

Treball de Fi de Màster

# MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL

## CONTROL D'UN SMART PLUG AMB ARDUINO I IA

### MEMÒRIA

**Autor:** Ignasi Molas Almató  
**Director:** Manuel Moreno Eguílaz

**Convocatòria:** Setembre 2024



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

El propòsit d'aquest projecte és aconseguir el domini d'un endoll intel·ligent *Voltcraft SEM 6000* a través d'una placa Arduino ESP32 S3 T-embed de manera eficient.

S'explica detalladament l'enfocament adoptat perquè aquesta combinació de dispositius sigui exitosa, tot detallant l'establiment de comunicació entre la placa Arduino i l'endoll intel·ligent, inclosa l'adopció d'un protocol de control.

El treball s'ha centrat en la capacitat de la placa Arduino per formar aquesta associació infrangible amb l'endoll intel·ligent de forma que pugui assegurar estabilitat i robustesa. També s'analitza l'eficàcia de la manipulació remota, iniciada mitjançant una interfície fàcil d'usar.

Per això i en primer lloc, es donarà una base teòrica dels components implicats en el projecte, ja siguin materials o de caràcter informàtic i de com aquests han de interaccionar entre ells per a la obtenció d'un prototip funcional al final del projecte.

A continuació, també s'explicarà com ha ajudat la intel·ligència artificial en aquest projecte i quin n'és l'abast d'aquest alhora de poder crear una solució final.

Finalment, es presentarà el resultat final obtingut, juntament amb les diferents proves realitzades i les diferents etapes d'evolució del treball.

D'aquesta projecte es pot deduir que aquesta connivència entre Arduino i l'endoll intel·ligent aplanarà el camí per a un control versàtil dels dispositius elèctrics: marcat per la comoditat i lluita per la millora de l'eficiència energètica. Una innovació plena de perspectives per a innumbrables aplicacions, però especialment en l'àmbit de la domòtica i la llar intel·ligent.

## Resumen

El propósito de este proyecto es conseguir el dominio de un enchufe inteligente *Voltcraft SEM 6000* a través de una placa Arduino ESP32 S3 T-embed de forma eficiente.

Se explica detalladamente el enfoque adoptado para que esta combinación de dispositivos sea exitosa, detallando el establecimiento de comunicación entre la placa Arduino y el enchufe inteligente, incluida la adopción de un protocolo de control.

El trabajo se ha centrado en la capacidad de la placa Arduino para formar esta asociación inquebrantable con el enchufe inteligente de forma que pueda asegurar estabilidad y confianza. También se analiza la eficacia de la manipulación remota, iniciada mediante una interfaz fácil de usar.

Por eso y, en primer lugar, se dará una base teórica de los componentes implicados en el proyecto, ya sean materiales o de carácter informático y de cómo éstos deben interaccionar entre ellos para la obtención de un prototipo funcional al final del proyecto.

A continuación, también se explicará cómo ha ayudado la inteligencia artificial en este proyecto y cuál es su alcance a la hora de poder crear una solución final.

realizadas y las diferentes etapas de evolución del trabajo.

De este proyecto se puede deducir que esta connivencia entre Arduino y el enchufe inteligente allana el camino para un control versátil de los dispositivos eléctricos: marcado por la comodidad y lucha por la mejora de la eficiencia energética. Una innovación llena de perspectivas para innumerables aplicaciones, pero especialmente en el ámbito de la domótica y el hogar inteligente.

## Abstract

The purpose of this project is to master a *Voltcraft SEM 6000* smart plug through an Arduino ESP32 S3 T-embed board efficiently.

The approach taken to make this combination of devices successful is explained in detail, detailing the establishment of communication between the Arduino board and the smart plug, including the adoption of a control protocol.

The work has focused on the Arduino board's ability to form this unbreakable partnership with the smart plug in a way that can ensure stability and trust. The effectiveness of remote manipulation, initiated through an easy-to-use interface, is also analysed.

For this reason, in the first place, a theoretical basis will be given for the components involved in the project, whether material or of a computer nature, and how these must interact with each other to obtain a functional prototype at the end of the project.

Next, it will also be explained how artificial intelligence has helped in this project and what is its scope while being able to create a final solution.

Finally, the final result obtained will be presented together with the different tests carried out and the different stages of the evolution of the work.

From this project it can be deduced that this collusion between Arduino and the smart plug paves the way for a versatile control of electrical devices: marked by comfort and fighting for the improvement of energy efficiency. An innovation full of perspectives for countless applications, but especially in the field of domotics and the smart home.



# Contingut

<b>RESUM</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>CONTINGUT</b>	<b>7</b>
<b>GLOSSARI I NOMENCLATURA</b>	<b>9</b>
<b>LLISTAT DE FIGURES</b>	<b>10</b>
<b>LLISTAT DE TAULES</b>	<b>11</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>14</b>
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>15</b>
2.1. Motivació	15
2.2. Abast del treball	15
2.3. Requeriments previs	15
2.4. Objectius del treball	16
<b>3. PART TEÒRICA</b>	<b>17</b>
3.1. Fonaments teòrics	17
3.1.1. Arduino	17
3.1.2. Placa ESP32-S3	18
3.1.3. Voltcraft SEM6000	18
3.1.4. Bluetooth 5.0	19
3.1.5. Intel·ligències Artificials	20
3.2. Antecedents	21
3.3. Estat de la qüestió	22
3.4. Estat de la ciència i la tecnologia	23
<b>4. METODOLOGIA I EQUIPAMENT</b>	<b>25</b>
4.1. Equips físics emparats	25
4.1.1. VOLT-CRAFT SEM6000	25
4.1.2. ESP32 S3 T-EMBED	27
4.1.3. PANTALLA	30
4.1.4. VENTILADORS	31
4.2. Codi Arduino	33
4.2.1. Assistència IA	33
4.2.2. Diagrama de funcionament general	33
4.2.3. Diagrama de connexió Bluetooth	34

4.2.4.	Diagrama de lectura de mesures .....	35
4.2.5.	Diagrama de gràfic.....	36
4.2.6.	Diagrama del control remot.....	37
4.3.	Anàlisi i proves .....	38
4.3.1.	Anàlisi consums del prototip.....	38
4.3.2.	Anàlisi d'una pantalla.....	38
4.3.3.	Anàlisi ventiladors .....	38
4.3.4.	Anàlisi de la intel·ligència artificial .....	39
4.3.5.	Prova de control remot del VOLTcraft .....	39
<b>5.</b>	<b>RESULTATS</b> .....	<b>40</b>
5.1.	Anàlisi consum del prototip .....	40
	Lectura de mesures de consum .....	40
	Gràfic d'estabilitat de consum.....	42
5.2.	Anàlisi pantalla .....	43
5.3.	Anàlisi ventiladors .....	44
	Taula de consums velocitat 1 .....	45
	Taula de consums velocitat 2 .....	48
	Taula de consums velocitat 3 .....	51
	Gràfics d'estabilitat .....	54
	Conclusions.....	55
5.4.	Anàlisi intel·ligència artificial.....	55
	Resultats .....	56
5.5.	Prova de control remot del Voltcraft SEM6000.....	58
	Rang de connexió Bluetooth .....	58
	Control d'encesa i apagada del Voltcraft SEM6000 .....	59
<b>6.</b>	<b>PLANIFICACIÓ</b> .....	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>ESTUDI ECONÒMIC</b> .....	<b>62</b>
<b>8.</b>	<b>ESTUDI AMBIENTAL</b> .....	<b>64</b>
<b>9.</b>	<b>ESTUDI SOCIAL I D'IGUALTAT DE GÈNERE</b> .....	<b>66</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>67</b>
	Proposta a futur .....	67
<b>11.</b>	<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>69</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>70</b>
	Referències bibliogràfiques .....	70

## Glossari i Nomenclatura

BLE: Bluetooth Low Energy, de baixa energia.

IA: intel·ligència Artificial.

IoT: Internet of Things, internet de les coses.

SD Card: targeta de memòria, també anomenat MicroSD.

SPI: Serial Peripheral Interface.

TFM: Treball Fi de Màster.

TFE: Treball Fi d'Estudis.

TFT: Thin Film Transistor, transistor de fil prim.

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya.

UUID: Universally Unique Identifier, Identificador únic universal.

## Llistat de figures

Fig. 4.1: imatge del Voltcraft SEM6000 [3]. .....	25
Fig. 4.2: imatge del ESP32 S3 T-embed [10]. .....	28
Fig. 4.3: Perifèrics ESP32 S3 [10]. .....	28
Fig. 4.4: Dimensions de la placa i de la carcasa del ESP32 S3 T-embed [10]. .....	30
Fig. 4.5: Pantalla BenQ .....	30
Fig. 4.6: Ventilador de la marca Isihom .....	31
Fig. 4.7: Ventilador de la marca Chestron .....	31
Fig. 4.8: Ventilador de la marca Raydan Home .....	32
Fig. 4.9: Diagrama de funcionament general.....	34
Fig. 4.10: Diagrama de connexió Bluetooth.....	35
Fig. 4.11: Diagrama de lectura de mesures.....	36
Fig. 4.12: Diagrama de funció gràfic.....	37
Fig. 4.13: Diagrama opció de control remot.....	38
Fig. 5.1: Fotografia del primer endoll amb el dispositiu operatiu.....	40
Fig. 5.2: Fotografia del gràfic de consum del prototip. ....	42
Fig. 5.3: Gràfic de seguiment de la pantalla. ....	43
Fig. 5.4: Gràfic d'estabilitat ventilador Isihom. ....	54
Fig. 5.5: Gràfic d'estabilitat ventilador Chestron. ....	54
Fig. 5.6: Gràfic d'estabilitat ventilador Raydan Home. ....	55
Fig. 6.1: Diagrama de Gantt del projecte.....	61
Fig. 8.1: Generació de g de CO <sub>2</sub> envers als kWh consumits [16].....	65

## Llistat de taules

Taula 4.1: Característiques del Voltcraft SEM6000 [3].	26
Taula 4.2: Característiques ESP32 S3 T-embed [10].	29
Taula 4.3: Dimensions ESP32 T-embed [10].	29
Taula 4.4: Característiques dels ventiladors.	32
Taula 5.1: Lectures del primer endoll.	41
Taula 5.2: Lectures del segon endoll.	41
Taula 5.3: Lectures del tercer endoll.	41
Taula 5.4: Segona comprovació del tercer endoll.	42
Taula 5.5: Resultats de consum Isihom a velocitat 1.	45
Taula 5.6: Resultats de consum Chestron a velocitat 1.	46
Taula 5.7: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 1.	47
Taula 5.8: Resultats de consum Isihom a velocitat 2.	48
Taula 5.9: Resultats de consum Chestron a velocitat 2.	49
Taula 5.10: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 2.	50
Taula 5.11: Resultats de consum Isihom a velocitat 3.	51
Taula 5.12: Resultats de consum Chestron a velocitat 3.	52
Taula 5.13: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 3.	53
Taula 5.14: Rubrica d'avaluació de la intel·ligència artificial.	57
Taula 5.15: Rubrica de rangs de connexió	58
Taula 5.16: Resultats de rangs de connexió.	58
Taula 5.17: Comandes d'encesa i apagada del dispositiu Voltcraft.	59
Taula 7.1: Preu dispositius utilitzats al projecte.	62
Taula 7.2: Costos de mà d'obra.	62

---

Taula 7.3: Costos totals del projecte..... 63



# 1. Prefaci

Al centre d'aquest estudi hi ha l'objectiu de permetre la connexió ràpida i sense esforç de lectures de consum d'energia a través de la connectivitat Bluetooth entre un endoll intel·ligent Voltcraft SEM6000 i una placa Arduino ESP32 S3 T-embed.

L'inici d'aquest projecte es remunta a una proposta presentada a la pàgina web de la universitat on hi ha la borsa de treballs de recerca. La idea s'ha originat pel director del projecte, Manuel Moreno Eguílaz. En aquest treball busca també fer la recerca de com pot ajudar les intel·ligències artificials a impulsar el projecte, ja sigui ajudant a l'optimització del codi i enriquiment de coneixement en l'àmbit de programació.

Per tant, aquesta investigació té com a objectiu abordar la necessitat d'una mesura precisa del consum d'energia. Alhora, preveu un paper en l'avenç del camp de la investigació tecnològica en aprofundir en el potencial de la IA a la programació Arduino. Amb aquest treball, el nostre enfocament no se centra només a trobar una solució tècnica, sinó també a fomentar una introspecció crítica: la intel·ligència artificial es capaç de desenvolupar projectes d'aquest tipus i si no es així, quins límits en podem traçar.

Tot i existir una aplicació comercial proporcionada pel fabricant per al control d'aquest endoll intel·ligent, es pot observar que té diverses mancances. Amb el prototip a desenvolupar es vol aconseguir generar un dispositiu capaç de interaccionar de forma fàcil, ràpid i visual amb l'endoll per obtencions de resultats sobre el terreny i que permet ser millorat de forma relativament fàcil.

