



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volum I

Memòria – Pressupost- Annexos

TREBALL DE FI DE GRAU



APLICACIÓ MÒBIL PEL CONTROL DEL CONSUM ELÈCTRIC

TFG presentat per obtenir el títol de GRAU en
ENGINYERIA DE L'ENERGIA
Per **Josep Maria Prat Vera**

Barcelona, 26 d'abril de 2016

Director: Samir Kanaan Izquierdo
Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics LSI (723)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDEX MEMÒRIA

Índex memòria.....	i
Índex figures.....	iv
Índex taules.....	vi
Resum.....	vii
Resumen	vii
Abstract	viii
Capítol 1: INTRODUCCIÓ	1
1.1. Motivació	1
1.2. Objectius	2
1.3. Contingut de la memòria	3
Capítol 2: ESTAT DE L'ART	4
2.1. Productes existents al marcat.....	4
2.1.1. Wattio GATE + BAT	4
2.1.2. ClientSol EnviR + Mòdul internet	5
2.1.3. Mirubee Mirubox [7]	5
2.1.4. Círcutor WiBee [1].....	6
2.2. Comparativa dels mesuradors d'energia.....	6
Capítol 3: TECNOLOGIES EXISTENTS PER AL PROJECTE	8
3.1. Sensor amperimètric	8
3.1.1. Alternatives	9
3.1.2. Principis de funcionament.....	9
3.2. Circuit d'adequació del sensor	10
3.2.1. Proposta 1	10
3.2.2. Proposta 2.....	14
3.3. Arduino	15
3.3.1. Arduino Nano.....	15
3.3.2. Alternatives	16
3.4. Mòdul wifi ESP8266.....	16
3.4.1. Característiques del mòdul ESP8266 – 01.....	16
3.4.2. Alternatives	18
Capítol 4: PLANIFICACIÓ.....	19

Capítol 5: ARQUITECTURA DEL SISTEMA	21
5.1. Diagrama del sistema.....	21
5.2. Explicació de les parts i les relacions	22
Capítol 6: DISSENY DEL PROTOTIP.....	24
6.1. Prototip 1	24
6.1.1. Disseny electrònic del prototip	24
6.1.2. Programació de l'Arduino.....	26
6.1.3. Fabricació del prototip.....	30
6.2. Proposta 2	32
6.2.1. Disseny electrònic del prototip	32
6.2.2. Programació de l'Arduino.....	33
6.2.3. Fabricació del prototip 2.....	34
6.3. Instal·lació del prototip.....	35
6.4. Comparativa dels dos prototips amb un equip comercial	37
Capítol 7: CONFIGURACIÓ DEL SERVIDOR – BASE DE DADES: EMONCMS	40
7.1. Inputs o entrades de dades.....	41
7.2. Feeds o tractament de dades	42
7.3. Dashboard o panell de control	42
Capítol 8: APLICACIÓ MÒBIL	45
8.1. Diagrama de pantalles.....	45
8.1.1. Pantalla 1: Estat actual	45
8.1.2. Pantalla 2. Dades	47
8.1.3. Pantalla 3. Gràfics	47
8.1.4. Pantalla 4. Contracte	48
8.2. Diagrama modular	49
Capítol 9: COMPETÈNCIA GENÈRICA: APRENTATGE AUTÒNOM.....	52
Capítol 10: CONCLUSIONS	54
Capítol 11: BIBLIOGRAFIA	56
11.1. Referències bibliogràfiques.....	56
11.2. Bibliografia de Consulta	57
Índex anàlisi econòmica	61
ANALISIS ECONÒMICA	62
1.1 Material pel desenvolupament del projecte.....	62
1.2 Pressupost del projecte.....	64

1.3 Viabilitat del producte.....	64
Índex annexos	69
ANNEX A: FULLS DE CARACTERÍSTIQUES DELS COMPONENTS PRINCIPALS	70
A.1 Sensor de corrent SCT-013-030	71
A.2 Arduino NANO	72
A.3 ESP8266	75
ANNEX B: TAULA DELS COMPONENTS DELS PROTOTIPS.....	76
B.1. Taula dels components del prototip 1	77
B.2 Taula dels components del prototip 2	78
ANNEX C: TAULA DE COMANDOS AT ESP8266 [4].....	79
ANNEX D: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS.....	81
D.1 Programació de l'Arduino prototip 1	81
D.2 Programació de l'Arduino prototip 2	83
ANNEX E: TAULA DE VALORS DE LA COMPARATIVA DELS DOS PROTOTIPS	86
ANNEX F: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS	89

ÍNDIX FIGURES

Figura 1. Mesurador d'energia wattio. FONT: [13]	5
Figura 2. Mesurador d'energia EnviR. FONT: [2].....	5
Figura 3. Mesurador d'energia Mirubee. FONT: [7].....	6
Figura 4. Mesurador d'energia WiBee. FONT: [1].....	6
Figura 5. Instal·lació del WiBee trifàsic al quadre. FONT: [1].....	6
Figura 6. Sensor SCT-013-030	9
Figura 7. Funcionament del sensor SCT-013-030.....	10
Figura 8. Funcionament del sensor SCT-013-030.....	10
Figura 9. Esquema elèctric. FONT: [11].....	11
Figura 10. Esquema dels pins del LM358	11
Figura 11. Simulació del circuit d'adequació de la proposta 1	12
Figura 12. Resposta de la simulació del primer amplificador del circuit.....	12
Figura 13. Resposta de la simulació del circuit d'adequació.....	13
Figura 14. Esquema de la proposta 2. FONT: [9].....	14
Figura 15. Esquema de la proposta 2. FONT: [9].....	14
Figura 16. Resposta de la simulació del circuit d'adequació 2	15
Figura 17. Logo de l'Arduino	15
Figura 18. Arduino Nano v3	16
Figura 19. Mòdul wifi ESP8266	17
Figura 20. Esquema dels pins del ESP8266.....	17
Figura 21. Diagrama de Gantt.....	20
Figura 22. Diagrama del sistema	22
Figura 23. Esquema elèctric del prototip 1.....	26
Figura 24. Diagrama de programació de l'Arduino	26
Figura 25. Esquema del valor màxim de un període. FONT: [11].....	28
Figura 26. Disseny del PCB.....	30
Figura 27. Fotolít de les pistes del PCB.....	31
Figura 28. Placa amb les pistes traspassades.....	31
Figura 29. Placa amb l'atac químic	31
Figura 30. Prototip 1 acabada	32
Figura 31. Placa amb els components soldats	32
Figura 32. Esquema elèctric del prototip 2.....	33

Figura 33.	Diagrama de programació de l'Arduino	33
Figura 34.	Esquema elèctric del prototip 2.....	35
Figura 35.	Prototip 2 acabat	35
Figura 36.	Placa amb les pistes i els components soldats.....	35
Figura 37.	Desconnexió del IGA del quadre. FONT: [7]	36
Figura 38.	Instal·lar la pinça al cable d'alimentació. FONT: [7].....	36
Figura 39.	Instal·lació del prototip 2 al quadre elèctric	37
Figura 40.	Equip comercial: Efergy e2 classic. FONT: [3].....	37
Figura 41.	Comparativa dels dos prototips i un de referencia	38
Figura 42.	Logo de la plataforma emonCMS. FONT: [5].....	40
Figura 43.	Configuració dels processos dels inputs seqüencialment.....	41
Figura 44.	Resum dels processos dels inputs dels dos prototips.....	42
Figura 45.	Configuració dels Feeds	42
Figura 46.	Dashboards de potències	43
Figura 47.	Dashboards de consums	43
Figura 48.	Dashboard de perfil de consum de un dia.....	43
Figura 49.	Pantalla principal de la App, "Estat Actual"	46
Figura 50.	Pantalla "Dades", dia concret.....	47
Figura 51.	Pantalla "Dades", període.....	47
Figura 52.	Pantalla "Gràfics"	48
Figura 53.	Pantalla "Dades", dia concret.....	49
Figura 54.	Pantalla "Dades", període.....	49
Figura 55.	Diagrama modular	50

ÍNDEX TAULES

Taula 1. Comparativa dels mesuradors d'energia comercials	7
Taula 2. Llista del material pel desenvolupament del projecte	63
Taula 3. Pressupost del projecte	64
Taula 4. Preu unitari del prototip 2.....	65

RESUM

El present projecte té com a objectiu dissenyar una aplicació mòbil capaç de monitoritzar el consum elèctric d'un habitatge i així ser una eina per millorar l'eficiència energètica amb un cost reduït. Per aconseguir-ho s'ha realitzat dos prototips diferents que mesuren la corrent que circula pel cable de fase i envia les dades obtingudes del sensor a una base de dades a través del wifi domèstic.

L'aplicació mòbil rep la informació emmagatzemada des de la base de dades, en fa el tractament i càlculs necessaris i mostra informació de l'estat actual amb la potència instantània, consum, cost, potència màxima i mínima. Es permet a l'usuari seleccionar un dia en concret o un període i mostrar les dades a l'aplicació.

L'aplicació és capaç de visualitzar un gràfic de barres de consums diaris segons el període que selecciona l'usuari. Finalment l'aplicació permet optimitzar la potència a contractar a partir dels màxims diaris registrats durant un període llarg. Així l'usuari pot comprovar si té un bon contracte i si es reduís la potència quin estalvi anual obtindria.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una aplicación móvil capaz de monitorizar el consumo eléctrico de una vivienda y así ser una herramienta para mejorar la eficiencia energética con un coste reducido. Para conseguirlo se a realizado dos prototipos diferentes que miden la corriente que circula por el cable de fase y envía los datos obtenidos del sensor a una base de datos a través del wifi doméstico.

La aplicación móvil recibe la información almacenada desde la base de datos, hace el tratamiento y cálculos necesarios y muestra información del estado actual con la potencia instantánea, consumo, coste, potencia máxima y mínima. El usuario puede seleccionar un día en concreto o un período y muestra los datos en la aplicación.

La aplicación es capaz de visualizar un gráfico de barras de consumos diarios según el período que selecciona el usuario. Finalmente la aplicación permite optimizar la potencia a contratar a partir de los máximos diarios registrados durante un período largo. De esta manera el usuario puede comprobar si tiene un buen contrato y si se redujera la potencia, qué ahorro anual obtendría.

ABSTRACT

This project aims to design a mobile application capable of monitoring the power consumption of housing and thus be a tool to improve energy efficiency at a reduced cost. To achieve this, they have been made two different prototypes that measure the current flowing through the cable and sends phase data obtained from the sensor to a database through domestic wifi.

The mobile application receives the stored information from the database, makes treatment and necessary calculations and displays information on the current status with the instantaneous power, consumption, cost, maximum power and minimum. The user can select a particular day or period and displays the data in the application.

The application is capable of displaying a bar graph of daily consumption according to the period that the user selects. Finally, the application enables the user to optimize the power to hire from daily highs during a long period. In this way the user can check if he has a good contract and in case the power was reduced, which annual savings he would obtain.



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memòria



Barcelona, 26 d'abril de 2016

Director: Samir Kanaan Izquierdo
Departament LSI (723)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

1.1. Motivació

L'energia és un recurs imprescindible per a totes les activitats o processos que es fan actualment, i el seu consum a nivell global continua creixent. Hi ha una forta relació amb l'energia i la indústria, que té un impacte directe amb l'economia, la política i el medi ambient.

Des de les administracions públiques s'han incorporat diverses iniciatives i s'han aprovat normatives dedicades a l'estalvi energètic. Una de les mesures directes preses per el govern respecte a l'estalvi energètic residencial, i segons el Plan de Activación de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011, entre d'altres, va ser regalar una bombeta de baix consum a cada habitatge d'Espanya, i així impulsar l'estalvi energètic.

Malgrat que la iniciativa no va tenir un gran èxit, en els últims anys s'ha anat afegint normatives relacionades a l'estalvi energètic residencial, algunes en part per les directives europees: Contribució obligatòria d'energia renovable a les noves construccions pel Codi Tècnic de l'edificació, primes a les instal·lacions renovables durant uns anys, certificació d'eficiència dels edificis, etiquetatge d'electrodomèstics, entre d'altres.

En els últims anys la societat s'ha conscienciat amb l'estalvi energètic entenent la necessitat de reduir el consum d'energia i fer un ús més responsable de l'energia i amb el medi ambient.

Al 2010 es va començar a fer el canvi progressiu dels equips de mesura de corrent elèctric a tots els habitatges espanyols, als anomenats "comptadors intel·ligents o de telegestió". Aquests tenen la capacitat d'enviar les mesures remotament però

a més a més havien de tenir molts beneficis per als clients, com tenir un control real del consum i així millorar l'eficiència.

El canvi s'ha de finalitzar al 2018, però la major part dels usuaris no se'ls informa de les dades que podrien ajudar a reduir el seu consum o millorar el seu contracte. Sense conèixer aquestes dades de consum, els usuaris estan indefensos en voler millorar les condicions de contractació o de quina manera fer l'estalvi energètic. Amb aquests objectius, aquestes dades són imprescindibles.

Amb aquesta necessitat han nascut diferents dispositius electrònics anomenats monitors d'energia amb un sensor al quadre elèctric que obté les dades del seu consum instantani i emmagatzema els històrics. Recentment s'han fet diferents millores, capaços de connectar-se a internet i mostrar les dades des d'una aplicació mòbil en els últims anys. Malgrat això, aquests monitors tenen un cost elevat que no és accessible a la major part dels consumidors domèstics.

1.2. Objectius

L'objectiu principal del present projecte és dissenyar una aplicació mòbil capaç de monitoritzar el consum elèctric d'un habitatge i així ser una eina potent per millorar l'eficiència energètica amb un cost reduït.

De l'objectiu principal es deriven altres objectius relacionats:

- Conscienciar la importància de l'eficiència energètica i el coneixement dels consums domèstics.
- Poder instal·lar l'equip al quadre elèctric fàcilment i amb connexió sense fils.
- Ser una eina capaç de reduir els costos energètics analitzant el millor contracte a partir de les dades obtingudes.
- Tenir les característiques i fiabilitat de qualsevol monitor comercial.
- Ser assequible econòmicament per a tots els consumidors d'electricitat.

A l'adquirir un equip que monitoritza el consum elèctric s'obté informació molt valuosa dels consums. Amb aquestes dades es poden prendre les decisions oportunes per optimitzar la instal·lació elèctrica. Per tant, la millor manera per veure les dades del consum és en un aparell molt quotidià com és un mòbil. Les característiques que es voldria tenir a l'aplicació:

- Mostrar en temps real la potència instantània.
- Mostrar el consum diari i el cost econòmic segons el preu del seu contracte amb la comercialitzadora.
- Mostrar la potència màxima del dia per optimitzar la potència contractada.
- Mostrar la potència mínima del dia per conèixer els consums paràsits com els stand-by o consums nocturns.
- Mostrar els mateixos valors esmentats però en un període seleccionat, com per exemple dies laborables, dies festius, vacances, setmanes o mesos.
- Visualitzar gràficament els consums diaris d'un període seleccionat.

- Optimitzar la potència a contractar a partir dels màxims diaris durant un període prolongat i calcular els possibles estalvis econòmics de la reducció de potència.

1.3. Contingut de la memòria

A partir dels objectius fixats, la memòria s'ha estructurat en diferents capítols per comprendre les decisions i els anàlisis realitzats durant el projecte. En primer lloc es fa l'estat de l'art on es mostren els equips dels monitors d'energia comercials més coneguts del mercats amb característiques semblants al dels objectius del projecte. Al següent capítol s'ha analitzat les tecnologies existents disponibles a incorporar al projecte i se n'ha explicat les decisions preses respecte a les alternatives.

Al següent capítol es mostra la planificació final del projecte durant els 8 mesos de les tasques realitzades. A partir de la cerca d'informació de les primeres setmanes es va fer un esbós de la planificació i la que es mostra a la memòria és la última versió amb els temps reals de cada tasca.

A continuació, al capítol d'Arquitectura del sistema s'explica com està format el sistema en conjunt i les relacions que hi ha entre elles. Per ser més entenedor, es mostra un diagrama del sistema i s'expliquen breument cada bloc.

En el capítol del Disseny del prototip es descriuen tots els procediments respecte als dos prototips que es proposen, amb el disseny electrònic i de programació amb l'Arduino. També es mostra la fabricació dels prototips i la instal·lació del prototip al quadre elèctric. Per acabar, es fa una comparativa dels dos prototips a partir de diferents càrregues elèctriques i es compara amb un mesurador comercial per conèixer la fiabilitat dels prototips.

El capítol de Configuració del servidor – base de dades s'explica com s'ha configurat la base de dades a partir de una plataforma web, EmonCMS, que gestiona la rebuda de dades de qualsevol dispositiu, les emmagatzema i les tracta obtenint els valors requerits per l'aplicació mòbil.

Al capítol de l'Aplicació mòbil es descriu com està format l'aplicació en diferents pantalles i quines funcions fa. L'aplicació mostra les dades de la potència instantània, els consums i el seu cost econòmic. També es pot veure un gràfic dels consums diaris. Finalment, a l'apartat de Contracte, a partir de les dades que té l'aplicació recomana millores de contractació que pot aconseguir estalvis importants.

Per acabar, al capítol de la Competència Genèrica s'explica quins coneixements s'han assolit de l'Aprenentatge autònom. I finalment, a l'últim capítol s'expliquen les conclusions del projecte un cop realitzat i s'avalua si s'han assolit els objectius descrits a l'inici de la memòria.

CAPÍTOL 2: ESTAT DE L'ART

2.1. Productes existents al marcat

En aquest capítol s'analitza el mercat actual dels equips de monitorització d'energia elèctrica. Amb els últims anys l'evolució de la tecnologia ha fet possible integrar els equips que fa uns anys funcionaven com a un monitor aïllat a internet i connectat al quadre elèctric amb costos elevats, ha revolucionat el sector i actualment existeixen molts fabricants i models que ofereixen equips connectant-se a internet inicialment amb cable ethernet i actualment amb xarxa GSM o Wifi que obre la porta als entorns d'aplicacions mòbils per poder monitoritzar qualsevol instal·lació a qualsevol lloc i moment.

Només ens centrarem als equips domèstics o instal·lacions petites. Existeixen altres tecnologies de comunicació utilitzades als productes professionals com la de GSM i GPRS que necessita una targeta SIM per connectar-se a la xarxa amb una antena. En aquest projecte no s'analitzarà aquest marcat ja que l'objectiu és la dels equips domèstics i que no tingui un cost fixe mensual de una targeta SIM.

2.1.1. Wattio GATE + BAT

Per tenir dades del consum elèctric es fa mitjançant una centraleta domòtic, GATE [13], que es connecta amb el mòdul del monitor d'energia elèctrica, BAT [12]. El mòdul controla tres sensors amperimètriques amb corrent màxima nominal de 100A i porta piles d'alimentació. La centraleta pot gestionar diferents mòduls a part de l'elèctric com la temperatura i termòstat, seguretat com sensors de moviment o videovigilància. També es poden incorporar al sistema domòtic mesuradors d'endolls.



Figura 1. Mesurador d'energia wattio. FONT: [13]

La centraleta té comunicació amb els mòduls mitjançant wifi que permet tenir el mòdul al quadre elèctric i veure les dades a la centraleta. També té possibilitat de connectar-se a la xarxa amb Ethernet o Wifi. Es pot accedir a la zona privada a la web myhome.wattio.com i a la aplicació mòbil Android i iPhone a Wattion Mobile App on es mostren les dades i gràfiques de l'equip.

El preu de la centraleta (124,99€) i el mòdul d'energia (54,99€) és de 179,98 €.

