



This is the **published version** of the bachelor thesis:

Perez Garcia, Juan Manuel; Montón Macian, Màrius, tut. Desarrollo de un SW de testeo para una plataforma empotrada docente. 2025. (Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/317498>

under the terms of the  license

Desenvolupament de software de test per a un hardware encastat

Juan Manuel Pérez García

5 de juny de 2025

Resum— En aquest document es presenten les proves realitzades per testejar una placa desenvolupada per la universitat, amb l'objectiu de verificar el correcte funcionament dels seus mòduls. Les proves s'han dut a terme utilitzant dues plataformes: una Teensy 3.5, programada amb Arduino, i una EFM32 Giant Gecko Starter Kit, basada en l'arquitectura ARM. A més, s'han dissenyat una sèrie d'exercicis pràctics perquè els estudiants puguin treballar amb la placa tant a casa com a l'aula de pràctiques.

Aquesta iniciativa s'emmarca en la creació d'un servei que permeti als estudiants endur-se la placa temporalment per experimentar amb ella i, en retornar-la, executar un programari de verificació automàtica que comprovi el seu estat funcional.

Abstract— This document presents the tests carried out to verify the proper functioning of a circuit board developed by the university, with the objective of validating the correct operation of its modules. The tests were conducted using two platforms: a Teensy 3.5, programmed with Arduino, and an EFM32 Giant Gecko Starter Kit, based on the ARM architecture. Additionally, a series of practical exercises were designed so that students can work with the board both at home and in the lab. This initiative is part of the development of a service that allows students to temporarily take the board home to experiment with it, and upon returning it, run an automated verification software to check its functional status.

1 INTRODUCCIÓ - CONTEXT DEL TREBALL

AQUEST projecte es centra en el desenvolupament d'un programari de validació per a una placa electrònica creada per la universitat amb finalitats docents en l'àmbit de l'enginyeria electrònica. A més, es dissenyen una sèrie d'exercicis pràctics perquè els estudiants puguin experimentar amb la placa tant dins com fora de l'aula.

Davant la necessitat de proporcionar recursos pràctics que facilitin l'aprenentatge autònom, s'ha plantejat un sistema que permet als estudiants endur-se temporalment la placa a casa. Això els permet familiaritzar-se amb el seu funcionament i la seva programació. Un cop retornada la placa, és necessari verificar-ne l'estat per garantir-ne el manteniment i un seguiment adequat, i aquí és on aquest projecte

pren rellevància.

La placa en qüestió va ser desenvolupada prèviament per un altre alumne, però no es disposa de documentació ni proves funcionals. Per aquest motiu, aquest treball també inclou la generació de casos de prova que permetin comprovar el correcte funcionament dels seus mòduls.

Per a la validació, s'han considerat dos escenaris de prova: el primer consisteix a connectar la placa a una Teensy 3.5 i programar-la mitjançant la plataforma Arduino. El segon escenari implica la connexió a una EFM32 Giant Gecko Starter Kit, treballant així amb l'arquitectura EFM32 (ARM).

2 OBJECTIUS

Els objectius d'aquest projecte constitueixen el marc de referència que orienta totes les accions i decisions preses al llarg del seu desenvolupament. Aquests objectius, que abasten tant l'àmbit tècnic com l'educatiu, serveixen per definir les fites que es volen assolir i garantir que el resultat final sigui útil, aplicable i alineat amb les necessitats reals dels usuaris —principalment estudiants, docents i personal tècnic de suport— dins l'entorn universitari.

- E-mail de contacte: 1571695@uab.cat
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Marius Montón Macian (Department of Microelectronics and Electronic Systems)
- Curs 2024/25

L'objectiu general del projecte és desenvolupar un programari específic de validació que permeti verificar automàticament l'estat funcional d'una placa electrònica dissenyada per la universitat. Aquest sistema de validació esdevé fonamental en el context d'un servei educatiu que busca oferir als estudiants la possibilitat de treballar amb la placa des de casa, en períodes de pràctica lliure o tutoritzada. Per garantir la qualitat del material i prevenir possibles danys o malfuncionaments, es proposa que la placa pugui ser testejada en retornar-la mitjançant aquest sistema automatitzat.

Per fer realitat aquest objectiu principal, s'han definit una sèrie d'objectius específics, cadascun amb la seva pròpia rellevància i justificació tècnica, educativa i operativa:

2.1 Desenvolupar proves individuals per als mòduls integrats a la placa, utilitzant l'entorn de desenvolupament Arduino i emprant com a controlador principal la placa Teensy 3.5.

Aquest objectiu implica la creació de diversos tests independents, cada un dissenyat per a verificar el correcte funcionament d'un dels mòduls específics integrats en la placa desenvolupada per la universitat. Aquest enfocament modular permet una anàlisi detallada del rendiment de cada component per separat, assegurant-ne l'operativitat individual abans de la seva integració en entorns més complexos. Els mòduls seleccionats per a la validació són els següents:

- LEDs (tant els de la Teensy 3.5 com els integrats en la placa desenvolupada):

Es vol implementar una seqüència d'encesa i apagada per comprovar de manera visual si els LEDs funcionen correctament, garantint així que els pins de sortida digital i els components associats estan operatius.