## 2. Introducció

En els següents apartats definirem els diferents aspectes que porten a realitzar aquest projecte i l'abast d'aquest mateix.

### 2.1. Motivació

La motivació principal d'aquest estudi es observar les limitacions tecnològiques que presenten les intel·ligències artificials alhora que també es busca desenvolupar un dispositiu capaç de fer seguiments de consums energètics. Aquest seguiment podria permetre a l'usuari tenir informació de quin dispositiu de connexió via endoll consumeix més i per tant, canviar-lo per millorar l'eficiència energètica del recinte estudiat.

### 2.2. Abast del treball

El treball es realitzarà en el transcurs del quadrimestre de primavera del 2024, on aproximadament si dedicaran les hores equivalents als 12 crèdits (360 hores).

Cal remarcar que es un projecte no vinculat a cap entitat externa de la UPC ni tampoc realitzat al estranger, per tant, el desenvolupament serà autònom amb el suport del tutor del *TFM*. No serà remunerat i es disposarà de material proporcionat pel tutor i d'altre adquirit pel estudiant, on els costos estaran contemplats en l'impacte econòmic del projecte.

En conclusió, el treball es limitarà a programar una placa *ESP32 S3 T-embed* amb Arduino per establir una connexió entre aquest amb l'endoll intel·ligent *Voltcraft SEM6000*, per tal de permetre l'obtenció de dades energètiques i poder-les observar visualment a la pantalla del *ESP32 S3 T-embed*.

El prototip tindrà funcions bàsiques d'observació de dades com ara lectura de mesures, visualització gràfica i control per tancar i obrir el dispositiu intel·ligent.

### 2.3. Requeriments previs

Els requisits per procedir amb l'estudi es divideixen en materials i digitals.

Pel que fa els requisits materials, s'ha de disposar dels dos components principals que permeten la realització del projecte. Aquests són:

- *Voltcraft SEM6000*

- *ESP32 S3 T-embed*

També es necessari la connexió del dispositiu *ESP32* a una font de corrent, ja que no disposa de una bateria pròpia. Per tant, com a possibles solucions es pot disposar d'una bateria portàtil o un cable de connexió.

Es volia incorporar una targeta SD al projecte, però per motius descrits en futurs apartats no s'ha pogut integrar.

D'altre banda, els digitals són principalment la descàrrega del *Software* d'Arduino i la descàrrega de totes les llibreries pertinents per a la programació de la placa *ESP32 S3 T-embed*, facilitades a la mateixa pàgina de *GitHub* del fabricant.

## 2.4. Objectius del treball

L'objectiu general d'aquest treball serà la programació d'un prototip de placa *ESP32 S3 T-embed* que permeti la connexió amb un endoll intel·ligent i se'n pugui obtenir mesures energètiques per que l'usuari les pugui observar de forma numèrica i gràfica.

Altres objectius particulars del projecte en són:

- Control remot de l'encesa i apagada del dispositiu.
- Guardar informació a una targeta MicroSD connectada a la placa.
- Avaluació d'una intel·ligència artificial a l'hora de crear projectes.
- Disseny més estètic i visual de la interfície d'interacció amb l'usuari.
- Anàlisi del mateix dispositiu de marques diferents.
- Anàlisi de rang d'operació.

## 3. Part teòrica

Al definir aquest treball, es parla de diferents aspectes diversos que contemplen l'electrònica, la informàtica i les intel·ligències artificials.

### 3.1. Fonaments teòrics

En aquest apartat, es descriurà els diferents fonaments teòrics dels principals elements implicats en el projecte. Començant explicant el software del codi de programació, seguidament la placa *ESP32 S3*, llavors el endoll intel·ligent, l'eina principal de comunicació entre dispositius i per últim, l'assistència artificial.

#### 3.1.1. Arduino

Arduino [1] és una plataforma de maquinari i programari de codi obert àmpliament utilitzada en el desenvolupament de projectes electrònics. Va ser fundada a Itàlia per Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe i David Mellis. La base de la plataforma és una placa de desenvolupament amb un microcontrolador que es pot programar a través de l'entorn de desenvolupament integrat (IDE) d'Arduino, utilitzant un llenguatge basat en C/C++.

Les plaques Arduino són populars per la seva simplicitat, facilitat d'ús i gran comunitat d'usuaris, cosa que facilita l'accés a una àmplia gamma de recursos, biblioteques i exemples.

Característiques principals d'aquesta plataforma de components electrònics i programari en són:

- **Microcontrolador:** El microcontrolador més comú a les plaques Arduino és el ATmega328P de la marca ATMEL.
- **Entrades i sortides:** Les plaques Arduino tenen pins d'entrada/sortida digitals i analògiques que permeten interactuar amb sensors, actuadors i altres dispositius.
- **Connectivitat:** Algunes variants d'Arduino, com l'Arduino Uno Wi-Fi, incorporen connectivitat sense fils.
- **Programació:** La programació es realitza a través de l'IDE d'Arduino, que proporciona una interfície senzilla per escriure codi, compilar-lo i carregar-lo a la placa.
- **Comunitat:** Arduino té una gran comunitat on hi ha intercanvi de idees i projectes.

Arduino es fa servir en una àmplia varietat d'aplicacions, des de projectes de domòtica, robòtica, fins a sistemes d'automatització i prototips de dispositius electrònics.

El fet que sigui de codi i llicència oberta permet que altres empreses apostin per la

fabricació de plaques. Al no ser oficial, els preus són inferiors i les fan més assequibles a tots els públics. Per últim, aquest poden afegir característiques addicionals que permeten als usuaris fer projectes molt més complexos i variats.

### 3.1.2. Placa ESP32-S3

L'ESP32-S3 és un microcontrolador desenvolupat per *Espressif* [2] que forma part de la família ESP32, conegut per la seva capacitat de processament, eficiència energètica i connectivitat sense fils altament avançada. Aquesta placa és ideal per a aplicacions d'*Internet de les Coses* (IoT), gràcies a la seva capacitat per manejar tasques complexes i connectar-se a xarxes Wi-Fi i Bluetooth.

Característiques principals de la placa *ESP32 S3* són:

- **Processador:** Doble nucli Tensilica LX7 a 240 MHz.
- **Memòria:** Compta amb fins a 512 KB de SRAM i 384 KB de ROM.
- **Connectivitat:** Suporta Wi-Fi 802.11b/g/n i Bluetooth 5.0 (inclòs BLE).
- **Perifèrics:** Disposa d'una varietat d'interfícies com ara SPI, I2C, UART, ADC, DAC, entre d'altres.

L'ESP32-S3 és utilitzat en aplicacions que requereixen processament local de dades, com a dispositius intel·ligents, sistemes de reconeixement de veu, processament d'imatges, i dispositius que requereixen connectivitat sense fils avançada.

### 3.1.3. Voltcraft SEM6000

El *Voltcraft SEM6000* [3] és un mesurador de consum d'energia que permet monitoritzar i registrar l'ús d'electricitat en dispositius electrònics. Aquest dispositiu es caracteritza per la facilitat d'ús i connectivitat Bluetooth, cosa que permet als usuaris visualitzar dades en temps real mitjançant una aplicació mòbil.

Les diferents característiques principals en són:

- **Mesurament precís:** Mesura voltatge, corrent, potència (W), consum d'energia (kWh), factor de potència, entre d'altres.
- **Pantalla:** Incorpora una pantalla LCD que mostra les lectures a temps real.
- **Connectivitat Bluetooth:** permet la monitorització remota mitjançant una aplicació compatible, que emmagatzema i analitza les dades de consum.
- **Alerta de sobrecàrrega:** El dispositiu es pot configurar per alertar quan el consum supera un límit preestablert i si es necessari tallar-ne el subministrament.

En el cas del *SEM6000*, s'utilitza principalment per monitoritzar el consum energètic en entorns domèstics i d'oficina, ajudant a identificar dispositius ineficients i optimitzar l'ús d'energia.

## Aplicació Voltcraft SEM6000

L'aplicatiu (App) comercial associat al endoll intel·ligent *Voltcraft SEM6000* esta disponible tant per a dispositius amb sistemes operatius Android o IOs.

Dins d'aquesta aplicació s'hi troba disponible les següents pestanyes:

- **Power (potència):** En aquesta pestanya esta disposada la informació de tal forma que mostra la potència, el corrent i el factor de potència a la part superior de la pantalla i a la part inferior si presenta el voltatge, freqüència, energia total i emissions total de CO<sub>2</sub>.
- **Energy (energia):** S'hi pot observar un gràfic del consum en kWh al llarg dels temps i també de cost econòmic. Aquest et dona opcions de dia, setmana, mes i dia per poder observar diferents intervals de temps.
- **Timer (temporitzador):** La pestanya té un temporitzador per tal d'assignar quan es vol aturar el dispositiu.
- **Schedule (horari):** Permet crear un horari setmanal de funcionament.

Els idiomes disponibles que ofereix la aplicació són Alemany, Angles, Francès, Italià i Croat.

Una altre característica important n'és el control de diferents dispositius alhora i de poder apagar i encendre de forma remota.

### 3.1.4. Bluetooth 5.0

Bluetooth 5.0 [4] és una versió avançada de la tecnologia Bluetooth, dissenyada per millorar la connectivitat sense fils entre dispositius. Aquesta versió ofereix millores significatives en velocitat, abast i capacitat de transmissió de dades en comparació dels seus predecessors.

La història del Bluetooth es remunta al 1994, on l'enginyer Dr. Jaap Haartsen de Ericsson va desenvolupar el concepte inicial. En el 1996, grans empreses com Intel, Ericsson i Nokia, es varen unir per estandarditzar la tecnologia i també se li dona el nom actual. Seguidament al 1998, s'hi va unir IBM i Toshiba, per tal d'acabar de promoure i desenvolupar més la tecnologia. A finals de segle, al 1999 es va publicar la primera versió coneguda com Bluetooth 1.0 i dos anys després es va crear el primer dispositiu amb aquesta tecnologia integrada.

Característiques principals del Bluetooth d'última generació en són:

- **Velocitat:** Podeu assolir velocitats de transmissió de dades de fins a 2 Mbps.
- **Abast:** Augmenta l'abast fins a quatre vegades més que Bluetooth 4.2, amb una cobertura de fins a 240 metres en condicions òptimes.

- **Capacitat de transmissió:** Podeu transmetre paquets de dades més grans, cosa que millora l'eficiència i redueix la latència en la comunicació.
- **Optimització d'energia:** Millores en la gestió d'energia, cosa que és crucial per a dispositius de baix consum.

Bluetooth 5.0 és ideal per a aplicacions IoT, dispositius portàtils, sistemes d'àudio sense fil, i qualsevol aplicació que requereixi connexions ràpides i de llarg abast, ja sigui en el món industrial com el personal.

### Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) és una versió de la tecnologia Bluetooth dissenyada específicament per a aplicacions que requereixen un baix consum d'energia. BLE és part de l'especificació Bluetooth des de la versió 4.0, creada al 2010, i s'ha optimitzat per transmetre petites quantitats de dades de manera eficient.

El Bluetooth de baixa energia disposa d'algunes característiques del Bluetooth 5.0, però les particulars, i que en fan d'ell únic, en són:

- **Baix consum:** Dissenyat per funcionar amb bateries petites durant llargs períodes sense necessitat de recàrrega.
- **Velocitat:** Encara que BLE no està optimitzat per a grans velocitats de transferència, pot assolir fins a 1 Mbps a la versió 5.0.
- **Latència:** Baixa latència, cosa que és ideal per a aplicacions de temps real.
- **Topologia:** Suporta topologies de xarxa punt a punt, estrella i malla, facilitant la seva integració a xarxes IoT.

BLE s'utilitza en dispositius portàtils (*wearables*), sensors de salut, balises, automatització de la llar, i altres dispositius IoT que requereixen baix consum d'energia. Aquests, com bé es menciona a les característiques, tenen una bona autonomia amb bateries petites.

### 3.1.5. Intel·ligències Artificials

La intel·ligència artificial (IA) fa referència a la simulació de processos d'intel·ligència humana per part de sistemes informàtics. Aquests processos inclouen l'aprenentatge (adquisició d'informació i regles per fer-la servir), el raonament (utilització de regles per arribar a conclusions aproximades o definitives) i l'autocorrecció. La IA ha esdevingut un camp essencial en la tecnologia moderna, influint en múltiples indústries.

L'aprenentatge automàtic (*Machine Learning*) n'és una de les característiques principals dels subcamps més importants de la IA, on els sistemes aprenen i milloren automàticament a partir de l'experiència, sense ser explícitament programats. Es fan servir algorismes que poden trobar patrons en grans volums de dades. Per altre banda, aquestes estan formades per xarxes neuronals, que no deixa de ser models inspirats en el cervell humà que estan

dissenyats per reconèixer patrons complexos. Les xarxes neuronals profundes (Deep Learning) són un tipus avançat que utilitza múltiples capes per processar dades en una jerarquia de conceptes.

