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

Alaminos Reyne, Alex; Montón i Macián, Màrius, dir. Energy Smart Monitor : Dispositiu intel·ligent per mesurar el consum elèctric. 2021. (958 Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/257791>

under the terms of the  license

Energy Smart Monitor: Dispositiu intel·ligent per mesurar el consum elèctric

Alex Alaminos Reyne

Resum– Aquest projecte té com a objectiu desenvolupar un sistema de codi obert i de baix cost que de forma no invasiva permeti monitorar el consum i generació d'energia elèctrica de la llar. No només es tracta de mesurar el consum general, sinó que, mitjançant algorismes de desagregació, permeti conèixer el consum corresponent a cada electrodomèstic. D'aquesta forma es vol ajudar a la societat a estalviar en la factura elèctrica, oferint un panell web on poder visualitzar i entendre les dades del consum i generació d'una forma fàcil i intuïtiva. El sistema consta de dues parts, un dispositiu intel·ligent que compta amb dos sensors inductius, i un servidor encarregat d'emmagatzemar, processar i mostrar les dades.

Paraules clau– Algorismes de desagregació, NILMTK, ESP32, Consum d'energia, Arduino, FreeRTOS, Redis, Monitoratge de càrrega no intrusiu, SCT013, Panell Web, Electrodomèstics.

Abstract– This project aims to develop an open source and low cost system that non-invasively allows to monitor the consumption and generation of electricity in the home. Not only is it a question of measuring the general consumption, but, by means of disaggregation algorithms, it is possible to know the consumption corresponding to each appliance. In this way we want to help society save on electricity bills, offering a web panel where you can view and understand consumption and generation data in an easy and intuitive way. The system consists of two parts, a smart device that has two inductive sensors, and a server responsible for storing, processing and displaying data.

Keywords– Disaggregation Algorithms, NILMTK, ESP32, Power Consumption, Arduino, FreeRTOS, Redis, Non-Intrusive Load Monitoring, SCT013, Dashboard, Home Appliances.

1 INTRODUCCIÓ

EN aquest darrer temps, s'ha vist com el preu de l'energia elèctrica ha anat pujant, fins i tot arribant a màxims històrics [1] [2]. Gràcies a això s'ha pogut observar que el gruix de la societat té dificultats per entendre d'on prové el consum d'electricitat a la seva llar i quins aparells o electrodomèstics són els que han de controlar més. Per solucionar aquest problema existeixen algunes solucions comercials, però aquestes tenen un punt feble, el seu preu elevat [3] [4] [5].

Aquest projecte vol oferir a la comunitat un dispositiu intel·ligent de codi obert i de baix cost que, de forma no invasiva, permeti conèixer el consum d'energia elèctrica d'un habitatge en temps real. El projecte va més enllà de desenvolupar un sistema per monitorar el consum en temps real,

si no que també es vol fer un reconeixement del consum individualitzat de cada electrodomèstic per tal d'ajudar a l'usuari a millorar el consum d'energia i poder estalviar. El sistema també informará de l'energia generada en cas de tenir una font de generació d'energia. Per acabar, l'usuari podrà visualitzar, gestionar i analitzar el consum i generació d'energia des d'un panell web.

A continuació s'exposen els objectius del projecte, l'estat de l'art i la metodologia utilitzada. També, veurem el disseny del sistema així com la seva implementació. Finalment es mostraran els resultats del projecte junt amb les seves conclusions, el treball futur i els agraïments del projecte.

2 OBJECTIUS

Per tal de poder dur a terme aquest projecte es van fixar els següents objectius:

- E-mail de contacte: alex.alaminos@e-campus.uab.cat
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Màrius Montón Macián
- Curs 2021/22

- **Creació del prototip funcional:** Integrar els sensors amb el microcontrolador per tal de poder mesurar l'energia elèctrica en temps real.

- **Dotar al sistema de capacitat per enviar les dades recollertes:** Fer que el dispositiu sigui capaç de enviar les dades tant del consum com de la generació d'energia a una base de dades amb una connexió sense fils.
- **Capacitar el sistema per a desagregar el consum de cada electrodomèstic:** Implementació d'un servidor que analitzi les dades del consum i mitjançant algorismes de desagregació, reconegui el consum que pertany a cada aparell.
- **Visualitzar les dades de l'energia i configurar el sistema mitjançant un panell web:** Desenvolupar un panell web que permeti configurar les preferències del sistema i visualitzar les dades de consum i generació d'energia en temps real de forma gràfica.

3 ESTAT DE L'ART

Avui dia, en el mercat, podem trobar molts dispositius mesuradors d'energia, fins i tot de baix cost, però a l'hora de la veritat no són gaire útils de cara a l'usuari, ja que només indiquen el consum total sense poder diferenciar d'on prové, d'altra banda, tampoc es té en compte el seu muntatge, que en alguns casos implica modificar la instal·lació elèctrica ja existent a més a més dels possibles costos afegits per la modificació.

També hi ha d'altres alternatives que compten amb una col·locació no invasiva, és a dir, sense necessitat de modificar el cablejat elèctric actual. El punt feble d'aquests dispositius és que el preu s'incrementa considerablement i a més requereix tants sensors com línies hi hagi al quadre elèctric, el qual, ha de ser sota normativa, fet que no a totes les llars es dona, ja que els habitatges amb una certa antiguitat no compleixen l'estàndard actual.

D'altra banda, existeixen els mesuradors d'energia intel·ligents que de forma no invasiva i només amb un sol sensor aconseguen desagregar el consum que pertany a cada electrodomèstic, però en aquest cas les alternatives comercials que hi ha són molt reduïdes, només s'ha trobat 3 i a més a més tenen un cost d'adquisició massa elevat [3] [4] [5].

Per últim, es troben diferents projectes de codi obert desenvolupats de forma col·laborativa per tal d'ajudar a la societat. Un exemple clar és el dispositiu anomenat E-Tarpunòmetre [6], dissenyat pensant en l'acció social per a l'acompanyament energètic a famílies en situació vulnerable per injustícia energètica. Es tracta d'un dispositiu intel·ligent amb connexió wifi, que mesura i enregistra el consum d'energia i la qualitat ambiental per millorar i optimitzar l'ús de l'energia i estalviar. L'E-Tarpunòmetre, addicionalment, permet conèixer i registrar la temperatura i humitat de l'ambient, permetent així ajustar l'ús de calefacció i climatització amb l'objectiu d'optimitzar aquests consums d'energia. Un altre aspecte molt important del projecte de la cooperativa Tarpuna és que han dut a terme un mòdul d'anàlisi de dades per l'aplicatiu "Estalvia amb el banc d'energia"[7]. Aquesta eina gratuïta proporciona consells d'estalvi i té la possibilitat de fer un procés d'acompanyament energètic, el qual a més a més d'obtenir consells per estalviar a la factura energètica, també informa dels factors principals que condicionen la factura energètica. En

aquest cas, es tracta d'un projecte molt polivalent, encertat, i amb capacitat per créixer gràcies a la comunitat. Un punt a integrar en aquest projecte per fer-lo encara millor, seria la capacitat de desagregar el consum real de cada electrodomèstic de la llar, per tal de poder oferir consells orientats a aquest àmbit.

