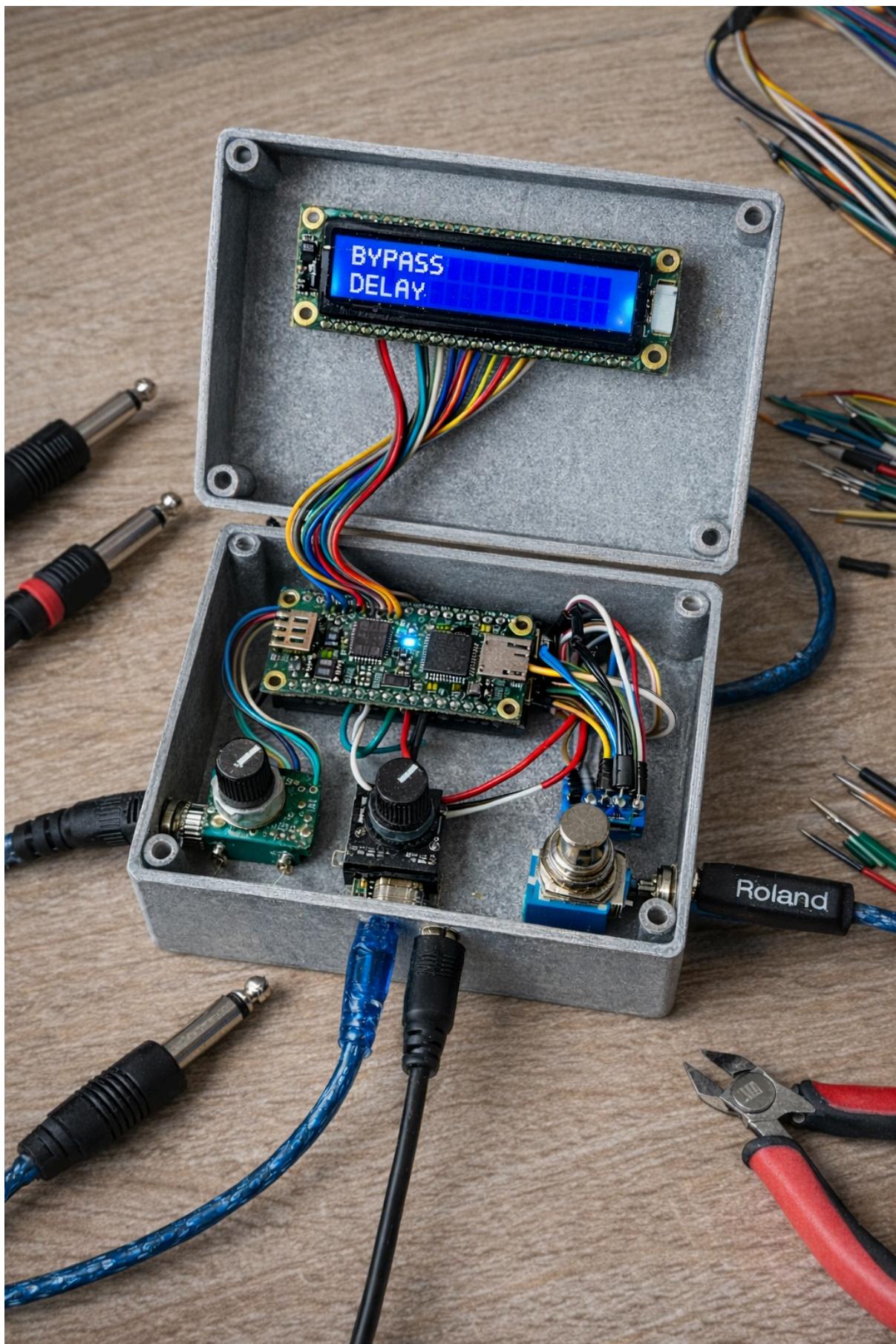
Behin prototipoa validatuta, elementu guztiak egoki integratu ziren:

- plaka eta konektoreak
- pultsagailua(k), potentziometroa eta encoderra
- LCD I2C displaya
- elikadura eta pilaren/iturriaren konektoreak
- aurikularren irteera

Fase honetan, kableaketa eta conexioen fidagarritasuna eta mekanikoki sendo egotea zaindu zen.

Bestalde, alde batetik kaxa margotu eta sortutako diseinua biniloan inprimitu zen, kaxan itsasteko. Elementu guztien kolokazioa neurtu eta kaxan zuloak egin ziren osagaiak bertan egoki txertatzeko.





