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

Torres Parellada, Nil; Aragonés Ortiz, Raúl, dir. Detecció avançada de temperatures infrarojjes fent servir un ESP32CAM. 2023. (958 Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/272818>

under the terms of the  license

Detecció avançada de temperatures infraroges fent servir un ESP32CAM

Nil Torres Parellada

Resum— Aquest document descriu el treball realitzat per al disseny i desenvolupament d'un dispositiu IoT capaç de detectar e identificar objectes a través de la càmera del mòdul ESP32CAM i mesurar la temperatura infraroja d'aquest. Per fer el correcte mesura de la temperatura s'orienta un sensor infraroig cap a l'objecte amb un servomotor. Les dades de les mesures són transmeses per wifi a un servidor Cloud.

El dispositiu IoT està format per un microcontrolador ESP32CAM, un sensor de temperatura per infrarojos, un servomotor i una antena per ampliar el rang wifi. La transmissió de dades es duu a terme mitjançant el protocol wifi. El dispositiu es gestiona i controla des d'una interfície web local. Per desenvolupar el prototip, s'ha dissenyat una arquitectura on interactuen diverses tecnologies i llenguatges de programació (Arduino, HTML, JavaScript i CSS).

Paraules clau— Internet de les coses (IoT), microcontrolador ESP32CAM, interfície web

Abstract— This document describes the work carried out for the design and development of an IoT device capable of detecting and identifying objects through the camera of the ESP32CAM module and measuring the infrared temperature of these objects. An infrared sensor is directed towards the object with a servomotor to accurately measure the temperature. The measurement data is transmitted via wifi to a cloud server.

The IoT device consists of an ESP32CAM microcontroller, an infrared temperature sensor, a servomotor, and an antenna to extend the wifi range. Data transmission is carried out using the wifi protocol. The device is managed and controlled from a local web interface.

To develop the prototype, an architecture has been designed where various technologies and programming languages interact (Arduino, HTML, Java Script, and CSS).

Keywords— Internet of Things (IoT), ESP32CAM microcontroller, web interface

1 CONTEXT I JUSTIFICACIÓ

L'alumini és un material de gran importància a la indústria moderna degut a les seves característiques úniques. És un conductor de calor i electricitat molt eficient, té una alta resistència a la corrosió i és molt lleuger en comparació amb altres metalls comuns. Aquestes característiques fan que l'alumini sigui àmpliament utilitzat en una varietat d'aplicacions, com ara la fabricació d'avions, automòbils, edificis i la indústria electrònica.

A les plantes de reciclatge d'alumini, els lingots se sotmeten a altes temperatures durant el procés de reciclatge.

L'alumini es fon a 660 graus Celsius i durant tot el procés cal tenir un control precís de la temperatura per evitar fer malbé el material o augmentar el temps i el cost del procés. Els lingots d'alumini solen sortir del forn de fusió a una temperatura propera al punt de fusió de l'alumini. No obstant això, poden haver-hi lleugeres variacions depenent del procés de fusió utilitzat i del tipus d'alumini que s'estigui fonent. És important tenir en compte que la temperatura dels lingots d'alumini disminuirà ràpidament una vegada que es retirin del forn a causa de la seva alta conductivitat tèrmica. Per tant, cal prendre mesures per protegir els lingots de refredament ràpid i garantir una temperatura adequada durant el procés d'emmotllament.

La justificació del projecte rau en la necessitat de millorar el control de temperatura durant el procés de reciclatge d'alumini. Un millor mesurament de la temperatura permetrà un millor control del procés, cosa que alhora pot reduir el temps i el cost del procés de reciclatge. A més, un dispositiu

- E-mail de contacte: tfg.deteccio.nil@gmail.com
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Raul Aragonés Ortíz (Microelectronics)
- Curs 2022/23

fiable i de fàcil ús pot millorar l'eficiència i la productivitat de la planta de reciclatge. També és important esmentar que el control precís de la temperatura pot millorar la qualitat del producte final i reduir el malbaratament de material.

2 PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

Amb aquest prototip IoT s'ha intentat crear un dispositiu per a la monitorització remota de la temperatura dels lingots d'alumini (Al) que resulten del procés d'una planta de reciclatge de llaunes.

3 OBJECTIUS DEL PROJECTE

3.1 Objectius generals

L'objectiu general del present treball final de grau és crear i tenir una versió funcional d'un prototip IoT capaç de mesurar la temperatura dels lingots d'alumini que resulten del procés d'una planta de reciclatge de llaunes. El dispositiu haurà de detectar amb la càmera del mòdul ESP32CAM els lingots que recorren la cinta transportadora i guiarà el sensor infraroig amb el servomotor per mesurar la temperatura d'aquest. A més les mesures seran enviades per wifi a un servidor Cloud.

3.2 Objectius específics

Id	Descripció
OE-1	Implementar la detecció d'objectes amb el mòdul ESP32CAM
OE-2	Implementar la mesura de la temperatura infraroja d'objectes
OE-3	Dissenyar el control de direcció del sensor IR amb el servomotor
OE-4	Implementar l'enviament wifi de les temperatures mesurades

TAULA 1: OBJECTIUS ESPECÍFICS

3.3 Beneficis del projecte

El projecte de desenvolupament pot tenir una sèrie de beneficis importants. A continuació es presenten alguns dels beneficis més rellevants:

- Millora del control de temperatura durant el procés de reciclatge: El dispositiu permetrà mesurar la temperatura dels lingots d'alumini de manera precisa i fiable en temps real durant una de les etapes del procés de reciclatge. Això permetrà un millor control del procés, cosa que alhora pot reduir el temps i el cost de tot el procés de reciclatge.
- Millora de l'eficiència i productivitat de la planta de reciclatge: Un dispositiu fiable i de fàcil ús pot millorar l'eficiència i la productivitat de la planta, ja que un millor control en la etapa del procés pot reduir el temps i el cost de tot el procés de reciclatge.

- Millora de la qualitat del producte final: El control precís de la temperatura durant l'etapa del procés de reciclatge pot millorar la qualitat del producte final i reduir el malbaratament de material.
- Reducció de l'impacte ambiental: Un procés de reciclatge més eficient i de menor temps pot contribuir a reduir l'impacte ambiental de la planta de reciclatge.

En resum, el projecte de desenvolupament d'un dispositiu que mesura la temperatura dels lingots d'alumini en una planta de reciclatge pot tenir una seguit de beneficis importants, com ara millorar el control de la temperatura durant una de les etapes del procés de reciclatge, millorar l'eficiència i la productivitat de la planta de reciclatge, millorar la qualitat del producte final i reduir l'impacte ambiental.

4 ANTECEDENTS I ESTAT DE L'ART

En aquest treball de fi de grau s'ha desenvolupat el programari i creat el prototip d'un dispositiu que permet la detecció avançada de temperatures infraroges fent servir un ESP32CAM.

Per poder comprendre el prototip primer cal entendre el concepte IoT (4.1).