4 METODOLOGIA

La metodologia seguida és kanban, que ha permès visualitzar el flux de treball de forma intuïtiva i gestionar les diferents tasques així com l'estat de cadascuna. Concretament, s'ha fet ús de la plataforma Trello [8] per realitzar el seguiment i organització, ja sigui de les tasques fetes com per realitzar, juntament amb la seva duració. D'altra banda, també s'utilitza GitHub [9] per a dur el control de versions del codi. Finalment, cal esmentar que s'ha fet un seguiment mitjançant tutories periòdiques amb el tutor i puntualment amb la participació d'una persona de l'àmbit que ha aportat possibles idees, el seu punt de vista i ha resolt petits dubtes sorgits durant el desenvolupament.

5 DISSENY DEL SISTEMA

El sistema consta de dues parts ben diferenciades, per una part, el dispositiu intel·ligent mesurador d'energia, que s'instal·la al costat del quadre elèctric de la llar, concretament la pinça del sensor es col·loca en un dels conductors de l'ICP. L'altra part del sistema es tracta del servidor on s'executaran els algorismes de desagregació dels electrodomèstics, on a més a més s'ubica el servidor de la base de dades i el servidor web que serveix el panell de control.

L'arquitectura del sistema tal com es pot observar al diagrama de la (Fig.1), per una banda, hi ha, el dispositiu intel·ligent que mesura l'energia en amperes el qual recollia aquest consum a cada segon, i quan ha recollit 60 mostres (1 minut) mitjançant connexió wifi envia aquest conjunt de dades al servidor per tal d'inserir les dades a la base de dades. En aquest cas el router o punt d'accés que connecta el dispositiu mesurador d'energia amb el servidor es tracta de l'edge. Per l'altra banda tenim l'accés al panell de control web, el qual des del navegador web accedim a l'adreça del nostre servidor web i aquest ens mostra el dashboard.

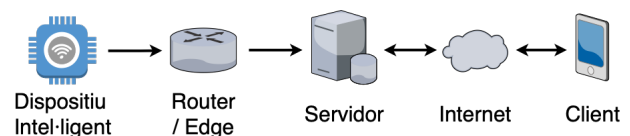


Fig. 1: Arquitectura del sistema

A continuació en els següents apartats s'aprofundeix més sobre el disseny de les dues parts de les quals es compon el sistema, és a dir el dispositiu intel·ligent i el servidor.

5.1 Dispositiu Intel·ligent

El prototip del dispositiu mesurador d'energia està format pel microcontrolador ESP32 [10] i dos sensors inductius SCT013-000 [11], un per mesurar el consum d'energia i l'altre per mesurar la generació d'energia produïda. Per

exemple, d'una instal·lació fotovoltaica. Addicionalment, compta amb una sèrie de resistències necessàries per fer un divisor de tensió i un parell de connectors jack femella, per tal de poder connectar els dos sensors inductius. A continuació es mostra el diagrama de blocs del dispositiu (Fig.2).

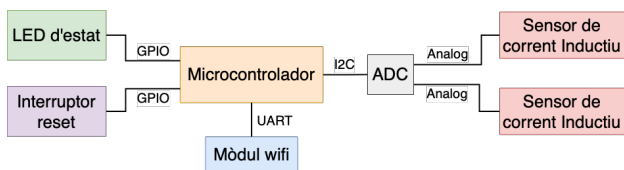


Fig. 2: Diagrama de blocs del dispositiu

El microcontrolador triat es tracta de l'ESP32, el qual és una alternativa amb una gran comunitat darrera, té un baix cost i és fàcil de trobar. Un altre aspecte important d'aquest microcontrolador és que integra dos ADC amb una resolució de 12 bits. Aquests ADC són necessaris per llegir els dos sensors inductius encarregats de mesurar el consum i la generació. Addicionalment, l'ESP32, porta incorporada connexió sense fils via wifi amb l'antena integrada, això facilita el desenvolupament, redueix els costos i l'espai.

Pel que fa al prototip del dispositiu s'ha fet ús de la placa de desenvolupament NodeMCU ESP32, la qual ha simplificat el desenvolupament del prototip, ja que compta amb el microcontrolador ESP32, un regulador de voltatge, un port Micro-USB per pujar el firmware i per l'alimentació, un convertidor USB-Serial per gravar el firmware des de l'USB, un interruptor per poder restablir el dispositiu i un parell de Leds per indicar l'estat.

Els sensors triats per mesurar el consum són el SCT013-000. Els motius que han fet triar aquest model és el fet que es troben fàcilment, tenen un cost reduït i la seva instal·lació és de tipus no invasiva, ja que la seva col·locació es fa en forma de pinça. Addicionalment, la variant triada, permet fer mesuraments tant de grans càrregues (100A) com de petites. Per aquest projecte tots dos sensors inductius tant el de la generació com el del consum, s'utilitzen conjuntament amb unes resistències burden de 120 Ohms, les quals limiten les mesures de consum en 4,4 kW. D'aquesta forma s'aconsegueix maximitzar la resolució de les mesures recollides pel microcontrolador mitjançant un divisor de tensió i l'ADC [12].

Per poder mesurar una potència de 4,4 kW, s'ha calculat la resistència de càrrega tenint en compte aquesta potència màxima. A continuació es mostren els càlculs realitzats [13].

En primer lloc, tal com es pot observar a la (Fig.3), s'ha calculat el corrent màxim real de la potència que es vol mesurar com a màxim, és a dir 4,4 kW. El terme ' P ' es tracta de la potència a mesurar, ' V ' és el voltatge de la llar i ' I_{rms} ' és el corrent màxim real de la potència que es vol mesurar.

$$I_{rms} = P/V \rightarrow 4400/220 = 20A$$

Fig. 3: Corrent màxim real de la potència (4,4 kW)

A la (Fig.4) es pot veure la conversió del corrent màxim real en corrent pic, representat amb el terme ' I_{pico} '. Aquesta conversió és necessària per poder calcular el corrent pic en el debanat secundari del sensor inductiu.

$$I_{pico} = I_{rms} \times \sqrt{2} \rightarrow 20A \times \sqrt{2} = 28,28427125A$$

Fig. 4: Conversió del corrent màxim real en corrent pic

Per poder obtenir la resistència de càrrega adequada, es necessita el corrent pic en el debanat secundari del sensor inductiu. El sensor inductiu té dos debanats, un primari i un secundari, en el cas del sensor escollit SCT013-000 el nombre de voltes del debanat secundari representat amb el terme ' N_s ' és de 2000 voltes, en canvi, el debanat primari representat amb el terme ' N_p ' té 1 volta, d'aquesta manera, tal com es veu a la (Fig.5) s'obté el corrent pic en el debanat secundari representat amb el terme ' I_s '.

$$I_s = \frac{N_p \times I_p}{N_s} \rightarrow \frac{1 \times 28,28427125A}{2000} = 0,01414213562A$$