Una branca de la IA que s'enfoca a la interacció entre els ordinadors i els humans mitjançant el llenguatge natural n'és el processament de llenguatge natural (NLP). NLP [5] permet a les màquines entendre, interpretar i respondre a les paraules parlades i escrites de manera significativa.

Amb les últimes versions llençades al mercat, s'ha incorporat la visió per ordinador on aquesta branca de la IA permet que els ordinadors interpretin i compreguin el món visual, mitjançant l'anàlisi d'imatges i vídeos. És crucial per a aplicacions com el reconeixement facial, la conducció autònoma i la realitat augmentada.

Per últim, els sistemes d'IA en robòtica permeten a les màquines realitzar tasques complexes que normalment requereixen intel·ligència humana, com ara assemblatge, exploració espacial, i operacions quirúrgiques.

La intel·ligència artificial s'està aplicant en una àmplia gamma d'àrees com als diferents assistents virtuals com ara Siri, Alexa, i Google Assistant, que utilitzen NLP per entendre i respondre a les sol·licituds dels usuaris. També automòbils autònoms que utilitzen visió per ordinador i aprenentatge automàtic per navegar i prendre decisions en temps real. En el camp mèdic també hi tenen molta importància, on la IA ajuda a analitzar imatges mèdiques i dades clíniques per diagnosticar malalties amb més precisió. I per últim, en finances és altament utilitzat per als algorismes d'IA que es fan servir per a l'anàlisi de riscos, detecció de fraus, i automatització del comerç.

De les més rellevants actualment i operatives en el mercat en són: ChatGPT [11], Copilot [18], Gemini [19].

Per concloure amb les intel·ligències artificials, cal remarcar que encara en alguns àmbits tenen moltes carències i poden donar a lloc a l'error si se'n abusa del seu ús, sobretot en àmbits de càlculs numèrics i recerca d'informació.

## 3.2. Antecedents

Aquest treball no és una continuació ni un relleu de projectes anteriors. S'ha iniciat des de zero, cosa que en marca l'absència d'influències externes directes. Partir des de zero ha implicat un enfocament completament original, on totes les decisions, des de l'elecció de components fins al desenvolupament de la programació i la integració de tecnologies, s'han pres de manera autònoma o amb l'ajuda del tutor i fonamentada en la necessitat d'explorar

les noves possibilitats al camp de l'electrònica i la programació.

La rellevància d'aquest estudi recau precisament en la novetat i en la creació d'un marc teòric i pràctic que fent recerca no s'ha trobat en fonts accessibles a internet, si casos similars però cap utilitzant els mateixos components . Aquest treball representa un esforç per combinar i aplicar tecnologies com Arduino, *ESP32 S3*, Bluetooth 5.0, BLE, i sistemes de monitorització d'energia com el *Voltcraft SEM6000*, tot alhora per a l'obtenció d'un prototip final.

Les modificacions durant el treball van ser inevitables, atès d'alguns imprevistos que no es poden contemplar del projecte. A mesura que s'avançava en el desenvolupament, es van identificar àrees on calia ajustar l'enfocament inicial. Per exemple, a la fase d'integració de la connectivitat Bluetooth, es va decidir que s'incorporaria una targeta microSD al projecte, però degut a un defecte de fàbrica del *ESP32 S3*, la ranura capaç de llegir les targetes no detectava ni era capaç de muntar cap targeta.

Aquestes modificacions van empitjorar la robustesa del projecte, però també van aportar un valor afegit a l'estudi en oferir altres possibles opcions que no havien estat considerats al principi i haver d'adaptar-se a elles.

En conclusió, aquest treball no només obre noves vies de recerca, sinó que també proporciona una base sòlida sobre la qual poden construir altres investigadors i desenvolupadors. L'originalitat d'aquest projecte i la presa de decisions informades durant el desenvolupament asseguren que el coneixement generat aquí sigui un recurs valuós per a innovacions tecnològiques futures. Ja sigui amb el mateix dispositiu o amb d'altres components electrònics.

### 3.3. Estat de la qüestió

L'estat actual de la qüestió es caracteritza per la integració creixent de tecnologies de microcontroladors, connectivitat sense fils i monitorització d'energia en projectes d'automatització i Internet de les Coses (IoT). Encara que hi ha desenvolupaments significatius en aquests camps i molt més sofisticats, encara hi ha molts desafiaments per abordar, especialment pel que fa a la compatibilitat, l'eficiència energètica, la facilitat d'implementació en diferents entorns i sobretot i més important que sigui econòmic i a l'abast de totes les butxaques.

A l'àmbit dels microcontroladors, plataformes com Arduino i ESP32-S3 han guanyat popularitat per la seva versatilitat i capacitat de processament. Tot i això, la combinació d'aquestes tecnologies amb protocols de comunicació avançats, com Bluetooth 5.0 i BLE, encara està en una fase d'exploració en molts projectes.

A més, la gestió del consum energètic continua sent un aspecte crític als projectes d'IoT. Dispositius com el *Voltcraft SEM6000* proporcionen solucions per al monitoratge del consum, però la integració d'aquests sistemes amb microcontroladors i tecnologies sense fil presenta reptes tècnics i de disseny que requereixen solucions innovadores.

Per tant, aquest projecte aborda una àrea en evolució on les solucions existents encara no han assolit un nivell òptim d'eficiència i integració. El treball realitzat no sols cerca implementar tecnologies d'avantguarda, sinó també identificar i resoldre problemes, proposant un enfocament que podria servir de base per a futures investigacions i desenvolupaments.

### 3.4. Estat de la ciència i la tecnologia

L'estat de l'art en aquest projecte se centra en la revisió bibliogràfica i en l'ús de fonts de confiança, amb l'objectiu de construir una base teòrica i tècnica sòlida per al desenvolupament del treball. Tot i això, un dels principals desafiaments va ser l'escassetat de recursos bibliogràfics específics i estudis previs que abordessin la combinació exacta del dispositius utilitzats, la qual cosa reflecteix la novetat del projecte.

Les fonts consultades han estat diverses, incloent documentació tècnica oficial dels fabricants dels components utilitzats, com *Espressif* per a la placa *ESP32 S3* i *Arduino* per a la seva respectiva plataforma. Aquests documents van proporcionar la base per entendre les capacitats i limitacions dels components en qüestió.

Adicionalment, s'ha recorregut a repositoris de programació i fòrums de desenvolupament, especialment a plataformes com *GitHub*, on la comunitat comparteix codis, experiències i solucions a problemes similars. Tot i que aquestes fonts no són acadèmiques en el sentit tradicional, ofereixen un coneixement pràctic valuós que ha estat crucial per superar obstacles tècnics durant el desenvolupament del projecte. Aquestes han servit sobretot per proporcionar informació sobre el *Voltcraft SEM6000* [6] i per també establir connexió amb l'*ESP32 S3* [7].

El coneixement propi del qual es disposava a l'inici ja venia marcat per diferents aprenentatges autònoms al llarg del batxillerat, carrera universitària i el màster d'enginyeria industrial.

També s'ha fet servir literatura acadèmica relacionada amb el desenvolupament de sistemes encastats, IoT i protocols de comunicació com *Bluetooth*. Tot i això, moltes de les investigacions disponibles aborden aquests temes de manera aïllada, cosa que subratlla l'originalitat i l'aportació innovadora d'aquest treball.

En resum, l'estat de l'art revela la manca d'estudis anteriors que combinin de manera integral les tecnologies abordades en aquest projecte. Això no només justifica la rellevància

del treball realitzat, sinó que també destaca la importància de construir sobre la base teòrica i tècnica desenvolupada aquí, per avançar en el coneixement i les aplicacions futures al camp de l'automatització i la IoT.

## 4. Metodologia i equipament

La metodologia emparada per dur a terme els diferents estudis passa explicar els diferents elements utilitzats en el projecte, ja siguin físics o informàtics i també els diferents anàlisis generats de la interacció d'aquests.

### 4.1. Equips físics emparats

A continuació, s'explicarà tots els elements físics que han format part del treball. S'explicarà de forma detallada les seves característiques, funcions, limitacions, etc.

#### 4.1.1. VOLTCRAFT SEM6000

El *Voltcraft SEM6000* és un endoll intel·ligent de la empresa Conrad Electronic [8], capaç de mesurar consums energètics i de transmetre i rebre informació via *Bluetooth*.



Fig. 4.1: imatge del Voltcraft SEM6000 [3].

No s'ha fet estudi de mercat pel que respecta aquest equipament, ja que la universitat ha posat a disposició el dispositiu per a dur a terme el projecte.

Les seves característiques principals són:

Característiques		
Model		SEM6000
Voltatge Nominal	[V]	220 - 240
Potència màxima	[W]	3680
Intensitat màxima	[A]	16

Consum propi	[W]	0,8
Pes	[g]	95
Precisió	[%]	1
Dimensions	(L x W x H)	54,7 x 54,7 x 71,5 mm

*Taula 4.1: Característiques del Voltcraft SEM6000 [3].*

En quan a les característiques de control remot, es poden trobar al *GitHub*. En aquestes hi ha informació parcial utilitzada per controlar l'endoll mitjançant una llibreria de *Linux*, però alhora hi ha documentació de diferents característiques i serveis UUID disponibles per a la interacció d'aquest amb el prototip desitjat.

El servei UUID disponible que permet identificar el Voltcraft mitjançant Bluetooth és el següent:

**0000fff0-0000-1000-8000-00805f9b34fb**

Amb aquest servei, podem connectar-nos a les diferents característiques UUID que pot oferir el dispositiu, que són les següents:

<b>Nom del dispositiu:</b>	0000fff2-0000-1000-8000-00805f9b34fb
<b>Venedor, hardware i firmware:</b>	0000fff1-0000-1000-8000-00805f9b34fb
<b>Enviar comandes:</b>	0000fff3-0000-1000-8000-00805f9b34fb
<b>Rebre notificacions:</b>	0000fff4-0000-1000-8000-00805f9b34fb

Amb les diferents característiques disponibles de transmissió i recepció del BLE del *Voltcraft*, es pot sol·licitar diferents accions al endoll. Aquestes són:

- PIN
  - PIN d'autorització
  - Canviar PIN d'autorització
  - Reset del PIN d'autorització
- Configuració
  - Sincronitzar hora
  - Sol·licitar configuració

- Canviar de color la tira LED
- Posar un límit de consum
- Establir preus
- Establir temps de funcionament
- Control Remot
  - Obrir “On” i tancar “Off”
- Temporitzador
- Programar ús
- Mode aleatori “random”
- Lectures de potència i consum
- Opcions del dispositiu
  - Sol·licitar nom
  - Canviar nom
  - Obtenir número Serial

D'aquestes funcions s'ha utilitzat les que permeten establir la connexió amb el dispositiu, com es el cas del PIN d'autorització i també les que permeten capturar les diferents mesures que se'n volen obtenir del Voltcraft. Per últim, també les funcions d'obrir i tancar el dispositiu de forma remota.

Tota aquesta informació que llavors transmetrà al dispositiu de control i monitoratge, es rebrà en un format de 12 *bytes* que a través del codi es descodificarà per facilitar la comprensió a l'usuari final.

#### 4.1.2. ESP32 S3 T-EMBED

L'*ESP32 S3 T-EMBED* utilitzat en el treball es de la marca LILYGO [9] , aquesta ve dins una carcassa de color negre i té com a perifèrics una pantalla *TFT*, una tira *LED*, un *encoder* i un botó.

El tutor del projecte va proposar utilitzar aquesta placa i es va adquirir pel preu de 65,22€ a la pàgina web de Bricogeek [10].



Fig. 4.2: imatge del ESP32 S3 T-embed [10].

Els components que incorpora la placa són els següents:



Fig. 4.3: Perifèrics ESP32 S3 [10].

Les diferents característiques i dimensions es poden trobar a la següent taula.

Característiques		
Model		S3 T-EMBED
Wi-Fi	[GHz]	2.4
Pantalla		TFT

Resolució pantalla	[píxels]	170 x 320
Brillantor	[Cd/m <sup>2</sup> ]	350
Encoder		24 dents i 12 polsadors per volta
Micròfon		Integrat
Altaveu		Mini de 8 Ohm i 1 W extern
Tira LED		7 LEDs al voltant del Encoder
Ranura per SD		Integrada
Connector Groove		Integrat
Port USB		Tipus C
Connector per bateria		Integrat
Botó Reset		Integrat
Botó/Polsador		Centre encoder

Taula 4.2: Característiques ESP32 S3 T-embed [10].

Dimensions		Placa	Carcassa
Llargada:	[mm]	96	98
Amplada:	[mm]	36*	38
Gruix:	[mm]	11	31

Taula 4.3: Dimensions ESP32 T-embed [10].

\*Tot i a que la figura següent en l'amplada de la placa marca 39 mm, s'ha mesurat manualment, i s'ha comprovat que és de 36.