9. Amaierako probak

Azkenik, gitarra pedalean sartu eta **amplifikagailuarekin** (eta behar denean aurikularrekin) probatu zen. Egiaztatu zen:

- efektuen soinua koherentea eta erabilgarria dela
- aldaketa azkarrak eta kontrolen erantzuna egokia dela
- 5V elikadurarekin sistema egonkorra dela



10. Ondorioak

Proiektuak erakutsi du posible dela **multiefektu digital funtzional bat** garatzea plataforma txiki batekin, hardware eta softwarearen integrazio egokia eginez. Emaitza gisa, 9 efektu dituen pedal erabilgarria lortu da, kontrol-interfaze praktikoarekin eta irteera anizkoitzarekin (amplifikagailua/aurikularrak). Gainera, DSP kontzeptuetan, embedded programazioan eta prototipatzean esperientzia esanguratsua eskuratu da.

11. Zirkuituaren eta sistemaren azalpen teknikoa

11.1. Arkitektura: seinalearen fluxua (Audio Path)

Sistemaren funtzionamendua honela laburbil daiteke:

1. **Gitarra sarrera (analogikoa):** gitarra-seinalea tentsio txikikoa da eta impedantzia kontuan hartzea garrantzitsua da (sarrerak ez dezan pastilla gehiegi kargatu).
2. **Audio Shield-eko ADC:** seinale analogikoa **digitalizatu** egiten da (laginketa-maiztasuna eta bit-sakonera sistemak definitzen dituen parametroen arabera).
3. **DSP prozesamendua Teensy-n:** seinale digitalari efektuak aplikatzen zaizkio denbora errealean.
4. **Audio Shield-eko DAC:** prozesatutako seinalea berriro analogikora bihurtzen da.
5. **Irteera analogikoa:** amplifikagailura edo **aurikular-irteerara** bidaltzen da (irteeraren maila kontrolatz eta distortsio digitala/klipping-a saihestuz).

11.2. Kontrol-sistema eta erabiltzaile-interfazea

Erabiltzaile-interfazeak efektuen aukeraketa eta parametroen doikuntza ahalbidetzen du:

- **Encoder rotatiboa:** normalean efektuen artean nabigatzeko edo parametro bat hautatzeko erabiltzen da (biraketa: +/-, sakatzea edo botoiarekin konbinatuta: “enter/confirm” logika).
- **Potentziometroa:** parametro jarraitu baterako sarrera analogikoa (adib. mix/feedback/rate/depth).

- **Pultsagailua:** efektua aktibatu/desaktibatu, preset aldaketa edo menu-funtzio simple bat.
- **LCD I2C displaya:** egoera erakusteko (efektuaren izena, parametro balioa, aktibo/inaktibo).

Interfazeak, praktikan, **egoera-makina (state machine)** moduko logika jarraitzen du: efektu hautaketa → parametro aukeraketa → parametro doikuntza → aplikazioa.

11.3. Efektuen oinarri DSP azalpena

- **Delay:** seinalearen kopia bat **buffer** batean gordetzen da eta denbora jakin baten ondoren irteeran gehitzen da. Parametro tipikoak: delay time, feedback, mix.
- **Reverb:** espazio-sentsazioa simulatzen du, atzerapen anitz eta iragazketa erabiliz. Parametroak: room size/decay, mix.
- **Chorus:** delay oso labur bat + modulazioa (LFO) erabiliz, “bikoiztutako” sentsazioa sortzen du. Parametroak: rate, depth, mix.
- **Flanger:** chorusaren antzekoa baina delay denbora oso txikia eta feedback handiagoa erabiliz; “sweep” metalikoa sortzen du.
- **Phaser:** seinalea fasean desplazatzen duten iragazki-kateak erabiliz; LFO batek desplazamendua mugitzen du.
- **Autowah:** seinalearen amplitudeak (envelope) iragazki baten maiztasun zentralari eragiten dio; “wah” automatikoa.
- **Distortsioa:** saturazio digitala edo “waveshaping” teknikak erabiliz; garrantzitsua da irteeran klipping desatsegina ez sortzea.
- **Tremolo:** seinalearen **amplitudea** LFO batekin modulatu (bolumen-uhina).
- **Vibrato:** **pitch/denbora** txikiko modulazioa (delay labur modulatu baten bidez), chorus-etik desberdinduz (normalean dry signal gabe edo gutxiago).

11.4. Denbora errealeko baldintzak eta egonkortasuna

Efektu guztiak denbora errealean exekutatzen direnez, sistemak honako hauek bermatu behar ditu:

- **latenzia txikia** (jo eta entzun artean atzerapen handirik ez)
- prozesamendu jarraitua **buffer underrun/overrun** gabe
- parametro aldaketak “klik” edo artefaktu handirik sortu gabe (mugimenduen leuntzea erabil daiteke)

11.5. Elikadura eta konexioak (5V)

Gailuak **5V DC**-tan elikatzen da. Diseinuan kontuan hartu beharreko puntuak:

- elikadura egonkorra (zarata gutxikoa) audio-kalitatea ez kaltetzeko
- masa-konexioak eta kableaketa ondo antolatzea (hum/zarata minimizatzeko)
- aurikular-irteeraren erabileran, irteerako maila eta impedantzia egokiak mantentzea, distorsio edo gainkarga saihestuz