



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

Menardia Samsó, Martí. *Cotxe autònom per a la NXP Cup*. Treball de Final de Grau (Universitat Autònoma de Barcelona), 2026 (Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/334458>

under the terms of the  license.

Desenvolupament d'un Cotxe Autònom Basat en la Plataforma NXP Cup amb Finalitats Educatives

Martí Menardia Samsó

Resum—Aquest Treball de Fi de Grau consisteix en el disseny, muntatge i programació d'un cotxe autònom basat en la plataforma utilitzada a la NXP Cup. El projecte inclou la integració de components mecànics i electrònics, així com el desenvolupament del programari necessari per al seguiment autònom de circuits. A més, s'estudia la viabilitat d'afegir nous components i sistemes de connectivitat amb dispositius externs per a la transmissió d'informació i control del vehicle. Finalment, es proposa l'adaptació del cotxe com a eina educativa per a la realització de pràctiques en assignatures del grau d'Enginyeria Informàtica.

Paraules clau—Cotxe autònom, sistemes embotrats, NXP Cup, microcontroladors, docència

Abstract—This Final Degree Project focuses on the design, assembly and programming of an autonomous car based on the NXP Cup platform. The project covers the integration of mechanical and electronic components, as well as the development of the software required for autonomous circuit tracking. In addition, the feasibility of adding new components and connectivity systems with external devices is studied in order to enable data transmission and vehicle control. Finally, the project explores the adaptation of the car as an educational tool for laboratory practices in Computer Engineering courses.

Index Terms— Autonomous car, embedded systems, NXP Cup, microcontrollers, education



1 INTRODUCCIÓ - CONTEXT DEL TREBALL

Aquest Treball de Fi de Grau s'emmarca en l'àmbit dels sistemes empotrats i la robòtica mòbil, amb l'objectiu de desenvolupar un cotxe autònom capaç de circular per un circuit de proves seguint una línia blanca pintada al terra. El projecte es basa en la plataforma de la NXP Cup [1], una competició internacional orientada a l'aprenentatge pràctic en enginyeria, que permet treballar amb un sistema real integrant maquinari i programari.

La motivació principal d'aquest treball és aplicar els coneixements adquirits al llarg del grau en un projecte pràctic basat en microcontroladors i sistemes empotrats, així com explorar la viabilitat del vehicle com a eina educativa per a futures pràctiques docents. Durant el desenvolupament s'ha completat el muntatge del vehicle, s'ha posat en marxa l'entorn de programació i s'han implementat i validat diversos subsistemes funcionals sobre el maquinari real.

Els objectius generals del projecte són completar el muntatge del cotxe autònom, posar en funcionament els seus subsistemes (tracció, direcció, interacció amb l'usuari i percepció mitjançant càmera), i estudiar possibles ampliacions del sistema, com la incorporació de connectivitat amb dispositius externs o la seva reutilització amb finalitats docents.

El document s'organitza de la manera següent: a la Secció 2 es descriu el desenvolupament del projecte, incloent el muntatge, l'arquitectura de programari, els subsistemes implementats i les incidències tècniques resoltes; a la Secció 3 es presenta el mètode d'avaluació i els resultats obtinguts; i finalment, a la Secció 4 es recullen les conclusions i les línies de continuació del treball.

2 DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

2.1 Muntatge del vehicle

El desenvolupament del projecte s'ha iniciat amb el muntatge mecànic del vehicle, seguint el manual oficial de muntatge [2] proporcionat per la universitat. S'ha completat l'estructura base del cotxe, la instal·lació dels dos motors de tracció, el servo de direcció a l'eix davanter, el pont en H (L298N) per al control dels motors, la placa controladora NXP S32K144 i la càmera Pixy2 sobre el seu suport.

Durant el procés de muntatge es va detectar la manca de diversos cargols del tipus M3x12, necessaris per continuar

amb les fases següents. Un cop detectat el problema, es va contactar amb la universitat, que va facilitar el material necessari, i el muntatge es va poder reprendre amb normalitat. A la Figura 1 es mostra el muntatge final del vehicle amb tots els components integrats.

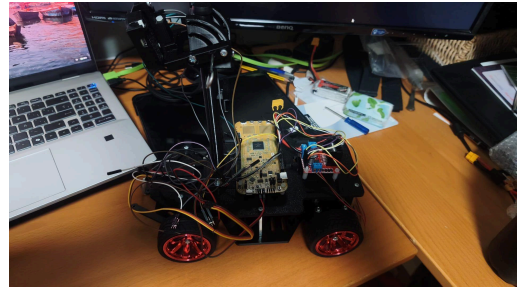


Figura 1: Muntatge del vehicle amb la placa S32K144, el pont en H L298N i la càmera Pixy2.