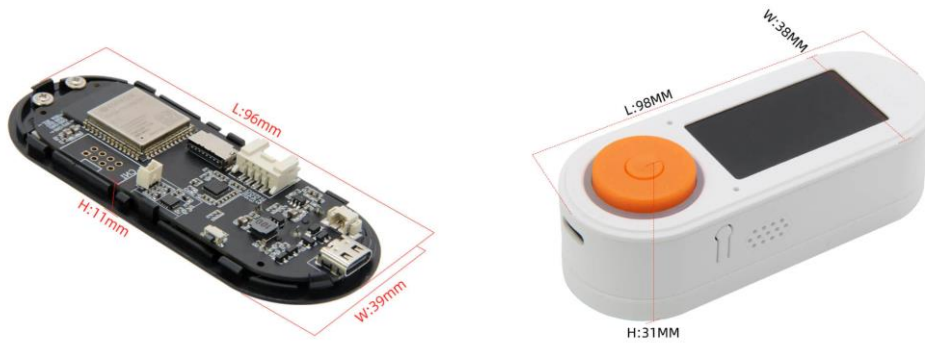


Fig. 4.4: Dimensions de la placa i de la carcasa del ESP32 S3 T-embed [10].

Per poder programar aquesta dispositiu s'ha d'utilitzar un dels dos llenguatges següents *Python* o *Arduino*. S'ha utilitzat *Arduino* per generar el codi de execució del projecte. Per ser exacte, el IDE d'*Arduino* versió 2.3.2.

#### 4.1.3. PANTALLA

La pantalla escollida per realitzar aquest projecte és el model GW247-T de la marca BenQ. Com a característiques principals cal destacar que és de 24 polsades, disposa d'un menú amb diferents opcions de configuració i també disposa un jack de sortida per reproduir so.

Es realitzarà un gràfic on durant el transcurs d'aquest es modificaran les configuracions de la pantalla per poder observar com aquestes afecten al consum del dispositiu.

La pantalla és la següent:



Fig. 4.5: Pantalla BenQ

#### 4.1.4. VENTILADORS

Per dur a terme un anàlisi comparatiu entre diferents components destinats a la mateixa finalitat, s'ha escollit tres ventiladors de diferents marques per tal de poder mesurar-ne els consums i graficar-ne l'evolució al llarg del temps de cadascun.

Aquests han de tenir característiques similars per poder comparar. Per tant, s'ha escollit tres ventiladors que disposen de tres possibles configuracions de velocitat.

Els ventiladors són de les següents marques: Isihom, Raydan Home i Chestron. Aquests són del pis actual on viu l'autor d'aquest projecte. Per tant, l'impacte econòmic generat per el anàlisi és nul.

A continuació, les següents figures mostren una imatge de cada un d'ells, amb les característiques, si es que les tenen especificades en alguna etiqueta del dispositiu.



*Fig. 4.6: Ventilador de la marca Isihom*



*Fig. 4.7: Ventilador de la marca Chestron*



*Fig. 4.8: Ventilador de la marca Raydan Home*

Les especificacions tècniques que tenen en les etiquetes del ventilador marquen les següents característiques:

Característica	Ventilador Isihom	Ventilador Chestron	Ventilador Raydan H.
Model	200132	CHBF-2281	26015
Voltatge [V]	220 - 240	230	220 - 240
Freqüència [Hz]	50	50	50
Potència [W]	40	40	40

*Taula 4.4: Característiques dels ventiladors.*

## 4.2. Codi Arduino

En aquest apartat, es comenta tota la part informàtica del codi del treball i també la intel·ligència artificial utilitzada.

Per tal de explicar el funcionament del codi, es mostraran diferents figures amb diagrames que expliquin l'estructura dels diferents mòduls del codi i com aquests interaccionen amb ell.

### 4.2.1. Assistència IA

En l'enfoc presentat pel tutor, es volia explorar quin grau d'assistència pot generar la intel·ligència artificial alhora de crear projectes d'Arduino o de caires similars.

L'assistent que s'ha fet servir és ChatGPT [11], on s'ha anat sol·licitant que realitzi un seguit de tasques amb la finalitat d'observar quin grau d'autonomia disposa dins de les limitacions que posseeix.

ChatGPT, com s'ha explicat el apartat tècnic del treball, és una intel·ligència artificial de OpenAI recentment comprada per Microsoft. Aquest funciona mitjançant una interacció de un model de *Machine Learning*, capaç de interpretar una entrada de text, veu o imatges amb un usuari que busca una resposta d'aquest *input* proporcionat.

Al llarg del projecte, s'ha passat de la versió 3.0 a la 4.0, on les millores passen per:

- Millora en la capacitat de processament i anàlisi més ràpid i eficient.
- Augment del nivell de comprensió i generació de text, formant textos amb més coherència i precises.
- Capacitat de treballar amb imatges, notes de veu i text.
- Possibilitat d'interactuar de forma més fluida a temps real.
- Millora substancial en el rendiment de més de 50 idiomes.

N'hi ha moltes més, però s'han destacat les més importants i que li donen més valor afegit envers a l'usuari.

El mètode utilitzat per comprovar la efectivitat de l'ús d'aquest passa per un breu anàlisi de diferents nivells de dificultat. Aquests nivells busquen veure quins *inputs* pot generar respostes productives i quins no.

### 4.2.2. Diagrama de funcionament general

El codi d'Arduino consta de un seguit de funcions que s'executen al iniciar la placa ESP32. En aquest subapartat es mostrarà el diferents passos que succeeixen des de que iniciés el *ESP32 S3* fins que seleccionés la opció desitjada al menú principal del programa.

Aquests s'ensenyaran de forma general, ja que als següents subapartats es disposarà el diagrama específic de cada funció de gran rellevància del codi.

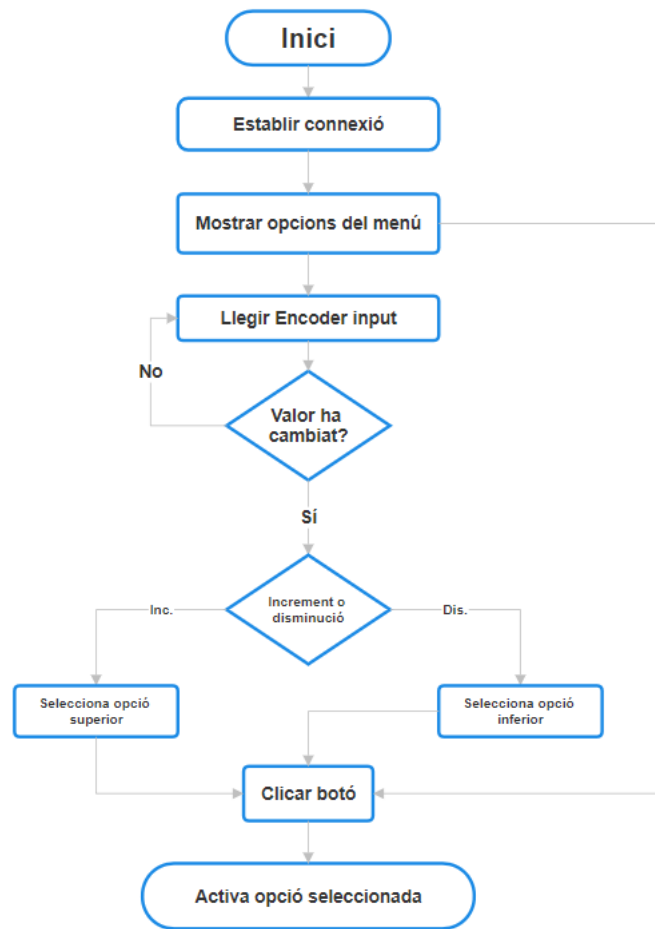


Fig. 4.9: Diagrama de funcionament general.

### 4.2.3. Diagrama de connexió Bluetooth

L'estructura que segueix el protocol de connexió passa per escanejar tots els dispositius Bluetooth actius en l'entorn pròxim a l'ESP32 S3 i filtrar per el servei UUID que busquem, que en concret és el del *Voltcraft SEM6000*.

Seguidament, si el troba, atura la funció de busca i intenta establir la connexió i emparellar-lo. Si aquest vincle succeeix, s'actualitzen totes les variables del codi que estan vinculades amb l'estat de la connexió i crea el *Notification Callback*, és a dir, l'encarregat de rebre les notificacions que el *Voltcraft SEM6000* envii a l'ESP32 S3. Finalment, amb tot ja connectat, finalitza el *Loop*.

En la Fig. 4.1 es pot observar el diagrama que descriu el funcionament anteriorment descrit.

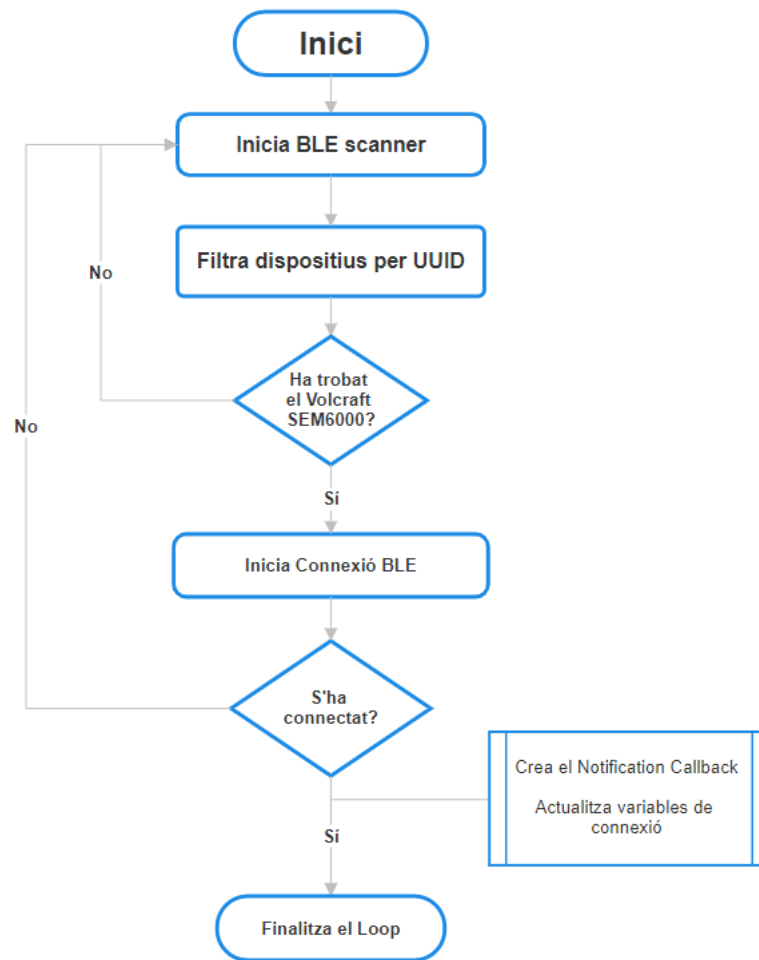


Fig. 4.10: Diagrama de connexió Bluetooth.

#### 4.2.4. Diagrama de lectura de mesures

Un cop dins el bucle (*loop*) principal del codi, quan es tria l'opció del capdamunt amb l'encoder i el polsador, apareix en pantalla un seguit de mesures, disposades una sobre l'altre, on cada segon s'actualitzen mostrant el valor real de les següents variables:

- Estat del dispositiu: Obert "ON" o tancat "OFF".
- Voltatge en Volts.
- Intensitat en Ampers.
- Potència en Watts.
- Freqüència en Hertz.

El diagrama específic de funcionament de la lectura de mesures n'és el següent:

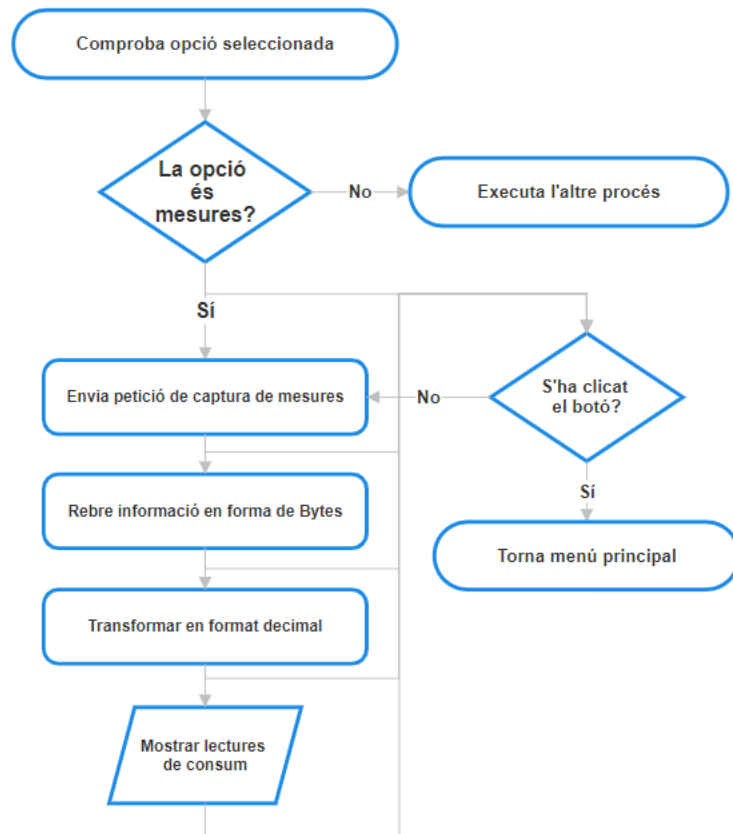


Fig. 4.11: Diagrama de lectura de mesures.