- Keypads:

Es comprova que, en prémer qualsevol botó, el sistema imprimeixi per terminal el botó que ha estat activat o desactivat. Això valida tant la connexió com la interpretació del senyal digital.

- Potenciòmetre:

Es llegirà el valor analògic del potenciòmetre i es mostrarà en temps real per terminal, fet que permet comprovar la precisió i la continuïtat de la lectura analògica.

- Termistor:

El sistema llegirà la temperatura detectada pel termistor i actualitzarà la informació en intervals regulars (cada segon), assegurant que el sensor funciona dins els paràmetres esperats i que la lectura és estable.

- Acceleròmetre:

Aquest test permetrà observar les dades d'acceleració en els tres eixos (X, Y i Z) a través del terminal, validant així la capacitat del mòdul per captar moviment i orientar-se adequadament.

- Giroscopi:

De manera similar al cas de l'acceleròmetre, aquest test imprimeix per terminal les dades de rotació angular, permetent comprovar que el giroscopi registra correctament els girs i moviments de la placa.

2.2 Implementar un test global que integri la validació de tots els mòduls en una sola execució.

Aquest objectiu pretén optimitzar el procés de validació de la placa electrònica en contextos reals d'ús, com ara la seva devolució per part dels estudiants. Amb aquest test global, és possible executar de manera automàtica totes les comprovacions de mòduls en una única operació, reduint el temps d'intervenció manual i facilitant la detecció de possibles avaries o errors. A més, aquest test s'ha dissenyat amb criteris de robustesa i escalabilitat, cosa que permet que nous mòduls o proves futures puguin ser integrats sense dificultat.

2.3 Dissenyar i implementar una sèrie d'exercicis educatius mitjançant Arduino, amb l'objectiu que els estudiants puguin experimentar i entendre el funcionament pràctic dels diferents mòduls de la placa.

Aquests exercicis tenen com a finalitat principal fomentar l'aprenentatge actiu i el desenvolupament de competències tècniques en l'àmbit de l'electrònica i la programació de sistemes encastats. Cada exercici es centra en un conjunt concret de funcionalitats i estableix una connexió lògica entre teoria i pràctica. Els exercicis proposats són els següents:

- Exercici 1:

Es tracta d'un exercici introductori que consisteix en encendre i apagar un LED de la Teensy 3.5 mitjançant un retard programat. Serveix per familiaritzar els estudiants amb els pins digitals i la lectura de la documentació tècnica de la placa.

- Exercici 2:

En aquest exercici es vinculen els keypads amb els LEDs. Quan l'alumne prem un botó, s'encén el LED associat. Això reforça la comprensió de la comunicació entre dispositius d'entrada i sortida.

- Exercici 3:

Aquest exercici integra el mòdul d'acceleròmetre. Si el sensor detecta una caiguda, s'activa un LED com a sistema d'alerta.

- Exercici 4:

El valor del potenciòmetre s'utilitza per controlar la intensitat dels LEDs, generant un efecte visual semblant a una barra de potència. És útil per comprendre el comportament dels senyals analògics.

- Exercici 5:

Finalment, aquest exercici permet visualitzar la temperatura llegida pel termistor quan es prem un botó, demostrant la integració entre sensors i elements de control digital. També permet entendre el funcionament dels termistors, degut a que la seva utilització no es molt intuïtiva.

2.4 Elaborar una documentació tècnica complementària detallada, que inclogui el mapa de pins de la placa i la seva associació amb cada mòdul funcional.

Aquesta documentació resulta fonamental tant per al desenvolupament del programari de validació com per als exerci-

cis educatius, ja que permet una referència ràpida i clara a l'hora de connectar o configurar qualsevol mòdul.

2.5 Desenvolupar tests individuals dels mòduls utilitzant la placa EFM32 Giant Gecko Starter Kit, basada en l'arquitectura ARM Cortex-M3, per a validar el comportament dels components en un entorn més avançat i proper al món professional.

Aquest objectiu permet ampliar les possibilitats del projecte més enllà de l'entorn Arduino, explorant arquitectures més utilitzades en entorns industrials i empresarials. Amb això, es proporciona als estudiants una experiència més completa i realista, exposant-los a diferents tecnologies i maneres de treballar amb hardware encastat.

3 ESTAT DE L'ART

Aquest projecte s'emmarca dins dels àmbits de l'enginyeria electrònica, concretament en tres línies principals: les tecnologies educatives existents, els sistemes automatitzats de test i validació de hardware, i les pràctiques docents amb hardware programable. L'objectiu és desenvolupar un sistema de test automatitzat per a una placa electrònica dissenyada per la universitat, per tal que els alumnes puguin aprendre de forma autònoma, enduent-se la placa a casa.