4.1 Internet of Things (IoT)

L'Internet de les Coses (IoT, per les sigles en anglès) és un concepte nascut a l'Institut de Tecnologia de Massachusetts (MIT) que es refereix a la connectivitat de dispositius quotidians a Internet, permetent que aquests puguin enviar i rebre dades. Això s'aconsegueix mitjançant la incorporació de tecnologia de comunicació sense fils i sensors en aquests dispositius, cosa que els permet recopilar i transmetre informació de manera automatitzada.

L'objectiu de l'IoT és millorar l'eficiència i la conveniència en diverses àrees de la vida quotidiana, com ara la llar, la indústria i la salut. Hi ha un gran nombre de dispositius que podem utilitzar a l'Internet de les Coses, des de sensors i dispositius mecànics fins a objectes quotidians com les neveres, el calçat o la roba. L'objectiu és interaccionar sense la intervenció humana, o el què es coneix com una interacció M2M (machine to machine). Per exemple, una nevera intel·ligent podria demanar automàticament més productes a un supermercat en línia quan s'estigui quedant sense, o un dispositiu de monitorització de la salut podria enviar dades a un metge per a una major atenció personalitzada.

És important tenir en compte que l'IoT també planteja alguns desafiaments i preocupacions en termes de privadesa i seguretat de la informació. És fonamental que s'adoptin mesures de seguretat adequades per protegir les dades recopilades per aquests dispositius i garantir la privadesa dels usuaris. [2]

4.2 Detecció de temperatures en el procés de reciclatge

La tecnologia per a la detecció de temperatures en el procés de reciclatge ha estat desenvolupada amb el pas del temps per millorar l'eficiència i la qualitat dels productes reciclats. El mesurament precís de temperatura és essencial per controlar i assegurar el procés de reciclatge. Els sensors de

temperatura permeten als operadors de reciclatge fer lectures precises de la temperatura en diferents etapes del procés, cosa que els permet ajustar els paràmetres del sistema als requisits específics de cada fase i producte. Això ajuda a garantir la seguretat, la qualitat i l'eficiència dels productes i processos de reciclatge.

Els sensors de temperatura moderns estan dissenyats per ser resistents a la corrosió, als canvis de temperatura i d'altres factors ambientals, cosa que els fa més duradors i fiables durant el procés de reciclatge. Els sensors s'instal·len a les entrades i sortides dels equips de reciclatge per ajudar a controlar i assegurar la temperatura adequada de cada etapa del procés de reciclatge.

La tecnologia de mesura de temperatura per al control de processos de reciclatge inclou sensors de temperatura, sistemes de control de temperatura automatitzats, unitats de control de temperatura remotes, entre d'altres. Aquests dispositius poden monitoritzar la temperatura en punts específics, durant un procés de reciclatge, detectar canvis en la temperatura i ajustar els paràmetres necessaris de forma automàtica. Això permet que la temperatura es mantingui als nivells desitjats per a la qualitat del producte reciclat. A més, aquests dispositius ofereixen informes de dades precises per a la presa de decisions alhora de millorar els processos.

4.3 Projectes semblants

Aparentment, no hi ha una gran varietat de projectes amb un objectiu semblant al d'aquest treball. A continuació, es mostren alguns projectes IoT amb un objectiu o desenvolupament semblant al que s'ha proposat en aquest treball de fi de grau.

4.3.1 ESP32-CAM Tracking Car - fuchungyi

Projecte codi obert d'un jove Taiwanès que consisteix en el desplegament d'un punt d'accés i una interfície web per controlar un minirobot capaç de reconèixer objectes d'un model determinat i perseguir-los mitjançant dos motors i un servomotor. [3]

Aquest projecte comptava amb un codi molt sòlit i ha servit per agafar idees de com desenvolupar el treball en qüestió.

4.3.2 Dispositiu IOT de Mesurament per infrarojos - maximart27

Treball de final de grau publicat l'any 2022 que es centra en el desenvolupament d'un dispositiu IoT de baix cost i de baix consum per mesurar temperatures altes i transmetre-les via LoRaWAN. Està compost per un microcontrolador, un sensor IR de temperatura per infrarojos, un transmissor LoRa i una LCD per mostrar les dades a temps real. La monitorització es realitza usant The Things Stack AWS i Daevis (plataforma de visualització de dades al cloud d'AEInnova). [4]

5 DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ, METODOLOGIES I EINES EMPRADES

5.1 Metodologia de desenvolupament

Per al desenvolupament del projecte s'ha decidit utilitzar una metodologia basada en tasques en cascada. Aquesta tècnica consisteix a determinar inicialment l'objectiu del projecte i planificar aquest de forma completa. S'ha seleccionat aquesta metodologia perquè es va estimar que era la més convenient. Per administrar el projecte s'ha fet servir el programari Microsoft Project.

5.2 Anàlisi de requisits

5.2.1 Requisits funcionals

En aquest apartat trobem una taula amb els requisits funcionals detectats per al desenvolupament del prototip.

Nom	Agrupador	Descripció
Efectuar mesures correctes de temperatura	Detecció	Obtenir mesures del sensor infraroig de temperatura segons la calibració més oportuna per al material
Identificar objectes	Detecció	Identificar objectes a través de la càmera del ESP32CAM
Guiar el dispositiu	Detecció	Guiar el dispositiu cap a l'objecte detectat
Connectivitat WiFi	Peticions i Respostes	Desplegar un punt d'accés dins de la xarxa local. Per permetre als usuaris accedir al interfície web del dispositiu
Dades i configuracions disponibles des de la interfície web	Peticions i Respostes	Permetre la configuració del dispositiu via la interfície web. I la visualització en temps real de la captura d'imatge de l'ESP32CAM i el resultat de l'obtenció de la temperatura
Enviament de dades a un servidor Cloud	Peticions i Respostes	Quan la configuració per enviar aquestes dades estigui activa, el dispositiu enviarà les temperatures mesurades a una API. Aquesta API cridarà a un script de Google Docs que afegirà les dades al Spreadsheet del projecte

TAULA 2: REQUISITS FUNCIONALS

5.2.2 Requisits no funcionals

En el següent apartat trobem una taula amb els requisits no funcionals detectats per al desenvolupament del prototip.

Nom	Agrupador	Descripció
Facilitat d'ús	Usabilitat	La interfície d'usuari ha de ser fàcil de configurar, operar i mantenir
Estil de la interfície	Usabilitat	La interfície del dispositiu han de tenir un estil atractiu i estètic. A més d'un estil modern
Missatges de suport	Usabilitat	El dispositiu ha de proporcionar missatges als usuaris a través de la interfície segons el resultat de les accions

TAULA 3: REQUISITS NO FUNCIONALS

5.3 Elecció tecnològica

En aquest punt s'explicarà justificadament l'elecció de les tecnologies, llibreries i eines triades per al desenvolupament del prototip i la memòria.

5.3.1 Desenvolupament del prototip

- **Microcontrolador:** El dispositiu incorpora el microcontrolador ESP32CAM. Aquest està basat en el xip ESP32 que inclou una càmera OV2640. Aquest microcontrolador és ideal per a projectes de visió per computador, intel·ligència artificial i robòtica que requereixen imatges i vídeo. Igual que Arduino, l'ESP32CAM és fàcil d'utilitzar i compta amb una àmplia gamma d'eines i llibreries disponibles per al seu ús. No obstant això, a diferència d'Arduino, ESP32CAM no és compatible amb Python directament. [5]
- **Sensor de temperatura:** El sensor infraroig es l'opció més eficaç per mesurar la temperatura dels lingots d'alumini a causa de la seva rapidesa, capacitat de mesurament sense contacte físic i ampli rang de mesurament. Tot i això, és important tenir en compte la seva calibració per a mesurar la temperatura en materials metàl·lics.