#### 4.2.5. Diagrama de gràfic

Com a segona opció, al seleccionar amb l'encoder i clicar l'opció *Gràfic*, apareixen els diferents eixos a la pantalla, en l'eix de les abscisses s'hi troba el temps en segons i en el de les ordenades la potència en Watts.

El diagrama de de funcionament és el següent:

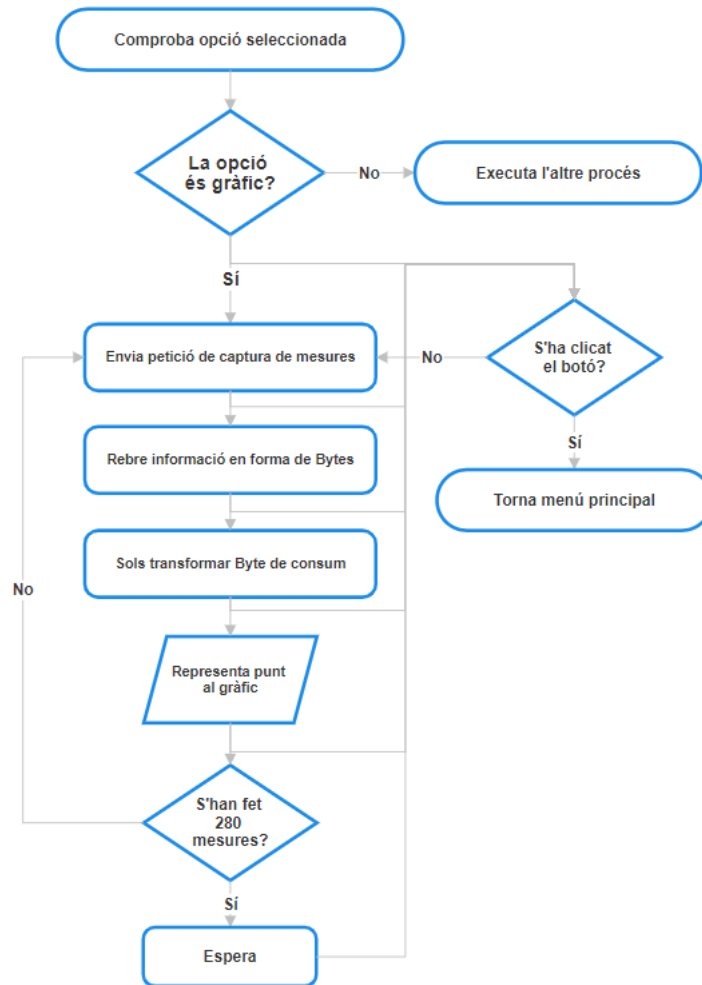


Fig. 4.12: Diagrama de funció gràfic.

#### 4.2.6. Diagrama del control remot

Com a última opció, en el menú principal del programa, hi ha l'opció de control remot. Aquesta al ser polsada, s'envia al dispositiu la cadena de bytes que ordena al Voltcraft a obrir-se o tancar-se en funció de l'estat que es trobi.

El seu diagrama es pot observar en la següent figura:

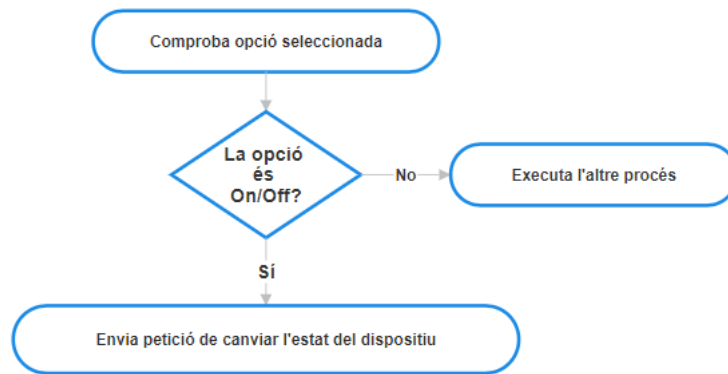


Fig. 4.13: Diagrama opció de control remot.

### 4.3. Anàlisis i proves

Per a l'obtenció de resultats, s'ha dut a terme un parell d'anàlisis i una prova. A continuació, es descriurà cada una d'elles i en el apartat de resultats se'n podrà avaluar el procés.

#### 4.3.1. Anàlisis consums del prototip

Per començar amb les primeres proves es realitzarà un anàlisis dels consums del mateix prototip quan aquest estigui endollat mitjançant un carregador de mòbil.

Es capturarà les lectures en tres endolls diferents del habitatge i s'anotaran els resultats. També es presentarà per a cada un la fotografia del gràfic complet.

#### 4.3.2. Anàlisis d'una pantalla

Seguidament, s'exposarà un gràfic mostrant l'evolució d'una pantalla amb diferents configuracions disponibles per comprovar les fluctuacions de consum al llarg del temps.

L'objectiu serà detectar quin és la configuració que menys consumeix, sense tenir en compte que aquesta pot estar en estat de repòs.

#### 4.3.3. Anàlisis ventiladors

En aquest tercer anàlisis, es portarà a prova els diferents ventiladors en el mateix endoll del habitatge. Per cada un d'ells es farà tres proves per a cada una de les velocitats que aquests disposen, arribant a sumant un total de 9 experiments per cap.

Es disposarà dels resultats de les mesures, tant de forma numèrica com amb els gràfics que s'han extret de cada una de les proves.

#### **4.3.4. Anàlisi de la intel·ligència artificial**

En els resultats s'exposarà diferents tasques sol·licitades a ChatGPT i quin grau d'èxit ha obtingut en una rubrica utilitzant els mètodes.

El criteri que s'utilitzarà per avaluar les diferents tasques serà d'un rubrica on s'explicarà amb un breu comentari si ha compilat o no, si compleix la funció sol·licitada i si ha tingut intervenció humana i si és així, quina.

Finalment, se'n extraurà una breu conclusió de per quines situacions és més idònia l'assistència de les intel·ligències artificials actuals en els projectes de programació, en aquest cas d'Arduino.

#### **4.3.5. Prova de control remot del VOLTcraft**

També és posarà a prova la interacció de les comandes d'encesa i apagada. Aquesta prova també contemplarà fins a quin rang és capaç de poder mantenir la connexió el *ESP32 S3* amb el Voltcraft.

S'exposarà en els resultats els rangs de distancia en els que pot operar i també quines funcions remotes és capaç d'executar i quines no.

## 5. Resultats

L'experimentació que s'ha pogut realitzar mitjançant el prototip creat queda documentat en els següents apartats, on detalladament es presentarà cada anàlisi o prova realitzada amb els seus corresponents resultats i breu conclusions.

Els resultats es presentaran amb una taula de resultats per experiment i fotografies que ho validin i a continuació, unes conclusions on es comentin els resultats, possibles millores al anàlisi, fallades, etc.

### 5.1. Anàlisi consum del prototip

El procediment seguit per realitzar l'experiment ha sigut el següent. Primer, s'ha mesurat cinc vegades en tres endolls diferents el consum del prototip per tal de poder confirmar si compleix les especificacions de fàbrica. A continuació, en un d'aquests endolls, es comprovarà l'estabilitat del consum del dispositiu amb un gràfic generat pel mateix prototip.

En la Fig. 5.1 es pot observar com s'han fet les mesures.



*Fig. 5.1: Fotografia del primer endoll amb el dispositiu operatiu.*

#### Lectura de mesures de consum

Les tres següents taules mostraran totes les diferents variables que mostra el dispositiu, a excepció de l'estat d'aquest (On/Off).

**Primer endoll:**

Nº Lectura	Watts [W]	Voltatge [V]	Ampers [A]	Freqüència [Hz]
Lectura 1	0,98	221	0,00	50
Lectura 2	0,90	222	0,01	50
Lectura 3	0,88	221	0,00	50
Lectura 4	0,95	220	0,00	50
Lectura 5	0,85	221	0,00	50

*Taula 5.1: Lectures del primer endoll.***Segon endoll:**

Nº Lectura	Watts [W]	Voltatge [V]	Ampers [A]	Freqüència [Hz]
Lectura 1	0,86	219	0,00	50
Lectura 2	0,95	219	0,00	49
Lectura 3	0,87	218	0,00	50
Lectura 4	0,81	219	0,00	50
Lectura 5	0,89	218	0,00	49

*Taula 5.2: Lectures del segon endoll.***Tercer endoll:**

Nº Lectura	Watts [W]	Voltatge [V]	Ampers [A]	Freqüència [Hz]
Lectura 1	0,92	219	0,02	50
Lectura 2	0,90	219	0,02	50
Lectura 3	0,97	219	0,02	50
Lectura 4	0,90	218	0,02	50
Lectura 5	0,86	219	0,02	50

*Taula 5.3: Lectures del tercer endoll.*

La segona avaluació del tercer endoll s'ha tornat a realitzar per comprovar els Ampers. Els resultats obtinguts són a la següent taula.

Nº Lectura	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5
Ampers [A]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

*Taula 5.4: Segona comprovació del tercer endoll.*

Observant les tres taules, podem observar es que el seu consum no sobrepassa el valor establert de fàbrica de 1 W, essent el valor més alt mesurat el 0,98 en el primer endoll.

En el cas dels Ampers, cal destacar que el dispositiu no requereix d'un alt amperatge per funcionar. En les característiques de fàbrica no s'especifica quin es la intensitat necessària que li fa falta per funcionar, però observant els tres endolls i duent a terme un segona avaluació en el tercer, podríem dir que consumeix menys de 10 mA.

En quant a les altres variables, la seva variabilitat no es tan alta, ja que el dispositiu no té tanta precisió de mesura. Aquestes no se'n pot observar els decimals, tot i així ronden els valors habituals de consum de tots els dispositius d'ús habitual dins l'habitatge.

### Gràfic d'estabilitat de consum

En el gràfic de la Fig. 5.2 s'observa el consum en Watts del prototip al llarg de 280 s. Aquest, en gran mesura, representa els valors al llindar de la unitat i sols la sobrepassa en alguns pics.

Comparant amb les lectures anteriorment presentades podríem verificar que el valor mig de consum ronda el 0,91 W.



*Fig. 5.2: Fotografia del gràfic de consum del prototip.*

## Conclusions

Com a conclusions d'aquest estudi en podem deduir que el prototip funciona correctament mostrant de forma calibrada les diferents variables mesurades pel *Voltcraft SEM 6000* i també que la comparació que s'extreu entre els resultats obtinguts i les especificacions de fàbrica, quadren.

Per últim, comentar que en aquest anàlisis s'observa una limitació alhora de poder mesurar dispositius que sols necessitin consums d'intensitat inferiors als 10 mA.

## 5.2. Anàlisis pantalla

El monitoratge a través d'un gràfic de la pantalla permet veure les fluctuacions en els consums del dispositiu. Aquest anàlisis es farà d'un total de 280 segons i a continuació, es detallarà els canvis aplicats i en quin segon es faran les diferents modificacions.

Del segon 0 fins el 70 es tindrà la lluminositat de la pantalla al màxim. Seguidament, es baixarà al 50% d'intensitat fins el segon 140. Llavors, es posarà al mínim durant els següents 70 segons i per últim, es desconnectarà l'HDMI de la pantalla sense deixar que aquesta entri en mode repòs, és a dir, estarà oberta, però no tindrà imatge que emetre en pantalla.

En la següent figura se'n poden observar els resultats:



Fig. 5.3: Gràfic de seguiment de la pantalla.

També s'ha mesurat el valor numèric del consum i la intensitat, per saber quins valors opera la pantalla amb la configuració predeterminada de fàbrica.

- Consum: 11,43 W
- Intensitat: 0,14 A

D'aquest anàlisis podem extreure uns resultats clars, on s'observa en quin període la pantalla té un consum menys elevat, essent el de menys lluentor en pantalla.

L'únic punt que mostra un consum inferior és el moment de desconnexió del HDMI amb la pantalla, però just quan detecta que ja no hi ha imatge disponible, el seu consum es

dispara, sempre i quan aquesta no entri en repòs, on el consum passa a ser zero.

Alternativament, s'ha experimentat amb el contrast i la nitidesa de la pantalla, però s'ha observat que aquests no afecten al consum del aparell.

Possibles millores per obtenir uns resultats més interessants podrien ser afegir valor màxim i valor mínim assolit, per tal de facilitar en casos d'anàlisis el resultat més òptim i més adient al cas d'estudi.