3.1 Tecnologies educatives existents

Actualment existeixen múltiples plataformes de hardware orientades a l'ensenyament. Entre les més utilitzades hi trobem Arduino, ESP32, Teensy i Raspberry Pi. Les tres primeres estan especialment enfocades a l'ús de mòduls i a la comunicació entre perifèrics, mentre que la Raspberry Pi se centra més en l'àmbit dels sistemes operatius i aplicacions tipus servidor o processament de dades.

Arduino ha esdevingut una eina educativa estàndard per la seva simplicitat i per l'àmplia comunitat que en facilita l'ús. La Teensy 3.5, basada en arquitectura ARM Cortex-M4, és compatible amb l'ecosistema Arduino però ofereix una major potència de càlcul. D'altra banda, la EFM32 Giant Gecko (tot i que menys comuna en entorns docents) és molt útil per introduir els alumnes a plataformes de tipus més industrial.

Malgrat la seva versatilitat, aquestes plataformes no solen incloure sistemes de diagnòstic o validació post-ús, cosa que pot suposar un inconvenient quan es vol garantir la reutilització del material en entorns docents intensius. És en aquest punt on es justifica la proposta del present projecte.

3.2 Sistemes de test i validació de hardware

En l'àmbit industrial, els sistemes de test de hardware són essencials, utilitzant tècniques com el test funcional, el boundary scan o les proves de caixa blanca i negra. Tanmateix, en el context educatiu, aquest tipus de validació es realitza poques vegades de forma automatitzada.

Alguns kits comercials, com Grove o Elecfreaks, incorporen comprovacions manuals bàsiques, però no disposen

d'un sistema integrat de validació funcional que permeti detectar errors després de l'ús dels estudiants.

A nivell universitari, existeixen algunes solucions desenvolupades ad hoc per part d'equips docents o alumnes, però sovint no estan documentades ni dissenyades per a una reutilització sistemàtica, fet que en limita l'aprofitament a llarg termini.

3.3 Pràctiques docents amb hardware programable

L'adopció de metodologies actives com l'aprenentatge basat en projectes (ABP) o les aules laboratori ha incrementat l'ús del hardware en l'ensenyament d'enginyeria. No obstant això, la majoria d'aquestes pràctiques es limiten al context del laboratori, i no contemplen l'ús de hardware fora del campus.

Els kits educatius comercials cobreixen aspectes bàsics, però no garanteixen que el hardware pugui ser reutilitzat amb fiabilitat, ni ofereixen sistemes per verificar-ne l'estat després del seu ús per diferents estudiants.

3.4 Aportació del projecte

Aquest projecte pretén cobrir aquest buit amb el desenvolupament d'un sistema de validació funcional automàtica per a una placa dissenyada específicament amb finalitats docents. Aquest sistema permetrà fer un seguiment de l'estat del hardware després de cada ús, facilitant així el seu manteniment i reutilització.

A més, s'han dissenyat exercicis pràctics orientats a l'autoaprenentatge, tant dins com fora de l'aula, amb l'objectiu de fomentar l'autonomia de l'estudiant i maximitzar l'aprofitament de la placa. Així, es contribueix a una proposta docent més flexible i sostenible.

4 METODOLOGIA

4.1 Enfocament general del projecte

Per al desenvolupament d'aquest projecte s'ha adoptat una metodologia pràctica i iterativa, orientada al disseny, implementació i validació de sistemes de test automatitzats per a una placa electrònica educativa. L'objectiu era oferir una eina funcional que permetés validar el correcte funcionament del hardware abans i després de ser utilitzat pels estudiants en entorns docents, tant dins com fora de l'aula.

Durant tot el procés s'han mantingut reunions de seguiment setmanals telemàticament (cada dimecres) amb el tutor del projecte. Ocasionalment també s'han organitzat reunions presencials per revisar aspectes més concrets del desenvolupament de les proves o dubtes sobre la placa. Aquestes trobades han permès resoldre dubtes tècnics, revisar l'evolució del treball i ajustar la planificació segons les necessitats detectades.

4.2 Descripció de la placa

La placa desenvolupada per aquest projecte rep el nom de Teensy 3.5 Development Extension Board (TDEB 3.5), i ha estat dissenyada per ampliar les funcionalitats de la placa

Teensy 3.5, oferint un conjunt de mòduls i interfícies orientades a la docència en enginyeria electrònica.