2.1.2. ClientSol EnviR + Mòdul internet

Aquest equip està format per el monitor EnviR [2] que mostra les dades instantànies i històriques, el transmissor que se situa al quadre elèctric on rep les dades dels sensors amperimètrics fins a 80 A i les envia al monitor sense fils i el mòdul internet, que mitjançant el cable ethernet i connectat amb cable al monitor EnviR s'envien les dades a la plataforma web my.currentcost.com.

En conclusió, per tenir les dades a la plataforma web s'ha de cablejar el mòdul d'internet, connectar l'alimentació al monitor i el mòdul d'internet. La comunicació a internet no es pot fer mitjançant Wifi.



Figura 2. Mesurador d'energia EnviR. FONT: [2]

El preu del conjunt és de 118 €.

2.1.3. Mirubee Mirubox [7]

Està dissenyat per mostrar únicament les dades a través de la aplicació mòbil. En un únic mòdul se situa a prop del quadre elèctric i es comunica directament a la xarxa mitjançant el wifi domèstic. Té dos sensors amperimètrics fins a la corrent nominal de 60 A i l'equip s'alimenta directament de un dels subquadres i així controla la tensió.



Figura 3. Mesurador d'energia Mirubee. FONT: [7]

El preu de l'equip i l'aplicació mòbil és de 118,50 €.

2.1.4. Circutor WiBee [1]

Aquest equip té una instal·lació molt senzilla i no s'han de connectar els sensors. Només cal col·locar l'aparell just a sobre del subquadre general, en el cas de monofàsic o trifàsic, tal com es mostra a la imatge. Aquest disseny permet mesurar la corrent com si fos una pinça oberta, i al situar-se sobre el quadre elèctric queda en contacte amb els cargols de cada línia.

Es comunica amb la xarxa d'internet mitjançant wifi i es mostren les dades i gràfiques a la plataforma web o a l'aplicació mòbil. En el cas monofàsic té un sensor de corrent màxim de 70 A i controla tensió i corrent.



Figura 4. Mesurador d'energia WiBee. FONT: [1]

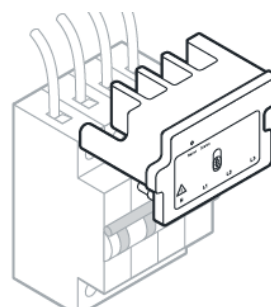


Figura 5. Instal·lació del WiBee trifàsic al quadre. FONT: [1]

2.2. Comparativa dels mesuradors d'energia

Els quatre sistemes del mercat que s'han analitzat es podrien dividir en els que tenen monitor i els que no. Pot ser interessant veure la potència instantània amb el monitor sense necessitar el mòbil o ordinador, com passa als casos de Wattio i EnviR. En canvi, el Mirubee Mirubox i el Wibeeee estan connectats directament amb la xarxa sense cap monitor, amb l'avantatge de la simplificació de l'equip i tenir totes les dades "al núvol". A la següent taula es mostra la comparativa de les característiques dels equips i els seus preus.

Taula 1. Comparativa dels mesuradors d'energia comercials

	Monitor	Wifi	Mesura tensió	Corrent max (A)	Sensors (num)	Web o App	Preu (€)
Wattio GATE+BAT	Sí	Sí	No	100	3	Sí	179,98
EnviR+Internet	Sí	No	No	80	1	Sí	118,00
Mirubee	Sí	Sí	Sí	60	2	Sí	118,50
WiBee	Sí	Sí	Sí	70	1	Sí	173,00

CAPÍTOL 3: TECNOLOGIES EXISTENTS PER AL PROJECTE

En aquest capítol s'expliquen les tecnologies que es necessiten per al projecte i quines consideracions s'han fet per incorporar-ho al projecte. S'expliquen en profunditat cada una d'elles i les possibles alternatives que hi ha al mercat.

Com a tecnologies s'entén com a sensors, circuits electrònics que ja estan dissenyats, microcontroladors i mòduls de comunicació que es requereix per als prototip.

3.1. Sensor amperimètric

Aquest sensor mesura la corrent que hi passa en un cable elèctric sense haver de modificar el circuit, basant-se en el funcionament de un transformador. Hi ha diferents models en el mercat però s'ha triat el YHDC SCT-013-030 per l'avantatge principal de no ser invasiu, no influenciar al circuit que es vol mesurar i no haver de modificar la instal·lació a mesurar.



Figura 6. Sensor SCT-013-030

També anomenat pinça amperimètrica per la seva forma, el cable a mesurar s'incorpora a l'interior de la pinça i es mesura la quantitat de corrent que circula pel cable.

El model triat és el SCT-013-030 que pot mesurar corrents fins a 30 ampers, que en una instal·lació elèctrica convencional de 230 V tindria el màxim de 6,9 kW. Per la major part de consums domèstics, el sensor és l'adequat ja que normalment la potència màxima no sobrepassa els 5 kW. Al tenir un rang petit de intensitats comparat amb altres models, té l'avantatge de tenir més precisió.

La sortida del sensor porta un connector mini Jack de 3,5 mm i té un rang de tensió entre 0 i 1 V d'alterna. A l'annex A.1 es pot veure el full de característiques tècniques.

3.1.1. Alternatives

Si es volgués mesurar consums de més potència del mateix fabricant, es podria substituir per el model SCT-013-000 i una petita modificació del circuit, que permetria una corrent màxima de 100 ampers, que en un mateix circuit convencional de 230 V tindria un màxim de 23 kW de potència.

Hi ha diferents fabricants amb models molt similars com el que es proposa. Aquest tipus de sensors s'han estès en els àmbits de control energètic com per exemple, conèixer la generació elèctrica de petites instal·lacions fotovoltaïques o eòliques.

3.1.2. Principis de funcionament

El principi de funcionament del sensor és el de un transformador d'intensitat, en aquest cas de nucli dividit per facilitar la incorporació del cable a mesurar. El sensor es comporta com a un transformador i el cable que s'incorpora com a una bobina d'espira única.

Internament el sensor incorpora un petit transformador constituït per el seu nucli i, en lloc de dos debanats té un sol bobinat en un dels extrems del seu nucli ferromagnètic. Si prenem aquest bobinat com el secundari, la part corresponent al primari serien l'espira única que constituirà el mateix cable quan el pincem per mesurar el circuit.

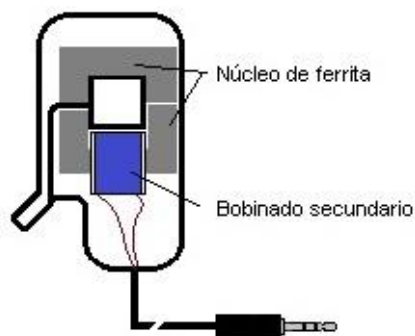


Figura 7.
Funcionament del sensor
SCT-013-030

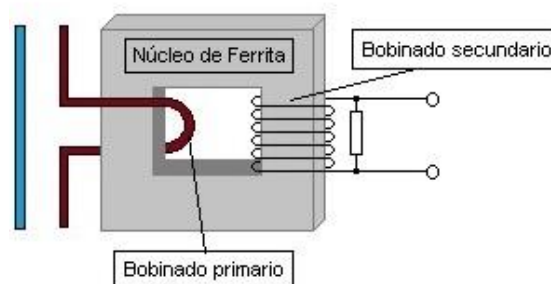


Figura 8. Funcionament
del sensor SCT-013-030

Al passar el cable de la instal·lació dins del sensor, aquest capta el flux magnètic generat que serà proporcional a la intensitat que circula en aquell instant pel cable. Per efecte de la inducció electromagnètica s'obté en el secundari (sortida del sensor) una intensitat que serà proporcional a la del primari. L'efecte transformador d'intensitat de primari amb una espira única pot veure's en la figura 8. Com es mostra a la figura, el sensor incorpora una resistència de càrrega a la sortida del transformador, els bornes dels quals s'agafa per prendre el senyal.

A l'hora de mesurar un quadre o subquadre de la instal·lació, cal tenir en compte que només s'ha d'agafar la fase. Si agaféssim la fase i el neutre dins del sensor faria la mesura incorrecta.

3.2. Circuit d'adequació del sensor

Com s'explica a l'apartat anterior, el senyal de sortida del sensor dóna una tensió entre 0 i 1 V sinusoidal proporcional a la corrent que hi passa. Amb l'objectiu d'obtenir les dades del sensor mitjançant una entrada analògica d'un microcontrolador, s'ha d'adequar el senyal transformant-lo en continua i en valors entre 0 i 5 V.

S'han analitzat dos circuits diferents i a continuació es farà l'anàlisi dels dos. Al capítol 6.4 es pot veure la comparativa de la resposta dels dos circuits i les conclusions que s'extreuen.

3.2.1. Proposta 1

La proposta 1 està dissenyada pel blog DIVERTEKA [11], que mostra la informació al seu web. El propòsit del circuit és rectificar el senyal i ampliar-la.

El senyal del sensor té una amplitud menor de 1 V, de manera que no s'ha pogut rectificar com podria ser un pont rectificador amb díodes, ja que la caiguda de tensió dels díodes de 0,7 V hauria eliminat la tensió obtinguda del sensor. Per evitar aquesta caiguda dels díodes s'ha muntat un circuit de rectificació fent ús d'un amplificador operacional de precisió de mitja ona.

La segona part del circuit seguint l'objectiu d'ampliar el senyal fins al màxim de 5 V s'utilitza un altre amplificador operacional. S'ha muntat un petit circuit que té la

capacitat d'ajustar el senyal mitjançant una resistència regulable física que facilita calibrar o corregir petits desajustos del circuit.

L'esquema del circuit proposat del web DIVERTEKA, blog dedicat a la tecnologia, és el següent:

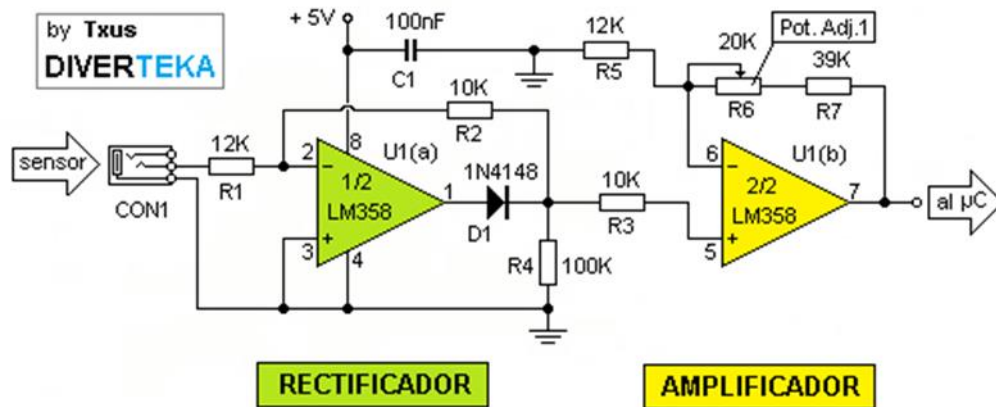


Figura 9. Esquema elèctric. FONT: [11]

Com es mostra a l'esquema, el circuit està format per dues parts, una per cada objectiu. El primer, de rectificar es fa mitjançant el primer amplificador operacional com a rectificador de precisió de mitja ona. Al sortir del primer A.O. s'obté el senyal en continua encara que es manté polsant i entra al segon A.O., ara com a amplificador. Amb la resistència ajustable i el circuit d'amplificació s'obté nivells de tensió adequats per a l'Arduino.

El circuit està centrat a l'integrat LM358 que té dos amplificadors operacionals, un per cada part del circuit en el mateix xip. Es mostra els pins de l'integrat per veure el funcionament dels dos amplificadors. S'alimenta per una tensió de 5 V a través de la font d'alimentació de la placa PCB.

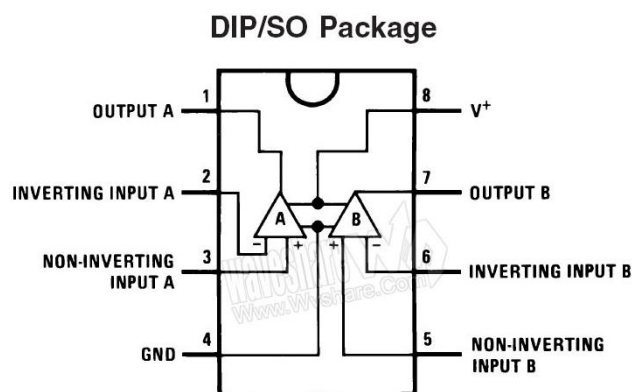


Figura 10. Esquema dels pins del LM358

A continuació es mostra l'esquema del circuit simulat.

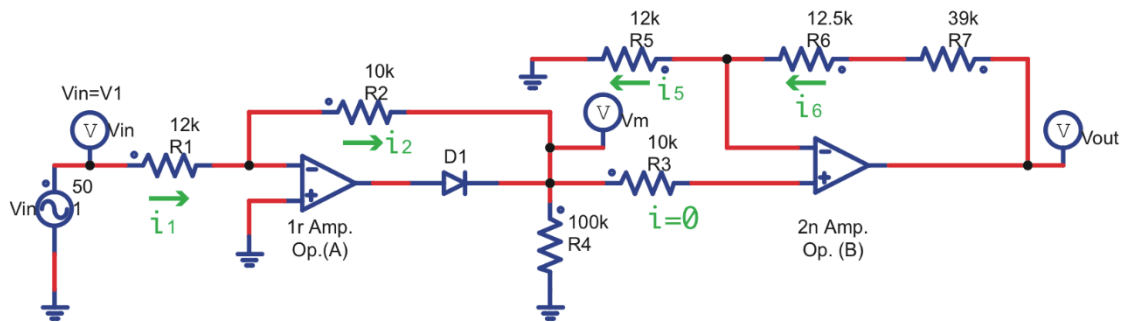


Figura 11. Simulació del circuit d'adequació de la proposta 1

L'anàlisi **del primer amplificador**, considerant-lo com a amplificador ideal:

$$v_{A+} = v_{A-} = 0V$$

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_1 - v_{A-}}{R_1} = \frac{v_{A-} - V_M}{R_2} \Rightarrow (v_{A-} = 0) \Rightarrow V_M = -V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow -V_1 \cdot \frac{10k\Omega}{12k\Omega} = -0,833 \cdot V_1$$

El resultat obtingut del primer A.O. es comprova que la tensió d'entrada en el període positiu tindria una sortida negativa si no fos que el díode no actués. En canvi, en el període negatiu s'inverteix la tensió i s'obté positiu tal com s'esperava.

En el cas del període positiu, on el díode actua i no deixa passar corrent, fa que les tres resistències R1, R2 i R4 estiguin en sèrie i la resposta al circuit és:

$$V'_M = V_1 \cdot \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = V_1 \cdot \frac{100k\Omega}{10k\Omega + 12k\Omega + 100k\Omega} = 0,8197 \cdot V_1$$

De manera que en els dos períodes la tensió és positiva seguint la equació V_M en el període negatiu i V'_M en el període positiu.

Simulant el circuit del primer amplificador es mostra la tensió d'entrada, en vermell, i la tensió de sortida, en blau. La resposta del rectificador de precisió de ona completa és la esperada segons l'anàlisi previ i un guany menor a 1.

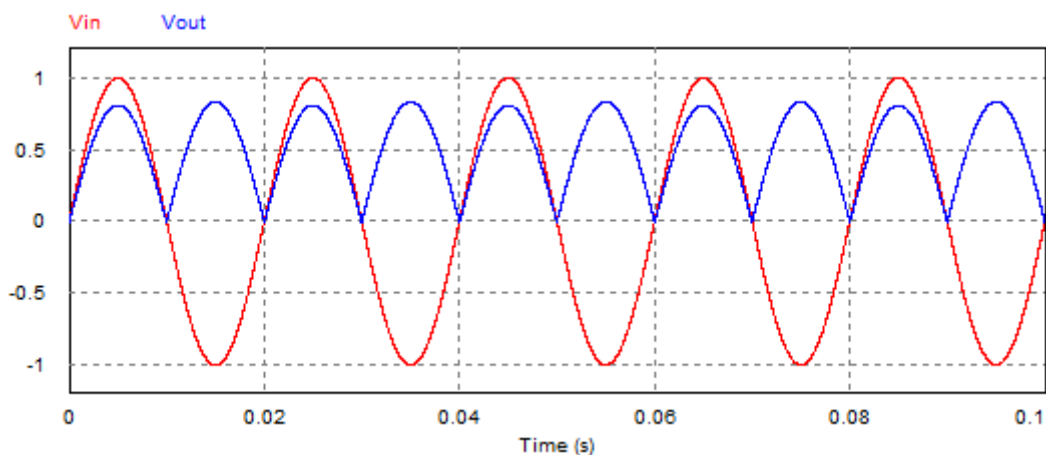


Figura 12. Resposta de la simulació del primer amplificador del circuit

L'anàlisi del **segon amplificador**, es calcula la tensió de sortida en funció de V_M i queda:

$$v_{B-} = v_{B+} = V_M$$

$$I_6 = I_5$$

$$\frac{V_0 - V_M}{R_{6+7}} = \frac{V_M - 0}{R_5} \Rightarrow V_0 = V_M \cdot \frac{R_{6+7}}{R_5} + V_M \Rightarrow V_M \cdot \left(\frac{R_{6+7}}{R_5} + 1 \right) = V_M \cdot \left(\frac{51k\Omega}{12k\Omega} + 1 \right)$$

$$V_0 = 5,917 \cdot V_M$$

Un cop analitzat els dos amplificadors per separat es calcula la tensió de sortida en funció de l'entrada:

En el semiperíode negatiu, la relació és:

$$V_0 = -V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(\frac{R_{6+7}}{R_5} + 1 \right) = -V_1 \cdot \frac{10k\Omega}{12k\Omega} \left(\frac{59k\Omega}{12k\Omega} + 1 \right) = -4,931V_1$$

En el semiperíode positiu, la relació és:

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_4} \cdot \left(\frac{R_{6+7}}{R_5} + 1 \right) = V_1 \cdot \frac{100k\Omega}{10k\Omega + 12k\Omega + 100k\Omega} \cdot \left(\frac{59k\Omega}{12k\Omega} + 1 \right)$$

$$V_0 = 4,850 \cdot V_1$$

Les dues respostes són valors positius i amb una tensió màxima gairebé als 5 V que es requeria per l'entrada del microcontrolador Arduino, així que els dos objectius del circuit de l'adequació del senyal s'han assolit.

Es pot veure gràficament la simulació, en els dos estadis del circuit: en blau, el senyal rectificat i en verd el senyal de sortida ja amplificat.

Hi ha una petita diferència entre la tensió de sortida del període positiu i negatiu, malgrat això, la diferència és només de 81 mV i es pot considerar inapreciable. Cal tenir en compte que les resistències reals tenen una tolerància de 5%, de manera que el valor real pot variar el resultat teòric i per tant, aquesta petita diferència del resultat entre els semiperíodes no es pot apreciar al circuit real.