### **5.3. Anàlisis ventiladors**

El projecte s'ha creat per permetre el anàlisis i comparació entre dispositius on busca poder millorar l'eficiència energètica escollint aquells que n'ofereixin una reducció del consum de la llar. Aquest apartat busca satisfer aquest objectiu, comparant el consum de tres ventiladors de diferents marques amb prestacions similars.

Els diferents ventiladors i les seves característiques descrites a l'apartat 4.1.3 es comprovaran amb el prototip, per tal de confirmar les característiques descrites pels fabricants i també saber quin d'aquests té el menor consum energètic.

Les proves realitzades per analitzar els consums s'han organitzat de tal manera que es compara cada velocitat que té disponible cada ventilador amb 10 lectures per cada un i un gràfic d'estabilitat del consum per a cada un. Aquest procés serà repetit 3 vegades per a cada un per donar resultats més robustos.

Les tres velocitats són: 1 baixa, 2 mig, 3 alta.

## Taula de consums velocitat 1

### Isihom

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,14 A
- Voltatge: 223 V
- Freqüència: 50 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	17,59 W	17,64 W	17,54 W
<b>Lectura 2</b>	17,59 W	17,58 W	17,61 W
<b>Lectura 3</b>	17,59 W	17,63 W	17,48 W
<b>Lectura 4</b>	17,62 W	17,56 W	17,62 W
<b>Lectura 5</b>	17,48 W	17,48 W	17,52 W
<b>Lectura 6</b>	17,55 W	17,61 W	17,58 W
<b>Lectura 7</b>	17,60 W	17,57 W	17,57 W
<b>Lectura 8</b>	17,50 W	17,63 W	17,49 W
<b>Lectura 9</b>	17,50 W	17,55 W	17,63 W
<b>Lectura 10</b>	17,56 W	17,58 W	17,53 W

*Taula 5.5: Resultats de consum Isihom a velocitat 1.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 17,57 W.

## Chestron

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,17 A
- Voltatge: 223 V
- Freqüència: 49 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	33,69 W	33,72 W	33,43 W
<b>Lectura 2</b>	33,64 W	33,63 W	33,49 W
<b>Lectura 3</b>	33,74 W	33,57 W	33,42 W
<b>Lectura 4</b>	33,65 W	33,73 W	33,35 W
<b>Lectura 5</b>	33,72 W	33,65 W	33,44 W
<b>Lectura 6</b>	33,65 W	33,51 W	33,34 W
<b>Lectura 7</b>	33,58 W	33,39 W	33,44 W
<b>Lectura 8</b>	33,68 W	33,48 W	33,38 W
<b>Lectura 9</b>	33,60 W	33,41 W	33,43 W
<b>Lectura 10</b>	33,66 W	33,35 W	33,28 W

*Taula 5.6: Resultats de consum Chestron a velocitat 1.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 33,54 W.

## Raydan Home

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,14 A
- Voltatge: 221 V
- Freqüència: 50 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	26,72 W	26,75 W	26,89 W
<b>Lectura 2</b>	26,61 W	26,89 W	26,81 W
<b>Lectura 3</b>	26,66 W	26,74 W	26,87 W
<b>Lectura 4</b>	26,72 W	26,84 W	26,73 W
<b>Lectura 5</b>	26,79 W	26,75 W	26,79 W
<b>Lectura 6</b>	26,63 W	26,80 W	26,70 W
<b>Lectura 7</b>	26,71 W	26,85 W	26,80 W
<b>Lectura 8</b>	26,83 W	26,78 W	26,74 W
<b>Lectura 9</b>	26,68 W	26,89 W	26,68 W
<b>Lectura 10</b>	26,82 W	26,80 W	26,75 W

*Taula 5.7: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 1.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 26,77 W.

## Taula de consums velocitat 2

### Isihom

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,16 A
- Voltatge: 224 V
- Freqüència: 50 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	21,52 W	21,53 W	21,43 W
<b>Lectura 2</b>	21,47 W	21,47 W	21,42 W
<b>Lectura 3</b>	21,36 W	21,47 W	21,34 W
<b>Lectura 4</b>	21,41 W	21,41 W	21,44 W
<b>Lectura 5</b>	21,54 W	21,52 W	21,44 W
<b>Lectura 6</b>	21,45 W	21,38 W	21,50 W
<b>Lectura 7</b>	21,56 W	21,44 W	21,63 W
<b>Lectura 8</b>	21,49 W	21,51 W	21,55 W
<b>Lectura 9</b>	21,49 W	21,42 W	21,48 W
<b>Lectura 10</b>	21,59 W	21,42 W	21,37 W

*Taula 5.8: Resultats de consum Isihom a velocitat 2.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 21,47 W.

## Chestron

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,17 A
- Voltatge: 223 V
- Freqüència: 49-50 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	36,55 W	36,50 W	36,55 W
<b>Lectura 2</b>	36,63 W	36,55 W	36,41 W
<b>Lectura 3</b>	36,56 W	36,47 W	36,49 W
<b>Lectura 4</b>	36,43 W	36,52 W	36,48 W
<b>Lectura 5</b>	36,50 W	36,60 W	36,49 W
<b>Lectura 6</b>	36,55 W	36,50 W	36,40 W
<b>Lectura 7</b>	36,50 W	36,58 W	36,51 W
<b>Lectura 8</b>	36,55 W	36,68 W	36,43 W
<b>Lectura 9</b>	36,46 W	36,60 W	36,42 W
<b>Lectura 10</b>	36,56 W	36,66 W	36,26 W

*Taula 5.9: Resultats de consum Chestron a velocitat 2.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 36,51 W.

## Raydan Home

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,14 A
- Voltatge: 220 V
- Freqüència: 49 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	28,68 W	28,57 W	28,79 W
<b>Lectura 2</b>	28,74 W	28,63 W	28,70 W
<b>Lectura 3</b>	28,81 W	28,69 W	28,76 W
<b>Lectura 4</b>	28,70 W	28,53 W	28,68 W
<b>Lectura 5</b>	28,63 W	28,68 W	28,73 W
<b>Lectura 6</b>	28,54 W	28,77 W	28,65 W
<b>Lectura 7</b>	28,64 W	28,69 W	28,70 W
<b>Lectura 8</b>	28,55 W	28,64 W	28,53 W
<b>Lectura 9</b>	28,70 W	28,64 W	28,45 W
<b>Lectura 10</b>	28,58 W	28,72 W	28,71 W

*Taula 5.10: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 2.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 28,66 W.

### Taula de consums velocitat 3

#### Isihom

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,22 A
- Voltatge: 224 V
- Freqüència: 50 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	26,81 W	26,85 W	26,81 W
<b>Lectura 2</b>	26,95 W	26,92 W	26,74 W
<b>Lectura 3</b>	26,78 W	26,85 W	26,79 W
<b>Lectura 4</b>	26,88 W	26,75 W	26,76 W
<b>Lectura 5</b>	26,94 W	26,87 W	26,81 W
<b>Lectura 6</b>	26,86 W	26,79 W	26,72 W
<b>Lectura 7</b>	26,80 W	26,84 W	26,79 W
<b>Lectura 8</b>	26,91 W	26,79 W	26,68 W
<b>Lectura 9</b>	26,84 W	26,87 W	26,81 W
<b>Lectura 10</b>	26,75 W	26,68 W	26,86 W

*Taula 5.11: Resultats de consum Isihom a velocitat 3.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 26,82 W.

## Chestron

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,18 A
- Voltatge: 223 V
- Freqüència: 49 Hz

Per altre banda, els consums són:

Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	39,79 W	39,64 W	39,50 W
<b>Lectura 2</b>	39,67 W	39,89 W	39,59 W
<b>Lectura 3</b>	39,41 W	39,82 W	39,59 W
<b>Lectura 4</b>	39,73 W	39,73 W	39,51 W
<b>Lectura 5</b>	39,81 W	39,79 W	39,58 W
<b>Lectura 6</b>	39,70 W	39,70 W	39,70 W
<b>Lectura 7</b>	39,76 W	39,59 W	39,77 W
<b>Lectura 8</b>	39,64 W	39,66 W	39,60 W
<b>Lectura 9</b>	39,78 W	39,58 W	39,52 W
<b>Lectura 10</b>	39,84 W	39,70 W	39,47 W

*Taula 5.12: Resultats de consum Chestron a velocitat 3.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 39,67 W.

## Raydan Home

Les lectures de intensitat, voltatge i freqüència han sigut estables, essent les següents:

- Intensitat: 0,14 A
- Voltatge: 223 V
- Freqüència: 50 Hz

Per altre banda, els consums són:

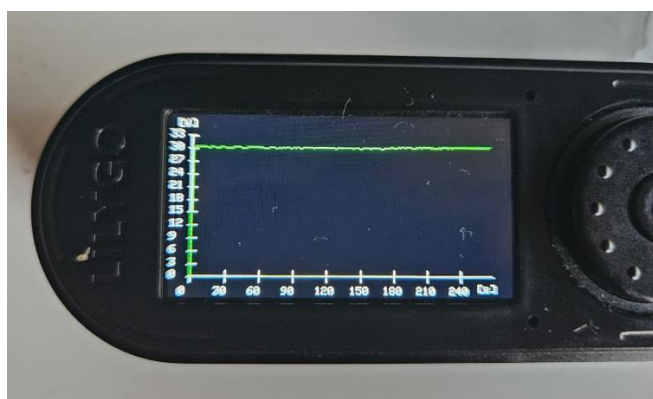
Nº Lectura	Intent 1	Intent 2	Intent 3
<b>Lectura 1</b>	32,09 W	32,00 W	31,99 W
<b>Lectura 2</b>	31,98 W	32,06 W	31,95 W
<b>Lectura 3</b>	32,07 W	32,00 W	32,05 W
<b>Lectura 4</b>	31,90 W	32,06 W	32,13 W
<b>Lectura 5</b>	31,97 W	31,96 W	32,08 W
<b>Lectura 6</b>	32,07 W	32,12 W	31,97 W
<b>Lectura 7</b>	32,01 W	32,00 W	31,92 W
<b>Lectura 8</b>	32,09 W	32,06 W	31,98 W
<b>Lectura 9</b>	32,02 W	31,95 W	31,92 W
<b>Lectura 10</b>	32,07 W	32,04 W	32,00 W

*Taula 5.13: Resultats de consum Raydan Home a velocitat 3.*

El valor mig que obtenim de la taula de consums anteriors és de 32,02 W.

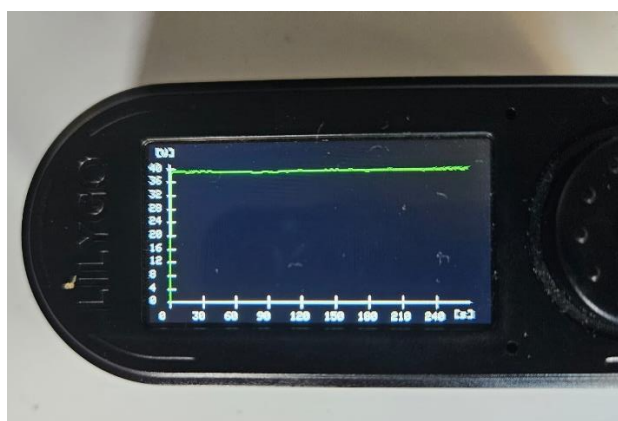
## Gràfics d'estabilitat

### Ventilador Isihom



*Fig. 5.4: Gràfic d'estabilitat ventilador Isihom.*

### Ventilador Chestron



*Fig. 5.5: Gràfic d'estabilitat ventilador Chestron.*

## Ventilador Raydan Home

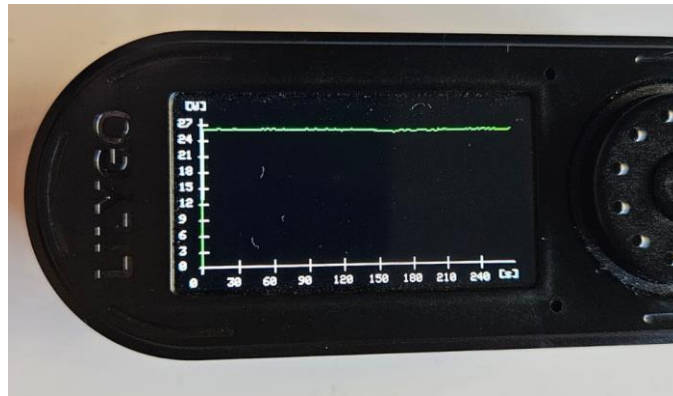


Fig. 5.6: Gràfic d'estabilitat ventilador Raydan Home.

## Conclusions

Analitzant els diferents consums dels ventilador podem observar com tots ells consumeixen menys watts dels que la fàbrica indica que operen, a excepció del Chestron, que pot assolir més dels 40 watts de potència, si aquest activa un element extra del ventilador que fa variar el sentit en que el vent es expulsat d'aquest.