5.3.2 Control de versions

Per al control de versions, s'ha utilitzat Git. Aquest és un sistema de control de versions de codi obert i gratuït per al desenvolupament programari.

Per a l'ús de Git es podria optar per fer servir directament la terminal de comandes, però, per al desenvolupament d'aquest prototip s'ha considerat que seria millor gestionar Git mitjançant GitHub que és una plataforma web que allotja repositoris de codi font i empra Git per fer el seguiment dels canvis realitzats al codi font. Els repositoris allotjats a GitHub poden ser públics o privats, i poden ser fets servir per a projectes individuals o col·laboratius

5.3.3 Documentació

Per crear els diferents diagrames necessaris per a la memòria del projecte s'ha optat per l'ús de draw.io. Per crear els dissenys i esquemàtics del prototip s'ha optat per l'ús de Fritzing. També s'ha utilitzat Inkscape per ampliar

la llibreria de components del programa Fritzing i crear el model per al sensor infraroig.

6 DESENVOLUPAMENT DE LA SOLUCIÓ

6.1 Prototip final

El dispositiu desenvolupat és el que es pot observar en la figura (1). El dispositiu està muntat sobre una estructura metàl·lica feta amb peces de Mecano. Les connexions amb els elements d'entrada i sortida i el microcontrolador ESP32CAM s'han fet amb una PCB perforada de 5cm x 7cm on s'han soldat 26 Female Head Pin. La figura (2)

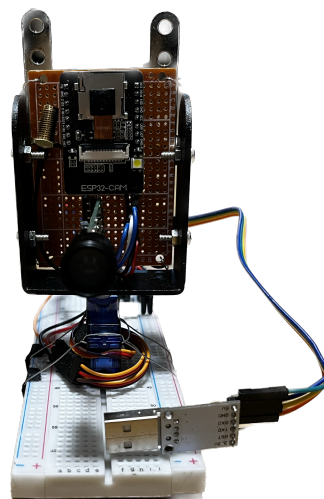


Fig. 1: Dispositiu muntat sobre estructura metàl·lica

mostra el disseny del dispositiu i les connexions que aquest incorpora. El disseny s'ha fet amb el programari Fritzing i ha sigut necessari crear des de zero el component del sensor infraroig TN905-05F, ja que aquest no ha sigut publicat per ningú.

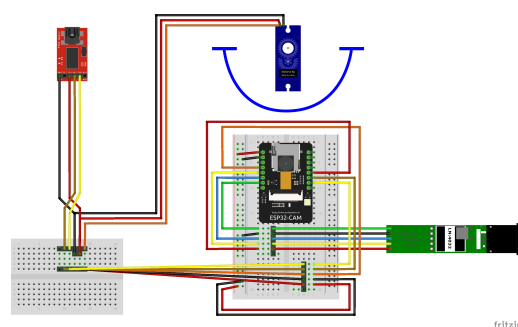


Fig. 2: Disseny dispositiu amb programari Fritzing

6.1.1 Elements del prototip

A continuació es descriuen els diferents elements del dispositiu que podem observar en les figures (1) i (2).

- **Microcontrolador ESP32CAM:** L'ESP32CAM és un microcontrolador creat pel fabricant xinès Espressif. Es tracta d'una placa de desenvolupament amb un microcontrolador ESP32, una càmera OV2640, una antena WiFi i Bluetooth, un led blanc d'alta il·luminació i un mòdul de memòria flaix.

El microcontrolador ESP32CAM és un dispositiu de baix cost i alt rendiment dissenyat per a solucions de IoT. Està equipat amb un processador dual-core Xtensa 32-bit LX6, una unitat de processament d'imatge (ISP) d'última generació, un lector de targetes microSD, connectivitat Wifi 2.4GHz 802.11b/g/n i Bluetooth 4.2 BR/EDR i BLE. L'ESP32CAM també inclou una interfície de programació d'aplicacions (API) per facilitar-ne el desenvolupament. La càmera OV2640 incorporada a l'ESP32CAM és una càmera d'imatge de 5 megapíxels amb una interfície de protocol de control d'imatge (ICP). Aquesta càmera és capaç de capturar imatges de 2592x1944 a 30 fotogrames per segon (FPS). També té una interfície UART d'alta velocitat per a la transmissió de dades d'imatge.

L'ESP32CAM també compta amb un mòdul de memòria flaix de 4 MB per emmagatzemar dades i programes. Aquesta memòria flaix es pot utilitzar per emmagatzemar imatges, programes i aplicacions.

En resum, l'ESP32CAM és una opció excel·lent per als projectes de visió artificial, IoT i robòtica. Està equipat amb un microcontrolador ESP32 d'alt rendiment, una càmera OV2640 de 5 megapíxels, un mòdul de memòria flaix de 4 MB, una antena WiFi i Bluetooth. [6]

- **FTDI programer:** El programador FTDI és una eina de programació de microcontroladors d'última generació desenvolupada per Future Technology Devices International (FTDI). Aquesta eina de programació s'utilitza per programar microcontroladors com Arduino, Raspberry Pi, ARM Cortex, entre altres. Aquesta eina és una solució senzilla per programar els microcontroladors de manera ràpida i eficient, cosa que permet una major productivitat per als usuaris. El FTDI Programador és compatible amb els principals sistemes operatius com Windows, Linux i Mac OS.

El programador FTDI ofereix una gran varietat d'eines de desenvolupament i recursos per als usuaris. Aquestes eines inclouen eines de depuració, eines de programació d'alt nivell, eines de programació de baix nivell, eines de programació de línies de comandaments i eines per a la creació de projectes. Aquestes eines permeten als usuaris desenvolupar projectes de manera ràpida i eficient. [7]

- **Sensor infraroig TN905-05F:** El sensor de temperatura infraroig TN905-05F és un dispositiu de mesura de temperatura versàtil dissenyat pel fabricant de sensors professional ThermoWorks. Aquesta unitat es caracteritza pel robust disseny ergonòmic, el rang de mesurament de -33 a +220 °C, i la precisió de ± 0.6 °C per a mesuraments de temperatura. El TN905-05F també es destaca per la seva excel·lent resistència al soroll i la seva capacitat per compensar la temperatura ambient.

El TN905-05F s'utilitza àmpliament en una varietat d'aplicacions industrials, com ara la indústria alimentària, la indústria metal·lúrgica i la indústria química. Això és degut a la seva gran precisió i el seu ampli rang de mesurament. Aquesta unitat és ideal per a la detecció de temperatura en entorns de producció.

A més, el TN905-05F es pot emprar per detectar i controlar temperatures extremes en entorns industrials, com la soldadura, la fosa i la fabricació de productes a base de metall. Això és gràcies a la seva capacitat per compensar la temperatura ambient i la seva magnífica resistència als sorolls externs.