2.2 Arquitectura de maquinari i connexions

El sistema s'articula al voltant de la placa NXP S32K144, un microcontrolador de 32 bits basat en ARM Cortex-M4 orientat a aplicacions d'automoció. La placa gestiona tots els perifèrics del vehicle mitjançant diferents interfícies de comunicació, cadascuna adequada al tipus de dispositiu connectat.

L'alimentació prové d'una bateria que alimenta el pont en H L298N, encarregat de subministrar potència als dos motors de tracció. La placa controladora i la resta de perifèrics de senyal s'alimenten de manera regulada, mantenint una massa (GND) comuna a tot el sistema, condició imprescindible per al correcte funcionament de les comunicacions i els senyals de control.

Les interfícies emprades són: PWM per al control de velocitat dels motors i la posició del servo de direcció; GPIO (entrada/sortida digital) per als pulsadors d'usuari; I2C per a la comunicació amb la càmera Pixy2 i el display; i ADC i ICU disponibles per a sensors analògics i el receptor de ràdio. La Taula 1 resumeix l'assignació de perifèrics.

Component	Interfície	Pins / Canals	Funció
Motors de tracció	PWM + GPIO	via L298N	Velocitat i sentit
Servo de direcció	PWM	PWM 1 (PTE6)	Direcció davantera
Pulsador SW2	GPIO in	PTC12	Aturada / selecció
Pulsador SW3	GPIO in	PTC13	Arrancada / selecció
Càmera Pixy2	I2C	SDA / SCL	Detecció de línia
Display OLED	I2C	SDA / SCL	Telemetria

Taula 1: Resum d'interfícies i perifèrics del vehicle.

2.3 Entorn de desenvolupament i posada en marxa

El programari s'ha desenvolupat amb l'entorn oficial S32 Design Studio (S32DS), utilitzant el paquet RTD (Real-Time Drivers) de NXP, que segueix l'estàndard AUTOSAR emprat a la indústria de l'automoció. La configuració dels perifèrics es realitza mitjançant les eines gràfiques Pins i Peripherals de l'entorn, que generen automàticament el codi de baix nivell a partir de la configuració definida per l'usuari.

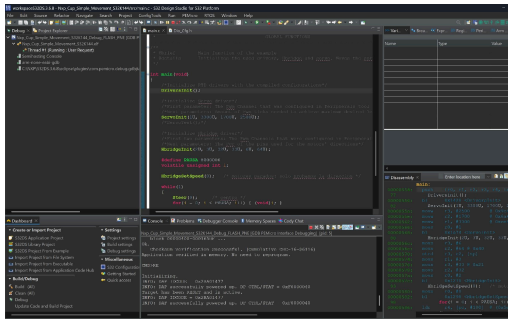


Figura 2: Entorn de desenvolupament S32 Design Studio durant una sessió de depuració sobre la placa.

La posada en marxa de l'entorn va requerir resoldre diverses incidències tècniques. En primer lloc, el projecte d'exemple esperava una versió concreta del compilador (GCC 10.2 per a ARM) que calia instal·lar des del gestor d'extensions de S32DS. En segon lloc, es va partir del projecte d'exemple oficial de la NXP Cup, que inclou els controladors base dels diferents perifèrics del vehicle. La gravació del programa a la placa es realitza a través de la interfície de depuració PEmicro integrada a la placa.

La inicialització del sistema es concentra en una rutina d'arrancada que configura, en ordre, el rellotge del sistema i el PLL, els mòduls de port, l'I2C, l'ICU, el GPT, l'ADC (amb calibratge) i el PWM. Aquesta seqüència deixa tots els perifèrics preparats abans d'executar la lògica de l'aplicació.

2.4 Subsistema de tracció

El control de la tracció es realitza mitjançant el pont en H L298N, governat des de la placa amb senyals PWM (per a la velocitat) i senyals digitals (per al sentit de gir) de cada motor. Sobre aquest subsistema s'han desenvolupat i validat seqüències de moviment que fan avançar, aturar i retrocedir el vehicle a diferents velocitats.