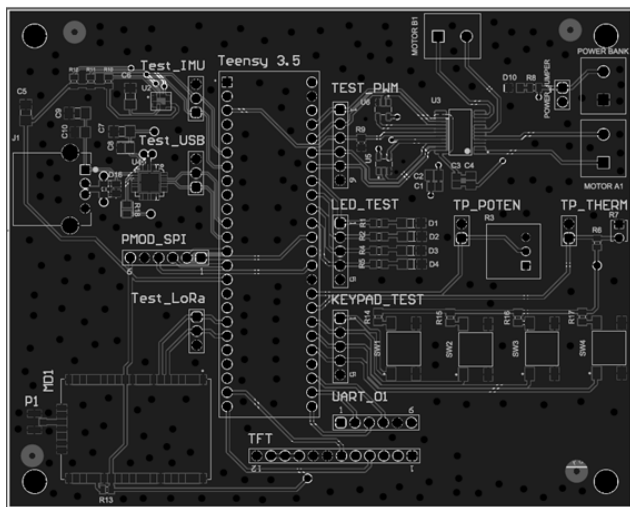


Figura 1: Teensy 3.5 Development Extension Board (TDEB 3.5)

Especificacions tècniques:

- Dimensions físiques: 113 mm × 90 mm
- Material dielèctric: FR-4 amb un gruix de 1,5 mm
- Capes conductores: doble capa de coure (0,035 mm cadascuna)
- Màscara de soldadura: gruix de 0,015 mm

Condicions d'operació:

- Alimentació: 3.3V
- Temperatura: -40 °C a 105 °C
- Humitat: 20
- Freqüència màxima d'operació: 1 GHz
- Absorció d'humitat: 0,16
- Capacitat de corrent màxima per pista: 0,5 A

Mòduls Integrats:

- Transceptor LoRa (RN2483A-I/RM104)
- USB – UART bridge (CP2102-GMR)
- Expansió UART PMOD
- Driver de motor (TB6612FNG)
- Termistor NTC (NTCLE100E3104JB0)
- Potenciòmetre ajustable (3310R-125-103L)
- LEDs indicadors (HSMG-C150)
- Keypad matricial
- Pantalla TFT
- Expansió SPI PMOD
- Sensor IMU (LSM6DSOTR: acceleròmetre + giroscopi)
- Expansió I2C

4.3 Entorn de desenvolupament

Al haver connectat la TDEB 3.5 a dos plaques diferents, hem hagut d'utilitzar dos entorns diferents:

- Arduino IDE:

Utilitzat per programar la placa quan està connectada a una Teensy 3.5, per al desenvolupament de tests individuals i exercicis pràctics per a estudiants.

- Simplicity Studio:

Entorn de desenvolupament emprat per fer els tests funcionals mitjançant la EFM32 Giant Gecko Starter Kit, aprofitant l'arquitectura EFM32 per ampliar els escenaris de prova.

4.4 Fases de desenvolupament

El desenvolupament del projecte s'ha dividit en diverses fases, que han permès estructurar i organitzar el treball de forma eficient. A continuació, es detallen les principals etapes següents:

4.4.1 Anàlisi inicial de la placa

En aquesta fase es va realitzar un estudi detallat de la placa desenvolupada per la universitat, identificant els diferents mòduls integrats i les seves possibles funcionalitats. Aquesta anàlisi va permetre establir quins components serien objecte de test i exercici pràctic, així com les seves connexions físiques i lògiques amb la Teensy 3.5.

4.4.2 Estudi de l'entorn Arduino

Com que fins al moment no s'havia treballat amb Arduino, va ser necessari adquirir coneixements bàsics sobre aquest entorn de desenvolupament: estructura dels programes, ús de llibreries, gestió de ports GPIO i lectura de sensors. Aquesta etapa va ser clau per poder implementar els tests de forma eficaç.

4.4.3 Disseny dels casos de test i exercicis en Arduino

Un cop analitzats els mòduls, es van dissenyar els casos de test individuals per validar el seu correcte funcionament. Aquests tests es van implementar mitjançant Arduino IDE i executats amb la Teensy 3.5.

4.4.4 Desenvolupament del test global

Un cop desenvolupats i validats els tests individuals, es va crear un test integrat que agrupés totes les comprovacions en un únic programa. Aquest test global permet verificar el funcionament complet de la placa de forma automatitzada, facilitant-ne la reutilització després del seu ús per part dels estudiants.

4.4.5 Creació de la documentació

Una vegada creats els tests i exercicis amb arduino, es va crear un document on estan mapejats els pins necessaris per que un alumne o docent pugui veure a quin pin o conjunt de pins corresponen a cada mòdul

4.4.6 Desenvolupament de proves amb EFM32

Finalment, es vol iniciar la implementació dels tests dels mateixos mòduls, però utilitzant la placa EFM32 Giant Gecko Starter Kit com a entorn alternatiu. Aquesta etapa té com a objectiu validar el comportament de la placa desenvolupada també en arquitectures industrials, ampliant així les possibilitats d'ús del sistema en diferents contextos educatius.