En resum, el sensor de temperatura infraroig TN905-05F és un dispositiu versàtil i robust que es pot fer servir en una àmplia varietat d'aplicacions industrials. Ofereix un mesurament precís de temperatura amb una resposta ràpida i estable, cosa que el fa ideal per a aplicacions en què el rendiment durant tot el cicle de vida és una consideració important. [8]

- **Servomotor SG90:** El Servomotor SG90 és un motor pas a pas de mida petita fabricat per Tower Pro, una companyia amb seu a Taiwan. Està construït amb un petit motor de corrent continu, un engranatge de metall, una caixa d'engranatges i un motor d'inducció. El motor pot ser controlat per un controlador electrònic, com un servo controlador. Això permet que el motor sigui capaç de moure una càrrega determinada a una posició específica amb una precisió molt més gran que un motor de corrent continu tradicional.

El servomotor està dissenyat per a ús en aplicacions de robòtica, joguines, aeromodelisme i control industrial. SG90 té una àmplia gamma de característiques. Aquests inclouen un alt parell de sortida (parell de sortida de fins a 2 kgf/cm), una àmplia gamma de velocitats de rotació (entre 0,12 i 0,2 segons per volta completa) i un disseny compacte. A més, el SG90 també ve amb una varietat d'opcions de control, incloent-hi control per corrent, control per voltatge i control per PWM. Aquestes característiques fan del SG90 una excel·lent solució per a aplicacions de robòtica i control industrial. [9]

6.1.2 Connexions del prototip

A continuació es detallen les connexions del prototip. Aquestes connexions estan separades en una PCB perforada (PCB base) figura (3) i una placa de proves (PCB auxiliar). La primera conté les connexions de l'ESP32CAM, el sensor infraroig, el servomotor i els Female Header per realitzar les connexions amb la placa de proves auxiliar. La placa de proves auxiliar té les connexions del servomotor i del FTDI Programer i des d'aquest punt anomenen a la placa de proves com PCB auxiliar.

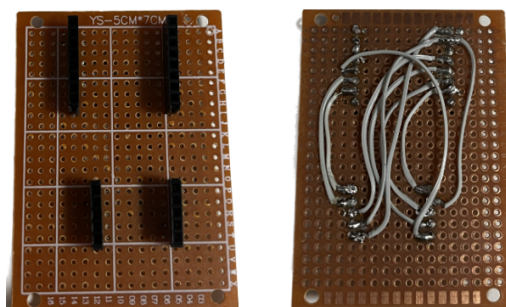


Fig. 3: PCB perforada (PCB base)

- PCB base
 - ESP32CAM
 - * ESP-5V - PCB-5V
 - * ESP-GND - PCB-GND
 - * ESP-GPIO-03 (UOR) - PCB-RX
 - * ESP-GPIO-01 (UOT) - PCB-TX
 - * ESP-GPIO-13 - PCB-PWM
 - * ESP-GPIO-02 - TN905-05F-Pin-Acquire
 - * ESP-GPIO-14 - TN905-05F-Pin-Clock
 - * ESP-GPIO-15 - TN905-05F-Pin-Data
 - Sensor infraroig TN905-05F
 - * Pin-GND - ESP-GND
 - * Pin-VCC - ESP-VCC (3.3V)
 - * Pin-Acquire - ESP-GPIO-02
 - * Pin-Clock - ESP-GPIO-14
 - * Pin-Data - ESP-GPIO-15
 - Female Header
 - * PCB-5V - PCB-aux-5V
 - * PCB-GND - PCB-aux-GND
 - * PCB-RX - PCB-aux-TX
 - * PCB-TX - PCB-aux-RX
 - * PCB-PWM - PCB-aux-PWM
- PCB auxiliar
 - Female Header
 - * PCB-aux-5V - PCB-5V
 - * PCB-aux-GND - PCB-GND
 - * PCB-aux-TX - PCB-RX
 - * PCB-aux-RX - PCB-TX
 - * PCB-aux-PWM - PCB-PWM
 - Servomotor SG90
 - * Pin-GND - PCB-aux-GND
 - * Pin-VCC - PCB-aux-5V
 - * Pin-PWM - PCB-aux-PWM
 - FTDI Programmer
 - * Pin-GND - PCB-aux-GND
 - * Pin-5V - PCB-aux-5V
 - * Pin-RX - PCB-aux-RX
 - * Pin-TX - PCB-aux-TX

6.1.3 Calibracions del prototip

Ajustament del direccionat del dispositiu:

El direccionament del dispositiu és gràcies a l'ús del servomotor. Quan el mòdul ESP32CAM detecta e identifica un objecte a la imatge es calcula la posició horitzontal de l'objecte i s'utilitza aquesta posició per ajustar la direcció del servomotor segons la zona on es trobi aquesta posició. El servomotor mou llavors la càmera de l'ESP32CAM i el sensor infraroig cap a l'objecte de manera que pugui fer un mesurament precís de la seva temperatura infraroja. Aquest procés permet al dispositiu enfocar de manera precisa a l'objecte desitjat per a un mesurament precís. La figura (9) mostra la distribució de les zones de detecció.

El calibratge del direccionament del dispositiu ha consistit en ajustar les constants que limiten cada zona horitzontal de detecció i la posició angular del servomotor assignada a cadascuna.

Ajustament de la emissivitat del sensor IR:

Per tal d'efectuar mesuraments correctes de la temperatura dels llingots i ajustar la emissivitat del sensor IR ha calgut fer un petit estudi per determinar el millor valor per aquest paràmetre.

Aquest estudi s'ha dut a terme dins les instal·lacions d'AE-Innova a Terrassa. Em van cedir un espai per a que pogés prendre mesures de la temperatura d'una barra d'alumí connectada a un PID per regular la temperatura d'aquesta.

A la taula (4) podem observar l'estudi de la emissivitat de l'alumini a 80 °C i a la taula (5) l'estudi a 100 °C.

La primera columna es el valor per al paràmetre emissivitat del sensor IR (0-1), la resta de columnes són els diferents tipus de temperatura en (°C).

Emissivitat	TReal	TPanel	TAmb	TIR	TOC
0.02	80	80.4	20.98	24.04	51.82
0.03	80	80.4	21.23	28.48	62.6
0.04	80	80.4	21.16	26.91	44.15
0.09	80	80.4	20.91	27.04	44.73
0.20	80	80.4	21.23	27.04	36.93
0.28	80	80.4	20.73	25.54	31.97

TAULA 4: ESTUDI EMISSIVITAT A 80 °C

Emissivitat	TReal	TPanel	TAmb	TIR	TOC
0.02	100	97.5	20.91	26.29	61.71
0.03	100	99.3	20.95	28.29	62.47
0.04	100	99.9	20.85	28.29	62.47
0.09	100	100.2	20.98	28.73	48.66
0.20	100	100.2	21.1	26.29	35.54
0.28	100	100.2	21.1	27.04	34.39

TAULA 5: ESTUDI EMISSIVITAT A 100°C

Analitzant els resultats s'ha arribat a la conclusió que el millor valor d'emissivitat per mesurar la temperatura de l'alumini és de 0.03. Ja que, tal com es pot veure a les taules (4) i (5) per aquest valor la TOC (Temperatura Objecte Calent) s'acosta més a la TReal (Temperatura real).