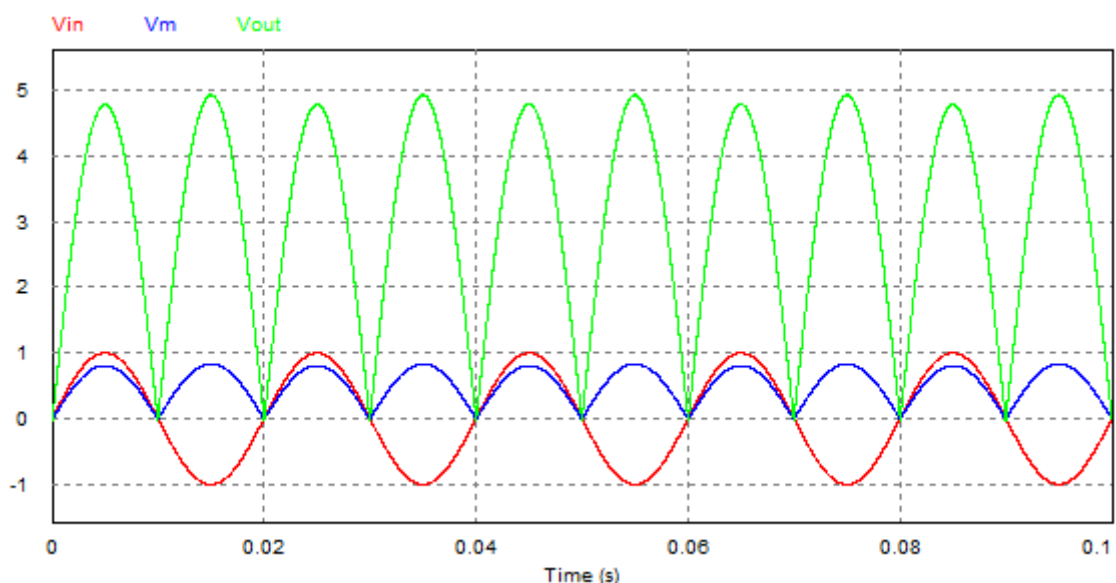


Figura 13. Resposta de la simulació del circuit d'adequació

3.2.2. Proposta 2

La proposta 2 del circuit d'adequació del senyal està extreta del projecte de codi obert OpenEnergyMonitor.org [8] [9] [10], que proporciona un circuit molt senzill. L'objectiu és el mateix que el de la proposta 1, adequar el senyal per poder entrar a un pin analògic de l'Arduino, però en aquest cas no es fa cap ampliació.

L'esquema proposat per OpenEnergyMonitor és el següent:

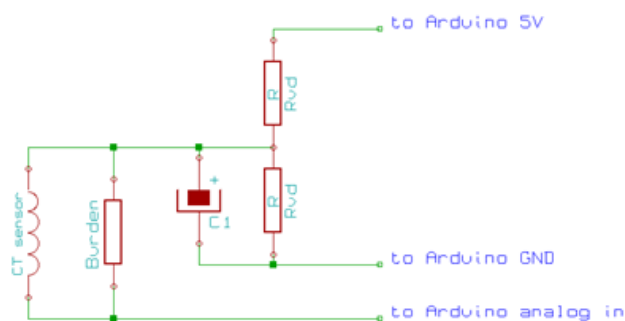


Figura 14. Esquema de la proposta 2. FONT: [9]

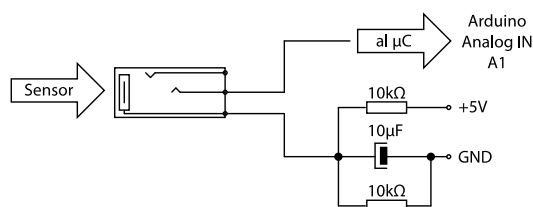


Figura 15. Esquema de la proposta 2. FONT: [9]

El circuit està compost per només 3 components, dos resistències i un condensador.

Segons es mostra a l'esquema, la resistència anomenada Burden és la resistència interna del sensor SCT-013-030, que té la funció de reduir la corrent, tenint en compte que el pin analògic de l'Arduino mesura la tensió. La resistència interna del sensor és de 62Ω , com es pot veure al full de característiques a l'annex A.1.

Les dues resistències Rvd estan dissenyades per ser un divisor de tensió. Agafen els 5 V d'alimentació i el terra GND aconseguint 2,5 V. Com que el senyal original del sensor és altern amb períodes negatius que l'Arduino no podria reconèixer, amb el divisor de tensió s'eliminen els períodes negatius amb un offset positiu de 2,5 V. El condensador simplement suavitza els 2,5V alterns.

Al gràfic següent es mostra la simulació del circuit proposat. La resposta s'estabilitza aproximadament als 0,2 segons degut al condensador i es mostra clarament el offset de tensió partint dels 0 V, a la línia de tensió inicial del sensor (V_{in}) fins als 2,5 V de tensió obtingut pel divisor de tensió (V_{out}).

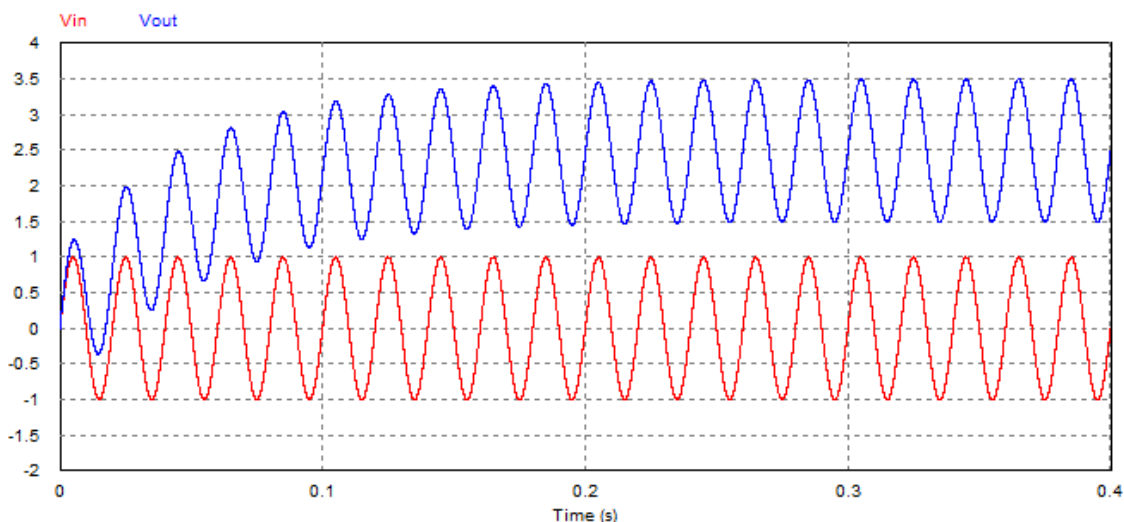


Figura 16. Resposta de la simulació del circuit d'adequació 2

Aquesta és el senyal que es connecta al pin analògic de l'Arduino on fa la conversió de la tensió del sensor a la corrent que passa pel circuit que es vol mesurar.

3.3. Arduino

L'Arduino és una placa de circuit imprès centrat en un microcontrolador. Està dissenyat amb codi obert amb l'objectiu de facilitar els circuits electrònics amb tots els components que normalment es necessiten, com entrades i sortides analògiques i digitals, memòria volàtil (SRAM), memòria no volàtil (EEPROM, Flash) i connexió USB que facilita la programació de la placa, entre d'altres.

En el projecte, l'Arduino és el "cervell" del prototip, que s'encarrega de rebre el senyal tractat del sensor com a una entrada analògica, calcula la corrent que passa per el cable que es vol mesurar i finalment es calcula la potència instantània. Un cop conegut aquest valor, l'Arduino es comunica amb el mòdul wifi i es connecta a través del wifi de l'habitatge a la base de dades i li envia el valor de la potència instantània.



Figura 17. Logo de l'Arduino

Aquest procés es fa aproximadament cada 15 segons per tal de conèixer en cada moment quin consum té un habitatge o un aparell en concret que es vulgui mesurar. Al capítol 6.1 i 6.2 s'explica els blocs de programació del codi de l'Arduino.

3.3.1. Arduino Nano

La família Arduino s'ha fet molt extensa amb molts models amb mides i característiques diferents. Per el projecte es va analitzar quin model seria el més idoni tenint en compte les següents consideracions:

- Mides reduïdes per tal de fer el prototip el més petit possible.
- Tenir facilitat per programar-lo mitjançant mini-USB amb un ordinador.
- Com a mínim una entrada analògica per al sensor amperimètric.
- Com a mínim dues entrades digitals per comunicar-se amb el mòdul Wifi ESP8266 a través del port sèrie TX RX virtual.
- Memòria suficient per programar el codi i emmagatzemar dades si fos necessari.
- Alimentar-se a la font de la placa del prototip de 5 V o 3,3 V.

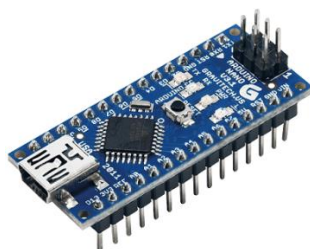


Figura 18. Arduino Nano v3

Tenint en compte les consideracions esmentades, s'ha triat el model Arduino Nano per tenir unes mides molt reduït amb altes prestacions com una placa gran. A l'annex A.2 es pot veure les característiques tècniques i la distribució de cada pin.

3.3.2. Alternatives

En el mercat dels microcontroladors hi ha una forta competència entre dos marques i dissenys: l'Arduino i Raspberry Pi. Els dos dissenys tenen el mateix objectiu de simplificar els prototips electrònics, en el cas de l'Arduino, o informàtics, en el cas de Raspberry Pi.

En el present projecte es podrien fer amb els dos models ja que té una part electrònica i una informàtica amb programació, però s'ha triat l'Arduino per tenir un cost econòmic menor, menys consum energètic del prototip, mides molt reduïdes i molta informació al web.

3.4. Mòdul wifi ESP8266

La comunicació de les dades de l'Arduino fins al servidor es fa a través del mòdul wifi ESP8266. Per arribar en aquesta conclusió es va fer un anàlisi de mercat, tenint en compte la viabilitat econòmica i les característiques tècniques per al prototip.

3.4.1. Característiques del mòdul ESP8266 – 01

El mòdul wifi triat, el ESP8266-01, és un microcontrolador amb wifi TCP/IP que permet enviar i rebre dades de l'Arduino a internet sense fils a través del router. La comunicació de l'Arduino i el ESP8266 es fa mitjançant dos pins, Tx (Transmissor) i Rx (Receptor) en port sèrie.

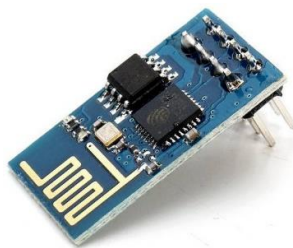


Figura 19. Mòdul wifi ESP8266

Té un preu aproximat de 4,5 € i unes mides de 14,3 x 24,8 mm amb antena incorporada de circuit imprès de llarg abast. Aquest és el germà petit de la família ESP8266, el model ESP-01, però hi ha un gran ventall de fins a 15 models, tots amb connexió wifi però amb diferents mides, número de pins d'entrada i sortida, antena, etc.

Té 8 pins, i a la següent imatge es veu la seva distribució.

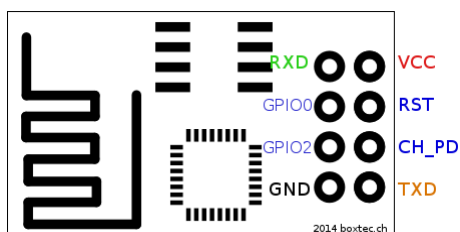


Figura 20. Esquema dels pins del ESP8266

- RXD i TXD: transmissió sèrie amb l'Arduino o amb l'ordinador. RXD és el receptor i TXD és el transmissor.
- GND i VCC: són els dos pins d'alimentació del mòdul. GND és el pin de terra, i el VCC és el pin de tensió de 3,3 V en continu. No es pot connectar directament al pin de l'Arduino de 3,3 i menys al de 5 V. No és gens recomanable ja que la corrent que necessita en alguns moments del mòdul arriba als 200 mA, molt superior al màxim que dóna els pins d'alimentació l'Arduino fins als 50 mA.
- GPIO0 i GPIO2 (General Purpose Input/Output): són pins d'entrada o sortida digitals. Per entrar al mode de programació o actualització del firmware s'ha de posar en tensió el pin GPIO0.
- CH_PD: S'ha de posar en tensió a 3,3 V.

Hi ha 4 LEDs que indiquen: en vermell, la tensió, i en blau, que s'està transmetent dades.

El primer model que va sortir al mercat, i el que ens ocupa per aquest projecte, va sortir a l'agost del 2014 per la marca xinesa Espressif Systems. Gràcies a ell s'han fet grans avanços per als dispositius de "internet of things", facilitant connectivitat a baix cost. En aquest temps de vida s'han fet millores de firmware, de manera que es recomana actualitzar-lo fins a la versió més recent. En el nostre cas s'ha fet l'actualització ja que hi ha hagut errors al connectar-se a routers amb seguretat elevada de WPA2 amb el firmware antic de sèrie.

A l'annex A.3 es pot veure el full de característiques tècniques del mòdul.

Tal com s'ha explicat anteriorment, el mòdul s'ha d'alimentar en tensió de 3,3 V en contínua i no es pot fer mitjançant el pin de l'Arduino per tenir un consum massa elevat. Per això s'ha afegit el regulador de tensió AMS1117 de 5 V d'entrada, de la font d'alimentació de la placa, fins als 3,3 V de sortida. Aquest dóna una corrent màxima de 800 mA, molt superior del que pot requerir l'ESP8266 de fins a 200 mA.

Per saber el model del firmware, conèixer les connexions wifis disponibles, connectar-se, enviar dades TCP... es fa mitjançant comandos AT. Al capítol 6.1.2 i 6.2.2 del codi de l'Arduino s'expliquen quins comandos s'han utilitzat i quina resposta dóna. El llistat complet de tots els comandos AT del ESP8266 es pot veure a l'annex A.3

3.4.2. Alternatives

Una proposta i potser la més senzilla hagués sigut connectar-se amb el Shield ethernet del mateix Arduino, sense tenir un sobre cost econòmic important i poca complexitat. Això hagués comportat la limitació de cablejar el prototip fins al router amb el cable ethernet. Aquesta proposta es va descartar ja que la major part dels habitatges no hi ha connexió ethernet o el router a prop del quadre elèctric, de manera que això hauria comportat una complexitat de implementació.

Per tant, la connexió al router s'havia de fer mitjançant wifi. Un altre Shield de l'Arduino amb wifi es podia connectar fàcilment l'Arduino nano al router sense fils, però el cost del mòdul wifi oficial o compatible sobrepassava el pressupost previst per al prototip (preu sobre els 80 € només del shield wifi).

CAPÍTOL 4: PLANIFICACIÓ

La planificació del desenvolupament del projecte es va començar a preparar després de les primeres setmanes en que es va analitzar quins passos s'hauria de realitzar fent una cerca d'informació de possibles tecnologies o processos. En aquest moment es va fer un primer esbós de la planificació general del projecte. La planificació durant el projecte s'ha anat adaptant segons les circumstàncies que s'han anat trobant, però s'ha tingut present en tot moment la planificació inicial per arribar al final a temps.

S'ha utilitzat una eina molt coneguda i utilitzada en tot tipus de projectes, el "Diagrama de Gantt". Aquest diagrama, ideat per Henry Gantt al 1910, mostra en un gràfic de barres la data d'inici i fi de totes les tasques que s'han de realitzar i així conèixer prèviament quin és la durada total de desenvolupament de qualsevol projecte. Aquest es basa amb les dades conegudes de la durada de cada activitat i les relacions de precedència entre elles.

A la següent pàgina es pot veure el Diagrama de Gantt del projecte. Hi ha un total de 19 tasques amb les seves durades reals estructurades per setmanes. S'ha tingut la dificultat de no conèixer la durada exacte de cada activitat, així que cada una d'elles s'ha hagut de anar modificant en cada moment. Malgrat això, ha servit per tenir un control del temps i anar assolint els objectius que s'havia plantejat als inicis.

El projecte es va iniciar al setembre del 2015 fent la cerca d'informació i dividint el projecte general a petites tasques assumibles de poques setmanes, que són les que es mostren al diagrama. El projecte es finalitza a l'entrega de la memòria, el 26 d'abril del 2016 i la presentació del Treball Final de Grau la setmana del 9 de maig del 2016.

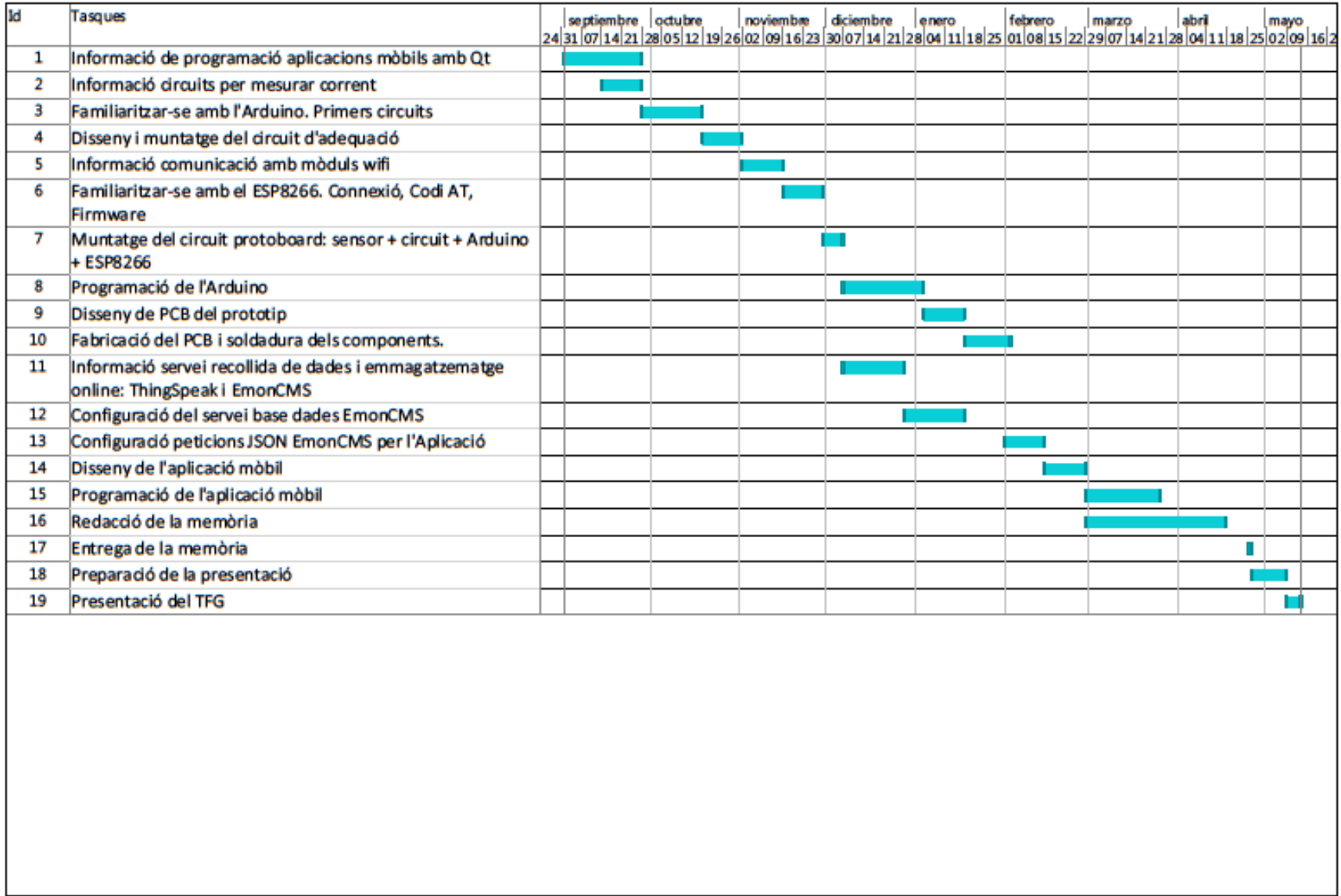


Figura 21. Diagrama de Gantt

CAPÍTOL 5: ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En aquest capítol s'explica com està format el sistema en conjunt i les relacions que hi ha entre les parts. Es pot veure en el diagrama de sistema totes les parts, el hardware integrat en una placa PCB, la configuració de la base de dades i la programació de l'aplicació mòbil.