Fig. 5: Càlcul del corrent pic en el debanat secundari

Finalment, la (Fig.6) mostra l'equació utilitzada per obtenir la resistència de càrrega per maximitzar la resolució, tenint en compte el corrent pic calculat en el pas anterior i la tensió de referència representada amb el terme ' $AREF$ ', que es tracta del voltatge d'alimentació del sensor, que en aquest cas és de 3,3 Volts. La divisió entre dos del terme ' $AREF$ ' és deguda al divisor de tensió necessari per desplaçar el senyal de sortida del sensor inductiu, ja que es tracta d'una sortida sinusoidal d'entre -1,65 V i +1,65 V. Com que l'ADC no és capaç de llegir valors negatius, s'ha de desplaçar el senyal per deixar-ho en el rang que pot llegir l'ADC, és a dir entre 0 V i 3,3 V. Per fer-ho, s'afegeix un offset de +1,65 V al senyal.

$$R_{carga} = \frac{AREF}{I_{pico}} = \frac{3,3V}{0,01414213562A} = 116,673\Omega \simeq 120\Omega$$

Fig. 6: Fórmula per obtenir la resistència de càrrega

El valor de la resistència de càrrega ha de ser de 116,67 Ohms o el valor superior més proper, en aquest cas s'ha utilitzat una resistència de 120 Ohms. A la (Fig.7) es mostra el diagrama de connexió del sensor inductiu juntament amb la resistència de càrrega i el divisor de tensió.

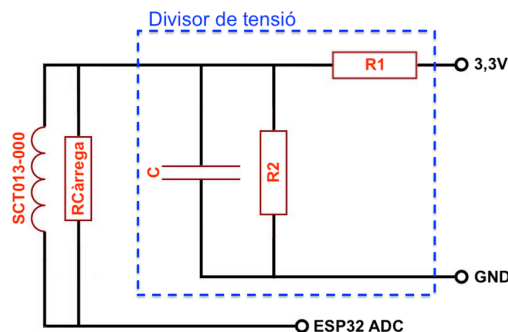


Fig. 7: Diagrama de connexió del sensor inductiu

Un altre punt a tenir en consideració, és que s'ha dissenyat i imprès un model 3D (Fig.8) d'una caixa per allotjar el dispositiu, per tal de protegir els seus components i alhora fer-lo més robust pel que fa a les connexions dels sensors inductius. D'aquesta forma el dispositiu queda protegit del medi ambient, davant de possibles curtcircuits accidentals.

És important esmentar que en el disseny d'aquest model s'ha tingut en compte l'accés directe al botó de reset per poder restablir la configuració de forma fàcil i alhora poder visualitzar l'estat del dispositiu.

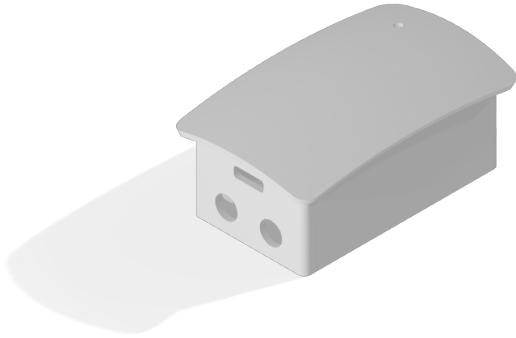


Fig. 8: Model 3D de la caixa del dispositiu

5.2 Servidor

Pel que fa a la part del servidor, per tal de garantir una instal·lació fàcil i senzilla, s'ha fet ús de contenidors Docker. D'aquesta manera se simplifica el desplegament dels serveis sobre qualsevol màquina, addicionalment, al repositori de GitHub del projecte es troba una guia d'instal·lació pas a pas [9].

Un dels serveis que dona el servidor és el de base de dades. La base de dades que s'ha escollit es tracta de Redis, els motius de l'elecció són, la seva simplicitat, ja que es tracta d'una base de dades no relacional i, per tant, simplifica molt el disseny. D'altra banda, també compta amb una llibreria pròpia per connectar el microcontrolador amb la base de dades de forma fàcil i per últim destacar, que es tracta d'una plataforma de codi obert com el projecte desenvolupat.

En segon lloc, es troba el servei web encarregat de servir el panell web on es mostren les dades del consum i generació a més a més de permetre la configuració de les opcions del sistema. Concretament, el servei utilitzat és l'Apache juntament amb els paquets addicionals per poder manegar PHP. Les tecnologies emprades per la implementació del panell web, són PHP per la part del servidor, JavaScript per la funcionalitat del costat del client fent servir frameworks com chartjs per poder generar els gràfics de dades. Pel que fa a l'estil del dashboard, és a dir el CSS, es fa ús del framework Bootstrap, que ens ofereix una implementació senzilla i visualment atractiva.

Per acabar, el servidor compta amb un tercer servei que es tracta de la funcionalitat de desagregació del consum dels electrodomèstics. Per dur a terme aquesta funcionalitat, s'ha fet ús del conjunt d'eines "Non-Intrusive Load Monitoring Tool Kit" o també anomenat NILMTK. Aquest toolkit facilita la feina a l'hora de fer la desagregació del consum gràcies als algorismes que porta integrats. Cal esmentar que aquest conjunt d'eines s'executen sobre Python i Jupyter.

Aquests tres serveis esmentats del servidor, s'han implementat de manera que hi ha un contenidor Docker per cada funcionalitat o servei, i alhora tots tres s'han agrupat dins d'un únic fitxer Docker-compose. Pel que fa al servidor de Redis, s'ha agafat la imatge oficial del repositori de Docker hub [14], però en el cas del servidor web i del to-

olkit NILMTK s'han implementat els contenidors des de 0 per tal d'adaptar-los a aquest projecte. Els dos contenidors implementats específicament per aquest projecte es poden trobar al repositori de Docker hub del projecte [15].

6 IMPLEMENTACIÓ DEL SISTEMA

La implementació del sistema s'ha distribuït en 3 apartats ben diferenciats que s'exposen a continuació.

6.1 Desenvolupament del firmware

Una vegada construït el dispositiu intel·ligent, es desenvolupa el firmware d'aquest. A continuació s'aprofundeix en els apartats més importants d'aquest desenvolupament realitzat.

6.1.1 Entorn de desenvolupament

L'entorn de desenvolupament utilitzat per programar el firmware del microcontrolador ESP32 ha estat Arduino, ja que és un IDE de codi obert, senzill d'utilitzar, està molt estès i té una gran comunitat al darrere.

6.1.2 Configuració inicial i comunicació

Per tal que l'usuari pugui configurar el dispositiu de forma senzilla, s'ha implementat una interfície d'usuari que permet escollir la xarxa sense fils a la qual es vol connectar i introduir la paraula de pas. A més a més, també demana les dades del servidor com és l'adreça IP, el port del servei de Redis, i la contrasenya d'aquest. Addicionalment, també es configura la zona horària i el voltatge que arriba a la llar. El voltatge és important saber-ho de forma real, ja que pot variar entre 220 V i 250 V el que pot fer variar el càlcul del consum real. Per implementar aquesta funcionalitat s'ha fet ús de la llibreria WiFiManager [16]. Aquesta llibreria genera un punt d'accés amb el mcu que en connectar-se, mitjançant un portal captiu s'accedirà a la interfície d'usuari esmentada.

Totes les dades de configuració s'emmagatzemen a la memòria interna del microcontrolador, d'aquesta manera les dades i configuracions romandran intactes encara que s'interrompi l'alimentació del dispositiu. Per desar aquestes dades a la memòria flash del mcu, s'ha utilitzat la llibreria Preferences [17].