6.2 Arquitectura de la solució

En aquest apartat es durà a terme la definició de l'arquitectura general de la solució desenvolupada. Aquesta està basada en un model client/servidor.

A la imatge (4) es pot observar l'arquitectura utilitzada per al desenvolupament del prototip.

6.2.1 Funcionament del conjunt

Esquema de funcionament

L'esquema de funcionament del sistema és el següent:

1. L'usuari interactua amb la interfície web del dispositiu

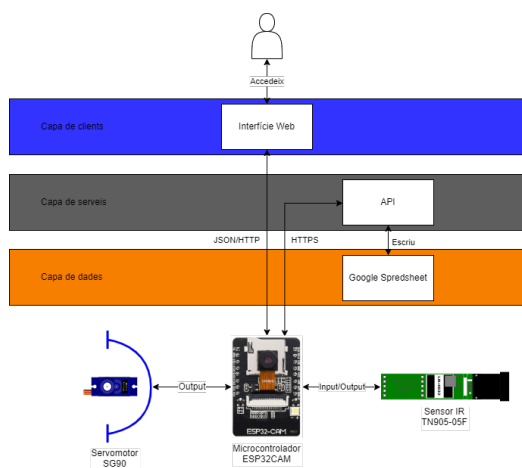


Fig. 4: Arquitectura de la solució

2. La interfície web gestiona les sol·licituds de l'usuari i fa peticions d'informació al microcontrolador
3. El microcontrolador processa la sol·licitud i si cal canviar la configuració del dispositiu o realitza l'acció demanda
4. El microcontrolador respon a la interfície web amb el resultat de la petició
5. La interfície web processa el resultat rebut i mostra les dades

Aquest esquema permet que l'usuari pugui interactuar amb el dispositiu i configurar-lo d'acord amb les seves necessitats, mentre que el microcontrolador s'encarrega de realitzar les accions requerides i proporcionar la informació actualitzada a l'usuari a través de la interfície web.

Funcionament del dispositiu

El dispositiu desenvolupat és capaç d'operar com un punt d'accés dins de la xarxa on es connecta. De tal forma que si ens connectem a la mateixa xarxa on està el dispositiu es pot accedir a la interfície web amb un URL similar a `http://192.168.X.X/`. Aquesta característica aporta flexibilitat i facilitat d'ús al dispositiu ja que no cal tenir un ordinador o dispositiu específic per accedir a la interfície web.

En la figura (5) es pot observar la interfície web que permet gestionar i controlar el dispositiu. Aquesta captura va ser extreta a la fase de calibració del sensor IR. La interfície

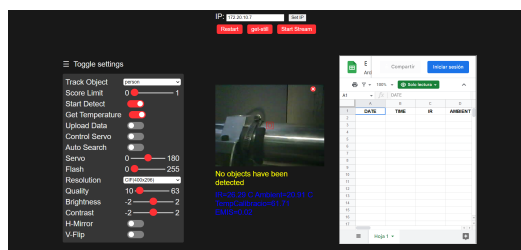


Fig. 5: Interfície web del dispositiu

web mostrada és una forma senzilla i fàcil de controlar el dispositiu. Aquesta ens permet accedir al dispositiu des

de la comoditat del nostre ordinador o mòbil, sense haver d'instal·lar cap programari addicional. Aquesta interfície permet veure i administrar la configuració del dispositiu, així com realitzar altres tasques com veure la imatge en viu capturada per la càmera i les mesures de temperatura del sensor infraroig. Així mateix, des de la interfície web també es poden veure les dades publicades al servidor cloud.

Quan accedim a la interfície del dispositiu aquesta carrega la pàgina web principal i el model de detecció d'objectes.

6.2.2 Interfície web

Estructura de la interfície web

La web està estructurada en dues seccions. En la primera es troba la capçalera amb un camp per introduir text i una sèrie de botons.

Els components de la primera secció es llisten a continuació:

1. IP: camp per introduir l'adreça IP del dispositiu. S'omple automàticament amb la IP del dispositiu un cop finalitzada la càrrega del model de detecció.
2. Set IP: botó per establir la connexió amb el dispositiu. Si es prem aquest botó es carreguen les configuracions per defecte del dispositiu.
3. Restart: botó per reiniciar el dispositiu. Si es prem aquest botó es reinicia per complet el dispositiu.
4. Get still: botó per capturar una fotografia. Si es prem aquest botó es captura una fotografia i es mostra la imatge obtinguda en la columna central de la segona secció.
5. Start stream: botó per iniciar la retransmissió en viu de la càmera. Si el botó està actiu es mostra la imatge obtinguda de la captura en viu de la càmera del microcontrolador en la columna central de la segona secció.

En la segona secció es troba una divisió de tres columnes de la resta d'elements de la web.

En la columna de més a l'esquerra es situa el panell per canviar la configuració amb les opcions principals per administrar i gestionar el dispositiu.

Aquest panell consta de les següents opcions:

1. Track Object: llista desplegable amb els diferents objectes que el model de reconeixement pot etiquetar. Cal seleccionar una de les opcions de la llista per iniciar la detecció. Per defecte el camp seleccionat d'aquesta llista és Persona.
2. Score Limit: selector de rang mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector és de 0. El rang del valor del selector és de [0 a 1]. Si es canvia el valor del selector es canvia la precisió en la identificació de l'objecte.
3. EPS Value: llista desplegable amb els diferents valors pel paràmetre d'emissivitat del sensor IR. Per defecte el camp seleccionat d'aquesta llista és 0.28 que és l'emissivitat per mesurar la temperatura infraroja d'un objecte no metàl·lic.