5.1. Diagrama del sistema

Una part important del sistema són els components electrònics, dissenyats i fabricats en una placa de circuit imprès (PCB, Printed Circuit Board) que permet la recollida de les dades del sensor del consum elèctric fins a l'enviament de les dades tractades a través del wifi del local o habitatge. Mitjançant el router wifi de la casa o local, component necessari per poder comunicar-se amb el servidor, es recullen les dades rebudes en una base de dades de un servidor. Finalment, la aplicació mòbil fa peticions JSON al servidor i torna els valors instantanis de potència i els històrics guardats a la base de dades que s'acaben mostrant a l'aplicació mòbil.

A continuació es mostra el diagrama del sistema:

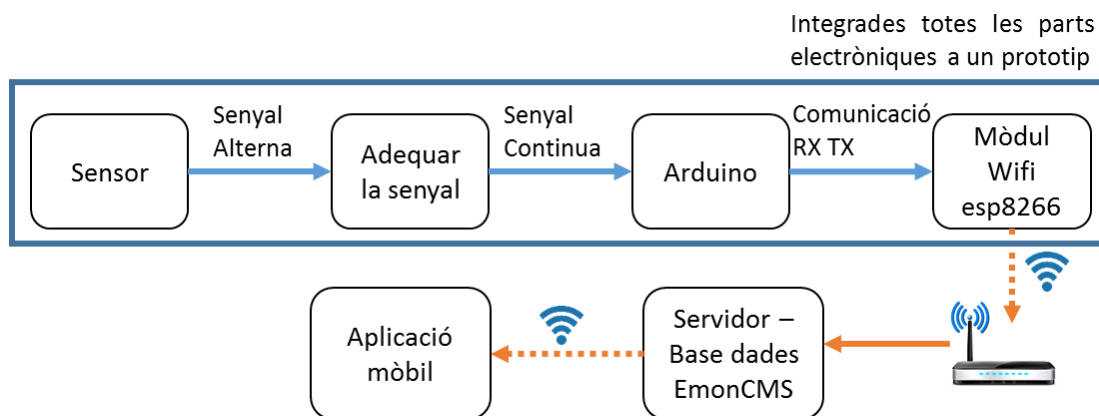


Figura 22. Diagrama del sistema

El sistema està format per 6 blocs i connectats entre ells amb connexions físiques, simbolitzat per fletxes contínues, i connexions inalàmbriques Wifi o xarxes mòbils simbolitzat per fletxes discontinúes.

Els 4 primers blocs que tenen parts físiques s'han integrat en una placa de circuit imprès amb tots els components per tal de reduir les mides del prototip i així minimitzar possibles errors de connexions electròniques.

5.2. Explicació de les parts i les relacions

Un cop conegut el diagrama del sistema, en aquest apartat s'explicarà breument quina funció fa i quina relació té amb els altres blocs. Seguint els blocs del diagrama seqüencialment, el sistema està format per:

- **Sensor de corrent**, anomenat sensor amperimètric. Se situa al costat del quadre elèctric i s'introdueix el cable de fase a l'interior del sensor en forma de pinça. Aquesta mesura la corrent que hi passa i es connecta mitjançant un connector mini Jack al circuit d'adequació del senyal.
- **El circuit d'adequació del senyal** és necessari per poder adquirir les dades del sensor en un processador com l'Arduino correctament. El senyal del sensor és d'alterna entre tensió de 0 a 1 V, quan les entrades analògiques de l'Arduino han de ser de continua i en un rang de tensió entre 0 i 5 V. Per tant, s'ha fet un circuit d'adequació que transforma el senyal perquè la pugui entendre el controlador. S'han dissenyat dos circuits diferents que fan la mateixa funció, que al capítol 3.2. s'han analitzat.
- **L'Arduino** és una placa de circuit imprès centrat en un microcontrolador programable. L'Arduino Nano, triat per les mides reduïdes, rep el senyal ja tractada per una de les entrades analògiques. S'ha programat el codi de manera que obté la tensió del sensor cada 15 segons aproximadament i fa els càlculs de la corrent que circula. Amb la tensió definida per programació calcula la potència instantània. S'ha programat un port sèrie addicional de l'Arduino per fer la comunicació mitjançant TX i RX amb el mòdul Wifi.
- **El mòdul Wifi ESP8266** es comunica amb l'Arduino a través de comandos AT. L'Arduino li envia els comandos necessaris perquè es connecti amb el router wifi i li envia la potència instantània a la base de dades del servidor. Triat per les mides reduïdes i baix cost, malgrat tingui més complicacions

que els mòduls wifi oficials de l'Arduino. Les 4 parts anteriorment explicades estan integrades a un prototip en una placa de circuit imprès, on té un connector mini Jack del sensor i un connector estàndard d'alimentació de 5 V.

- **El Servidor** rep la informació del mòdul wifi a través d'internet i s'emmagatzema a la base de dades. S'ha utilitzat un servei gratuït de servidor i base de dades dissenyat per Emoncms que facilita la rebuda i tractament de dades de "Internet of Things, IOT". Un cop emmagatzemades, es pot modificar i fer petits càlculs de les dades i es poden mostrar gràfics a la web.
- **L'Aplicació mòbil** demana les dades del servidor mitjançant peticions JSON i les mostra en un entorn Android. És capaç de veure la potència instantània (W o kW) aproximadament cada 15 segons i els valors històrics de consums (kWh diaris, setmanals, mensuals, màxims i mínims).

Amb unes setmanes de dades proposa millores de contractes amb la comercialitzadora com la potència contractada òptima per cada instal·lació.

CAPÍTOL 6: DISSENY DEL PROTOTIP

En aquest capítol s'explica com s'ha fet el disseny dels dos prototips que incorpora les parts electròniques del sistema: sensor, circuit d'adequació del senyal, Arduino i mòdul wifi. S'ha fet dos prototips en que el circuit d'adequació del senyal és diferent, amb l'objectiu de conèixer quin de les dues opcions és més fiable al resultat final. A les dues propostes s'explicaren el disseny del prototip, la programació de l'Arduino i la fabricació del prototip.

Al final del capítol es fa la comparativa de les dues propostes tenint com a referència un model comercial.

6.1. Prototip 1

En el prototip 1 s'utilitza el circuit d'adequació del senyal de la proposta 1 que s'ha explicat i analitzat el circuit electrònic al capítol 3.2 del projecte.

6.1.1. Disseny electrònic del prototip

El disseny electrònic del prototip es va fer primer en una placa de proves i un cop es va decidir tots els components i connexions es va fer el disseny electrònic en una placa de circuit imprès (PCB) amb l'objectiu de facilitar la mobilitat de tots els components, reduir les mides del circuit i poder fixar els connectors de alimentació i sensors.

Els components principals del prototip i les connexions són les següents:

Entrades del prototip

- Connector mini Jack femella de 3,5 mm (TRS, tip-ring-sleeve). Aquest connector entra el senyal alterna del sensor amperimètric. Els dos cables del senyal d'alterna del connector es transmet un cable al neutre i l'altre al circuit de adequació del senyal.
- Connector base d'alimentació. Aquest connector entra corrent de 1 A i 5 V de tensió per tots els components que ho necessiten, portant a les línies del PCB la fase i neutre de: Arduino, amplificadors operacions i el mòdul wifi ESP8266 amb un adaptador de tensió 5 – 3,3 V.

Arduino

És el component principal del prototip. A continuació s'explica la funció de cada pin:

- Pin A0 (42): entrada analògica de l'Arduino. Entra el senyal del sensor un cop rectificat i ampliat per l'integrat LM358 amb els dos amplificadors. El senyal que entra té un valor en contínua de 0 – 5 V segons el circuit d'adequació del senyal.
- Pin D2 i D3 (20 i 21): port sèrie RXD i TXD virtual de l'Arduino. Són dos pins digitals que s'han programat per ser port sèrie degut a la manca de tenir un port sèrie a part del de USB de l'Arduino Nano. Amb aquests pins es fa la recepció i transmissió de dades amb l'Arduino amb el mòdul wifi ESP8266, enviant els comandos necessaris per fer la comunicació. Al següent apartat s'explicarà el codi de programació que ho permet.
- Pin 5V i GND (34 i 19): s'alimenta en aquests dos pins a través del connector base.

ESP8266

És el mòdul wifi que permet connectar-se amb el router de casa o local i enviar les dades al servidor. Les funcions dels pins del mòdul són els següents:

- RXD i TXD (1 i 8): es fa la recepció i transmissió de les dades amb l'Arduino. Amb la configuració que té com a transmissor wifi, rep els comandos que envia l'Arduino, fa la funció que demana i li transmet la resposta altre cop.
- VCC i CH_PD (2 i 6): els dos pins s'han de connectar a una tensió de 3,3 V. S'ha afegit un convertidor de tensió que es connecta a la font base de 5 V i surt en 3,3 V.
- GND (7): es connecta al terra del connector base.

A continuació es mostra l'esquema elèctric:

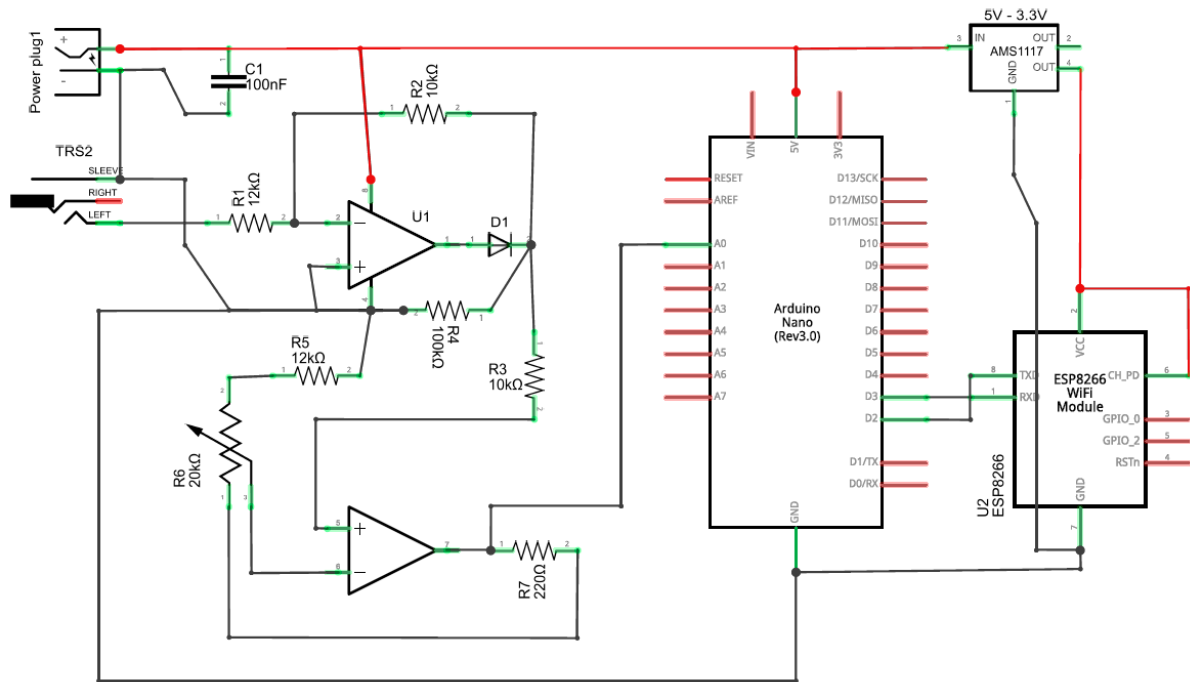


Figura 23. Esquema elèctric del prototip 1

El llistat de tots els components es pot veure a l'annex B.1.

6.1.2. Programació de l'Arduino

El codi de programació de l'Arduino s'encarrega de controlar tots els components del prototip: la entrada del sensor i la sortida amb el mòdul ESP8266. Per entendre el funcionament general del programa s'ha fet un diagrama de blocs i a continuació s'expliquen les funcions més rellevants. Per poder veure tot el codi de programació es pot veure complet a l'annex D.1.

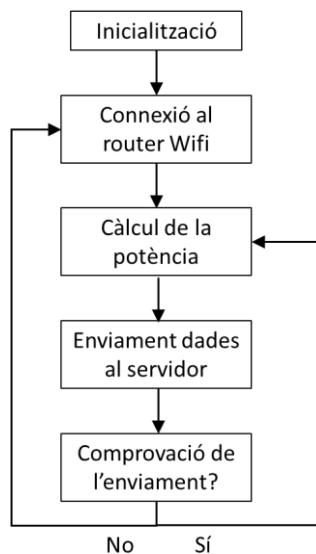


Figura 24. Diagrama de programació de l'Arduino

Tal com es veu al diagrama, el programa comença amb la inicialització on es defineixen els pins de comunicació, es declaren les llibreries, variables i constants.

En el següent bloc es fa la connexió al router wifi amb el ESP8266. Un cop obtinguda la connexió, s'entra al loop del programa on es fa el càlcul de la potència a partir del valor del sensor. Finalment es fa l'enviament de les dades al servidor i es fa la comprovació.

Si l'enviament s'ha fet correctament sense errors, s'espera 10 segons i torna a començar el loop al bloc de càlcul de la potència.

Si la comprovació de l'enviament no s'ha pogut confirmar, es fa la connexió al router wifi, s'espera 10 segons i torna a començar el loop al bloc de càlcul de la potència.

Les funcions a destacar del programa són les 3 principals:

Connexió al router.

Al bloc de inicialització s'ha comprovat que el ESP8266 està responent a les comandes que s'envia des de l'Arduino. Per connectar-se al router s'ha de conèixer el nom del router (SSID) al qual es vol connectar i la contrasenya (PASS). El SSID i PASS es guarda com a constant a la inicialització del codi de programació.

El mòdul és capaç de connectar-se automàticament a tots els sistemes de seguretat wifi dels routers o punts d'accés comercials amb autenticació i encriptació WEP, WPA, WPA2-PSK, WPA2-AES, WPA-TKIP.

El codi de la funció connectWiFi de l'Arduino és el següent:

```
boolean connectWiFi(){
  BT1.println("AT+CWMODE=1");
  delay(1000);
  String cmd="AT+CWJAP=\"";
  cmd+=SSID;
  cmd+="\", \"";
  cmd+=PASS;
  cmd+="\"";
  sendDebug(cmd);
  delay(5000);
  if(BT1.find("OK")){
    Serial.println("RECEIVED: OK. Connectat al router");
    Serial.println("");
    return true;
  }else{
    Serial.println("RECEIVED: Error");
    return false;
  }
}
```

Els dos comandes per connectar-se són:

- "AT+CWMODE=1": es posa en mode "STA" o estació informàtica que es pot connectar a un punt d'accés inalàmbic wifi. S'entén com estació informàtica tots els dispositius que es connecten a una xarxa com ordinadors, mòbils o altres dispositius. El mode 2 pot fer de punt d'accés, i el mode 3 pot fer ambdues funcions.
- "AT+CWJAP="SSID","PASS": es connecta al punt d'accés de nom SSID i contrasenya PASS. Amb la funció sendDebug s'envia aquest comanda de l'Arduino al ESP8266 i s'espera la resposta de un OK.

Càlcul de la potència.

El càlcul de la potència instantani a partir del valor del sensor amperimètric es fa amb dos passos:

- Funció smoothread: es fa la mitja de 12 valors mesurats al pic de cada període per tenir un valor més fiable i possibles errors del convertidor analògic de l'Arduino. Per mesurar el moment exacte del pic del període s'afegeix un retard de 5 ms després de localitzar el punt de pas per zero del senyal, que equival a 1/4 del període de corrent altern de 50 Hz tal com es veu al gràfic següent.

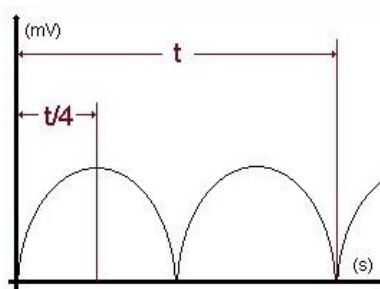


Figura 25. Esquema del valor màxim de un període. FONT: [11]

- Càlcul de la corrent i potència instantània a partir del valor mitjà del sensor. A continuació es pot veure el codi del Loop del programa de l'Arduino:

```
void loop(){
  lectura = smoothread (1) / 1.41;    // lectura (rms)
  iA = (lectura * S_Ratio)/1000;      // Intensitat (A)
  pKW = (vV * iA)/1000;               // Potència (kW)
  char buffer[10];
  pKW_string= dtostrf(pKW,5,3,buffer); //conversió float - String
  enviardades(pKW_string);
  delay(10000);
}
```

El valor retornat per la funció smoothread es divideix per arrel de 2 (1,41) per obtenir la tensió del sensor en valor eficaç o RMS (root mean square) i es guarda a la variable lectura.

La variable que interessa és la de la corrent que passa pel sensor, **iA**, que es calcula multiplicant la lectura per la relació S_Ratio, que dóna els V per cada A del sensor. Fent la divisió per 1000 s'obté els ampers.

Un cop coneguda la intensitat, es multiplica amb la tensió predefinida de 230 V s'obté el valor de la potència. Es recomana mesurar amb un multímetre la tensió exacte que es té a cada habitatge i així tenir el resultat de la potència més exacte.

Enviament dades al servidor.

Un cop calculada la potència en kW, es fa la conversió de tipus float a String amb la funció **dtostrf** per poder enviar-ho a través del Wifi de l'ESP8266. El tipus de dada de la potència es fa amb 5 caràcters i 3 decimals. Al tractar-se d'un mesurador domèstic, la potència màxima de l'equip està limitat per 30 ampers de corrent del sensor, que en una tensió de 230 V el valor màxim és de 6,900 kW i per tant, 5 caràcter contant el punt decimal.

A continuació es pot veure el codi de la funció `enviardades()` on entra el valor `pkW_string`:

```
void enviardades(String pKW_string){
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
  cmd += IP;
  cmd += "\",80";
  sendDebug(cmd);
  delay(2000);
  if(BT1.find("Error")){
    Serial.print("RECEIVED: Error. No s'ha pogut connectar al TCP ");
    return;
  }
  if(BT1.find("OK")){
    Serial.print("S'ha connectat al TCP cipstart");
    return;
  }
  cmd = GET;
  cmd += pKW_string;
  cmd += "&apikey=bbe0068628572e304d65b0919a4a41d8"; //API emmonCMS
  cmd += "\r\n";
  BT1.print("AT+CIPSEND=");
  BT1.println(cmd.length());

  if(BT1.find(">")){
    Serial.print(">");
    Serial.print(cmd);
    BT1.println(cmd);
    delay(1500);
    enviat = true;
  }
  ... //comprovació de l'enviament
}
```

La funció prepara el codi a enviar al ESP8266 amb els comandos:

- `AT+CIPSTART = <type>,<addr>,<port>`

Es connecta mitjançant TCP a l'adreça IP definida pel servei gratuït de rebuda de dades al servidor de EmonCMS.org, a través del port 80. Un cop preparat el codi a la variable `cmd` s'envia:

- `AT+CIPSTART = "TCP"," 80.243.190.58","80"`

L'Arduino espera dos segons per rebre la resposta del ESP8266, i si es rep la confirmació amb un OK es prepara el codi per enviar la potència instantània al API del EmonCMS.org en el compte creat. Al capítol 7 s'explica detingudament com s'ha configurat la base de dades per la rebuda de la dada de la potència.