Deixant de banda les sensacions que puguin transmetre els diferents ventiladors a l'usuari i sols fixant-nos amb els consums, el model que consumeix menys potència és el Isihom. Aquest és el més petit en dimensions, lo que podria estar altament relacionat amb aquest fet, però tot i així assoleix la seva funció de refrescar a l'usuari.

D'altre banda, les proves d'estabilitat mostren una gran constància en el seu consum i juntament amb les lectures fetes podem afirmar que els elements mecànics són dispositius de consum constant, sols augmenten i disminueixen si es modifica la intensitat desitjada per l'usuari.

Per concloure amb el anàlisis realitzat, podem indicar que el ventilador que generà menys petjada ecològica és el Isihom, seguit del Raydan Home i per últim, el Chestron. També n'extrèiem del estudi, que malgrat podem mesurar l'eficiència energètica, no en podem mesurar la mecànica.

## 5.4. Anàlisis intel·ligència artificial

En el desenvolupament d'aquest projecte, s'ha recorregut a l'assistència d'una intel·ligència artificial ChatGPT d'OpenAI per a la generació de codi de programació a l'entorn Arduino, amb l'objectiu d'agilitzar el procés de desenvolupament i avaluar l'efectivitat i les limitacions

de la IA en tasques tècniques especialitzades. L'actuació de ChatGPT s'ha centrat en la creació de codi que permetés la integració i el funcionament conjunt dels diferents components del projecte, com ara la placa ESP32-S3, Bluetooth 5.0 i BLE, i el sistema de monitorització de consums del Voltcraft SEM6000.

Se li van proporcionar descripcions detallades dels components, els objectius del projecte i els requeriments específics del codi. També se l'hi adjuntaren documents tècnics de cada un dels components i llibreries d'Arduino. La intel·ligència artificial va utilitzar aquesta informació per generar el codi d'Arduino necessari per a la configuració i l'operació dels dispositius involucrats.

ChatGPT va produir diversos blocs de codi, incloent configuracions inicials, rutines i scripts per a la comunicació mitjançant Bluetooth. Aquests codis van ser revisats i avaluats per a la seva implementació al maquinari real.

El codi generat va ser compilat i pujat a la l'ESP32 S3 i es van realitzar proves per verificar-ne la funcionalitat. Es van avaluar aspectes com ara si ha compilat i si satisfà la funció per la qual ha sigut sol·licitat a la intel·ligència artificial.

## Resultats

En general, el codi generat per la IA va funcionar de manera efectiva en la configuració bàsica dels dispositius i en l'execució de tasques simples, com ara la creació de subfuncions que ajudin a convertir un inputs de *bytes* a informació llegible per l'usuari o d'exemples molts senzills amb una funció molt bàsica d'algun perifèric del ESP32. També va demostrar ser capaç de manejar les configuracions estàndard d'Arduino i d'implementar instruccions comunes sense inconvenients, clar estar, de coses que amb investigació a la web es trobaria fàcilment.

Tot i això, es van identificar diverses limitacions en la capacitat de la IA per generar codi òptim en situacions més complexes. Per exemple, ChatGPT va tenir dificultats per implementar la comunicació simultània entre múltiples dispositius utilitzant BLE, especialment en configuracions que requerien la sincronització acurada de dades o el maneig d'interrupcions.

A més, en casos on es necessitaven optimitzacions específiques de rendiment o configuracions avançades de maquinari, el codi generat sovint requeria ajustaments manuals per part d'un desenvolupador humà per aconseguir un funcionament adequat. Això revela que encara que la IA pot automatitzar i facilitar certs aspectes del desenvolupament de codi, encara depèn de la intervenció humana per resoldre problemes complexos i optimitzar el rendiment del sistema.

A continuació, s'exposa una rubrica d'avaluació dels resultats obtinguts en front a diferents *inputs* introduïts a ChatGPT. Aquí les sol·licituds hi apareixeran de forma simplificada i sols es mostren les que han sigut més rellevants.

Sol·licitud	Compilació	Funcionalitat	Interacció Humana
Fes tot el projecte.	No compila, ja que intenta introduir parts de codi amb altres llenguatges de programació.	Al no compilar, no té funcionalitat.	S'ha hagut de generar la major part del codi de forma manual o aprofitant exemples proporcionats per les llibreries d'Arduino.
Tradueix els Bytes per la visualització del usuari.	Compila i funciona correctament.	Ha permès traduir de bytes a números decimals permetent a l'usuari poder observar les mesures de consum.	Sols s'ha hagut d'ajustar quins bytes corresponien a cada una de les diferents variables per tal de mostrar tot correctament.
Realització de interfície de gràfics.	Compila i funciona.	No compleix la funcionalitat ja que res es mostra com hauria de ser, les abisses i les ordenades estan alternades i el gràfic es mostra en una direcció completament diferent a la desitjada i preguntada.	S'ha hagut de modificar tot el codi per tal d'ajustar eixos, unitats, orientació i reajustament en funció del valor màxim obtingut.
Establir connexió entre ESP32 i Voltcraft SEM6000	No compila.	Un cop arreglat amb interacció humana, segueix sense funcionar.	Per fer-lo funcionar s'ha hagut de fer molta recerca i reunions amb el tutor, fins que per un esdeveniment que es podria classificar de sort es va identificar el problema i es va trobar com establir la connexió entre ambdós.
Dubtes de nivell bàsic de programació amb Arduino	Compila.	Majoritàriament funcionen.	Els que no funcionen, amb alguna modificació de codi s'ha arreglat.

Taula 5.14: Rubrica d'avaluació de la intel·ligència artificial.

Finalitzem conclouent que l'actuació de la intel·ligència artificial a la generació de codi Arduino ha demostrat ser útil per accelerar el desenvolupament en projectes que impliquen configuracions estàndard i tasques relativament simples. Tot i això, quan es tracta

d'integracions més avançades o optimitzacions específiques, ChatGPT 4.0 encara presenta limitacions, requerint intervenció humana per ajustar i perfeccionar el codi.

Aquesta avaluació posa en relleu els límits actuals de la intel·ligència artificial en la creació de projectes tècnics complexos, i subratlla la necessitat d'un enfocament híbrid, on la intel·ligència artificial i l'experiència humana es complementin. A mesura que la tecnologia d'IA evoluciona, és probable que aquestes capacitats millorin, però ara com ara, la col·laboració entre humans i màquines continua sent crucial per a l'èxit en projectes de programació i desenvolupament de sistemes encastats.

## 5.5. Prova de control remot del Voltcraft SEM6000

En aquest apartat, es vol determinar si dos aspectes de la connexió dels dos dispositius: rang de connexió Bluetooth i control remot d'encesa i apagada del *Voltcraft SEM6000*.

### Rang de connexió Bluetooth

El rang de connexió entre ambdós dispositius sols es pot comprovar de forma experimental. Per estimar quina distància és el límit que pot operar s'ha provat diferents situacions de connexió en les que l'usuari es pot arribar a topiar.

Les diferents situacions queden reflectides a la següent taula. on es determina la distància i si un objecte estava interferint en la connexió. L'objecte pot ser una paret o moble de dimensions considerables.

Distància: [m]	4	8	10	12
Sense objecte	Sí	Sí	Sí	No
Objecte	Sí	No	No	No

*Taula 5.15: Rubrica de rangs de connexió*

Per precisar més els rangs, s'ha experimentat de forma més exhaustiva cada situació fins arribar a determinar que el rang d'operació en ambdós situacions és:

Sense objecte	10 – 12 m
Objecte	5 – 7 m

*Taula 5.16: Resultats de rangs de connexió*

Podem concloure en aquest apartat que els rangs d'operació són bons i vàlids per operar dins d'un habitatge, sempre i quan la distància sigui la adequada a les situacions descrites

anteriorment.

## Control d'encesa i apagada del Voltcraft SEM6000

El *Voltcraft SEM6000*, com bé s'especifica en l'apartat teòric 4.1.1 dins de les seves possibles funcions, contempla la d'encesa i apagada de forma remota. Per tal d'aconseguir-ho en el codi s'utilitza els dos característiques UUID: la d'enviar i la de rebre comandes.

En el GitHub mencionat a l'apartat teòric, s'especifica que per tal d'apagar i encendre el dispositiu s'ha d'enviar les següents comandes en format de byte:

<b>Encendre (On):</b>	0f 06 03 00 00 00 00 04 ff ff
<b>Apagar (Off):</b>	0f 06 03 00 00 00 00 04 ff ff

*Taula 5.17: Comandes d'encesa i apagada del dispositiu Voltcraft.*

Un cop afegit al codi i establert una opció al menú principal d'opcions, sols s'ha d'assignar que quan es seleccioni amb el boto la opció "On/Off" de la Fig. 4.13, s'envii la comanda al *Voltcraft SEM6000*.

El resultat obtingut és satisfactori, ja que mitjançant el *ESP32 S3* és possible encendre i apagar el Voltcraft de forma remota, sempre i quan aquests es trobin dins del rang de connexió.

## 6. Planificació

La data de registre del projecte va ser al 13 de febrer del 2024, on dins la matrícula ordinària es va finalment validar per totes les parts acordades el projecte.

Amb anterioritat ja hi havia hagut certes reunions per poder acotar i tractar els diferents aspectes que es volien estudiar en el treball i quins eren els objectius que es volien assolir per ambdues bandes, professorat i alumne.

També s'havia comprovat la possible compatibilitat de les diferents llibreries d'ESP32 per assegurar que era possible compilar codis amb Arduino.

El projecte té com a data d'entrega el 31 Juny de 2024, però es va sol·licitar la prorroga per tal de poder finalitzar les tasques que per motius personals, complicacions tècniques i càrrega laboral no havia sigut possible. Finalment, la data de entrega marcada per la universitat és el 12 de setembre del 2024, formant així un total de 8 mesos en total.

Les complicacions tècniques afrontades al llarg del projecte, que han suposat la raó principal de sol·licitar la prorroga, són els següents:

- Connexió ESP32 amb Voltcraft.
- Defecte de fàbrica en el lector de targetes SD de la ESP32.

En el primer dels dos casos, va suposar un mes i mig de donar tords sense rumb per a poder obtenir una connexió estable amb el ESP32 i transferir i rebre informació. En la reunió del 19 d'abril es va aconseguir per primera vegada la transmissió i obtenció de dades, donant fi al bloqueig del projecte.

Per altre banda, a principis de juny al intentar incorporar funcions al projecte amb la targeta SD, es va intentar de forma reiterada poder muntar una targeta micro SD, però no funcionava cap llibreria ni cap codi d'Arduino. Al final, es va decidir rescindir de la incorporació de la SD i simplificar el treball.

Finalment, l'estructura temporal del projecte ha acabat sent la representada en la Fig. 6.1.

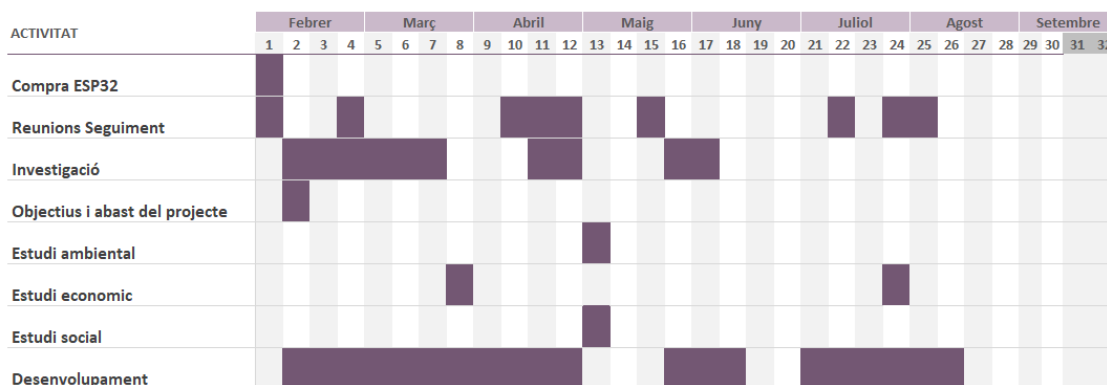


Fig. 6.1: Diagrama de Gantt del projecte.

Es varen realitzar diverses reunions amb el tutor al llarg del període tant de seguiment com per poder ajudar en els moments de bloqueig. També com es pot observar a la figura Fig. 6.1 s’observa les etapes d’investigació, desenvolupament i alhora, els períodes on s’ha realitzat els diferents estudis.

## 7. Estudi econòmic

L'estudi esta destinat a operar en qualsevol àmbit, ja sigui professional o personal, però l'impacte econòmic n'és el mateix pels dos.

La inversió inicial d'aquest projecte és degut a l'adquisició del hardware:

Component	Preu [€]
Voltcraft	0
ESP32 T-embed	65,22
Targeta SD	8

*Taula 7.1: Preu dispositius utilitzats al projecte.*

El Voltcraft SEM6000 no ha suposat un cost, degut a que el tutor del projecte l'ha cedit a l'estudiant amb la finalitat de no augmentar l'impacte econòmic generat a l'estudiant. Actualment, si es vol adquirir una unitat d'aquest model a la pàgina oficial de l'empresa CONRAD, aquest costa 40,99 € més taxes de transport.