4. Start Detect: botó per iniciar el procés de reconeixement d'objectes. Si aquest botó està actiu es mostra la imatge capturada per la càmera en la segona columna de la secció central de la web. Si es detecta un objecte es mostra també la seva localització dins de la imatge amb un requadre de color verd i l'etiqueta de l'objecte detectat.
 5. Get Temperature: botó per iniciar la captura de la temperatura. Si el botó està actiu i l'objecte detectat es troba alineat al centre la imatge es captura la temperatura amb el sensor infraroig i es mostren les dades de la captura en la segona columna de la secció central de la web.
 6. Upload Data: botó per iniciar l'enviament de les temperatures al servidor Cloud. Si està actiu cada vegada que el dispositiu captura una nova temperatura s'envien les dades a l'API per fer un push al Script que gestiona l'spreadsheet allotjat a Google Cloud. Les dades del servidor Cloud es poden veure en la tercera columna de la secció central de la web.
 7. Control Servo: botó per activar el control de la posició del servomotor. Si el botó està actiu i l'opció de detecció d'objectes també quan el dispositiu detecta un objecte calcula l'angle que millor s'adequa per enfocar l'objecte i canvia la posició angular del servomotor a aquest nou angle calculat.
 8. Auto Search: botó per activar el control automàtic de la posició del servomotor. Si el botó està actiu i l'opció de detecció d'objectes també, si el dispositiu no detecta cap objecte realitza un escombrat horitzontal de dreta a esquerra buscant algun objecte a detectar. Quan deixa de detectar l'objecte es torna a realitzar l'escombrat i així indefinidament.
 9. Servo: selector de la posició angular mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector és de 90. El rang del valor del selector és de [0 a 180]. Si es canvia el valor del selector de la posició angular el servomotor canvia a aquesta nova posició.
 10. Flash: selector de rang mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector es de 0. El rang del valor del selector és de [0 a 255]. Si es canvia el valor del selector l'intensitat de la il·luminació del component flash del ESP32CAM canvia.
 11. Resolution: llista desplegable amb les diferents resolucions que suporta la càmera. Per tal que el dispositiu funcioni correctament ha d'estar seleccionada l'opció QVGA (320x240). Per defecte el camp seleccionat d'aquesta llista ja és el correcte per funcionar adequadament.
 12. Quality: selector de rang mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector es de 10. El rang del valor del selector és de [10 a 63]. Si es canvia el valor del selector la qualitat de la captura de la imatge del ESP32CAM canvia.
 13. Brightness: selector de rang mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector és de 0. El rang del valor del selector és de [-2 a 2]. Si es canvia el valor del selector la brillantor de la captura de la imatge del ESP32CAM canvia.
 14. Contrast: selector de rang mitjançant l'ús d'un botó lliscant. El valor per defecte del selector és de 0. El rang del valor del selector és de [-2 a 2]. Si es canvia el valor del selector el contrast de la captura de la imatge del ESP32CAM canvia.
 15. H-Mirror: botó per reflectir la imatge de la captura del ESP32CAM. Si el botó està actiu, la captura de la imatge de la càmera es mostra reflectida de tal forma que s'obté un efecte mirall de l'eix horitzontal.
 16. V-Flip: botó per girar 180° verticalment la imatge de la captura del ESP32CAM. Si el botó està actiu, la captura de la imatge de la càmera es mostrarà girada 180°.
- En la columna central es situa el panell on es mostren les captures i dades obtingudes pel dispositiu i els missatges que aquest envia a l'usuari.
- Si es prem el botó Get Still o Start Stream es mostra la imatge capturada en aquesta columna central. Podem deixar de mostrar la captura prement el botó amb la icona d'aspa (x) situat a la part de dalt dreta de la imatge. Cal tenir en compte que si l'opció de detecció d'objectes està activada per molt que es premi aquest botó per amagar la imatge es mostrarà la següent imatge capturada pel dispositiu.
 - Si es prem el botó Start Detect es mostra la imatge capturada amb un component canvas transparent que dibuixa figures sobre aquesta. A la part central de la imatge sempre es dibuixen dos petits rectangles assenyalant la part central de l'objectiu de la càmera. Depenent de si es detecta algun objecte o si l'objecte detectat està en la part central de la imatge els colors dels requadres de l'objectiu canvien. Si l'objecte detectat es troba en la part central, els requadres són de color verd. Si l'objecte no es troba en la part central, són de color groc; i si no es detecta cap objecte, els requadres són de color vermell.
 - Si a part del botó Start Detect es prem el botó Get Temperature es mostra a la secció central de la web el missatge resultant de la captura de la temperatura amb el sensor infraroig.
- Així mateix, quan no es detecta cap objecte es mostra el següent missatge "No objects have been detected" indicant que no s'ha detectat cap objecte. Quan no es reconeix l'objecte detectat es mostra el missatge "The object detected is not a X". Finalment, si es reconeix l'objecte detectat es mostra un missatge amb l'etiqueta corresponent i les previsions.
- En la columna de mes a la dreta se situa el panell on es mostren les dades del servidor Cloud. Aquest panell en un iFrame de l'spreadsheet allotjat als servidors de Google.
- Si es prem el botó Upload Data quan els botons Start Detect i Get Temperature estan actius cada vegada que es captura una nova temperatura s'envien les dades a l'Script que gestiona l'spreadsheet al·locat a Google

Cloud. De tal forma que l'iFrame accessible des del panell dret es veurà actualitzat amb les dades de la nova mesura.

Funcionament de la interfície web

Tal com s'ha explicat anteriorment la interfície web és possible gràcies al fet que el dispositiu és capaç d'operar com un punt d'accés i és accessible si ens connectem a la mateixa xarxa on està el dispositiu amb un URL similar a `http://192.168.X.X/` obtenim la interfície web d'administració del dispositiu.

La comunicació de la interfície amb el dispositiu es fa mitjançant peticions HTTP REQUEST del tipus GET que indiquen al microcontrolador les accions que ha d'executar. A continuació es llisten les diferents peticions que accepta el dispositiu:

1. `http://192.168.xxx.xxx //Obtenir interfície web d'administració del dispositiu`
2. `http://192.168.xxx.xxx:81/stream //Obtenir transmissió de video`
3. `http://192.168.xxx.xxx/capture //Obtenir la imatge`
4. `http://192.168.xxx.xxx/status //Obtenir el valor del paràmetre de video`
5. `http://192.168.xxx.xxx/control?ip //Obtenir APIP, STAIP`
6. `http://192.168.xxx.xxx/control?mac //Obtenir adreça MAC`
7. `http://192.168.xxx.xxx/control?restart //Reiniciar ESP32-CAM`
8. `http://192.168.xxx.xxx/control?digitalwrite=pin;value //Sortida digital`
9. `http://192.168.xxx.xxx/control?analogwrite=pin;value //Sortida analògica`
10. `http://192.168.xxx.xxx/control?digitalread=pin //Lectura digital`
11. `http://192.168.xxx.xxx/control?analogread=pin //Lectura analògica`
12. `http://192.168.xxx.xxx/control?touchread=pin //Lectura de toc`
13. `http://192.168.xxx.xxx/control?resetwifi=ssid;password //Restablir xarxa wifi`
14. `http://192.168.xxx.xxx/control?flash=value //Flash integrat value= 0-255`
15. `http://192.168.xxx.xxx/control?servo=value //Servomotor value = 0-180`
16. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=quality&val=value // value = 10 63`
17. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=brightness&val=value // value = -2 2`
18. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=contrast&val=value // value = -2 2`
19. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=hmirror&val=value // value = 0 or 1`
20. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=vflip&val=value // value = 0 or 1`
21. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=flash&val=value // value = 0 255`
22. `http://192.168.xxx.xxx/control?uploadState=value // value = 0 or 1`
23. `http://192.168.xxx.xxx/control?tempState=value // value = 0 or 1`
24. `http://192.168.xxx.xxx/control?resultTemp // Lectura de la temperatura`
25. `http://192.168.xxx.xxx/control?var=framesize&val=value // value = 10-¿UXGA(1600x1200), 9-¿SXGA(1280x1024), 8-¿XGA(1024x768), 7-¿SVGA(800x600), 6-¿VGA(640x480), 5 selected=selected-¿CIF(400x296), 4-¿QVGA(320x240), 3-¿HQVGA(240x176), 0-¿QQVGA(160x120)`

Aquestes peticions permeten que la interfície web envii instruccions al microcontrolador per canviar la configuració del dispositiu o realitzar altres tasques, com capturar imatges o mesurar la temperatura.