Un altre aspecte important que s'ha desenvolupat és la funció de reset del dispositiu, d'aquesta manera es pot restablir la configuració del dispositiu, esborrant les dades establertes anteriorment. Com a polsador de reset s'ha fet ús d'un dels dos interruptors integrats que porta la placa de desenvolupament emprada.

Per connectar el microcontrolador a la base de dades es fa ús de la llibreria Redis [18] que al mateix temps, té com a dependència la llibreria AsyncTCP [19]. Aquesta llibreria és l'encarregada d'establir el canal de comunicació i connexió amb el servidor de la base de dades.

6.1.3 Mesurament del consum i generació

Mitjançant la llibreria EdmonLib [20], s'obté la intensitat (amperes) del corrent que està llegint cada sensor inductiu SCT013-000. Aquesta llibreria s'encarrega d'agafar el

valor que retorna l'ADC durant un nombre de mostres establert i calcula la mitja entre totes aquestes mostres per tal de minimitzar el màxim possible les interferències o soroll. D'aquesta forma s'aconsegueix llegir els amperes que han passat en aquest segon pel conductor que envolta la pinça del sensor.

La llibreria EdmonLib necessita un factor de calibració inicial el qual es calcula amb la fórmula de la (Fig.9), aleshores, com que en aquest projecte el debanat secundari té 2000 voltes i la resistència de càrrega escollida és de 120 Ohms, s'obté el factor de calibració inicial de 16,66667.

$$FC = \text{Num voltes debanat secundari} / \text{Resistència càrrega}$$

Fig. 9: Càlcul factor de calibració

Per tal de tractar les dades de consum i generació de forma fàcil i entenedora, s'han realitzat diferents conversions, d'aquesta forma es pot comparar les dades amb les factures i calcular el cost de l'electricitat, ja que el consum en aquest àmbit es mou amb les unitats de mesura Kilowatts i Kilowatts-hora.

Cal dir que les lectures del consum i generació d'energia s'obté en amperes, aleshores per convertir els amperes en Kilowatts s'utilitza la fórmula de la (Fig.10).

$$(\text{Amperes Mesurats} \times \text{Voltatge Llar}) / 1000 = kW$$

Fig. 10: Conversió amperes a kW

Un altre càlcul important és el d'obtenir els kWh a partir d'un mesurament en kW corresponent a un segon. A continuació es mostren els càlculs i fórmules necessàries per fer aquesta conversió [21].

Percentatge que representa un segon respecte del total d'una hora.

$$1h/3600s \rightarrow 1/3600 = 0,0002777777778$$

Com que el dispositiu agafa una mostra del consum cada segon, per obtenir la càrrega en kWh d'un aparell que només ha estat un segon encès, s'ha de multiplicar el consum en aquell moment pel valor que s'ha obtingut al pas anterior, d'aquesta forma s'obté el consum en kWh d'un aparell que només ha estat un segon en marxa. (Fig.11).

$$(\text{Potència Aparell} \times 0,0002777777778) \times \text{Segons funcionament} = kWh$$

Fig. 11: Conversió kW a kWh

És important que les mesures que s'obtenen amb els sensors, siguin tan properes com sigui possible al consum real, per això, és important una bona calibració tal com s'exposa a continuació.

La calibració del sensor s'ha fet comparant el consum llegit pel sensor amb l'indicat en les especificacions d'una bombeta, aleshores s'ha anat ajustant el valor o factor de calibració fins a fer coincidir el consum llegit pel sensor amb el consum teòric especificat a la bombeta (100 W).

Per afinar més la calibració s'ha fet ús d'un multímetre, posant-lo en sèrie amb la bombeta per tal d'obtenir els amperes reals que consumeix la bombeta, aleshores es segueix el mateix procediment de l'anterior calibració, s'ajusta el

factor de calibració fins a fer coincidir els amperes del sensor amb els que indica el multímetre.

Per calcular el nou valor o factor de calibració s'ha fet ús de la següent fórmula (Fig.12). [22]

$$\text{Valor calibració actual} \times (\text{Lectura real} / \text{Lectura sensor}) = \text{Nou valor de calibració}$$

Fig. 12: Fórmula per calcular el nou factor de calibració

Cal remarcar, que també s'han fet calibracions i diferents proves amb càrregues més grans, per exemple un parell de calefactores d'uns 1800/2000 Watts per tal de reduir la desviació del consum amb grans càrregues.

6.1.4 FreeRTOS

Per tal d'aprofitar els dos nuclis de la CPU del microcontrolador, i fer ús de la capacitat multitasca en paral·lel, s'ha implementat el codi fent servir tasques de FreeRTOS [23]. És a dir, una tasca per mesurar el consum d'energia cada segon, i una altra tasca per mesurar la generació d'energia cada minut. D'aquesta manera s'aconsegueix paral·lelitzar la pujada de les dades a la BD, mentre al mateix temps es llegeix el consum corresponent a cada segon, sense perdre cap mesurament del consum d'energia.

D'altra banda, mitjançant la llibreria NTPClient, es manté la data i hora actualitzades, ja que amb cada mesurament també s'inclou el seu timestamp per tal de poder-lo representar en un gràfic o per desagregar el consum dels electrodomèstics, per tant, és important tenir localitzat en el temps la mesura de cada segon. L'actualització del rellotge s'ha implementat amb una tasca de FreeRTOS que s'executa cada cert interval de temps establert.

Seguint amb les tasques de FreeRTOS, també s'utilitzen per pujar les dades a la base de dades. Hi han quatre tasques diferents que insereixen dades a la BD i que es llisten a continuació.

- Tasca per pujar els registres del consum de cada segon, en aquest cas s'insereixen 60 registres de cop, és a dir els 60 mesuraments fets durant el minut anterior.
- Tasca encarregada d'actualitzar el consum màxim en kW, el consum actual en kW, el consum mitjà en kWh i el consum actual en amperes.
- Tasca encarregada d'actualitzar la generació màxima en kW, la generació actual en kW, la generació mitjana en kWh i la generació actual en amperes.
- Tasca encarregada d'inserir la generació durant cada hora.

Per últim, cal esmentar que per tal de mantenir sempre la connexió amb el servidor de Redis, s'ha implementat una tasca per tal de controlar si es perd la connexió amb el servidor, de manera que la tasca s'executarà cada cert interval de temps tornant a intentar establir connexió.

6.2 Desagregació del consum dels electrodomèstics

A l'hora de voler monitorar el consum corresponent a cada electrodomèstic, hi ha dos plantejaments, un és l'ILM (Intrusive Load Monitoring) o monitoratge de càrrega intrusiu,

on es necessiten tants mesuradors com aparells es vulguin monitorar. El segon plantejament que existeix, és l'emprat en aquest projecte, es tracta del monitoratge de càrrega no intrusiu o també anomenat NILM (Non-intrusive Load Monitoring). En aquest cas, les dades del consum són mesures des d'un únic mesurador, i sobre aquestes dades s'apliquen tècniques d'aprenentatge automàtic per tal d'estimar el consum de cada aparell que hi ha a la xarxa elèctrica.