5 ERRORS TROBATS I CANVIS EN LA PLANIFICACIÓ

Durant el desenvolupament del projecte, es van identificar diverses limitacions tècniques que van obligar a ajustar la planificació inicial i descartar alguns tests previstos. A continuació, es detallen aquests canvis i els seus motius:

1. Mòdul PWM (Modulació per amplada d'impulsos):

Inicialment es pretenia desenvolupar un test per verificar el funcionament del PWM mitjançant el control de la intensitat dels LEDs. No obstant això, es va descobrir que el senyal PWM només està disponible en determinats pins de la placa, i aquests no estan connectats als LEDs, si no que son part d'un driver de motor (TB6612FNG). A més, per fer una prova funcional hauria calgut utilitzar motors, els quals no estaven disponibles en el moment del test.

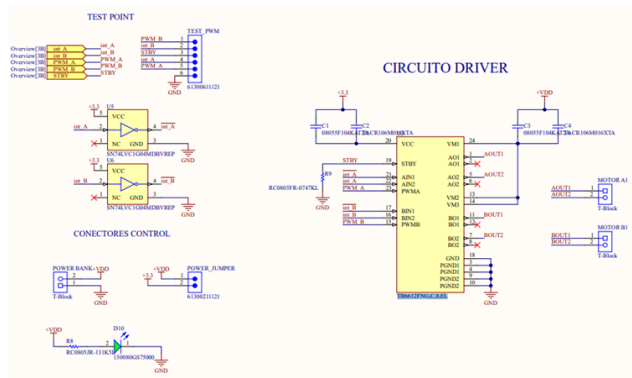


Figura 2: Esquema de pins del driver del motor

Nom PCB	Descripció TEENSY	Pin of TEENSY
PWM_B	Senyal PWM que controla la velocitat del motor B	23
PWM_A	Senyal PWM que controla la velocitat del motor A	20
int_B	Senyal digital que controla la direcció de gir del motor B	22
int_A	Senyal digital que controla la direcció de gir del motor A	21
STBY	Senyal de enable	1

Figura 3: Pins del driver del motor

Com podem veure, en un primer moment es creia que la placa tenia un mòdul PWM, però com hem observat a les imatges, només és un driver de motor que els utilitza per poder moure el motor en una direcció o altra a una velocitat determinada, i d'aquesta manera el PWM no està connectat a la placa, si no que s'utilitza només per aquest mòdul, per aquest motiu, es va decidir eliminar aquest test del pla inicial.

2. Mòdul I2C:

Es va detectar un problema de connexió amb el bus I2C principal. Tot i això, es va trobar una solució alternativa utilitzant el canal I2C0 disponible al connector UART01. Es va fer una connexió manual amb cables cap al connector TEST IMU, amb la següent configuració:

PIN 2 de UART01 connectat al PIN 1 de TEST IMU

PIN 3 de UART01 connectat al PIN 2 de TEST IMU

Aquesta solució va permetre continuar amb les proves relacionades amb el mòdul IMU sense necessitat de modificar físicament la placa.

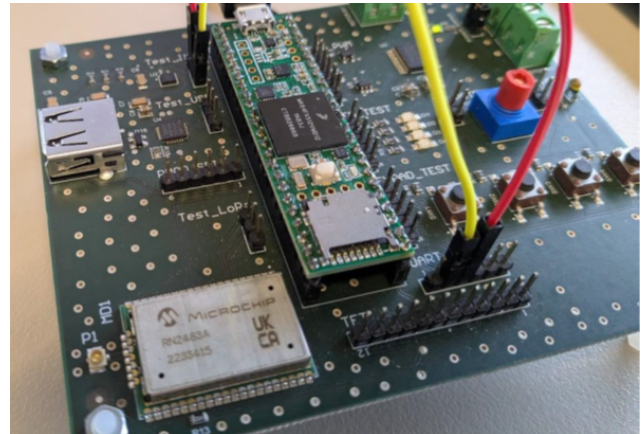


Figura 4: Connexions per corregir I2C

3. Mòdul LoRaWAN:

També es volia desenvolupar un test per al mòdul LoRaWAN. No obstant això, aquest mòdul requereix una antena externa per funcionar correctament, la qual no estava disponible. Malgrat diversos intents, a la universitat no es va aconseguir establir cap comunicació funcional (ni enviament ni recepció de dades), fet que va portar a descartar aquest test.

Per arrecalar aquest problema, pot ser que calgui resetejar el modem, per fer-ho cal fer contacte entre massa i la resistència R13.