La detecció i reconeixement d'objectes és possible gràcies al model coco-ssd que detecta objectes definits al conjunt de dades COCO. És a dir que es pot etiquetar qual-sevol objecte que capti la càmera si es troba dins del dataset COCO. Així mateix, quan el dispositiu detecta un objecte i si aquest està en la posició central de la imatge activa el sensor infraroig i mostra la temperatura mesurada en la segona columna de la interfície web local. Si l'objecte detectat varia la seva posició horitzontal el servomotor canvia la seva posició angular per centrar la imatge de la càmera amb el centre de l'objecte. També es pot controlar manualment la posició angular del servomotor entre 0° i 180° amb el selector de la posició angular del panell de configuracions i d'aquesta manera guiar el dispositiu cap a una direcció concreta. [10] [11]

Desafortunadament, el prototip que complia amb els objectius finals del projecte no s'ha pogut completar al 100% a causa d'una limitació en la seva capacitat de detecció. El model de detecció d'objectes utilitzat en el prototip només és capaç de detectar objectes definits al conjunt de dades COCO, i no és possible detectar objectes que no siguin presents en aquest dataset, com poden ser lingots d'alumini. Per detectar objectes que no estiguin presents en aquest conjunt de dades, caldria entrenar un model personalitzat específic per a lingots d'alumini. Això, però, requeriria una quantitat important de temps i recursos, i està més enllà de l'abast total del projecte.

Id	Descripció
RE-1	Microcontrolador ESP32CAM
RE-2	FTDI programer
RE-3	Sensor infraroig TN905-05F
RE-4	Servomotor SG90
RE-5	Protoboard (18.5cm x 5.4cm x 0.9cm)
RE-6	PCB perforada (5cm x 7cm)
RE-7	Conjunt peces mecano metàl·liques
RE-8	Suport Servomotor Sg90
RE-9	Cables jumper mascle a mascle (M-M)
RE-11	Cables jumper mascle a femella (M-F)
RE-12	Pins header femella
RE-13	Ordinador portàtil amb Arduino IDE
RE-14	Soldador
RE-15	Tester - voltímetre
RE-16	Destornillador amb punta en estrella
RE-17	Clau anglesa
RE-18	Estany per realitzar soldadures
RE-19	Filferro

TAULA 6: RECURSOS REQUERITS

6.3 Recursos requerits

6.4 Resultats del projecte

6.4.1 Proves realitzades

Per tal d'aconseguir un programari eficaç cal fer un bon disseny de casos de prova. Les proves són un conjunt d'activitats planejades amb anticipació i que es realitzen de manera sistemàtica. Aquestes són parts de la verificació i validació incloses al final de cada fase i de la fase final del projecte.

- Proves de connexions: Per assegurar el correcte funcionament del conjunt s'ha tingut molta cura en realitzar bones connexions entre els components del dispositiu. S'ha utilitzat un tester en mode resistiu per verificar que els pins estiguessin correctament interconnectats. A part abans de fer les primeres connexions dels dispositius s'han verificat que els voltatges d'entrada per aquests eren els adequats amb l'ajuda d'un tester en mode voltímetre.
- Proves de codi: Cada vegada que s'ha creat o modificat una nova funcionalitat del dispositiu s'ha comprovat que aquesta s'executen segons l'esperat a través de la consola i del monitor serie de la interfície de programació Arduino IDE. Una vegada es tenia la certesa que funcionava correctament es comprovava que en juntar el codi amb la resta, la funcionalitat del dispositiu continués sent la mateixa. A través de la interfície es mostren diferents missatges amb el resultat de les accions. Apart a través de la consola de les eines per administrador de qualsevol navegador es poden veure les peticions al microcontrolador i els resultats de les accions a la finestra Consola.
- Proves del prototip final: Les proves del prototip final han sigut una combinació de proves de connexions i proves de codi, amb l'objectiu d'assegurar el correcte funcionament del dispositiu i la seva capacitat per complir els requisits específics.

6.4.2 Explicació dels resultats obtinguts

El resultat del prototip ha estat prou satisfactori tot i no complir amb l'objectiu final del projecte. S'ha comprovat i validat amb èxit que el dispositiu compleix tots els requisits funcionals i no funcionals.

7 CONCLUSIONS

7.1 Conclusions del treball

En conclusió, el prototip desenvolupat per a la detecció avançada de temperatures infraroges utilitzant ESP32CAM ha demostrat ser una eina valuosa per millorar el control de la temperatura en una planta de reciclatge d'alumini. A través de l'ús d'una càmera i d'un sensor infraroig guiat per un servomotor, el dispositiu ha demostrat ser precís i fiable en el mesurament de la temperatura infraroja dels lingots.

A més, s'ha implementat una interfície web que permet a l'usuari controlar i monitoritzar el dispositiu de manera senzilla i eficient, permetent accedir al dispositiu des de qualsevol dispositiu connectat a la mateixa xarxa. La interfície web permet veure i administrar la configuració del dispositiu, visualitzar la imatge en viu capturada per la càmera i les mesures de temperatura del sensor infraroig, així com veure les dades publicades al servidor cloud.

Tot i que actualment el dispositiu no és capaç de reconèixer lingots d'alumini i encara no s'ha pogut completar l'objectiu final. Els resultats obtinguts són molt complets i esperançadors.

7.2 Conclusions personals

El desenvolupament d'aquest prototip per a la detecció avançada de temperatures ha estat una experiència molt enriquidora. Al llarg del projecte, s'han enfrontat diferents desafiaments tècnics, però gràcies a l'aprenentatge continu i a l'ús d'eines i recursos adequats s'han aconseguit superar aquests obstacles i completar un prototip parcial amb èxit.

En particular, m'ha sorprès la capacitat de l'ESP32CAM per processar imatges i ser capaç d'operar com a punt d'accés wifi. A més, la incorporació d'una interfície web ha permès més comoditat en el moment de controlar i administrar el dispositiu.

Em sento orgullós de la feina feta però no del tot satisfet amb el prototip final. Creia que tot i que el projecte era molt complet podria completar-lo amb èxit, però ha faltat el canvi del model de detecció d'objectes perquè reconegués els lingots d'Alumini.

8 FUTURES LÍNIES DEL TREBALL

El desenvolupament del prototip per a la detecció avançada de temperatures infraroges pot ser continuat en un futur amb l'objectiu de millorar-ne el funcionament i adaptar-se a les necessitats específiques de la planta de reciclatge. En aquest sentit, es proposa seguir desenvolupant el projecte actual juntament amb el mateix tutor a la següent convocatòria del TFG del grau de telecomunicacions.

Es pretén canviar el model de detecció actual, coco-ssd, per un altre que sigui capaç de detectar lingots d'alumini. Per això, es poden avaluar diferents models de detecció

d'objectes i triar el més adequat o entrenar un model des de zero específicament per a la tasca de detectar lingots.

A més, es vol canviar la connexió wifi actual per tecnologia LoRaWAN amb l'objectiu de millorar la cobertura i l'eficiència de la transmissió de dades. La utilització de tecnologia LoRaWAN permetrà una millor gestió de la comunicació a llarga distància i permetrà la integració del prototip en xarxes més grans i complexes, cosa que millorarà el seu funcionament en entorns reals.