Per aquest projecte com s'ha introduït, s'ha fet ús de l'eina anomenada Non-intrusive Load Monitoring Toolkit (NILMTK) [24]. Aquest conjunt d'eines, és un projecte de codi obert dissenyat específicament per poder comparar els diferents algorismes de desagregació d'energia de forma que els resultats siguin reproduïbles. Disposa d'anàlitzadors per a diversos conjunts de dades de consum existents com pot ser REDD (Reference Energy Disaggregation) [25], entre d'altres. Addicionalment, també compta amb una sèrie d'algorismes de preprocessament, un conjunt d'estadístiques per descriure conjunts de dades, una sèrie d'algorismes de desagregació, entre els quals s'inclouen l'algoritme de CO o optimització combinatòria, FHMM o model ocult de Markov factorial, una implementació de l'algoritme de desagregació de George Hart i per últim, l'algoritme d'estimació de màxima versemblança.

NILMTK està desenvolupat en Python, el que amplia les plataformes en les quals es pot utilitzar. A més a més un altre avantatge d'estar implementat en Python és la disponibilitat de llibreries per l'anàlisi de dades. El conjunt d'eines NILMTK depèn de les següents llibreries.

- NumPy: Permet tractar amb matrius de n-dimensions i operar de manera eficaç amb aquestes.
- Pandas: Permet manipular, tractar i fer anàlisis de dades basades en series de temps.
- Matplotlib: Genera gràfiques per tal de poder visualitzar i entendre les dades, per exemple les empremtes del consum elèctric.
- IPython: Es tracta d'una terminal interactiva molt utilitzada en entorns científics.
- SciPy: Biblioteca d'eines i algorismes matemàtics.
- Scikit-learn: Entorn de treball molt usat que conté diversos algorismes d'aprenentatge automàtic, com són algorismes de classificació, agrupació de clústers, regressió, entre d'altres. Addicionalment, també compta amb algorismes com la regressió logística, agrupació jeràrquica, agrupació de K-means, etc.

Per tal de poder desagregar les dades del consum, cal que es trobin en el format que tracta NILMTK, el qual és HDF5. Respecte a l'organització del consum, s'ha fet ús d'una estructura de directoris i canals. Aquesta estructura és l'emprada pel dataset REDD (Reference Energy Disaggregation) [25], el qual es tracta d'un conjunt de dades que consta de la càrrega elèctrica general d'una sèrie de llars i la despesa específica de cada electrodomèstic per minut. Els directoris es corresponen amb cada llar i els canals són els arxius amb extensió .dat que contenen els registres del consum. Un exemple seria, si tenim 4 canals, l'arxiu channel_1 es correspondria a la càrrega general de tota la llar, el

channel_2 seria el consum de la nevera, l'arxiu channel_3 equivaldria a la càrrega de la rentadora i per últim el channel_4 seria l'energia elèctrica utilitzada pel forn.

En el cas d'aquest projecte només es té una llar a monitorar, aleshores només hi ha un únic directori anomenat house_1 que conté 8 arxius o canals. L'arxiu channel_1 és on es troba el consum general de la llar sense desagregar, és el consum que llegeix el dispositiu intel·ligent col·locat al ICP. La resta de canals, es corresponen amb els models de cada aparell, tal com es pot apreciar a la taula 1. Cal remarcar que en el projecte desenvolupat els electrodomèstics o aparells disponibles per la desagregació són, el forn, nevera, rentaplats, rentadora/assecadora, microones, calefactor i vitroceràmica.

TAULA 1: ESTRUCTURA EMPRADA

Directorio	Canal	Electrodomestic
house_1	channel_1	Consum global
	channel_3	Forn
	channel_4	Nevera
	channel_5	Rentaplats
	channel_6	Rentadora / Assecadora
	channel_7	Microones
	channel_8	Calefactor
	channel_9	Vitroceràmica

L'estructura d'un canal de mesurament, és a dir els arxius channel_x.dat esmentats en el paràgraf anterior, estan formats per dues columnes, la primera columna es correspon amb la marca de temps en el format Unix Epoch la qual està formada per 10 díigits, la segona columna fa referència a la potència en Watts corresponent a l'instant que indica la marca de temps de la primera columna. Aleshores quan es genera el model d'un electrodomèstic, es genera l'arxiu del canal corresponent a l'aparell amb les dades del seu consum individualitzat durant una franja horària. Addicionalment, dins de cada directori house_x, es troba un arxiu anomenat labels el qual conte el número del canal i el nom de l'aparell amb el qual es correspon.

Cal esmentar que per tal de tractar les dades de forma eficaç, s'ha implementat un convertidor que s'encarrega de convertir el dataset que utilitza l'estructura de directoris i canals, i el tradueix al format HDF5, ja que és molt més eficient i s'integra amb les diferents llibreries de tractament, processament i anàlisi de dades utilitzades.

A la (Fig.13), es pot veure representat en diferents colors l'empremta que deixa a la xarxa elèctrica cada electrodomèstic. Les ones de color marró es corresponen amb el model d'un calefactor, i les ones de color taronja es tracten del consum de la nevera. D'altra banda, a la (Fig.14), es pot veure la càrrega general equivalent al channel_1.dat que es correspon amb el consum global llegit amb el sensor inductiu del dispositiu intel·ligent. Si mirem el cercle de color vermell, es pot identificar amb les ones que descriu el consum de la nevera, en canvi, si mirem el cercle de color verd, es correspon amb la gràfica descrita pel model del calefactor. Així es pot veure visualment com es fa la desagregació del consum de cada aparell.

Un aspecte a tenir en compte pel que fa a la desagregació del consum dels aparells, és el fet que prèviament s'ha de realitzar un entrenament del model. Bàsicament, es trac-



Fig. 13: Gràfic dels models de cada electrodomèstic

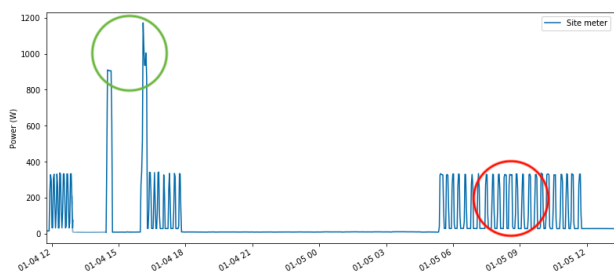


Fig. 14: Gràfic del consum global

ta d'ensenyar a reconèixer per separat les característiques dels electrodomèstics o aparells per posteriorment poder identificar-los dins del senyal agregat, és a dir el consum global llegit pel dispositiu col·locat a l'entrada de la instal·lació elèctrica. L'entrenament es du a terme emprant els algorismes d'optimització combinatòria (CO) i el model ocult de Markov factorial (FHMM) explicats a continuació.

Optimització combinatòria: Troba la combinació òptima d'estats de l'aparell, que minimitza la diferència entre la suma de la potència prevista de l'aparell i la potència agregada observada, d'acord amb una sèrie de models d'aparells. Cada interval de temps es considera com un problema d'optimització independent, se suposa que cada porció de temps és independent. La complexitat de la desagregació per a T intervals de temps és $O(TK^N)$, on N és el nombre d'aparells i K és el nombre d'estats de l'aparell. Com que la complexitat del CO és exponencial segons el nombre d'aparells, fa que resoldre aquest problema només sigui tractable computacionalment per a un nombre petit d'aparells modelats [26].