Per enviar el valor de la variable `pkW_string`, primer s'ha de mesurar el total de caràcters que s'haurà d'enviar, conformat per:

- Adreça de la web del servidor on es vol enviar les dades (`GET /emoncms/input/post.json?json=`) + nom del lloc on es guardarà el valor i el valor després de dos punts (`{Potencia_p1:0.235}`) + el compte API del servei de EmonCMS (`&apikey= f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4`)

El número de caràcters als quals s'hauran d'enviar contant amb espais i l'enter a l'enviar:

- `GET_/emoncms/input/post.json?json={Potencia_p1:0.235}&apikey=f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4\r\n`

El codi que s'ha d'enviar prèviament abans de les dades s'envia el número de caràcters o length

- AT+CIPSEND=<length>

Un cop s'envia el número de caràcters, el mòdul ESP8266 retorna un > per indicar que ja es pot enviar el codi amb tots els caràcters. Si tot ha anat bé, el valor dels 5 caràcters de la potència instantània (a l'exemple 0.235) ja s'ha enviat i s'ha emmagatzemat a un espai de la base de dades de l'EmonCMS.org.

Per acabar es fa unes comprovacions de si s'ha enviat correctament i si hi ha hagut algun error es tornaria a fer la funció de connectWiFi().

6.1.3. Fabricació del prototip

Per la fabricació del prototip en un PCB s'ha fet el disseny de les pistes amb el programa Fritzing [6] tenint en compte l'esquema elèctric que es mostra a l'apartat 6.1.1. A continuació es pot veure el resultat final del disseny del PCB.

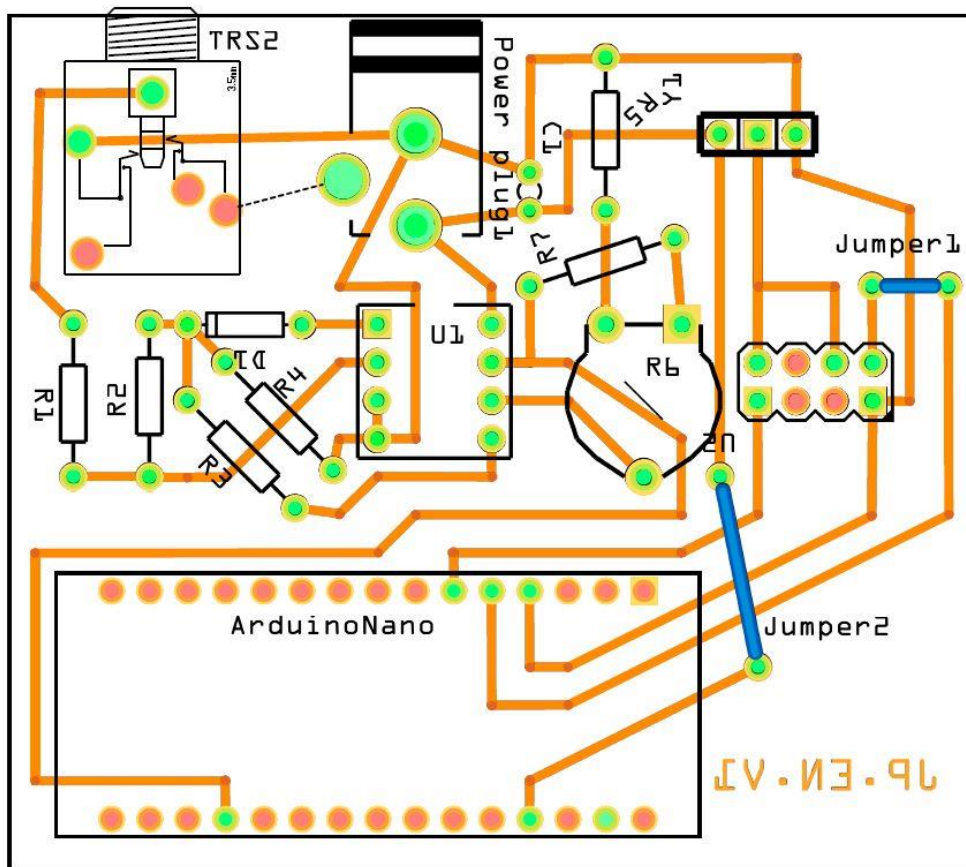


Figura 26. Disseny del PCB

S'ha dissenyat les pistes en una sola capa per simplificar i reduir el cost de la fabricació. Els criteris que s'han seguit per la distribució dels components de la placa ha estat la de tenir els connectors femella d'alimentació i sensor per tenir el prototip sol durant el muntatge a la instal·lació, poder ajustar el potenciòmetre pel seu calibratge i poder connectar l'Arduino amb l'ordinador a través del cable USB i així tenir el control durant les proves de funcionament i millora del software.

La tecnologia de la fabricació s'ha fet manualment, començant per la impressió làser del fotolit generat pel programa Fritzing en un paper brillant, l'aplicació de calor mitjançant una planxa amb el full imprès amb una placa amb una capa verge de coure on es fa el traspàs de la tinta.

A la figura següent es veu el fotolit a traspasar a la placa de coure.

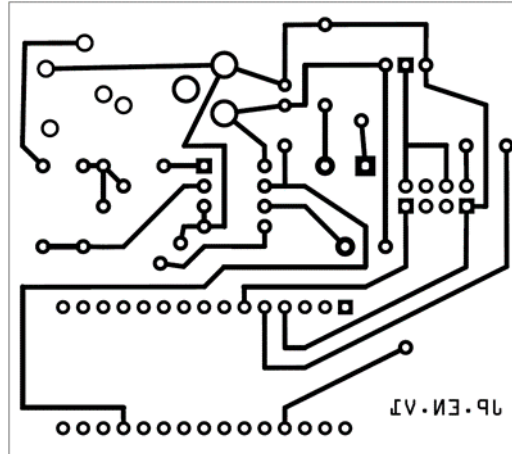


Figura 27. Fotolit de les pistes del PCB

Un cop es té la placa de coure amb les pistes traspassades, es fa un atac químic submergint la placa amb una dissolució d'àcid clorhídric amb concentració de 24 %, aigua oxigenada de 110 volums i aigua en parts iguals. A continuació es fa els forats amb un trepant i finalment es solden tots els components.

A continuació es mostres unes imatge del procés de la fabricació:

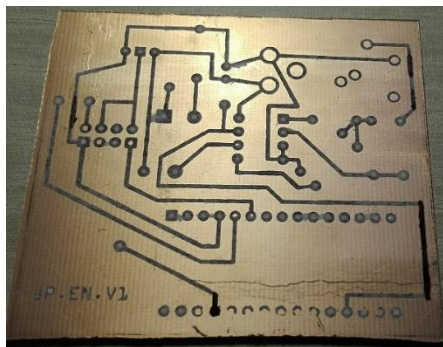


Figura 28. Placa amb les pistes traspassades

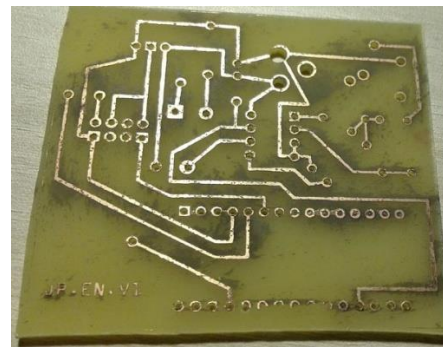


Figura 29. Placa amb l'atac químic

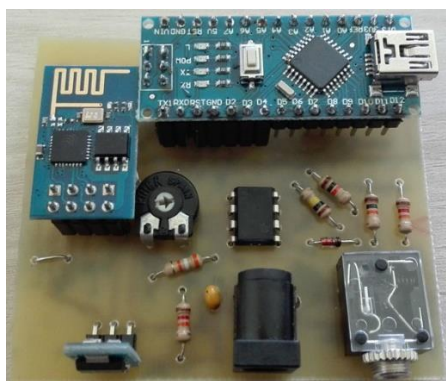


Figura 30. Prototip 1 acabada

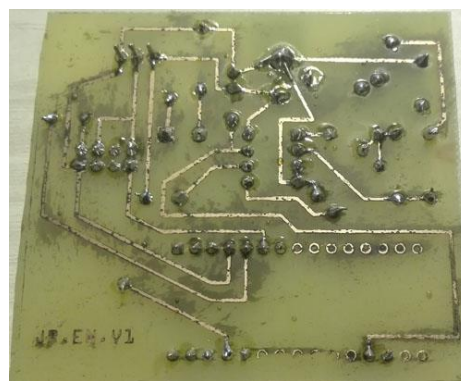


Figura 31. Placa amb els components soldats

El prototip acabat té unes mides de 6,6 cm de llarg, 5,8 cm d'ample i un alçada aproximada de 2,5 cm.

6.2. Proposta 2

En la proposta 2 del prototip s'utilitza el circuit d'adequació del senyal de la proposta 2 que s'ha explicat i analitzat el circuit electrònic al capítol 2.2.2 del projecte. Aquest prototip és molt més senzill que l'anterior degut a la simplicitat del circuit d'adequació. Malgrat això, les parts físiques de l'Arduino i ESP8266 tenen un funcionament molt similar al de la proposta 1 però amb la programació diferent.

6.2.1. Disseny electrònic del prototip

El disseny electrònic del prototip es va fer primer en una placa de proves i un cop es va decidir els components i connexions es va fer el disseny electrònic en una placa foradada pre-soldada amb l'objectiu de facilitar la mobilitat de tots els components, reduir les mides del circuit i poder fixar els connectors d'alimentació i sensors.

Els components principals del prototip i les connexions són les mateixes que s'ha explicat a la proposta 1, apartat 6.1.1.

A continuació es mostra l'esquema elèctric:

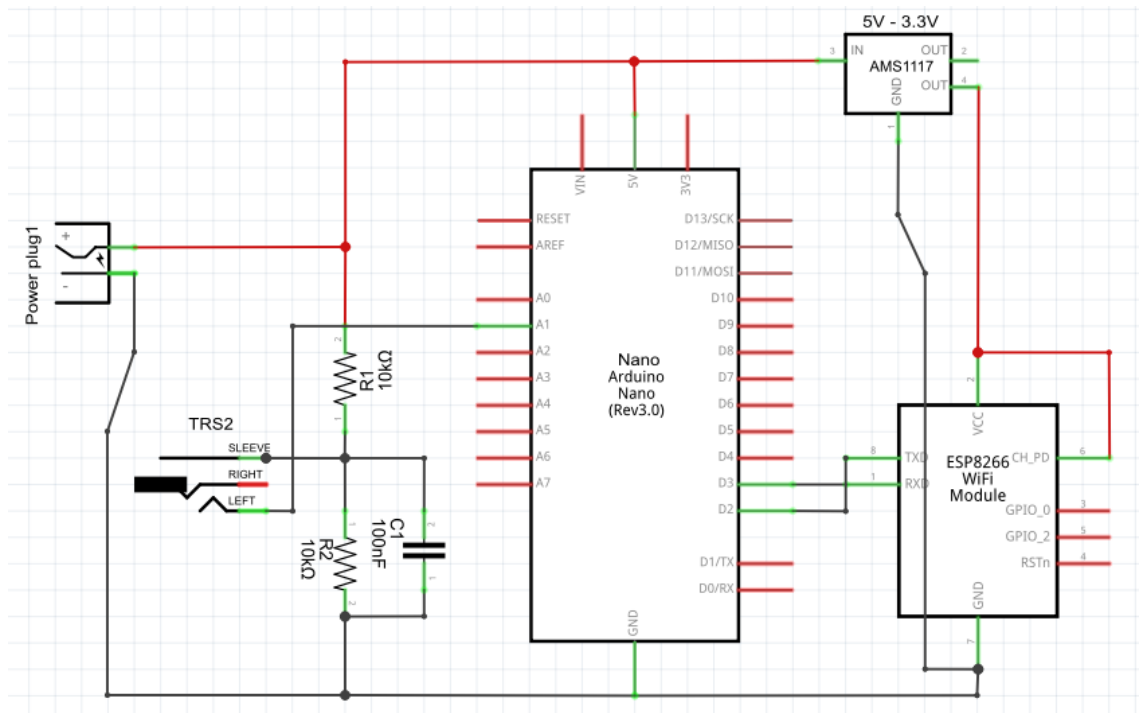


Figura 32. Esquema elèctric del prototip 2

El llistat de tots els components es pot veure a l'annex B.2.

6.2.2. Programació de l'Arduino

La programació de l'Arduino té el mateix esquema de funcionament que s'ha explicat a la proposta 1, però amb la facilitat de fer els càlculs de la potència instantània mitjançant la llibreria emonlib.h. Aquesta està dissenyada pel mateix projecte de codi obert Open Energy Monitor.

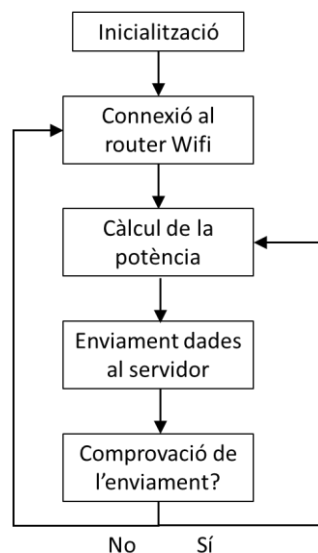


Figura 33. Diagrama de programació de l'Arduino

La diferència de la proposta 1 és el bloc de el càlcul de la potència, que es fa amb les funcions de la llibreria emonlib.h.

A la inicialització del programa es defineix el pin analògic d'entrada i el valor de calibració. La calibració és la relació entre el número d'espines del sensor i la resistència Burden, que com s'ha explicat al capítol 3.2.2 és la resistència interna del sensor. Aquests valors s'obtenen a partir del datasheet del sensor, on la relació de número d'espines és 1800 i la resistència Burden és de 62 ohms, obtenint així un valor de calibració de 29.

La línia de codi que s'insereix a la inicialització del programa és el següent

```
emon1.current(1, 29); // Corrent: (Pin d'entrada, Calibració)
```

Al programa principal de l'Arduino, es calcula la corrent amb la següent funció i el càlcul de la potència:

```
double Irms = emon1.calcIrms(1480); //Càlcul Irms  
pKW=(Irms*230.0)/1000;
```

L'entrada de la funció, 1480, és el número de mostres preses pel sensor. Aproximadament cada cicle en una xarxa de 50 Hz fa 106 mostres, i es fan 14 cicles per tenir un valor més exacte i eliminar possibles errors del convertidor analògic a digital que fa l'Arduino.

A continuació es fa el càlcul de la potència en kW a partir de la tensió predefinida pel programa. És molt recomanable mesurar la tensió de la xarxa per tenir el càlcul de la potència més exacte, fent una mesura de la tensió amb un multímetre i introduir-ho al programa.

El conjunt del codi de programació de l'Arduino es pot veure al capítol D.2.

6.2.3. Fabricació del prototip 2

Al tractar-se d'un circuit simple amb pocs components, s'ha utilitzat una *Perfboard* o placa perforada amb material conductor al voltant de cada forat, per facilitar la soldadura entre els components.

La distribució dels components i les pistes es mostren al gràfic següent, dissenyat amb el programa Fritzing.

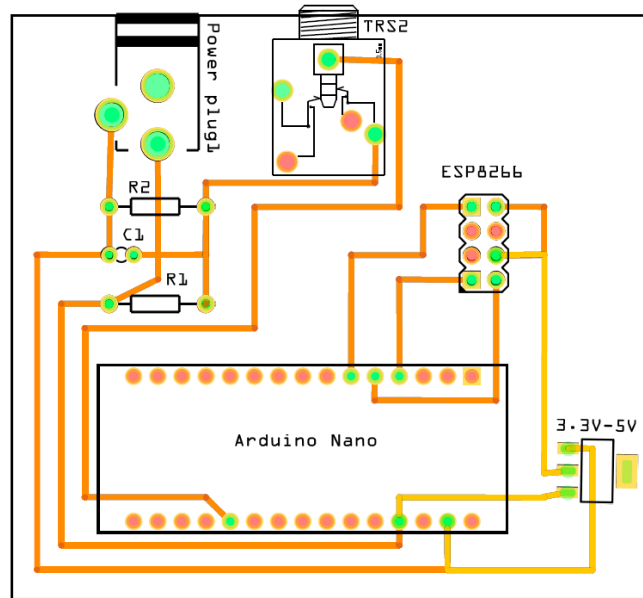


Figura 34. Esquema elèctric del prototip 2

I el resultat final és el que es mostra a continuació:

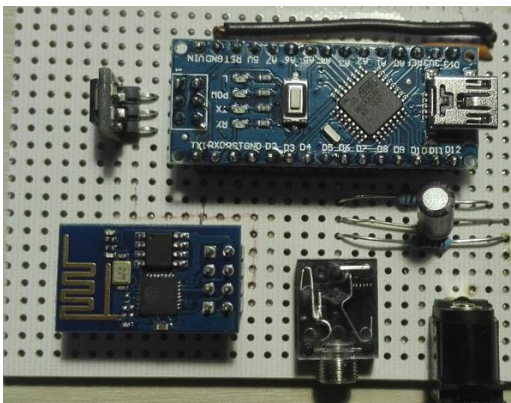


Figura 35. Prototip 2 acabat

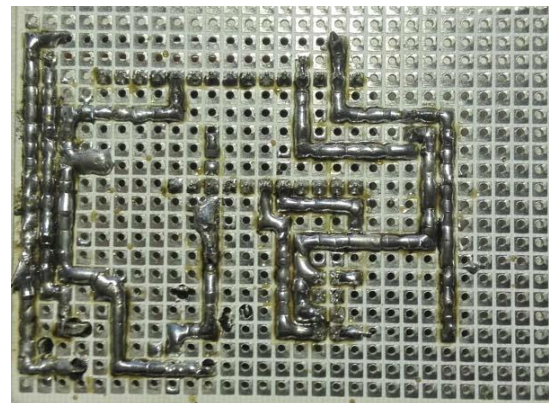


Figura 36. Placa amb les pistes i els components soldats

El prototip acabat té unes mides de 6,7 cm de llarg, 5,7 cm d'amplada i 1,5 cm d'alçada aproximada de 2,5 cm.

6.3. Instal·lació del prototip

Un dels objectius del projecte és poder instal·lar el prototip fàcil i ràpidament sense haver de tenir coneixements tècnics. El prototip s'ha d'instal·lar al quadre elèctric general de l'habitatge, però sense haver de modificar la instal·lació ni fer connexions que podrien semblar complexes o perilloses.

Tenint present aquest objectiu, es va descartar incorporar la mesura de la tensió al prototip, i així simplificar el procés de la instal·lació malgrat tenir un error més elevat al no conèixer la tensió exacte durant tot el procés de la monitorització. La tensió de la xarxa elèctrica té un valor de 230 V, predefinit en el programa, però

pot oscil·lar fins a un 5 % segons factors com la distància al transformador de la companyia elèctrica o variacions de la xarxa. Per això es recomana mesurar manualment la tensió amb un multímetre i introduir el valor al programa de l'Arduino.

Els passos a seguir per instal·lar el prototip són els següents:

- Localitzar el quadre elèctric i desconnectar l'Interruptor General Automàtic.

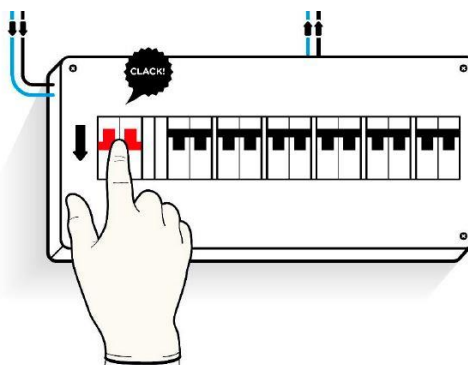


Figura 37. Desconnexió del IGA del quadre. FONT: [7]

- Treure la tapa del quadre elèctric.
- Identificar els cables d'alimentació general i posar la pinça a un dels dos cables.