AGRAÏMENTS

M'agradaria expressar el meu agraïment més sincer a tots aquells que m'han acompanyat al llarg de la meua etapa universitària i han col·laborat en el desenvolupament d'aquest prototip; A tots aquells que en algun moment em van brindar el seu suport i em van motivar a continuar creixent.

Principalment als meus pares i a la meua germana. Sense el seu suport i esforç no podria haver estudiat aquesta carrera que tant m'apassiona ni haver aconseguit aquests resultats. També agrair el suport constant del meu grup d'amics.

En segon lloc, al meu tutor Raul Aragones, per la informació que m'ha brindat per poder organitzar-me i assolir els meus objectius en aquest Treball de Fi de Grau.

També, m'agradaria expressar el meu agraïment a la Universitat Autònoma de Barcelona, per haver fomentat el desenvolupament de la meua curiositat i coneixement.

Així mateix, vull agrair a la comunitat de desenvolupadors per la documentació i els recursos en línia, que van ser fonamentals per al desenvolupament exitós d'aquest projecte. Concretament, vull agrair a Fu Chung Yin, desenvolupador de Taiwan amb diversos projectes publicats a Internet, per el seu contingut i per les respostes que m'ha fet arribar a alguns dels meus dubtes.

REFERÈNCIES

- [1] Contributors to Wikibooks. (2022, December 16). LaTeXArticle. Wikibooks, open books for an open world. [Online] <https://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX>
- [2] Lab, K. (2022, June 10). ¿Qué es la internet de las cosas? Definición y explicación. www.kaspersky.es. [Online] <https://www.kaspersky.es/resource-center/definitions/what-is-iot>
- [3] Fu, C. Y. (2021, July 17). Arduino/ESP32-cam_car_2pwm_coco-ssd_trackingcar.ino at master · fustyles/arduino. GitHub. [Online] https://github.com/fustyles/Arduino/blob/master/ESP32-CAM_Car/ESP32-CAM_CAR_2pwm_coco-ssd_TrackingCar/ESP32-CAM_CAR_2pwm_coco-ssd_TrackingCar.ino
- [4] Martínez Alcívar, M. M. (2022, July 21). Dispositivo IOT de medición de infrarrojos de Altas Temperaturas Usando Redes Lorawan. Dipòsit Digital de Documents de la UAB. [Online] <https://ddd.uab.cat/record/264173/>
- [5] Isaac, I. (Ed.). (2021, February 22). ESP32-cam: Lo que debes saber sobre este módulo. Hardware libre. [Online] <https://www.hwlibre.com/esp32-cam/>

- [6] Pascual, C. (2022, January 19). ESP32 Cam Introducción y Primeros Pasos. Programar fácil con Arduino. [Online] <https://programarfácil.com/esp32/esp32-cam/>
- [7] Wang, J. (2022, September 2). FTDI pinout: Everything you need to know. OURPCB. [Online] <https://www.ourpcb.com/ftdi-pinout.html>
- [8] All-Guidesbox. (n.d.). Zytemp TN905-05F user manual. ZyTemp TN905-05F Thermometer Operation user's manual PDF View/Download. [Online] <https://all-guidesbox.com/manual/792525/zytemp-tn905-05f-operation-user-s-manual-16.html>
- [9] ElOctavoBit (Ed.). (2021, August 6). Uso de servomotores con Arduino - Servo SG90. El Octavo Bit. [Online] <https://eloctavobit.com/arduino/uso-de-servomotores-con-arduino-servo-sg90/>
- [10] npm. (2021). @tensorflow-models/coco-SSD. npm. [Online] <https://www.npmjs.com/package/@tensorflow-models/coco-ssd>
- [11] Microsoft COCO. (2015, May 1). Common objects in context. COCO. [Online] <https://cocodataset.org/#home>

A APÈNDIX

A.1 Diagrama de Gantt

Per a la correcta visualització de la planificació del projecte s'ha dividit aquesta en dues captures diferents del diagrama de Gantt de seguiment. La figura (6) mostra la planificació de les primeres etapes del projecte i la figura (7) la planificació de les últimes etapes.

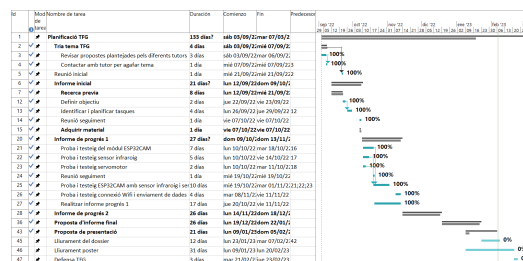


Fig. 6: Diagrama de Gantt (part de dalt)

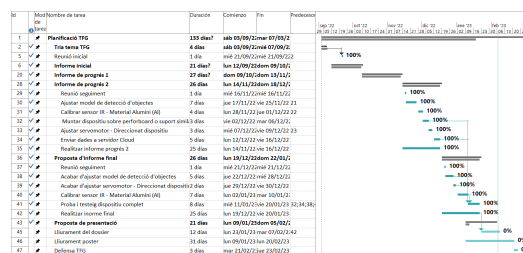


Fig. 7: Diagrama de Gantt (part d'abaix)

A.2 Prototip final (vista del darrere)

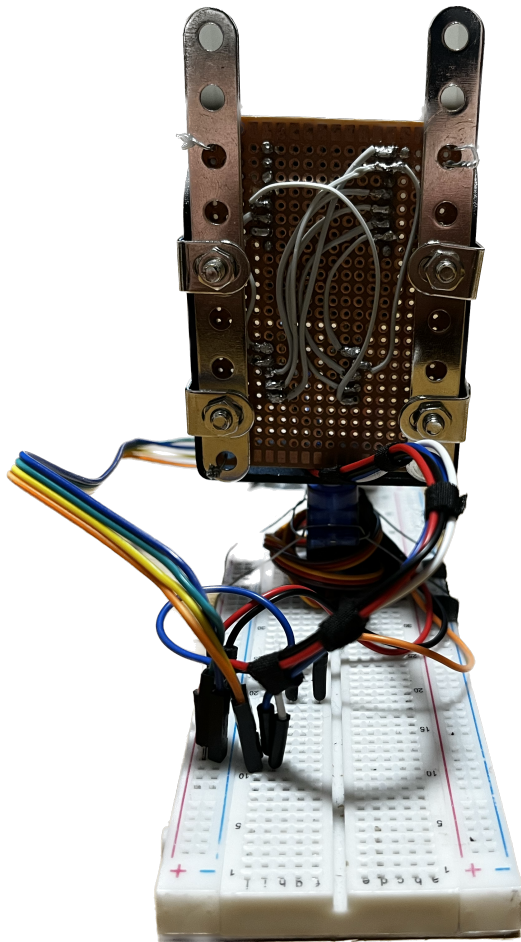


Fig. 8: Dispositiu muntat sobre estructura metàl·lica (vista del darrere)

A.3 Zones de detecció del direccionat del dispositiu



Fig. 9: Zones de detecció