Model ocult de Markov factorial: Modela la demanda de potència de cada aparell com el valor observat d'un model ocult de Markov (HMM). El component ocult són els estats dels aparells. La desagregació energètica implica desagregar conjuntament el consum de potència de N aparells. Un FHMM es pot representar amb un HMM equivalent en el qual cada estat correspon a una combinació diferent d'estats de cada aparell. La complexitat de la desagregació d'aquest model és $O(TK^{2N})$, el qual fins i tot s'escala pitjor que el CO [26].

L'algoritme utilitzat per desagregar el consum dels aparells, ha estat el d'optimització combinatòria, ja que després de fer proves empíriques, el consum desagregat dels electrodomèstics s'apropa força més a la realitat en el cas de l'algoritme CO que no pas amb les proves realitzades amb l'algoritme del model ocult de Markov factorial.

6.3 Dashboard

El panell web s'ha desglossat en dos grans apartats. Un per poder monitorar totes les dades tant del consum com de la generació i un segon apartat on l'usuari pot introduir les seves preferències per personalitzar el sistema i ajustar-lo a les seves necessitats. A continuació s'aprofundeix sobre els dos temes.

6.3.1 Visualització de les dades

En primer lloc, a la plana inicial anomenada dashboard, es troben una sèrie de widgets que permeten llegir i interpretar les dades de forma fàcil i intuïtiva. A continuació es llisten i es descriuen els mòduls disponibles.

- **Gràfic de consum global:** Mostra les corbes del consum que s'ha produït durant un interval (Fig.15). Aquest interval de temps és configurable, i pot ser, per dia, és a dir, mostrarà 24 punts, un per cada hora del dia, d'altra banda, es pot configurar per mostrar el consum per hora, el qual només mostrarà l'última hora, i per últim si es vol obtenir més precisió pel que fa a la corba, es pot configurar perquè mostri la gràfica del darrer minut. Cal esmentar que aquest gràfic s'actualitza automàticament segons l'interval establert.

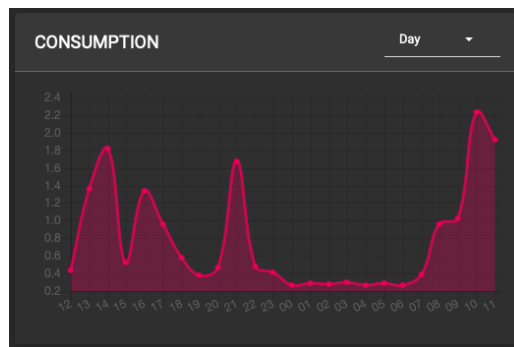


Fig. 15: Widget del gràfic de consum diari

- **Històric de consum:** Taula que mostra la despesa elèctrica corresponent a cada mes. El consum s'ofereix tant en Kilowatts-hora com en cost total, d'aquesta manera, es pot comparar amb la factura de la llum.
- **Taula de consum dels electrodomèstics:** Permet visualitzar la despesa elèctrica corresponent a cada aparell desagregat. La taula (Fig.16) mostra el nom de l'electrodomèstic i una petita icona d'aquest, el consum tant en Kilowatts-hora com en euros i una barra d'un color específic per a cada aparell on es reflecteix l'impacte d'aquest respecte del consum total de l'interval especificat. L'interval pot ser diari, mensual o anual.
- **Gràfic del consum dels electrodomèstics:** Es tracta d'un gràfic circular que mostra el percentatge corresponent a cada electrodomèstic respecte del consum total diari. Cal remarcar que aquest widget és configurable per veure el consum en cost o en Kilowatts-hora.
- **Consum d'energia actual:** Es tracta d'un widget que mostra tant el percentatge del consum actual respecte de la potència contractada així com els Kilowatts de consum actual.

APPLIANCES			Year
Appliance	kWh	Cost	
Refrigerator	267,50 kWh	40,09 €	
Electric heater	469,07 kWh	70,31 €	

Fig. 16: Taula del consum anual dels electrodomèstics desagregats

- Pic màxim de consum: Es tracta d'un widget que mostra tant el percentatge del consum pic màxim respecte de la potència contractada, així com els Kilowatts pic de consum. Aquest mòdul permet saber si la potència contractada és excessiva o, en canvi, és insuficient.
- Generació d'energia actual: Es tracta d'un widget que mostra tant el percentatge de la generació d'energia actual respecte de la potència màxima de generació de la instal·lació, així com els Kilowatts que s'estan generant en aquest moment.
- Cost del consum d'energia diari: Es tracta d'un widget que mostra tant el cost com els Kilowatts-hora del consum diari acumulat.

En segon lloc, el panell web disposa d'un apartat on poder comparar mitjançant un gràfic de barres el consum corresponent a cada mes. En aquest apartat s'anirà desant la despesa elèctrica de cada mes per tenir un històric on poder consultar la data d'inici i fi del període així com el seu consum en Kilowatts-hora o el cost total.

D'altra banda, a l'apartat "Appliances", es pot visualitzar una llista corresponent a la càrrega elèctrica del dia anterior on a cada columna es mostrarà el consum corresponent a cada aparell desagregat. Addicionalment, aquest apartat també mostra el cost i el consum mensual i anual corresponent a cada aparell.

Per últim, en cas de tenir configurat l'opció de generació d'energia, es mostrarà un apartat anomenat "Energy Generation", on es visualitzarà mitjançant una gràfica de barres la quantitat d'energia generada durant les darreres 24 hores. Addicionalment, també s'inclou una taula on s'especifica la quantitat d'energia generada per dia i el benefici que ens hauria de pagar la comercialitzadora en cas de bolcar aquesta energia a la xarxa elèctrica.

6.3.2 Configuració del sistema

L'apartat de configuració, és on l'usuari pot configurar les seves preferències, com poden ser, les dades de la potència contractada i el tipus de tarifa elèctrica, ja que pot ser de tipus PVPC (Mercat regulat) o de preu fix (Mercat Lliure). També es pot configurar si disposa de tarifa amb discriminació horària i en cas de tenir un preu fix, es pot introduir manualment el preu del kWh corresponent a cada tram.

Cal remarcar que en el cas de la tarifa del tipus PVPC, s'ha emprat l'API esios [27] per obtenir el preu del kWh corresponent a cada hora del dia.

D'altra banda, també es pot configurar si es disposa de panells solars. En el cas de disposar d'una instal·lació foto-

voltaica, també es demanarà la capacitat de generació d'aquesta i el preu que paga la comercialitzadora d'energia en el cas de bolcar aquesta energia a la xarxa elèctrica.

Addicionalment, hi ha un apartat on l'usuari pot escollir els electrodomèstics que disposa per poder desagregar-los i obtenir el seu consum.

Per acabar, a la secció anomenada "Model Generati-on" dins la configuració del sistema, es pot generar el model d'un aparell seleccionant el tipus d'electrodomèstic que es tracta, l'hora en què s'ha començat a fer ús o s'ha posat en marxa i l'hora d'aturada. D'aquesta manera es pot generar el model d'un electrodomèstic de forma molt senzilla.