Durant les proves es va identificar la importància d'introduir retards temporals reals entre canvis d'estat: sense aquests, el microcontrolador commuta entre estats milers de vegades per segon i els motors no poden respondre, produint un comportament erràtic. Es va

comprovar a més que el compilador, en optimitzar el codi, elimina els bucles d'espera buits, per la qual cosa la variable de control del retard ha de declarar-se com a volatile per garantir que l'espera s'executi realment.

2.5 Interacció amb l'usuari: polsadors

Per dotar el vehicle d'una interfície d'usuari bàsica s'han integrat els dos polsadors de la placa (SW2 i SW3). Aquesta part ha requerit configurar de manera específica els pins corresponents (PTC12 i PTC13) com a entrades digitals mitjançant l'eina Pins, crear els canals corresponents al mòdul Dio mitjançant l'eina Peripherals, i desenvolupar la lògica de lectura al programa principal.

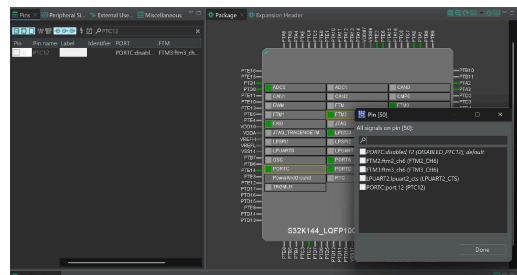


Figura 3: Configuració del pin PTC12 com a GPIO (PORTC:port,12) a l'eina Pins de S32DS.

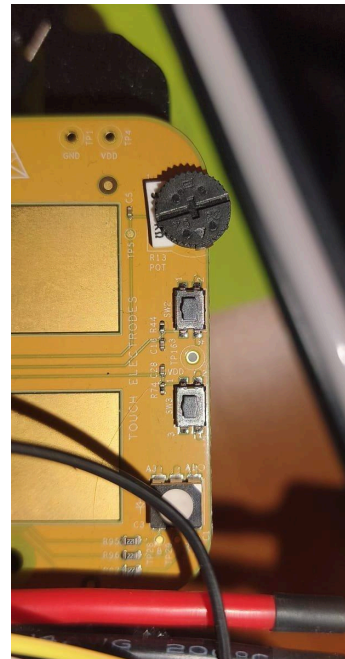


Figura 4: Detall dels polsadors SW2 i SW3 a la placa S32K144 (serigrafia visible).

```

int main(void)
{
    uint8 marcha = 0; /* el cotxe comença aturat */

    while(1)
    {
        /* SW3: posa el vehicle en marxa */
        if (Dio_ReadChannel(DioConf_DioChannel_SW3_Boton) == STD_HIGH) {
            marcha = 1;
        }
        /* SW2: atura el vehicle */
        if (Dio_ReadChannel(DioConf_DioChannel_SW2_Boton) == STD_HIGH) {
            marcha = 0;
        }

        if (marcha) {
            HbridgeSetSpeed(40);
        } else {
            HbridgeSetSpeed(0);
        }
    }
}

```

Figura 5: Fragment de codi que diferencia els pulsadors SW2 i SW3 mitjançant Dio_ReadChannel.

Es va implementar un sistema en què un pulsador posa el vehicle en marxa i l'altre l'atura. Una consideració de disseny rellevant és que els pulsadors es troben físicament sobre la placa i, per tant, no es poden accionar amb el vehicle en moviment; per aquest motiu s'orienten a tasques de configuració i arrancada prèvia (selecció de mode i inici), i no a un control continu durant la marxa. Aquest plantejament reproduïx l'esquema d'armat i arrancada habitual als vehicles de competició.

2.6 Subsistema de percepció: càmera Pixy2

La percepció de l'entorn es realitza mitjançant una càmera intel·ligent Pixy2, connectada a la placa per bus I2C. La Pixy2 incorpora el processament de visió a bord: executa internament l'algorisme de seguiment de línies i lliura el resultat ja processat en forma de vectors (posició i direcció de la línia dins de la imatge), de manera que el microcontrolador no ha d'executar visió per computador.

S'ha configurat la càmera per al seguiment de línies blanques sobre fons fosc, condició del circuit objectiu, mitjançant l'eina PixyMon. Aquesta configuració va requerir actualitzar el firmware de la càmera a una versió compatible amb el mode de seguiment de línies. Un cop configurada, s'ha validat en temps real la detecció correcta dels vectors de línia, observant com el vector segueix la línia quan aquesta es desplaça o gira davant de la càmera (Figura 2).