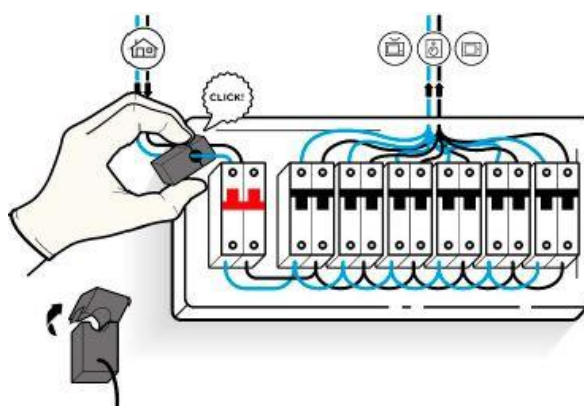


Figura 38. Instal·lar la pinça al cable d'alimentació. FONT: [7]

- Connectar el prototip a l'endoll més proper.
- Tornar a tancar el quadre elèctric, connectar l'Interruptor General Automàtic i situar el prototip a prop del quadre.

A continuació es mostra el prototip 2 instal·lat a un quadre elèctric d'una oficina.

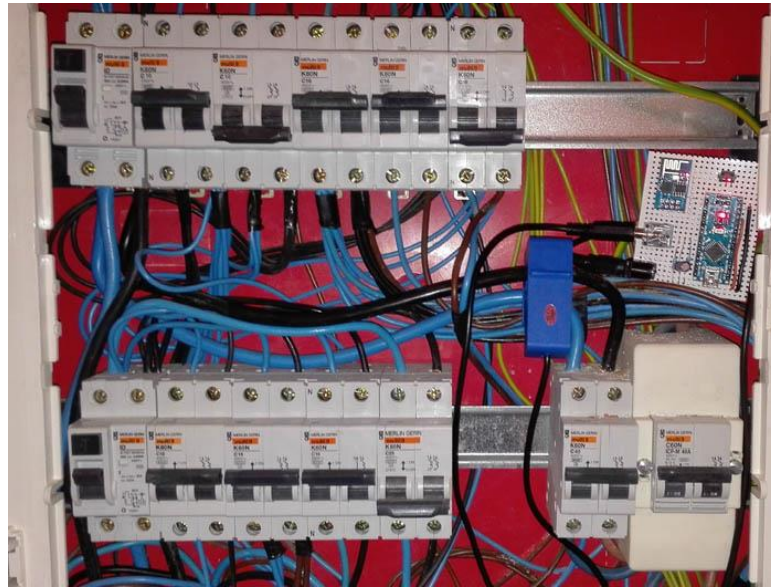


Figura 39. Instal·lació del prototip 2 al quadre elèctric

6.4. Comparativa dels dos prototips amb un equip comercial

Tal com s'ha explicat als apartats anterior, els dos prototips que s'han fabricat i analitzat tenen una diferència important sobre la adquisició de les dades del sensor i per tant la programació de l'Arduino. En aquest apartat es vol veure la resposta de diferents potències i comparar-les amb un equip comercial per tenir com a valor de referència.

L'equip comercial és de la marca Efergy [3] model e2 classic amb un monitor físic que mostra la potència cada 7 segons. Té un sensor amperimètric de fins a 100 A, però no es pot connectar a internet i per tant no es pot visualitzar les dades a la web ni aplicació mòbil.



Figura 40. Equip comercial: Efergy e2 classic. FONT: [3]

A continuació es pot veure la gràfica comparativa dels tres equips a partir de un valor inicial de potència de 120 W fins als 3.560 W, incrementant-se amb trams amb diferents aparells connectats: ordinador, enllumenat, escalfador elèctric i aire condicionat.

Com es veu al gràfica, la línia blava i taronja són les dades extreptes de la potència instantània cada 20 segons aproximadament, emmagatzemades des de la base de dades dels dos prototips. En canvi, la línia gris representa la potència extret del mesurador de referència. Com que no s'ha pogut tenir tots els valors del mesurador de referència, s'ha pres un valor fix i s'ha incorporat al gràfic.

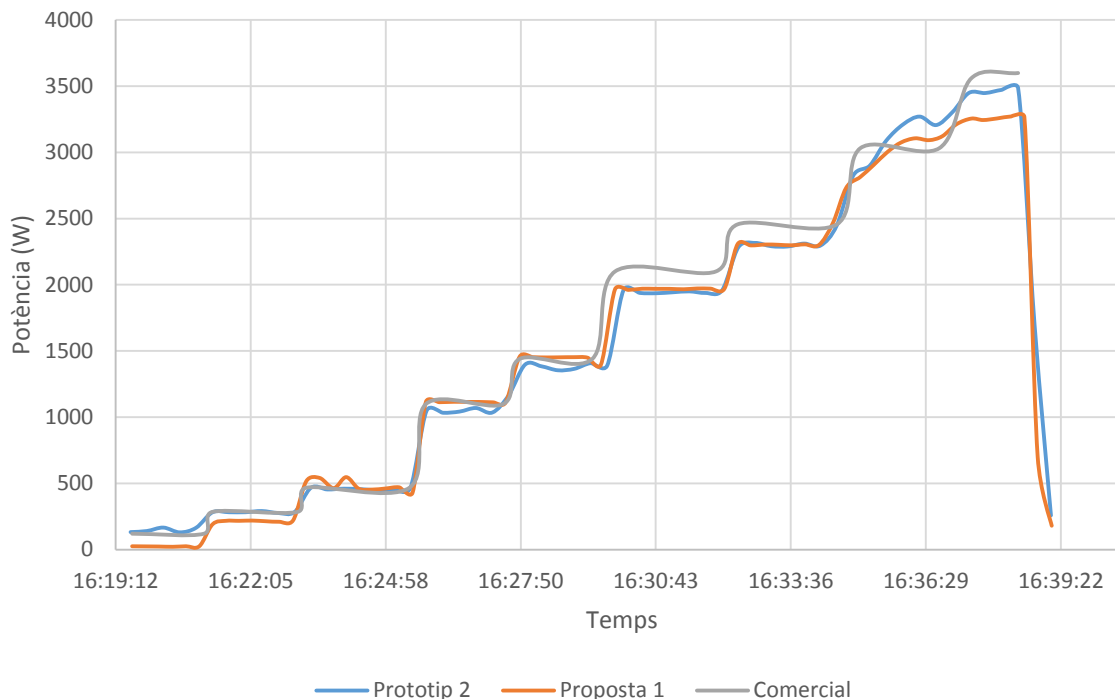


Figura 41. Comparativa dels dos prototips i un de referència

Quan la potència està per sota dels 200 W, el prototip 1 mesura molt per sota del valor de referència. Això succeeix al primer tram del gràfic on la potència de referència és de 120 W i el prototip 1 està mesurant 33 W. En el segon tram, amb potència de referència de 285 W, el prototip 1 mesura aproximadament 210 W, un valor molt més acceptable però amb un error encara elevat. En el tercer tram de 467 W de potència de referència el prototip 2 té un valor de 460, molt acceptable amb un error molt petit. Aquesta tendència es manté sense errors fins a la potència de 2000 W, malgrat tenir algunes petites oscil·lacions.

En canvi, el prototip 2 des del primer moment amb poca potència fins als 1000 W segueix perfectament la gràfica de la potència de referència, amb un error molt petit. Durant la potència entre 1000 – 2000, el gràfic del prototip 2 es manté una mica per sota del valor de referència, però l'error continua sent petit.

Durant el tram entre potències 2000 – 3000, les dues línies dels gràfics dels dos prototips s'ajunten amb valors molt similars, però una mica per sota dels valors de referència. A partir dels 3000 W, el prototip 1 torna a estar bastant per sota del valor de referència amb un error considerable, mentre que el prototip 2 segueix bastant bé la línia de potència de referència.

A partir de la comparativa dels tres equips, s'extreuen les següents conclusions:

- El prototip 1 té errors molt importants per sota dels 200 W i errors considerables a partir dels 3500 W.

- El prototip 2 segueix perfectament els valors de la potència de referència fins als 2000 W, i a potències més elevades es queden una mica per sota però amb un error acceptable.
- En conclusió, el prototip 2 és el més adequat amb un error inferior al 10 % en tots els consums. Malgrat això, el prototip 1 ha tingut una bona resposta entre potències 500 – 3000 W.

CAPÍTOL 7: CONFIGURACIÓ DEL SERVIDOR – BASE DE DADES: EMONCMS

Les bases de dades de qualsevol servidor fan la funció d'emmagatzemar i estructurar totes les dades al núvol per ser accessible des de qualsevol dispositiu. En el present projecte és imprescindible una base de dades en un servidor per guardar totes les dades que s'enviïn encara que l'aplicació mòbil no estigui funcionant.

Fent un anàlisi de possibles servidors amb bases de dades, s'ha seleccionat el servei de una plataforma web de codi obert, Emoncms.org [5], que permet el registre de dades des de qualsevol dispositiu, fer el tractament de les dades, visualitzar taules i gràfiques des de la seva pàgina web i finalment respondre a peticions JSON que es configuraran des de l'aplicació mòbil.



Figura 42. Logo de la plataforma emonCMS. FONT: [5]

El EmonCMS és una part integrada al projecte "Open Energy Monitor", que té l'objectiu de dissenyar eines de codi obert per ajudar a entendre i relacionar-se amb l'ús de l'energia, els sistemes energètics i el repte de l'energia sostenible.

Per la configuració del compte Emoncms.org s'ha fet en tres parts: Inputs, Feeds i Dashboards. A continuació s'explicarà cada una d'elles.

7.1. Inputs o entrades de dades

Quan ens registrem a la plataforma EmonCMS se'ns facilita dos API Key, un d'escriptura i un de lectura. Les API Key són els identificadors per a l'autenticació que s'ha d'afegir cada cop que es vol accedir al servidor: a l'enviar dades es fa amb l'identificador d'escriptura a la base de dades, i per accedir a les dades del servidor, l'identificador de lectura des de la base de dades.

Les API Key del compte són:

- Escriptura: f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4
- Lectura: 2c838b43c29e7f4e80fa5f94e5abf128

Tal com s'explica a l'apartat 5.1.2.3 de l'enviament de les dades al servidor, mitjançant el mòdul wifi ESP8266 s'envia a l'adreça de l'EmonCMS una llista de caràcters que conté el valor de la potència instantània que es vol emmagatzemar i l'API Key d'escriptura. La direcció que rep el EmonCMS des del ESP8266:

- https://emoncms.org/input/post.json?json={Potencia_p2:0.235}&apikey=f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4

A partir de la dada rebuda des de la plataforma web a l'apartat inputs, s'ha configurat els següents processos, tenint en compte que s'executen seqüencialment:

Order	Process	Arg
↓	1	x
↑ ↓	2	Log to feed Node:0: Consum_simple (feedvalue:247.00)
↑ ↓	3	Max value Node:0: Simple_max (feedvalue:2593.00)
↑ ↓	4	Min value Node:0: Simple_min (feedvalue:185.00)
↑ ↓	5	Power to kWh Node:0: Simple_kwh (feedvalue:196.34)
↑	6	Power to kWh/d Node:0: Simple_kwh_d (feedvalue:0.75)

Figura 43. Configuració dels processos dels inputs seqüencialment

En el primer procés es fa la multiplicació per 1000 per passar el valor que s'ha enviat des del ESP8266 en Watts a kW. El segon procés, "Log to feed", es registre el valor i el moment actual per tenir un control històric de totes les potències. Els processos 3 i 4 calculen automàticament els valors màxims i mínim de la potència de cada dia i en fan el registre.

El procés 5, "Power to kWh" fa la conversió de la potència a energia a partir del "Log to feed" i el temps emmagatzemat. Aquest valor es va incrementant. En canvi, el procés 6, "Power to kWh/d,", fa el mateix càlcul d'energia però registre el valor de cada dia.

El resum de les dues entrades, un de cada prototip, es veu a la pestanya de Inputs:

Node:	Key	Name	Process list	last updated	value
0	Potencia_p2		x log max min kwh kwhd	2s ago	0.3
0	Potencia_p1		x log max min kwhd kwh	15s ago	0.02

Figura 44. Resum dels processos dels inputs dels dos prototips

7.2. Feeds o tractament de dades

En aquesta finestra es mostra l'estructura de totes les dades que estan emmagatzemades en cada "Feed" a partir dels inputs configurats. Cada un té un identificador ID, nom, etiqueta, tipus de dades, motor, accés públic, mida de dades emmagatzemades, temps d'actualització i valor. Hi ha la possibilitat d'exportar totes les dades emmagatzemades via web amb un arxiu CSV de cada feed.

Id	Name	Tag	Datatype	Engine	Public	Size	Updated	Value
117898	p2: Potencia	Node:0	REALTIME	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	7s ago	295
117899	p2: Potencia_max	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	83 mins ago	2219
117900	p2: Potencia_min	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	14 hrs ago	89
117902	p2: Consum_kwhd	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	7s ago	3.37
117903	p2: Consum_kwh	Node:0	REALTIME	PHPFINA	🌐	0.0kb	7s ago	44.64
117906	p1: Potencia	Node:0	REALTIME	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	1s ago	16
117907	p1: Potencia_max	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	121s ago	21
117908	p1: Potencia_min	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	35s ago	8
117909	p1: Consum_kwh	Node:0	REALTIME	PHPFINA	🌐	0.0kb	1s ago	17.56
117910	p1: Consum_kwhd	Node:0	DAILY	PHPTIMESERIES	🌐	0.0kb	1s ago	0

Figura 45. Configuració dels Feeds

Per poder accedir en aquestes dades des de l'aplicació mòbil es fan peticions JSON dels diferents feeds que es mostren a la taula. Es necessitarà els IDs de cada feed i conèixer el tipus de feed.

7.3. Dashboard o panell de control

La plataforma web del EmonCMS ofereix configurar "dashboards" o panells de control per visualitzar les dades emmagatzemades visualment. En el projecte i a partir dels feeds, s'han seleccionat els següents widgets i visualitzacions que es mostren a continuació.

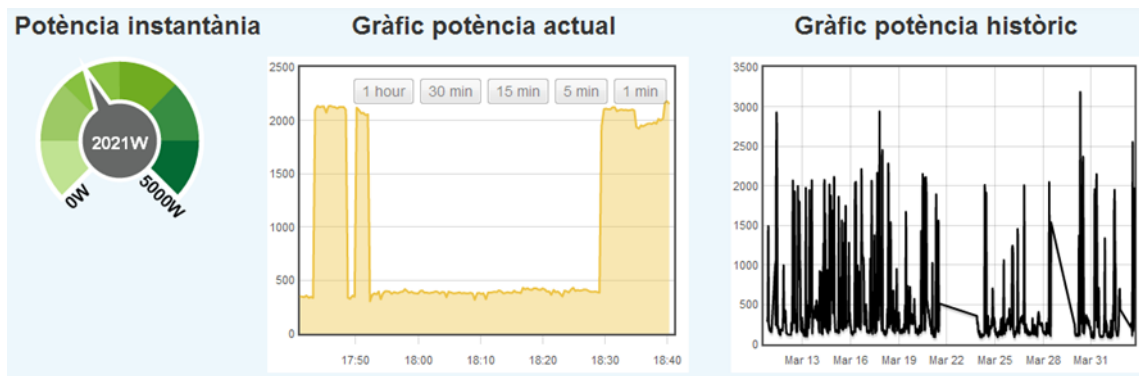


Figura 46. Dashboards de potències

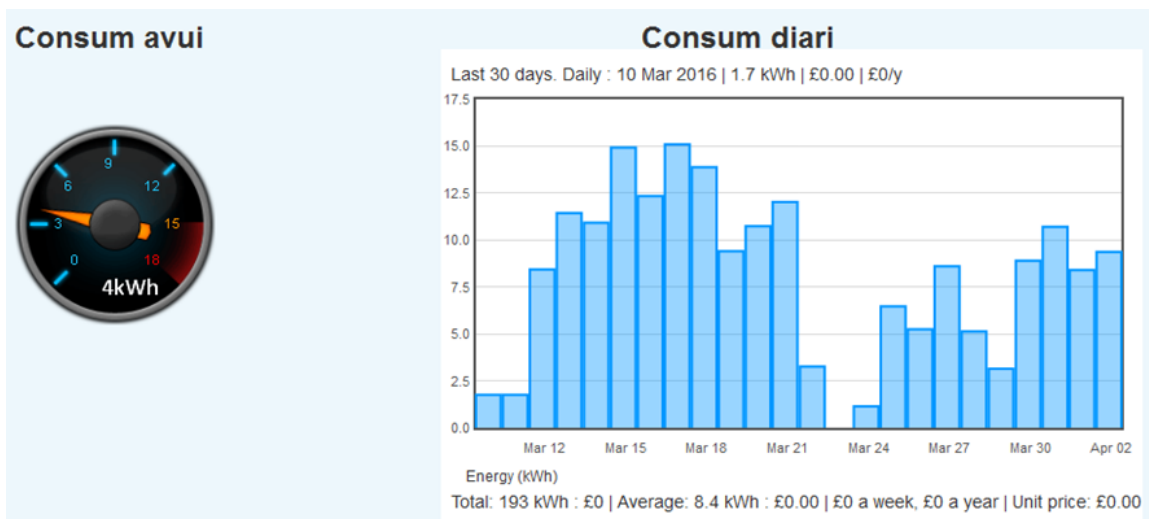


Figura 47. Dashboards de consums

Aquests gràfics són els més representatius respecte a la potència i al consum energètic. Els gràfics són dinàmics, on es pot obtenir més dades al clicar sobre les barres o línies, o fer zoom de un període seleccionat. Per exemple, si volem veure el gràfic de consum del dia 16 de març, ens mostra el gràfic següent:

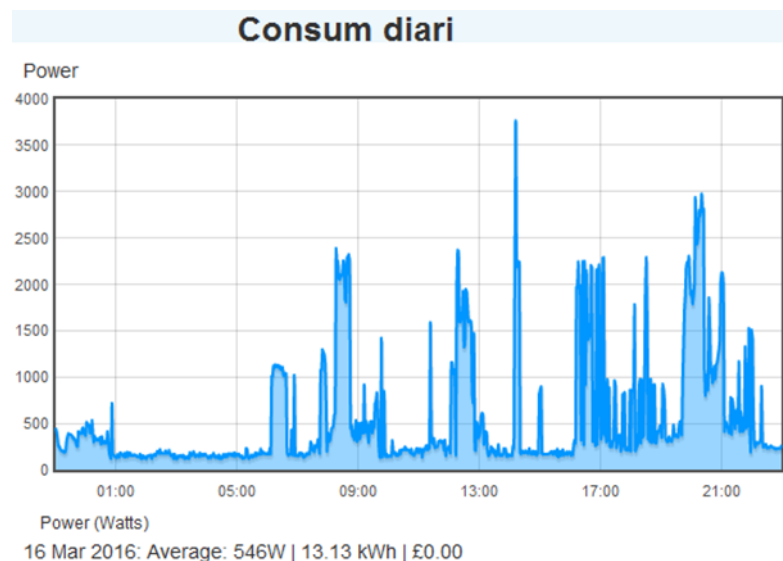


Figura 48. Dashboard de perfil de consum de un dia

Per veure el dashboard online es pot fer a partir del següent enllaç:

<https://emoncms.org/monitorenergia>

CAPÍTOL 8: APLICACIÓ MÒBIL

En aquest capítol s'explica l'aplicació mòbil en conjunt i es fa a través del diagrama de pantalles de l'aplicació i l'estructura modular on s'expliquen les seves funcions. Cal tenir en compte que l'objectiu principal del present projecte és l'aplicació mòbil i s'ha dissenyat a partir de les característiques plantejades als objectius que s'han mostrat a l'inici del document.