7 RESULTATS I CONCLUSIONS

Pel que fa als resultats, tot seguit s'exposa la desagregació del consum elèctric corresponent a cada electrodomèstic, els quals es tracten d'una nevera i un calefactor. Cal dir que en el cas de la nevera compta amb 3 estats, apagada, encesa amb compressor aturat i encesa amb compressor en marxa. D'altra banda, el calefactor només té dos estats, apagat i encès. A la segona columna de la (Fig.17) es pot veure el consum desagregat de la nevera, concretament trobem els tres estats esmentats anteriorment. A les 16:55:00 h passa de l'estat apagada a encesa amb compressor aturat, 33 segons després s'arrenca el compressor i aleshores passa a l'estat encesa amb compressor en marxa.

CONSUMPTION OF APPLIANCES			
HISTORY			
04/01/22	16:54:54	0 kWh	0 kWh
04/01/22	16:54:57	0 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:00	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:03	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:06	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:09	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:12	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:15	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:18	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:21	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:24	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:27	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:30	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:33	0.322 kWh	0 kWh
04/01/22	16:55:36	0.322 kWh	0 kWh

Fig. 17: Consum desagregat de la nevera

En canvi, a la tercera columna de la (Fig.18) es veu el canvi d'estat del calefactor, que passa d'apagat a encès. Tot això mentre la nevera es troba encesa amb el compressor en marxa.

D'altra banda, la (Fig.19) mostra el canvi d'estat de la nevera, a les 21:16:45 s'atura el compressor i aleshores passa

CONSUMPTION OF APPLIANCES			
HISTORY			
04/01/22	21:05:30	0.322 kWh	0 kWh
04/01/22	21:05:33	0.322 kWh	0 kWh
04/01/22	21:05:36	0.322 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:05:39	0.322 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:05:42	0.322 kWh	0.907 kWh

Fig. 18: Consum desagregat del calefactor



Fig. 20: Imatge del dispositiu intel·ligent

a estar encesa amb compressor aturat. Passats 18 segons, el calefactor s'atura quedant a l'estat apagat.

CONSUMPTION OF APPLIANCES			
HISTORY			
04/01/22	21:16:39	0.322 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:42	0.322 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:45	0.034 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:48	0.034 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:51	0.034 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:54	0.034 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:16:57	0.034 kWh	0.907 kWh
04/01/22	21:17:00	0.034 kWh	0.597 kWh
04/01/22	21:17:03	0.034 kWh	0 kWh
04/01/22	21:17:06	0.034 kWh	0 kWh

Fig. 19: Consum desagregat del calefactor

S'han assolit de forma satisfactòria tots els objectius proposats, aconseguint desagregar el consum d'una nevera juntament amb el d'un calefactor de forma que coincideix exactament amb les hores i minuts d'arrencada i aturada de cada aparell, és a dir es pot confirmar que el sistema és capaç de desagregar de manera correcta dos electrodomèstics al mateix temps. D'altra banda, també s'ha pogut comprovar que el dispositiu és capaç de mesurar de forma correcta l'electricitat i alhora pujar aquestes dades a la base de dades per tal de fer-les accessibles des del panell web i visualitzar-les de forma gràfica i intuïtiva.

A més a més, durant el desenvolupament d'aquest projecte s'ha aprofundit sobre temes com poden ser l'aprofitament de la CPU del microcontrolador mitjançant tasques de FreeRTOS, o el gran desenvolupament darrere dels algorismes de monitoratge de càrrega no intrusiu. Addicionalment, al llarg del projecte, el cost de l'energia elèctrica ha anat a l'alça motivant encara més el desenvolupament del projecte per tal d'obtenir un sistema capaç d'ajudar a la societat estalviant en la factura elèctrica.

A continuació es mostren unes imatges del dispositiu intel·ligent i els sensors inductius, que juntament amb el model 3D i el conjunt de serveis desenvolupats, disponibles a GitHub i Docker-hub, formen el sistema dissenyat i implementat en aquest projecte.



Fig. 21: Imatge del sensor inductiu

8 TREBALL FUTUR

Pel que fa al treball futur es podria millorar o afegir característiques útils al sistema com és la capacitat d'en cas que es perdi la connexió amb la base de dades, desar les dades dels mesuraments, de fins a un parell de dies, de forma local al microcontrolador, fins que es torni a tenir accés a la base de dades. D'altra banda, es podria millorar la precisió de les mesures afegint un sensor capaç de llegir el voltatge de la xarxa en tot moment, ja que d'aquesta forma s'aconseguiria més precisió a l'hora de calcular la potència en Watts.

Es podria millorar la funcionalitat del sistema implementant una sèrie de recomanacions. Com poden ser, Informar a l'usuari de tarifes elèctriques més adients al seu consum i hàbits, suggeriments de canvi d'electrodomèstics per d'altres més eficients, oferir hàbits de consum més adients per aprofitar les hores més econòmiques i fins i tot, la recomanació d'instal·lació de plaques solars i càlcul de l'estalvi segons el seu consum, entre d'altres.

Seria interessant afegir més aparells per fer la desagregació com pot ser vehicle elèctric, aparells d'aire condicionat, etc. Addicionalment, es podria comunicar el sistema amb altres, per exemple, el carregador d'un cotxe elèctric i d'aquesta forma regular la potència de càrrega del cotxe segons l'energia que s'estigui fent ús a la resta de la casa.

Millorar la desagregació del consum dels aparells millorant tant l'eficiència com el rendiment dels algorismes de desagregació i la capacitat de fer-ho en temps real.

Per acabar, una altra característica de cara a un futur, seria la implementació de servidors al núvol en comptes de la necessitat de tenir un servidor local per fer funcionar el sistema. La idea seria deixar escollir al mateix usuari si vol muntar un servidor pel seu compte o si prefereix un servidor ja desplegat al núvol pagant una petita quota mensual.

AGRAÏMENTS

En primer lloc, agrair al meu tutor Màrius Montón Macian per donar-me en tot moment el seu punt de vista, oferint-me ajuda i contactes com és el cas del Xose Pérez al que també li agraeixo el temps emprat en escoltar i donar el seu punt de vista sobre aquest projecte.

En l'àmbit personal, vull agrair a la meua família el suport que m'han donat, per confiar en mi i en el meu projecte permetent-me tenir en marxa el sistema a casa. També agrair a la meua parella per acompanyar-me i empènyer-me tant en aquest projecte així com especialment al llarg de tota la carrera.

Sense aquest suport, aquest projecte no hauria estat possible.