Un paràmetre determinant en aquesta configuració és el llindar de detecció de vores (edge threshold), que estableix el nivell de contrast mínim perquè la càmera consideri que ha trobat una línia. Durant les proves es va observar que un llindar massa baix provocava falsos positius: la càmera detectava com a línies les vetes del terra de fusta o les vores de l'armari del fons, generant vectors espuris. Es va ajustar el llindar a un valor de 80, prou alt per ignorar aquests elements de baix contrast i

detectar de manera fiable únicament la línia blanca, que presenta un contrast clarament superior respecte al fons. Aquest ajust il·lustra la importància de la calibració del sensor en funció de les condicions reals d'il·luminació i de l'entorn de proves.

El sistema disposa, a més, d'una rutina de normalització dels vectors lliurats per la càmera, que escala les coordenades a un rang fix (0-100) independent de la resolució del sensor. Aquesta normalització és la base sobre la qual operaria la lògica de control de direcció, ja que proporciona l'error lateral respecte a la posició central de la línia.

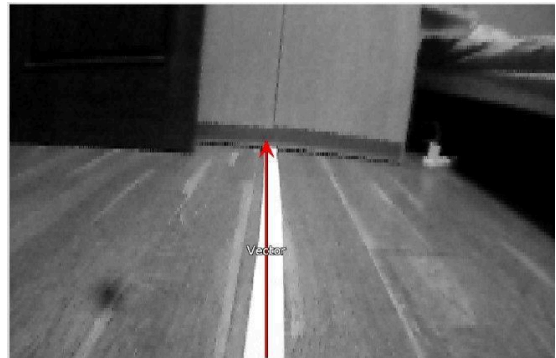


Figura 6: Detecció de la línia blanca a PixyMon. El vector vermell indica la posició i direcció de la línia detectada (threshold 80 per evitar falsos positius del terra).

2.7 Integració de perifèrics I2C i incidències

El bus I2C del vehicle dóna servei tant a la càmera Pixy2 com a un display OLED (controlador SSD1306) destinat a mostrar telemetria del vehicle. Es va abordar la integració del display seguint la metodologia estàndard per a perifèrics I2C: identificació de les línies del bus (SDA, SCL), alimentació i massa, verificació de l'aparellament de les connexions, i validació mitjançant la rutina de prova del framework.

El display no va arribar a inicialitzar-se. Es va dur a terme un diagnòstic sistemàtic que va descartar totes les causes externes: l'alimentació es va verificar instrumentalment, mesurant 5,06 V estables entre VCC i GND del mòdul, dins d'especificació; es va comprovar el cablejat en ambdues orientacions possibles de SDA/SCL; es va emprar la rutina de prova oficial, descartant errors de programari; i es va aïllar el display de la Pixy2 al bus, sense canvis. Descartades les causes externes, es conclou que el mòdul presenta una avaria de maquinari (unitat defectuosa). La metodologia d'integració queda no obstant documentada i validada a nivell de procediment, i la seva substitució es proposa com a treball futur immediat.

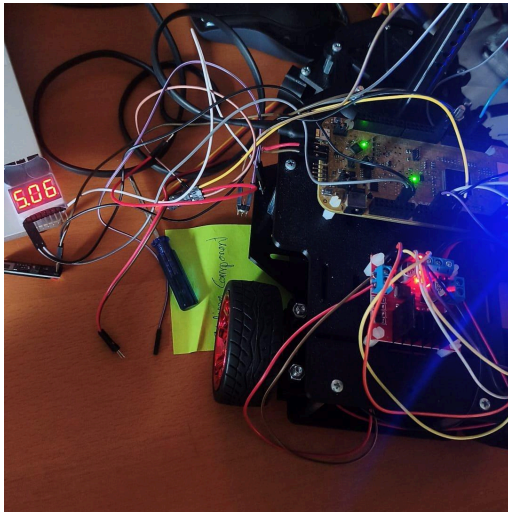


Figura 7: Verificació instrumental de l'alimentació del display: 5,06 V estables entre VCC i GND.

De manera anàloga, en el subsistema de direcció es va detectar que el servo rebia correctament el senyal de control però no disposava de prou parell per moure's amb càrrega. El diagnòstic va apuntar a una limitació de corrent de la sortida de 5 V del regulador del pont en H (78M05, limitat en corrent) enfront dels pics de consum del servo. La solució proposada passa per alimentar el servo amb un regulador dedicat (UBEC) de més capacitat de corrent, mantenint la massa comuna amb la placa.