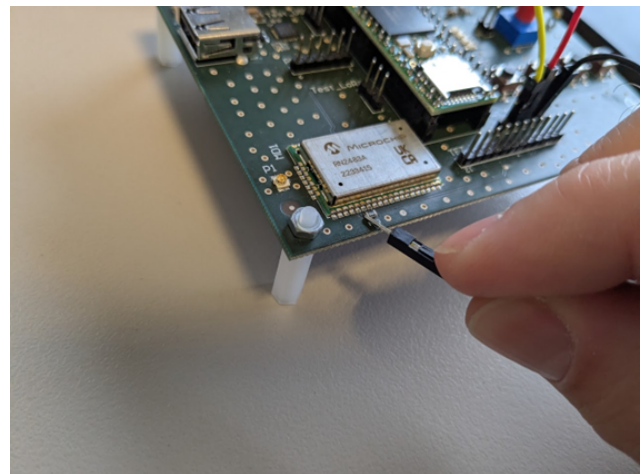


Figura 5: Contacte entre massa i resistència

4. Mòdul USB:

Finalment, es va plantejar fer un test del mòdul USB. Tanmateix, aquest mòdul es troba mal implementat, ja que incorpora un connector femella no compatible amb el maquinari disponible (no es disposava d'adaptadors per fer la connexió). Davant aquesta limitació, es va decidir excloure aquest test del projecte.

6 RESULTATS

En aquest apartat s'exposen de manera detallada els resultats obtinguts a partir de l'execució de les proves i exer-

cicis dissenyats per validar el funcionament de la placa electrònica desenvolupada per la universitat. L'objectiu principal del projecte ha estat implementar un entorn complet de proves que permeti comprovar de manera automatitzada i eficient l'estat funcional de la placa cada vegada que un alumne la retorna, després d'haver-la utilitzat per fer pràctiques fora de l'aula. Aquesta validació automàtica és clau per garantir la fiabilitat del maquinari docent i la seva reutilització òptima en un entorn educatiu.

6.1 Resultats dels tests individuals amb Arduino

-LEDs

S'ha desenvolupat una prova específica per verificar el correcte funcionament dels LEDs integrats a la placa. Aquesta prova consisteix en una seqüència d'activació i desactivació de cadascun dels LEDs, alternant-los de manera intermitent i seguint un patró predefinit. Aquest tipus de test permet identificar amb claredat si algun dels LEDs presenta defectes, com ara fallades de connexió, LED fos o problemes de soldadura.

-Keypads

Per comprovar el bon estat dels teclats (keypads), s'ha dissenyat una rutina que mostra per terminal la informació sobre quins botons han estat premuts i alliberats en temps real. Aquest sistema de retroalimentació immediata permet a l'usuari validar no només la connectivitat dels botons, sinó també el seu comportament elàstic i la resposta del sistema de lectura digital.

-Potenciòmetre

El test del potenciòmetre consisteix en la lectura contínua del valor analògic proporcionat pel component. Aquest valor es mostra per pantalla a través del terminal sèrie, i es pot observar com varia en funció del gir de l'eix del potenciòmetre. Això no només valida la funcionalitat del sensor, sinó també la seva integració correcte amb l'entrada analògica corresponent de la placa.

-Termistor

Per verificar el funcionament del sensor de temperatura (termistor), s'ha programat un test que llegeix de forma contínua la variació de resistència i la converteix a temperatura, mostrant aquesta informació per terminal. El test s'actualitza a intervals regulars, la qual cosa permet observar els canvis ambientals i comprovar que la resposta del sensor és coherent amb les condicions reals.

-Acceleròmetre

Aquest mòdul s'ha testejat mitjançant la lectura en temps real de les dades d'acceleració en els tres eixos (X, Y, Z). Les dades recollides es mostren de forma contínua per terminal, cosa que facilita la identificació d'anomalies o valors inusuals. El test és útil per detectar moviments sobtats o canvis d'orientació, i assegura que la comunicació entre el sensor i el microcontrolador funciona correctament.

-Giroscopi

De manera similar a l'acceleròmetre, el giroscopi ha estat testejat mostrant per terminal els valors corresponents als diferents eixos de rotació. Això permet visualitzar en temps real la rotació de la placa i verificar la sensibilitat i precisió del sensor. El correcte funcionament d'aquest mòdul és especialment rellevant en aplicacions que impliquen estabilització o detecció de moviment angular.

6.2 Test global automatitzat

Un dels principals resultats tècnics del projecte ha estat el desenvolupament d'un test global que integra totes les proves individuals mencionades anteriorment. Aquest test automatitzat s'ha dissenyat perquè pugui ser executat de manera autònoma i sense necessitat d'intervenció de l'usuari. Ofereix una validació completa i sistemàtica de la placa, i és fàcilment escalable: s'hi poden incorporar nous mòduls i proves addicionals en el futur amb modificacions mínimes al codi base. Aquesta solució contribueix directament a l'objectiu de crear un sistema de comprovació ràpid, fiable i reutilitzable.

6.3 Resultats dels exercicis pràctics

Els exercicis pràctics dissenyats per ser realitzats per l'alumnat amb la placa han generat també resultats positius. Aquests exercicis tenen una doble funció: d'una banda, facilitar l'aprenentatge pràctic dels conceptes tècnics; de l'altra, actuar com a proves indirectes del correcte funcionament dels mòduls implicats.

-Exercici 1 Encesa bàsica d'un LED

Aquest exercici introdueix els estudiants al control digital bàsic. Consisteix a encendre i apagar un LED utilitzant una instrucció digitalWrite combinada amb una pausa temporal (delay). L'activitat serveix per familiaritzar-se amb el funcionament dels pins digitals, la seva configuració i la relació entre hardware i codi.