Tot el que involucra el software, no és necessari cap llicència, ja que Arduino i les llibreries de GitHub són d'accés gratuït per a tothom.

Per altre banda, se'n deriva el cost del temps invertit pel tècnic del projecte on ha invertit en el transcurs del temps unes 360 hores equivalents a 12 crèdits ECTS. Acadèmicament, les normatives per a la remuneració de pràctiques acadèmiques externes són les següents:

- Normativa de pràctiques acadèmiques externes de l'ETSEIB [12].
- Normativa reguladora de les pràctiques acadèmiques externes de la UPC [13].
- Reial decret 592/2014, d'11 de juliol (BOE núm. 184, de 30/07/2024) [14].
- Memòries verificades dels estudis de l'ETSEIB [15].

En els documents s'especifica que el preu del estudiant per hora de pràctiques ha de ser de 8 euros. Les despeses de gestió que ha d'abonar l'empresa, com a valor afegit, són del 15,70% de l'import total de la borsa que l'entitat remunera al tècnic.

Hores [h]	Preu Hora [€/h]	Salari Operari [€]	Despeses de gestió [€]	Preu Total per Operari [€]
360	8	2880	452,16	3332,16

*Taula 7.2: Costos de mà d'obra.*

Per tant, podem concloure en que el cost total d'aquest projecte és de:

Treballadors	Software [€]	Hardware [€]	Salari [€]	Despeses de gestió [€]	Preu Total [€]
1	0	1573,22	2880	452,16	4905,38

*Taula 7.3: Costos totals del projecte.*

## 8. Estudi ambiental

L'impacte generat sobre el medi ambient d'aquest projecte s'ha calculat mitjançant les emissions de CO<sub>2</sub> que se'n deriva del consum d'electricitat dels dispositius utilitzats en el treball, és a dir, de l'ordinador, el *Voltcraft SEM6000* i el *ESP32 S3 T-embed*. Se'n exclou els ventiladors utilitzats en els anàlisis per el poc temps que han estat en actiu i perquè al calcular el consum es pot considerar menyspreable.

El consum de l'ordinador es calcula tenint en compte que el treball de fi de màster té 12 ECTS, que s'equiparen amb unes 360 hores de feina. Tenint també en compte que disposa d'una potència de càrrega de 180 W i ha estat connectat el 90% del temps al corrent, podem fer el càlcul:

$$\frac{0,9 \cdot 360 \cdot 180}{1000} = 58,32 \text{ kWh}$$

En quan al *Voltcraft SEM6000*, el seu consum en repòs (*standby*) és menor de 0,8 W i el seu rang operació és d'entre 0 i 4113 W. El és de seu percentatge de connexió de 55%, en deduïm:

$$\frac{0,55 \cdot 360 \cdot 0,8}{1000} = 0,16 \text{ kWh}$$

Per últim, l'*ESP32 S3 T-embed*, el càlcul del consum el podem deduir que és similar al dels dos dispositius calculats prèviament, amb un percentatge de connexió d'aproximadament 50% i d'una potència de càrrega de 1 W i, per tant:

$$\frac{0,5 \cdot 360 \cdot 1}{1000} = 0,18 \text{ kWh}$$

Sumant els 3 consums assolim la xifra de 58,66 kWh, on tenint en compte el mix de la xarxa elèctrica en el transcurs del treball, s'extreu el valor de 0,229 KgCO<sub>2</sub> /kWh del dia 26 d'agost de 2024 publicat per la web *electricitymaps*. Així doncs, arribem al resultat total de

13,43 KgCO<sub>2</sub> d'emissions generades pels dispositius del projecte.

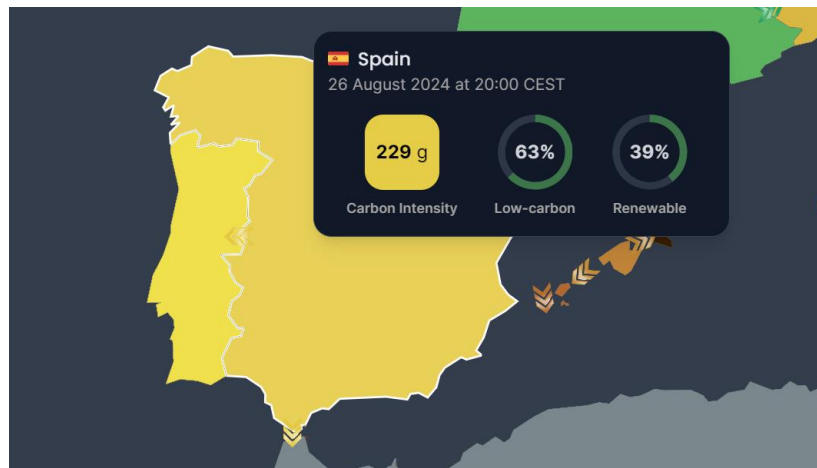


Fig. 8.1: Generació de g de CO<sub>2</sub> envers als kWh consumits [16].

Si volem fer una breu comparació entre les emissions que generem i les que són capaces d'absorbir un arbre, faria falta plantar aproximadament 1 arbre per poder contrarestar l'impacte ambiental, ja que aquest pot absorbir aproximadament entre 20 i 30 kg de CO<sub>2</sub>.

En quan a despeses d'aigua i Kg de residus assimilables a RSU, es pot afirmar que són nuls en aquest treball.

Tot i que l'impacte ambiental del projecte no és molt elevat, una de les tecnologies aplicades consumeix una quantitat d'energia molt elevada. Aquesta és la intel·ligència artificial, on per funcionar-li cal una grans quantitats d'energia per poder processar els sofisticats algoritmes que el formen i, per tant, també se'n deriva una petjada ecològica per poder-ne mantenir tot al núvol. Chips, materials semiconductors, servidors i altres elements s'han d'extreure de la natura on alguns d'aquests no són precisament abundants. Així doncs, actualment amb el nivell de les diferents IA disponibles a internet i amb les seves capacitats podríem dir que no són una tecnologia que proporcioni una petjada ecològica, però en un futur on els algoritmes siguin més sofisticats i s'obtinguin millors resultats, ens podrà conduir a un món millor on poder optimitzar projectes i ajudant-nos a estalviar recursos o a crear-ne.

Per altra banda, el prototip genera un impacte ambiental positiu en buscar optimitzar els consums domèstics reduint el malbaratament energètic. De bon grau se sap que la petjada ecològica que genera una casa no és molt elevada en si sola en comparació amb altres fonts de contaminació, però sols que totes optimitzin el seu consum poden fer disminuir una quantitat enorme l'energia necessària a produir i reduir-ne l'impacte del canvi climàtic.

## 9. Estudi social i d'igualtat de gènere

Realitzant un estudi complet sobre els efectes socials i d'igualtat de gènere que poden haver fet front en aquest projecte calen destacar diversos aspectes.

Per començar, en quan a accés a la tecnologia treballada, podríem concloure que no discrimina a homes o a dones en l'àmbit de l'estudi. Certament, en un entorn laboral tecnològic com el de les enginyeries, hi ha més presència d'homes, però els últims anys la dona s'hi ha anat fent cada cop més lloc.

Cal també esmentar com a punt que el projecte mostra un desequilibri en quan a gènere es refereix, ja que està format per l'estudiant i el director del mateix gènere, però això es degut a les circumstàncies amb les quals es va decidir realitzar aquest treball, on el director va penjar un possible projecte a la borsa de TFEs de la universitat i l'estudiant va contactar amb ell per veure si podia realitzar-lo.

Altres aspectes a remarcar són que les diferents imatges i figures del projecte no són de caire sexistes ni androcèntriques.

Per últim concloure que al ser un treball que no té efectes socials directes, no discrimina a cap gènere, raça o altres aspectes socials, ja que sols procura ajudar amb l'acció climàtica i procurar ajudar en la indústria, innovació i infraestructures de forma sostenible.

## 10. CONCLUSIONS

Aquest treball ha abordat la integració de diverses tecnologies, com ara l'Arduino, la placa ESP32-S3, la connectivitat Bluetooth BLE, i sistemes de monitorització d'energia com el Voltcraft SEM6000, tot partint de zero. Al llarg del projecte, s'ha demostrat la rellevància d'explorar noves combinacions de dispositius i de programari.

Iniciant des d'un punt zero, sense precedents o investigacions prèvies directes en què basar-se, aquest treball ha generat un marc teòric i pràctic que no sols resol problemes específics de compatibilitat i integració, sinó que també estableix les bases per a futures investigacions i desenvolupaments. La manca de recursos bibliogràfics específics ha obligat a recórrer a fonts no tradicionals com GitHub, molt usada per programadors i cada cop més també per enginyers.

Les decisions preses al llarg del projecte, incloses les modificacions i els ajustaments, han estat crucials per optimitzar el rendiment i l'eficiència dels sistemes integrats. Cada ajustament ha proporcionat nous punts de vista, contribuint a una comprensió més profunda de les tecnologies involucrades i permetent la creació d'un sistema més adaptat a les capacitats dels components integrats.

Dels resultats obtinguts, es pot deduir que el projecte té els recursos suficients per poder fer un anàlisi de les seves capacitats i oferir resposta a totes les proves i anàlisis plantejats sobre el terreny, tot i que hi es pot seguir millorant el prototip per a millors estudis energètics.

En conclusió, aquest treball no només ha assolit els objectius d'integració tecnològica, sinó que també ha obert noves vies per a la recerca i el desenvolupament en l'àmbit de la IoT, l'automatització i l'ús eficient de l'energia. Les solucions proposades i els coneixements adquirits serviran aquí com una base valuosa per a futures investigacions i desenvolupaments, contribuint a l'avenç del coneixement i a la creació d'aplicacions tecnològiques més sofisticades i eficients.

### Proposta a futur

La proposta a futur seria avançar al següent nivell, fent que el prototip fos capaç d'emmagatzemar aquesta informació al dispositiu i emetre-la via Wi-Fi, Bluetooth o altres mètodes de IoT al dispositiu desitjat, com a valor afegit, si la placa ESP32 S3 també disposes de diferents protocols de connexió amb diferents endolls intel·ligents disponibles al mercat.

Per últim, també podria ser interessant explotar al màxim el rendiment del ESP32 S3 i dels perifèrics: encoder, botó, altaveu, i pantalla. Alhora, generar una interfície d'interacció més

complexa i fàcil d'utilitzar per a qualsevol usuari.

## 11. Agraïments

Gràcies a Manuel Moreno Eguílaz per ajudar en tot moment a fer possible el funcionament d'aquest projecte. També a la família i companys de pis per donar suport en tots els moments del treball i confiar en que tot funcionarà bé i com toca.

## 12. Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] Arduino [<https://www.arduino.cc/> , consultat múltiples cops]
- [2] Espressif [<https://www.espressif.com/>, consultat múltiples cops]
- [3] Voltcraft SEM6000, Conrad [<https://www.conrad.com/en/p/voltcraft-sem6000-energy-consumption-meter-bluetooth-interface-data-export-mode-data-logger-trms-selectable-energy-t-1558906.html?refresh=true>, consultat múltiples cops]
- [4] Bluetooth ® [<https://www.bluetooth.com/about-us/bluetooth-origin/>, consultat el 28 d'agost de 2024]
- [5] CLOUDFLARE, ¿Qué es el procesamiento del lenguaje natural (PLN)? [<https://www.cloudflare.com/es-es/learning/ai/natural-language-processing-nlp/>, consultat 20 de juny 2024]
- [6] GitHub Voltcraft [<https://github.com/Heckie75/voltcraft-sem-6000> , consultat múltiples cops]
- [7] GitHub ESP32 S3 [<https://github.com/Xinyuan-LilyGO/T-Embed> , consultat múltiples cops]
- [8] Conrad Electronic International GmbH & Co. KG [<https://www.conrad.com>, consultat el 10 de juny de 2024]
- [9] LILYGO ® [<https://www.lilygo.cc> , consultat múltiples cops]
- [10] BricoGeek ® [<https://tienda.bricogeek.com>, consultat el 13 de febrer de 2024]
- [11] ChatGPT [<https://chatgpt.com> , consultat múltiples cops]
- [12] Xataka [<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>, consultat el 30 d'agost de 2024]
- [13] Universitat Politècnica de Catalunya, Normativa reguladora de les pràctiques acadèmiques externes de la UPC.
- [14] Espanya. Reial decret 592/2014, d'11 de juliol. Boletín Oficial del Estado, núm. 184, 30 de juliol de 2024.
- [15] Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Memòries verificades

dels estudis de l'ETSEIB.

**[16]** Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Normativa de pràctiques acadèmiques externes de l'ETSEIB.

**[17]** Electricitymaps [<https://app.electricitymaps.com/> , consultat el 1 d'agost de 2024]

**[18]** Gemini [<https://gemini.google.com/?hl=es>]

**[19]** Copilot [<https://www.bing.com/chat?form=NTPCHB>]