REFERÈNCIES

- [1] Pixabay, “La luz alcanzará un nuevo máximo histórico este jueves y superará los 141 euros/mwh,” Sep 2021. [Online]. Available: <https://www.rtve.es/noticias/20210909/nuevo-maximo-historico-luz/2169279.shtml>
- [2] “La llum segueix batent rècords: creix un 10% en un dia i arriba als 188 euros.” [Online]. Available: https://www.elnacional.cat/ca/economia/llum-segueix-batent-records-creix-10-arriba-188-euros.645860_102.html
- [3] “Wibeee Home | Wibeee,” Sep. 2018. [Online]. Available: <https://wibeee.com/wibeee-home/>
- [4] “Voltaware | Intelligence for home.” [Online]. Available: <https://voltaware.com/>
- [5] “Sense: Track energy use in real time to make your home more energy efficient.” [Online]. Available: <https://sense.com/product/>
- [6] “E-tarpunòmetre: el monitor d'energia col·laboratiu per estalviar,” Apr. 2017. [Online]. Available: <http://tarpunacoop.org/es/blog/e-tarpunometre/>
- [7] “Nova App! Acompanyament energètic online,” Jul. 2018. [Online]. Available: <http://bancdenergia.org/accompanyament-energetic-online/>
- [8] “Trello.” [Online]. Available: <https://trello.com/b/rkbwpR6q/tfg>
- [9] Alex Alaminos Reyne, “EnergySmartMonitor_tfg.” [Online]. Available: https://github.com/AlexAlaminosUAB/Energy-Smart-Monitor_TFG
- [10] “ESP32 Series I Espressif Systems.” [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [11] “SCT013 Dechang Electronic Co.,Ltd I YHDC.” [Online]. Available: <https://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html>
- [12] “Learn | openenergymonitor.” [Online]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/how-to-build-an-arduino-energy-monitor-measuring-current-only>
- [13] “SCT-013 mide el consumo eléctrico en tu casa con Arduino.” [Online]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sct-013-consumo-electrico-arduino/>
- [14] “Docker hub - Redis.” [Online]. Available: https://hub.docker.com/_/redis
- [15] “Docker hub - aarmdlr.” [Online]. Available: <https://hub.docker.com/u/aarmdlr>
- [16] “Esp32. How to use the wifimanager library to manage wifi connections • diy projects,” Sep. 2020. [Online]. Available: <https://diyprojects.io/esp32-test-wifimanager-library-manage-wifi-connections/>
- [17] “Arduino-esp32/libraries/preferences at master · espressif/arduino-esp32.” [Online]. Available: <https://github.com/espressif/arduino-esp32>
- [18] “Arduino-redis: arduino-redis.” [Online]. Available: <http://arduino-redis.com/>
- [19] “GitHub - me-no-dev/AsyncTCP: Async TCP Library for ESP32.” [Online]. Available: <https://github.com/me-no-dev/AsyncTCP>
- [20] “GitHub - Savjee/EmonLib-esp32: Electricity monitoring library - install in Arduino IDE's libraries folder then restart the IDE.” [Online]. Available: <https://github.com/Savjee/EmonLib-esp32>
- [21] “Cómo calcular el kWh (Kilovatio hora) de mis electrodomésticos ?” Jun. 2019. [Online]. Available: <https://www.suncolombia.com/como-calcular-la-potencia-de-mis-electrodomesticos-en-kilovatio-hora-kwh/>
- [22] “Learn | openenergymonitor.” [Online]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/calibration>
- [23] “Multitasking on esp32 with arduino and freertos.” [Online]. Available: <https://savjee.be/2020/01/multitasking-esp32-arduino-freertos/>
- [24] “Welcome to NILMTK's API documentation! — NILMTK 0.2 documentation.” [Online]. Available: <http://nilmtk.github.io/nilmtk/master/index.html>
- [25] “Redd.” [Online]. Available: <http://redd.csail.mit.edu/>
- [26] N. Batra, J. Kelly, O. Parson, H. Dutta, W. Knottenbelt, A. Rogers, A. Singh, and M. Srivastava, “Nilmtk: An open source toolkit for non-intrusive load monitoring,” in *Proceedings of the 5th international conference on Future energy systems*, 2014, pp. 265–276.
- [27] “API e-sios Documentation.” [Online]. Available: <https://api.esios.ree.es/>

APÈNDIX

A.1 Càlcul de costos per la producció del dispositiu

Si es volgués produir el dispositiu intel·ligent realitzat en aquest projecte, s'hauria de dissenyar una PCB que compti amb les connexions tant per integrar el microcontrolador ESP32 així com els connectors pels sensors SCT-013, un USB per alimentar el dispositiu i un regulador de voltatge per tal d'alimentar el MCU el qual funciona a 3,3 V a partir dels 5 V provinents de l'USB.

D'altra banda, la PCB també ha de comptar amb un parell de leds, o un led bicolor per tal d'indicar l'estat del dispositiu. Cal remarcar que com els sensors es connecten mitjançant un jack de 3,5 mm, la PCB seria adient que portes els orificis per encaixar i soldar els connectors directament sobre la placa i que es comunicuessin mitjançant les pistes de la PCB amb els pins del MCU corresponents.

A més a més, també és necessari un parell de resistències de 100K Ohms per fer un divisor de tensió, necessari per poder llegir amb l'ADC els valors positius i negatius que retornen els sensors inductius, ja que l'ADC només és capaç de llegir valors positius. Per acabar, per tal de poder fer el reset del device caldrà comptar amb un petit polsador de reset.

A continuació passem a veure la llista de components de cada dispositiu junt amb el seu preu i el preu total pel que fa als components, tenint en compte que volem fer una producció de 100 unitats.

Component - Model	Unitats	Preu unitari	Preu total
PCB - JLCPCB, Dimension 25x48mm, 2 Layers, Thickness 1,6mm, Color Black	100	0,1449 €	14,49 €
Microcontrolador - ESP32-WROOM-32D	100	4,13 €	413,00 €
Sensor de corrent inductiu - SCT013-030	200	8,44 €	1688,00 €
Connector jack 3'5mm femella - SJ1-3535NG	200	0,95010 €	190,02 €
Regulador voltatge - LMS8117ADT-3.3/NOPB	100	1,11550 €	111,55 €
Connector USB-C - USB4510-03-1-A	100	0,53220 €	53,22 €
Resistència 100K - CRCW2512100KJNEG	200	0,10980 €	21,96 €
LED SMD Bicolor (Verd / Vermell) - LSG T67K-JL-1-0+HK-1-0-2-R18-Z	100	0,19550 €	19,55 €
Resistència pel LED (750 Ohms) - 3521750RFT	200	0,31640 €	63,28 €
Polsador SMD - PTS636 SK25F SMTR LFS	100	0,10930 €	10,93 €
Total Components: 2586,00 €			
Cost Unitari: 25,86 €			

A aquests costos s'han d'afegir el cost de la carcassa del dispositiu a més a més del cost derivat del desenvolupament del software del microcontrolador, el cost del muntatge dels components, és a dir de soldar els components a la PCB, tot i que en el distribuïdor triat et donen l'opció de muntar els components ells mateixos sense cost addicional i d'aquesta forma es rep la placa ja muntada amb els seus components.

D'altra banda, el dispositiu necessita un servidor per tal de poder emmagatzemar les dades en una base de dades, a més a més de poder accedir al panell web i realitzar la desagregació dels electrodomèstics. Aleshores es té en compte que l'usuari ja disposa d'un petit servidor capaç de poder executar aquests serveis, en cas de no tenir-ne s'hauria d'afegir el cost per exemple d'una Raspberry Pi 4, que té un preu aproximat d'uns 50 €.

En resum, el cost individual d'un dispositiu tenint en compte una producció de 100 unitats, surt a 25,86 € per

dispositiu, és a dir sense incloure el servidor, únicament els sensors inductius i el dispositiu intel·ligent.