L'aplicació està preparada per als dispositius Android per a mòbils i tablettes en posició vertical, malgrat que si es volgués es podria adaptar a altres tipus de dispositius. És imprescindible tenir connexió a internet, ja sigui a través de wifi o amb alguna de les tecnologies de comunicació de dades que disposen tots els mòbils intel·ligents. Les dades que es mostren a l'aplicació es reben des de la base de dades de EmonCMS depenent del tipus d'informació que es vol rebre i el tractament que es fa, per això internet és necessari per el funcionament de la App.

Per veure el codi de programació que conforma l'aplicació dissenyat per el programa Qt Quick amb el llenguatge QML es pot veure la totalitat a l'annex F.

8.1. Diagrama de pantalles

L'aplicació està formada per quatre pantalles, una principal i 3 secundaries, on es mostren diferent informació en cada una. S'ha fet una aplicació molt intuïtiva i simple amb l'interfície amb l'usuari, de manera que hi ha un menú on es mostren les quatre pantalles.

8.1.1. Pantalla 1: Estat actual

La pantalla 1 és la principal i a la qual s'accedeix a l'inici de l'aplicació. En aquesta es mostra l'estat actual de la instal·lació.

El primer valor que es mostra una mica més gran que els altres, i potser el més important per ser la base de tots els altres, és la potència instantània. Aquest és el valor en Watts que es mesura des del sensor i s'actualitza cada 18 segons.

Com que aquest valor és instantani, és important conèixer en quin moment s'ha pres el valor i s'ha emmagatzemat a la base de dades, de manera que sota de la potència es mostra la data i hora del valor. A més a més, la data i hora ajuda a l'usuari a veure si el sistema està funcionant correctament actualitzant-se regularment.

A continuació es mostra el consum acumulat del dia en kWh amb tres decimals i tot seguit el cost econòmic en euros. Aquests valors s'actualitza amb la potència instantània.

Els dos últims valors són la potència màxima i mínima del dia actual. A cada valor també es mostra la hora en que s'ha registrar el valor, i també s'actualitza amb la mateixa freqüència de cada 18 segons.

En aquesta pantalla és la eina imprescindible per a poder començar a fer una auditoria energètica, coneixent els consums de cada càrrega, els consums paràsits o nocturns quan no hi ha cap càrrega connectada, etc.

Es mostra una impressió de pantalla de la primera pantalla:



Figura 49. Pantalla principal de la App, "Estat Actual"

8.1.2. Pantalla 2. Dades

A la segona pantalla es pot seleccionar entre un dia en concret o un període de dies.

En la primera opció, s'ha d'entrar el dia, mes i any i prémer el botó de calcular, mentre que a la segona opció s'ha d'entrar dia, mes i any d'inici i dia, mes i any per finalitzar el període i prémer el botó calcular, tenint en compte que aquests dies s'inclouen dintre del període.

Un cop seleccionat una de les opcions i entrat les dates, es mostraran el mateix tipus de valors que el de la pantalla 1: consum en kWh, cost econòmic en € i potència màxima i mínima en kW.

Es mostra una impressió de pantalla de les dues opcions de Dades:



Figura 50. Pantalla "Dades", dia concret



Figura 51. Pantalla "Dades", període

8.1.3. Pantalla 3. Gràfics

En aquesta pantalla es visualitza el gràfic de barres que mostren els consums diaris de un període seleccionat. El funcionament és similar a la pantalla 2, on es demana seleccionar el dia d'inici i de fi del període i a continuació clicar al botó Gràfic.

El gràfic mostra a l'eix horitzontal el número de dies i a l'eix vertical els consums en kWh. Els eixos són dinàmics de manera que s'adapten al número de dies i valors per mostrar el gràfic de la millor manera.

Es mostra una impressió de la pantalla "Gràfics":



Figura 52. Pantalla "Gràfics"

8.1.4. Pantalla 4. Contracte

El funcionament de la pantalla 4 és diferent a les altres, ja que es demana entrar les dades del contracte elèctric de l'usuari. Aquestes dades es poden obtenir fàcilment a qualsevol factura rebuda de l'electricitat, i s'ha de posar la potència contractada i el preu del kWh.

Si en aquest moment no es coneix aquestes dades, s'han predefinit una potència contractada normalitzada de 5,75 kW i un preu de kWh de 0,130. L'objectiu principal d'aquesta pantalla és fer una estimació de la optimització de la potència a contractar a partir de les dades mesurades durant un període llarg. Per tenir un valor fiable es recomana tenir el mesurador connectat com a mínim 2 setmanes, malgrat que el més recomanable seria tenir-lo connectat a partir de 2 mesos.

Si es tenen dades de un període prolongat, només cal clicar el botó Guardar i calcular i es mostra la potència recomanada a contractar i el càlcul d'estalvi anual del concepte fix de la potència de la factura.

Es mostra una impressió de la pantalla "Gràfics", amb les dues possibles respostes segons la potència contractada i els valors màxims emmagatzemats durant un període llarg.



Figura 53. Pantalla "Dades", dia concret



Figura 54. Pantalla "Dades", període

8.2. Diagrama modular

En les quatre pantalles que es visualitzen a l'aplicació, el cos de la programació està format per diferents arxius, funcions, variables, llibreries, estructures... que entre elles s'acaben visualitzen els resultats. A continuació es mostra el diagrama modular de l'estructura, tenint en compte els colors de cada bloc representat a la llegenda:

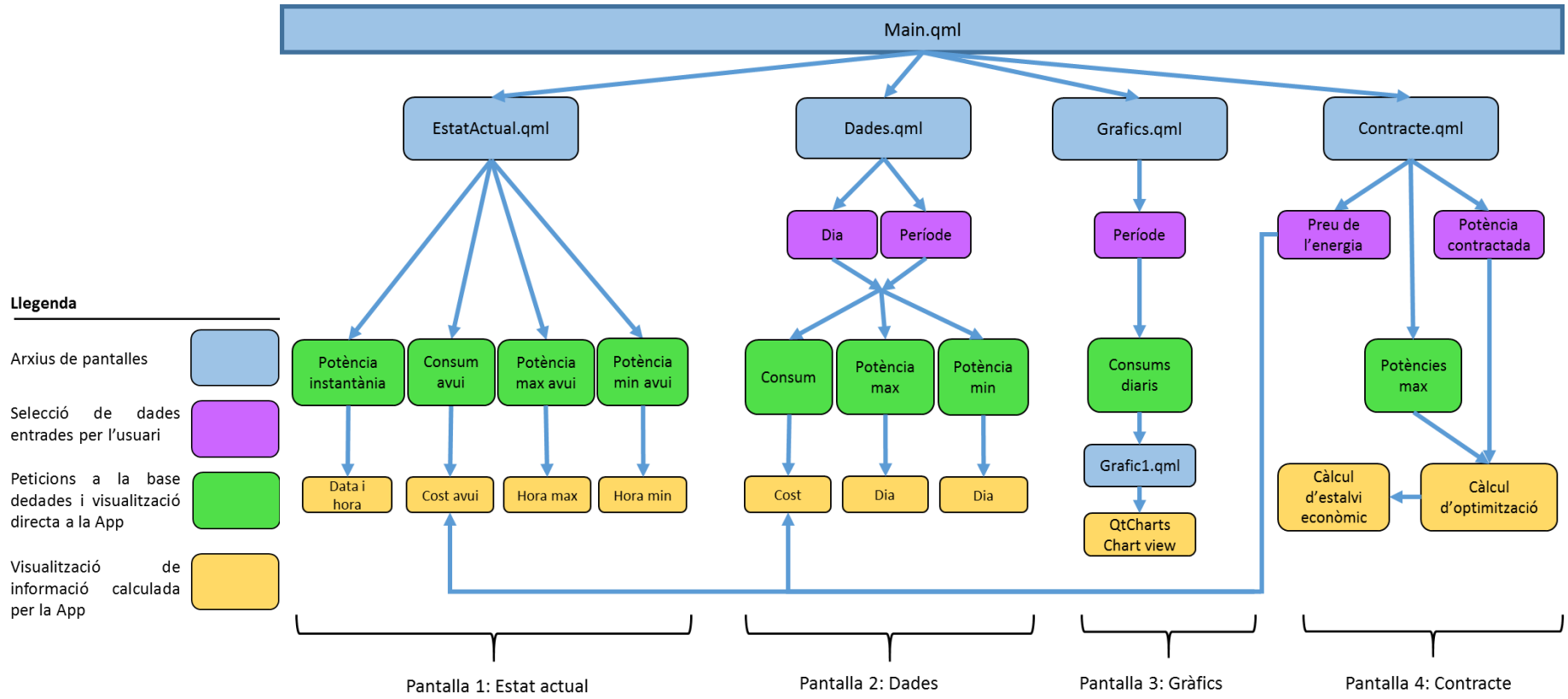


Figura 55. Diagrama modular

A la primera fila del diagrama es mostra el bloc inicial, l'arxiu Main.qml. Aquest arxiu conté el menú i gestiona les 4 pantalles que es mostren dins del Main: EstatActual.qml, Dades.qml, Grafics.qml i Contracte.qml.

A l'Estat Actual es mostra directament les dades que s'obtenen de les peticions a la base de dades de Potència instantània avui, Consum avui, Potència màxima avui i Potència mínima avui. Aquestes peticions es preparen des de l'aplicació i es mostren sense tractar-se (blocs verds). A la següent fila de blocs, de color groc, hi ha el càlcul de la data i hora en que s'ha actualitzat el valor de la potència instantània, la potència màxima i mínima, fent una conversió de format Epoch en mili segons a data i hora llegible. El bloc del cost avui es calcula a partir del Consum avui i el preu de l'energia que s'entra des de l'usuari a la pantalla de contracte.

A la pantalla de Dades té un funcionament similar a la pantalla anterior respecte al tipus de visualització de la informació, però tal com es veu al diagrama, hi ha dos blocs en color lila que demana a l'usuari que seleccioni entre dos modes, un dia concret o un període de dies. Un cop seleccionat el mode, l'aplicació prepara les peticions a la base de dades a partir dels dies seleccionats i es mostra el Consum, Potència màxima i mínima. Es calcula el cost i el dia dels màxims i mínims de potències registrades de la mateixa manera que la pantalla anterior.

A la següent pantalla, Gràfics, es té un diagrama de blocs lineal, en que es demana a l'usuari que seleccioni el període del qual es vol veure el gràfic de barres de consums diaris, l'aplicació prepara les peticions a la base de dades i un cop obtingudes i tractades les dades dels consums diaris, s'obra una nova pantalla interna, el Grafic1.qml. Aquesta s'encarrega de fer el gràfic a partir del vector dels consums mitjançant la llibreria QtCharts, que prepara els eixos segons les dades obtingudes i les mostra.

A la última pantalla, Contracte, es té un funcionament diferent de les altres. Es demana a l'usuari que es confirmi o rectifiquin les dades del preu de l'energia en €/kWh i la potència contractada en kW, que cada usuari pot treure de la seva factura elèctrica. El preu de l'energia s'utilitza per a fer el càlcul del cost del consum de les pantalles d'Estat actual i Dades.

D'altra banda, l'aplicació fa una petició a la base de dades dels màxims registrats de cada dia des de l'inici de la instal·lació del mesurador fins al dia actual. A partir d'aquestes dades, al blocs de Càlcul d'optimització s'ordenen els màxims i es fa l'algoritme per calcular el valor estàndard de la potència a contractar optimitzada.

Conegut aquest valor, al bloc de Càlcul d'estalvi econòmic, es dona dos tipus de respostes segons si la potència contractada és igual o inferior a la calculada per l'aplicació o d'altra banda la potència contractada és superior a la calculada. En el primer cas, es mostra a l'usuari que ja té la potència contractada adient. En el segon cas, es recomana a l'usuari que podria reduir la potència i aquesta reducció tindria un estalvi anual calculat segons el cost anual del kW introduït pel programa.

CAPÍTOL 9: COMPETÈNCIA GENÈRICA: APRENTATGE AUTÒNOM

La competència genèrica escollida per al Treball Final de Grau ha estat l'Aprenentatge Autònom. El tema del TFG, Aplicació mòbil pel control del consum elèctric, té una relació directa al grau d'Enginyeria de l'Energia especialment a l'eficiència energètica, però una part dels coneixements necessaris per la realització del TFG no s'han estudiats directament o en profunditat durant els estudis de grau.

Per tant, l'aprenentatge autònom ha estat la competència genèrica més necessària per aprofundir a partir dels coneixements apresos durant el grau com l'electrònica i la informàtica. Els aspectes que s'han desenvolupat a partir de llibres, articles, blocs, fòrums i pàgines web s'anomenen a continuació:

- Programació amb Arduino: per aconseguir un programa capaç de obtenir les dades del sensor, tractar-les i enviar-les al servidor a través del mòdul wifi ESP8266 s'han hagut de fer diverses proves amb circuits més senzills com un sensor de temperatura digital i prèviament conèixer en profunditat el funcionament dels dos mòduls involucrats, Arduino i ESP8266. Es va trobar molta informació a fòrums de l'Arduino i al fòrum i web oficial del ESP8266.

- Programació amb Comandes AT per al mòdul ESP8266 Wifi. En el programa de l'Arduino esmentat s'han hagut d'integrar uns comandes específics per comunicar-se amb el mòdul wifi. Cada funció que es vol fer s'ha d'enviar un comando específic i s'espera resposta. Algunes de les accions son: conèixer els punts d'accés disponibles, connectar-se a un punt d'accés, demanar l'adreça IP, enviar dades TCP/IP, entre d'altres. A partir de la taula de comandos que facilita el fabricant s'ha hagut de programar l'Arduino per tenir la connexió i enviament de les dades al servidor
- Actualització del firmware del micro-controlador. El firmware del ESP8266 que es compra porta una versió antiga, de manera que obliga a actualitzar-lo. Si no es fa, la connexió amb algun dels routers amb seguretat elevada amb encriptació i autenticació no permet la comunicació. La actualització a una nova versió s'ha fet amb un convertidor sèrie USB-TTL i amb un programa per canviar la memòria flash del micro-controlador.
- Disseny de plaques de circuit imprès i fabricació. Malgrat que es tenien coneixements teòrics de circuits electrònics, s'ha hagut de fer aprenentatge autònom per el disseny de PCB's i la fabricació de les plaques. El disseny de les pistes s'ha fet amb el programa Fritzing i l'atac químic per al prototip 1 amb informació obtinguda del web.
- Configuració de la base de dades EmonCMS: per emmagatzemar i enviar les dades a l'aplicació quan les requereix es va fer una cerca de diferents sistemes per fer aquesta funció. Finalment es va decidir utilitzar la plataforma EmonCMS i es va haver d'aprendre a configurar-la.
- Programació d'aplicacions mòbils amb el software Qt Creator. Es tenien coneixements de programació amb altres llenguatges però per fer l'aplicació mòbil s'ha hagut de fer un aprenentatge autònom intens per arribar a l'objectiu. S'ha fet els inicis amb el llibre "Introduction to Application Development with Qt Quick" i s'ha après a partir d'altres exemples i informació al web oficial.

CAPÍTOL 10: CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el projecte que es plantejava amb l'objectiu de dissenyar una aplicació mòbil capaç de monitoritzar el consum elèctric d'un habitatge, en conjunt s'ha assolit l'objectiu principal realitzant un prototip i l'aplicació mòbil.

Perquè el producte que s'ha dissenyat, el prototip i l'aplicació mòbil fos accessible per a tot tipus de persones era imprescindible que tingués un cost reduir. Un cop s'ha fet l'estudi, en el document de l'anàlisi econòmica i viabilitat que el producte dissenyat es podria comercialitzar amb una quarta part del preu dels equips comercials estudiats. El preu final tenint en compte tots els conceptes de comercialització i beneficis tindria el preu de 26,83 €.

Si ens fixem en les característiques que es proposaven per a l'aplicació mòbil especificades a la introducció de la memòria, molt semblants als dels productes comercials actuals, s'esmenten les conclusions de les característiques proposades en els objectius:

- **Mostrar en temps real la potència instantània:** és el valor que es mesura del sensor i a l'aplicació és el primer valor que es mostra a la pantalla. La comunicació inalàmbrica entre el prototip i la base de dades a limitat el temps entre les mesures del sensor, i s'ha aconseguit una freqüència de uns 18 segons per mesura. L'aplicació s'actualitza automàticament i mostra l'hora exacte de la presa de mesura. Al tractar-se d'un equip pensat per a ús domèstic, es considera acceptable el temps de mesura i l'error que es comet és petit.
- **Mostrar el consum diari i el cost econòmic segons el preu del seu contracte amb la comercialitzadora:** el consum i el cost es mostra a l'aplicació dissenyada i a més es permet a l'usuari configurar el preu del kWh del seu contracte. D'aquesta manera pot ajudar a l'usuari a decidir entre les ofertes de les companyies elèctriques.

- Mostrar la potència màxima i mínima del dia: aquests valors es mostren a la pantalla principal de l'aplicació i a més es pot veure l'hora exacte del màxim i mínim del dia. Aquestes dades facilita a l'usuari conèixer els consum nocturn o paràsit que normalment passen desapercebuts.
- Mostrar els mateixos valors esmentats però en un període seleccionat: a la pantalla de dades de la aplicació permet triar entre un dia en concret o en un període i mostra les dades demanades.
- Visualitzar gràfics de consums: es permet a l'usuari seleccionar un període i es mostra un gràfic de barres de consums adaptant-se els eixos segons el número de valors i màxims.
- Optimitzar la potència a contractar i calcular els possibles estalvis de la reducció de potència: a la última pantalla de l'aplicació permet a l'usuari aquest objectiu sense haver de tenir coneixements de contractació de l'energia. Aquest estalvi pot ser considerable depenent de cada usuari.

Al conèixer les característiques assolides de l'aplicació, si ens fixem a la fiabilitat del prototip i per tant les dades mesurades del sensor, s'han fet dos dissenys diferents per a l'adquisició de les dades del sensor i al capítol 6.4 del disseny del prototip es fa la comparativa dels dos dissenys amb un equip comercial. Les conclusions que s'extreuen de la comparativa és que el prototip 1 té errors considerables per potències inferiors als 200 W i superiors als 3500. En canvi, el prototip 2 segueix perfectament potències fins als 2000 W, i una mica inferior en valors més elevat, però sempre amb errors acceptables.

En conseqüència es proposa el prototip 2 com al més fiable. A l'aplicació mòbil es preveu tenir un error inferior al 10% del consum real, causat per factors com el tipus de les càrregues no resistives, la freqüència de mesures o les variacions de tensions.

Altres objectius relacionats era poder instal·lar l'equip al quadre elèctric fàcilment i que es connectés al router inalàmbic. Aquestes dues prioritats va complicar la comunicació a la base de dades amb el mòdul wifi, limitant el temps d'enviament de la potència instantània fins als 18 segons actuals. Per tenir una instal·lació senzilla de l'equip només es mesura la corrent i no la tensió, que pot tenir un petit error si la tensió varia, però malgrat això l'aplicació mòbil mostra valors amb una precisió acceptable.

En conjunt, els objectius plantejats per al projecte realitzat s'ha assolit l'objectiu principal, els relacionats i les característiques que es pretenien per a l'aplicació.