-Exercici 2 Interacció entre keypads i LEDs

Aquí es crea una associació directa entre cada botó del keypad i un LED específic. Quan l'alumne prem un botó, el LED corresponent s'encén, i s'apaga quan es deixa de prémer. Aquest exercici reforça la comprensió sobre entrades digitals i sortides digitals, i mostra com gestionar múltiples elements en paral·lel.

-Exercici 3 Detecció de caiguda amb l'acceleròmetre

Aquest exercici aprofita les dades proporcionades per l'acceleròmetre per detectar moviments sobtats o caigudes, simulant una situació d'emergència. En detectar aquest esdeveniment, s'activa una seqüència d'intermitència dels LEDs com a senyal d'alarma. És un exercici més avançat, que integra lectures analògiques, tractament de senyals i control visual.

-Exercici 4 Visualització de potència amb LEDs

Es crea una "barra de potència" visual utilitzant diversos LEDs, els quals s'encenen progressivament en funció del valor llegit del potenciòmetre. Aquesta implementació permet veure la relació directa entre una entrada analògica i una sortida digital múltiple, mostrant clarament com es pot utilitzar la informació del sensor per controlar l'estat visual de la placa.

-Exercici 5 Lectura de temperatura activada per botó

Aquest exercici permet a l'alumne llegir el valor del termistor només quan es prem un botó. Aquesta condició afegeix una lògica de control que introdueix els estudiants al treball amb entrades condicionals i permet integrar múltiples sensors i accions dins un mateix flux de treball.

A més d'aquests exercicis, s'ha desenvolupat i entregat un document de referència que inclou el mapa complet dels pins de la placa i els mòduls corresponents a cada connexió. Aquesta documentació és essencial per facilitar el treball

tècnic tant dels docents com dels estudiants, i contribueix a evitar errors de connexió durant les pràctiques.

Modul	Pin
LED Placa Arduino	13
I2C SDA	34
I2C SCL	33
Keypad 1	14
Keypad 2	39
Keypad 3	38
Keypad 4	37
LED 1	16
LED 2	17
LED 3	18
LED 4	19
Potenciometre	A22
Thermistor	A21

Figura 6: Guia Pins

6.4 Resultats dels tests amb EFM32

Per tal de demostrar la compatibilitat i funcionalitat del sistema amb altres arquitectures, s'han implementat proves equivalents utilitzant la placa EFM32 Giant Gecko, que utilitza una arquitectura ARM més pròxima als entorns industrials i professionals.

- Keypads i LEDs

S'ha desenvolupat un test que replica la funcionalitat de l'exercici 2 anterior, mitjançant la lectura dels keypads i l'encesa del LED corresponent. Aquest test ha permès comprovar que els mòduls es poden integrar també en entorns EFM32, i que el comportament és coherent amb el registrat a Arduino.

- Potenciòmetre

Amb aquest test, es valida la lectura analògica del potenciòmetre mostrant per terminal dues dades: el valor cru (de 0 a 1023) i la seva conversió a volts, basada en la tensió de referència. Aquesta doble visualització ofereix més context al valor llegit i facilita la comparació amb altres sistemes.

7 CONCLUSIONS

L'objectiu general d'aquest treball ha estat el desenvolupament d'un sistema de validació funcional per a una placa docent dissenyada per la universitat, amb l'objectiu de facilitar-ne la reutilització entre estudiants i docents. Aquesta iniciativa s'emmarca en la creació d'un servei que permeti als alumnes endur-se la placa a casa per fer pràctiques, i a la seva posterior devolució, verificar que continua funcionant correctament mitjançant un conjunt de proves automàtiques. A més d'aquest propòsit principal, també es va establir com a objectiu secundari —però no menys rellevant— el disseny i implementació d'una sèrie d'exercicis didàctics per tal que els estudiants poguessin practicar amb la placa tant a l'aula de pràctiques com en entorns domèstics.

Un cop finalitzat el desenvolupament del projecte, es pot afirmar que s'han assolit plenament els objectius proposats, tant el global com els específics. D'una banda, s'han dissenyat i implementat amb èxit una sèrie de tests funcionals per

als diferents mòduls presents a la placa utilitzant la plataforma Arduino. Aquest conjunt de proves inclou tant tests individuals —un per a cada mòdul— com un test global que integra tots els components per oferir una validació completa i eficient. D'altra banda, s'han desenvolupat també diversos tests en l'entorn EFM32, fet que aporta una major versatilitat al projecte. A més, s'han creat exercicis pràctics orientats a l'aprenentatge dels estudiants, dissenyats amb una dificultat progressiva i amb l'objectiu de fomentar la comprensió i l'autonomia tècnica en l'ús de la placa. Finalment, s'ha generat la documentació tècnica necessària, incloent un mapa detallat dels pins de connexió i els mòduls associats, per tal de facilitar el treball dels usuaris.