3 AVALUACIÓ DE RESULTATS

L'avaluació del sistema s'ha basat en la verificació funcional dels subsistemes implementats sobre el maquinari real, complementada amb la verificació mecànica i d'integració del conjunt. Els criteris considerats han estat la resposta correcta de cada subsistema als comandaments de programari i la fiabilitat de les comunicacions amb els perifèrics.

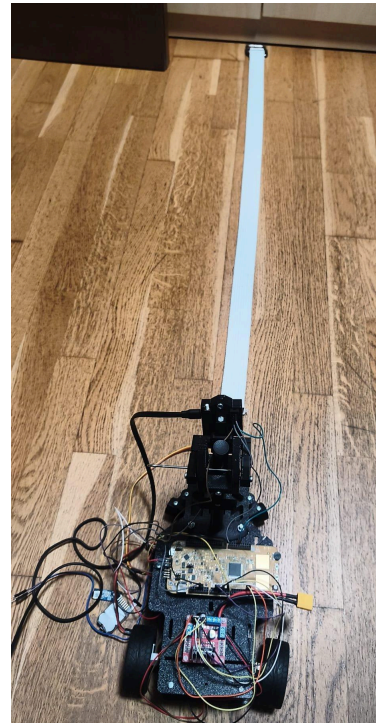


Figura 8: Escenari de proves. El vehicle davant d'una línia blanca simulada per validar la detecció de la càmera.

Pel que fa als resultats obtinguts, s'ha validat el funcionament correcte del subsistema de tracció, amb seqüències de moviment controlades per programari; el funcionament del sistema de pulsadors, que permet posar en marxa i aturar el vehicle; i el funcionament del subsistema de percepció, amb la càmera Pixy2 detectant de manera fiable línies blanques i lliurant-ne els vectors corresponents en temps real.

Pel que fa als subsistemes no completats, el control de direcció amb servo i el display I2C han quedat condicionats a les incidències de maquinari descrites a la Secció 2.7 (limitació d'alimentació del servo i mòdul de display defectuós), totes dues diagnosticades i amb solució proposada. L'avaluació del seguiment autònom complet de circuit, que requereix el llaç tancat entre la percepció (càmera) i l'actuació (direcció), es planteja per a la fase següent del treball, un cop resolta l'alimentació del servo.

4 CONCLUSIONS I LÍNIES DE CONTINUACIÓ

En aquest projecte s'ha avançat de manera satisfactòria en el desenvolupament d'un cotxe autònom basat en la plataforma NXP Cup. S'ha completat el muntatge del vehicle, s'ha posat en marxa un entorn de desenvolupament professional (S32DS amb RTD/AUTOSAR) i s'han implementat i validat sobre maquinari real diversos subsistemes: la tracció, la

interacció mitjançant polsadors i la percepció de línies amb la càmera Pixy2.

El treball ha implicat la resolució de nombroses incidències tècniques —configuració del compilador, integració dels controladors, gestió correcta dels temps d'execució, actualització del firmware de la càmera i diagnòstic d'avaries de maquinari—, que constitueixen una part substancial de l'aprenentatge i demostren una metodologia de diagnòstic rigorosa.

Com a línies de continuació immediates es preveu: resoldre l'alimentació del servo de direcció mitjançant un regulador dedicat (UBEC); substituir el mòdul de display defectuós i posar en marxa la telemetria del vehicle; implementar la lectura dels vectors de la càmera des de la placa per bus I2C; i, finalment, tancar el llaç de control implementant un controlador proporcional-derivatiu (PD) que, a partir de l'error lateral proporcionat per la càmera, governi la direcció per aconseguir el seguiment autònom complet del circuit. A més, es proposa l'adaptació del vehicle com a eina educativa per a pràctiques del grau d'Enginyeria Informàtica.

5 ÚS DE LA IA GENERATIVA

En aquest treball s'ha utilitzat intel·ligència artificial generativa com a eina de suport per a la redacció inicial del document, l'organització del contingut, la resolució de dubtes tècnics durant el desenvolupament i la revisió del llenguatge, sempre sota supervisió i validació de l'autor.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] NXP Semiconductors, NXP Cup Official Website. <https://nxpcup.nxp.com>
- [2] NXP Cup bare-metal drivers build guide. <https://nxp.gitbook.io/nxp-cup/2024-fall-2025-nxp-cup-bare-metal-drivers>
- [3] Charmed Labs, Pixy2 Documentation. <https://docs.pixycam.com>
- [4] K. J. Åström i T. Hägglund, PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, ISA.
- [5] R. Siegwart i I. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press.