Pel que fa a l'aprenentatge personal, aquest projecte ha representat una oportunitat excel·lent per endinsar-me en el món del desenvolupament hardware i de la programació amb Arduino, una plataforma que sempre m'ha despertat curiositat i interès, però amb la qual no havia tingut ocasió de treballar prèviament. El procés d'adaptació i aprenentatge ha estat intens, però també molt enriquidor, ja que m'ha permès adquirir competències pràctiques en el desenvolupament de programari orientat a hardware, i entendre millor com es comuniquen els diferents mòduls d'una placa mitjançant els seus protocols específics. A més, he pogut explorar una arquitectura més avançada i pròxima a l'àmbit industrial, com és el cas d'EFM32, basada en microcontroladors ARM. Tot i que aquesta plataforma pot resultar inicialment més complexa que Arduino, he trobat fascinant descobrir el seu potencial i les possibilitats que ofereix en entorns professionals.

El desenvolupament del projecte no ha estat exempt de dificultats. Una de les principals limitacions ha estat el fet que he hagut d'aprendre bona part dels coneixements mentre anava avançant en el treball. El món del hardware embegut és molt ampli i sovint requereix experiència i una base tècnica sòlida. Tanmateix, gràcies a la gran quantitat de recursos disponibles, com ara tutorials, documentació oficial i comunitats en línia, ha estat possible superar els entrebancs i continuar progressant. Una altra limitació ha estat relacionada amb la disponibilitat de components físics (com l'antena per al mòdul LoRa o adaptadors USB), fet que ha impedit implementar algunes de les proves previstes inicialment.

De cara al futur, es plantegen diverses línies de treball que podrien enriquir encara més el projecte. Per exemple, seria interessant implementar versions equivalents dels exercicis actuals en l'entorn EFM32, per tal de permetre una comparativa funcional entre arquitectures i oferir als alumnes una visió més completa de les seves diferències i similituds. Així mateix, es podrien ampliar els tests existents o afegir-ne de nous per a mòduls no contemplats fins ara, així com reforçar el test global amb funcionalitats de diagnòstic més avançades. També es podria treballar en una interfície gràfica que facilités l'execució dels tests i la visualització dels resultats, pensada tant per a docents com per al personal de gestió.

Aquest projecte té un caràcter marcadament aplicat, i el seu impacte es farà notar en diversos àmbits dins de la comunitat universitària. Els docents el podran fer servir per proposar exercicis pràctics; els estudiants en podran treure profit per practicar a casa i reforçar els seus coneixements; i el personal administratiu tindrà una eina clara i funcional

per gestionar les plaques i garantir-ne el bon estat.

Com a valoració personal final, puc dir que aquest projecte ha estat una experiència molt positiva, tant en l'àmbit acadèmic com personal. M'ha permès endinsar-me en un camp que m'interessa profundament, experimentar en primera persona amb hardware real i comprovar com els meus coneixements anaven creixent i prenent forma a mesura que les proves funcionaven i el sistema s'anava completant. El fet de saber que aquest treball tindrà una utilitat pràctica real i contribuirà a la formació d'altres estudiants és, sens dubte, una gran satisfacció. Considero, per tant, que aquest TFG no només ha estat un repte tècnic superat, sinó també una experiència de creixement personal i professional molt significativa.

8 BIOGRAFIA/WEBGRAFIA

<https://sistemesencastats.wordpress.com>

<https://github.com/mariusmm/curseembedded/tree/master/Simplicity>

<https://www.pjrc.com/store/teensy35.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=gx5yFvVDUsYlist=PLyLh25DppBIe40j3VBAslnVfs4Pz-B3ZB>

<https://www.silabs.com/development-tools/mcu/32-bit/efm32gg-starter-kit?tab=overview>

<https://www.raspberrypi.com/>

AGRAÏMENTS

Voldria expressar el meu sincer agraïment a totes les persones que m'han ajudat, ja sigui a docents quan necessitava ajuda, com als amics que feien companyia en les hores de treball, degut a que ha representat una etapa molt enriquidora tant a nivell acadèmic com personal.

Agraeixo al Departament d'Enginyeria Electrònica de la Universitat per facilitar-me l'accés als recursos tècnics, essencials per al desenvolupament del projecte.

Un agraïment molt especial al meu tutor, Marius Montón Macian, per la seva disponibilitat, la seva ajuda, els seus consells i la seva paciència al llarg de tot el procés.

Agraeixo als meus amics, que encara que no saben d'informàtica, em donaven idees per poder desenvolupar el projecte.

Sense totes aquestes persones, aquest treball no hauria estat possible. Gràcies de tot cor.

APÈNDIX

En aquest projecte s'han desenvolupat codis i s'han enregistrat vídeos sobre el funcionament dels exercicis i tests. Aquests documents estan recollits en un adjunt.