CAPÍTOL 11: BIBLIOGRAFIA

11.1. Referències bibliogràfiques

- [1] Circutor. *Wibee Tecnologia para la eficiencia energética*. 2015. <http://wibeee.circutor.com/> (últim accés: 10 de febrer de 2016)-
- [2] Cliensol. *Gestores de energía Recomendados*. sense data. <http://www.cliensol.es/gestores-energia-recomendados.html> (últim accés: 10 de febrer de 2016).
- [3] efergy. *e2 classic 2.0 - home energy monitor*. 2013. <http://efergy.com/es/products/e2v2-monitor> (últim accés: 4 de març de 2016).
- [4] Electrodragon Wiki. «ESP8266 AT Command Set.» 2015. <http://www.pridopia.co.uk/pi-doc/ESP8266ATCommandsSet.pdf> (últim accés: 18 de Desembre de 2015).
- [5] Emoncms and Github. *Emoncms*. s.f. <https://emoncms.org> (últim accés: 4 de Gener de 2016).
- [6] Fritzing. *Fritzing electronics made easy*. s.f. <http://fritzing.org/home/> (últim accés: 4 de Febrer de 2016).
- [7] Mirubee. *La plataforma para ahorrar a energía en casa. Comprar medidor de electricidad*. 2014. <http://www.mirubee.com/> (últim accés: 10 de Febrer de 2016).
- [8] Open energy monitor. *CT sensors - Interfacing with an Arduino*. 2012. <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/ct-sensors-interface> (últim accés: 25 de Novembre de 2015).
- [9] —. *How to build an Arduino energy monitor - measuring mains current only*. 2011. <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/how-to-build-an-arduino-energy-monitor-measuring-current-only> (últim accés: 23 de Novembre de 2015).
- [10] —. *Installation and Calibration*. s.f. <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/ct-and-ac-power-adaptor-installation-and-calibration-theory> (últim accés: 4 de Gener de 2016).
- [11] Txus, DIVERTEKA. *Control de consumo eléctrico con Arduino (1)*. 10 / Març / 2014. <http://www.diverteka.com/?p=1966> (últim accés: 13 de Octubre de 2015).
- [12] Wattio. *BAT monitor de energia*. sense data. <https://wattio.com/es/tienda/bat-3> (últim accés: 10 de Febrero de 2016).

- [13] —. *GATE Centralita domòtica intel·ligente*. sense data. <https://wattio.com/es/tienda/gate-1> (últim accés: 10 de febrer de 2016).

11.2. Bibliografia de Consulta

- Arduino . *Compare board specs*. 2015. <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare> (últim accés: 21 de Desembre de 2015).
- Digia, Qt Learning. *Introduction to Application Development with Qt Quick*. 2013.
- . *Qt Quick Application Developer Guide*. 2013.
- Dpenezic, esp8266 comunity wiki. *Modules family* . 2016.
<http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family> (últim accés: 14 de octubre de 2015).
- EpochConverter. *Epoch Converter Functions*. s.f.
<http://www.epochconverter.com/programming/#javascript> (últim accés: 16 de març de 2016).
- GitHub Inc. *How people build software*. s.f. <https://github.com/> (últim accés: 19 de febrer de 2016).
- instructables, ok1cdj. *Low cost WIFI temperature (DS18B20) data logger based on ESP8266 with connectivity to thingspeak.com*. 2015.
<http://www.instructables.com/id/Low-cost-WIFI-temperature-data-logger-based-on-ESP/?ALLSTEPS> (últim accés: 4 de gener de 2016).
- Prometec. *ESP8266 como servidor web para manejar un LED*. 2015.
<http://www.prometec.net/esp8266-con-arduino-ide/> (últim accés: 25 de novembre de 2015).
- . *Modelos EP8266. Las muchas variantes de este integrado*. juliol / 2015.
<http://www.prometec.net/modelos-esp8266/> (últim accés: 20 de novembre de 2015).
- . *Usando el módulo wifi ESP8266. Comunicación con PC mediante wifi ESP8266*. 2015.
<http://www.prometec.net/esp8266/> (últim accés: 25 de novembre de 2015).
- Recetastecnologicas, Javier. *Recetas tecnológicas. Como empezar con ESP8266*.
diciembre / 2014. <http://recetastecnologicas.blogspot.com.es/2014/12/como-empezar-con-esp8266.html> (últim accés: 4 de novembre de 2015).
- The MathWorks, Inc. *Internet of things - The open data platform for the Internet of Things* . s.f. <https://thingspeak.com> (últim accés: 10 de gener de 2016).
- The Qt Company. *ChartView QML Type*. s.f. <http://doc.qt.io/QtCharts/qml-qtcharts-chartview.html> (últim accés: 10 de abril de 2016).
- . *Qml Charts Example. Qt Charts 2.1*. s.f. <http://doc.qt.io/QtCharts/qtcharts-qmlchart-example.html> (últim accés: 15 de abril de 2016).
- Thompson, Bryan. *Getting started with the esp8266 and Arduino*. 25 de novembre de 2014. <http://www.madebymarket.com/blog/dev/getting-started-with-esp8266.html> (últim accés: 13 de novembre de 2015).
- W3school. *JavaScript Tutorial*. s.f. <http://www.w3schools.com/js/> (últim accés: 11 de març de 2016).



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anàlisi econòmica



Barcelona, 26 d'abril de 2016

Director: Samir Kanaan Izquierdo
Departament LSI (723)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDEX ANÀLISIS ECONÒMICA

ANALISIS ECONÒMICA	62
1.1 Material pel desenvolupament del projecte.....	62
1.2 Pressupost del projecte.....	64
1.3 Viabilitat del producte.....	64

ANALISIS ECONÒMICA

Al document de la memòria s'ha donat les explicat tècniques relacionades als aspectes de la electrònics i de la informàtica del prototip, de la base de dades i finalment l'aplicació mòbil. Malgrat això, en cap moment s'ha donat els costos de tots aquests processos. En aquest apartat, doncs, s'explicarà el pressupost del material del desenvolupament del projecte, el pressupost general del projecte tenint en compte el material, el cost de mà d'obra d'enginyeria i costos relacionats i finalment s'analitzarà la viabilitat del producte desenvolupat.

1.1 Material pel desenvolupament del projecte

Per poder aconseguir els objectius que es plantejaven al principi del projecte s'han anat comprant diferents components que s'han necessitat per anar desenvolupament el projecte i analitzant quin eren els productes més adequat.

Caldria destacar que no tots els components que s'han comprat no s'han convertir en els dos prototips, sinó components que s'han requerit en el seu moment i finalment no s'ha necessitat, com per exemple: un Arduino Mega, un mòdul del rellotge o un sensor DS18B20.

D'altre banda, s'han hagut de comprar més quantitats de les que s'han necessitat, tal com passa als components electrònics amb preus molt reduïts on s'ha de comprar una quantitat mínima (resistències, díodes, condensadors, convertidor AMS117 5-3.3 V), components que s'han fet malbé durant la manipulació (ESP8266 Wifi) o algun fabricant d'Arduinos Nano no oficials que no ha sigut compatible.

El llistat complet de tots els components que s'ha comprat es pot veure a continuació, amb el preu unitari, el preu total i la distribuïdora de cada component.

Taula 2. Llista del material pel desenvolupament del projecte

COMPONENTS	QUANTITAT	PREU UNIT. (€)	PREU (€)	DISTRIBUÏDOR
Circuit d'adequació. Proposta 1			1,22	
A.O. LM 358	3	0,129	0,39	DIOTRONIC
Resistència	20	0,014	0,28	DIOTRONIC
Condensador	5	0,025	0,13	DIOTRONIC
Potenciòmetre	3	0,126	0,38	DIOTRONIC
Díode 1N418	5	0,007	0,04	DIOTRONIC
Circuit d'adequació. Proposta 2			0,20	
Resistència	5	0,014	0,07	DIOTRONIC
Condensador	5	0,025	0,13	DIOTRONIC
Micro-controladors			38,89	
Arduino Mega	1	10,98	10,98	Miniinthebox
Arduino Nano	4	2,31	9,22	Banggood
ESP8266 Wifi	4	4,55	18,18	EBAY
Altres components			35,10	
Sensors SCT-013-030	3	4,41	13,24	EBAY
AMS1117 5-3,3 V	5	0,73	3,64	Banggood
AMS1117 5-3,3 V	1	2,15	2,15	electroMOD
Convertidor Serie FT232RL FTDI USB A TTL	1	4,34	4,34	EBAY
Base Jack 3.5 mm	3	1,09	3,27	MILIWATTS
Base alimentació 1.9 mm	3	0,32	0,95	DIOTRONIC
Mòdul rellotge I2C RTC-DS1307	1	2,48	2,48	EBAY
Sensor DS18B20	1	1,98	1,98	EBAY
Cablejat	1	3,05	3,05	MILIWATTS
Fabricació prototips			18,93	
Placa coure 1capa 144x160 mm	1	3,10	3,10	DIOTRONIC
Placa perforada 100x160 mm	1	3,67	3,67	DIOTRONIC
Àcid clorhídric 24%	1	1,83	1,83	DROG. BOTER
Aigua oxigenada 110 Vol	1	5,12	5,12	DROG. BOTER
Broques	3	1,74	5,21	FERRETERIA
BASE IMPOSABLE			93,84	
IVA (93,84)			19,71	
TOTAL AMB IVA			113,55	

1.2 Pressupost del projecte

Un cop s'ha calculat el material utilitzat durant el projecte, en el pressupost general del projecte s'ha de tenir en compte conceptes com la mà d'obra d'enginyeria o el cost de l'electricitat consumida, com si es tractés d'una oficina d'enginyeria real. A continuació es mostra la taula següent.

Taula 3. Pressupost del projecte

CONCEPTE	QUANTITAT (h)	PREU UNIT. (€/h)	IMPORT (€)
Enginyer junior	400	30	12000
Tutor intern	35	40	1400
Material			113,55
Electricitat	400	0,04	16
TOTAL			13.529,55

1.3 Viabilitat del producte

A l'apartat 2.1 de la memòria es va analitzar el mercat actual dels monitors d'energia comercials amb connexió a internet, amb un preu que sobrepassa els 110 € en tots els models. Un dels objectius principals del projecte és dissenyar un prototip i aplicació mòbil amb un cost reduir o low-cost, que sigui accessible a tot tipus de butxaques.

Amb les dades que aporta un monitor d'energia pot fer estalvis econòmics a partir de petites millores des de reducció d'energia fins a millores de contractació que té un estalvi directa als costos energètics.

Un cop el projecte ja està realitzat, en aquest apartat és imprescindible conèixer si el producte amb l'aplicació mòbil és viable econòmicament i ser competitiu en el mercat actual. Per això s'ha fet el càlcul del cost unitari tenint en compte tots els costos relacionats. El càlcul s'ha fet a partir de una tirada de 100 unitats, tenint en compte que hi ha despeses fixes com la fabricació professional del PCB o la del servidor de l'aplicació.

Cal tenir en compte que el producte i l'aplicació mòbil s'hauria de fer unes millores per poder entrar al mercat, però això és la base del que podria ser un producte comercial...

No s'ha plantejat en aquest projecte la finalització de un producte a punt per entrar al marcat, sinó que aquest és la anàlisis a partir del qual s'hauria de millorar i convertir a un producte atractiu a comercialitzar.

Taula 4. Preu unitari del prototip 2

CONCEPTE	QUANTITAT	PREU UNIT. (€)	PREU (€)
Resistència	2	0,014	0,03
Condensador	1	0,025	0,03
Arduino Nano	1	2,31	2,31
ESP8266 Wifi	1	4,55	4,55
Sensors SCT-013-030	1	4,41	4,41
AMS1117 5 - 3,3 V	1	0,73	0,73
Fabricació PCB professional	1	1,18	1,18
Soldadura	1	1,00	1,00
Base mini-jack i alimentació	1	1,41	1,41
Servidor App	1	0,2	0,2
Comercialització i beneficis		40% total	6,33
BASE IMPOSABLE			22,17
IVA 21%			4,66
TOTAL			26,83

A partir dels càlculs realitzats, el producte es podria vendre al preu de sortida de 26,83 €, ja inclosa les despeses de la comercialització (20%) i els beneficis que es podria obtenir (20%).

Aquest preu seria molt inferior dels actuals al mercat, reduint el preu fins al 77% del producte més barat del mercat.



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Annexos



Barcelona, 26 d'abril de 2016

Director: Samir Kanaan Izquierdo
Departament LSI (723)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDEX ANNEXOS

ANNEX A: FULLS DE CARACTERÍSTIQUES DELS COMPONENTS PRINCIPALS	70
A.1 Sensor de corrent SCT-013-030	71
A.2 Arduino NANO	72
A.3 ESP8266	75
ANNEX B: TAULA DELS COMPONENTS DELS PROTOTIPS.....	76
B.1. Taula dels components del prototip 1	77
B.2 Taula dels components del prototip 2	78
ANNEX C: TAULA DE COMANDOS AT ESP8266 [4].....	79
ANNEX D: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS.....	81
D.1 Programació de l'Arduino prototip 1	81
D.2 Programació de l'Arduino prototip 2	83
ANNEX E: TAULA DE VALORS DE LA COMPARATIVA DELS DOS PROTOTIPS	86
ANNEX F: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS	89

ANNEX A: FULLS DE CARACTERÍSTIQUES DELS COMPONENTS PRINCIPALS

A.1 Sensor de corrent SCT-013-030

Customer Title : XiDi Technology

Product Name: Splilt-core current

Manufacture Model : SCT-013-030

transformer

Charateristics: open size:13mm×13mm

1m leading wire

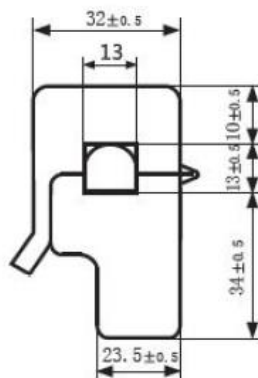
Core material:Ferrite

Fire resistance property:in accordance with
UL 94-V0

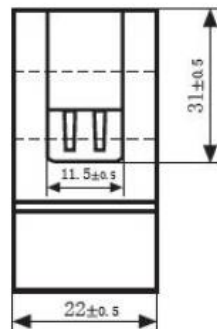
Dielectric strength: 1500V AC/1min 5mA
(between shell and output)



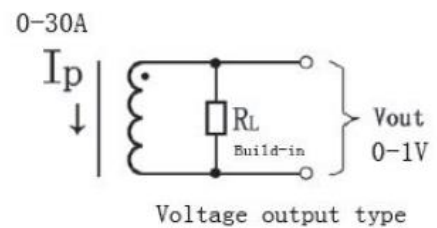
Outline size diagram: (in mm)



Front View



Side View



Voltage output type

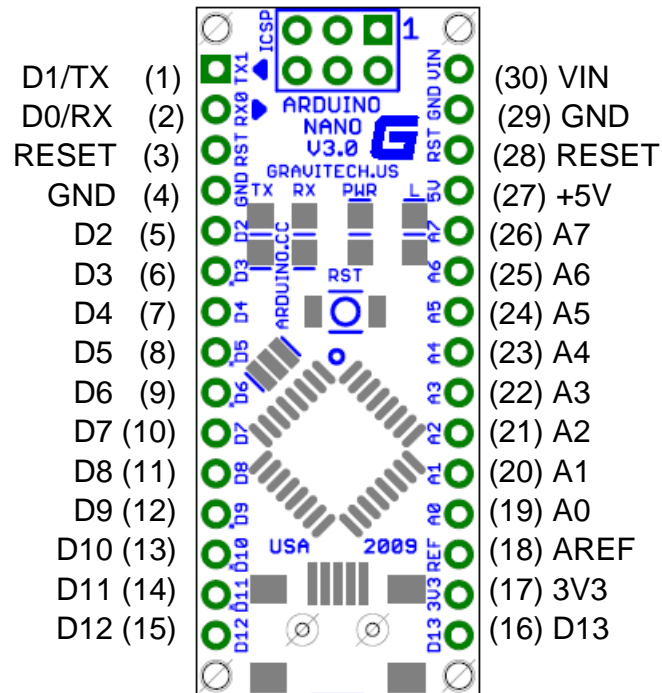
Schematic Diagram

Typical table of technical parameters:

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (RL)
0-30A	0-1V	±1%	62Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
1800:1	Grade B	-25℃~+70℃	1500V AC/1min 5mA

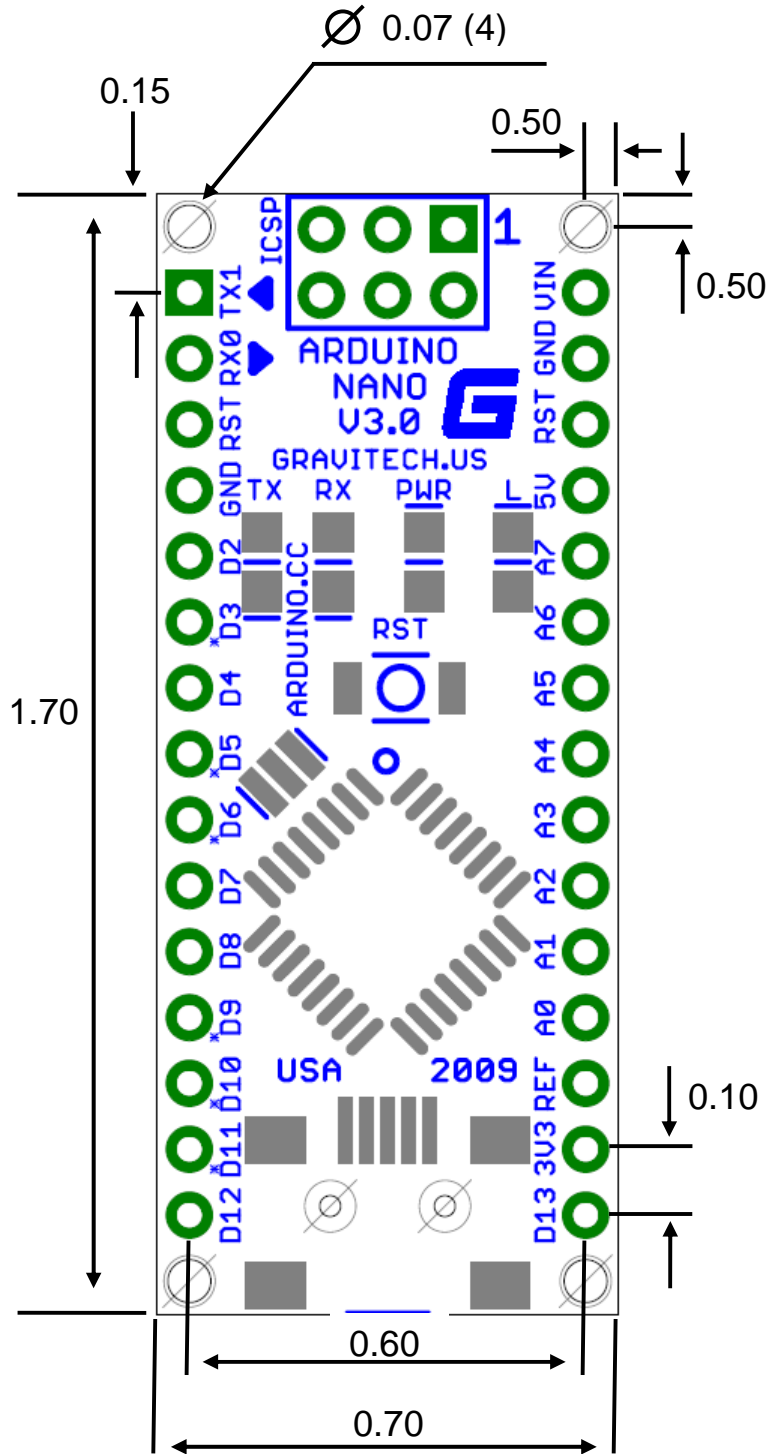
A.2 Arduino NANO

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A0-A7	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



A.3 ESP8266

El full de les característiques tècniques del mòdul wifi ESP8266-01 es pot veure a l'arxiu informàtic del CD del TFG.

ANNEX B: TAULA DELS COMPONENTS DELS PROTOTIPS

B.1. Taula dels components del prototip 1

Bill of Materials: Circuit Prototip 1

Assembly List

Label	Part Type	Properties
5V - 3.3V	Voltage Regulator AMS1117	current 1100mA; paquete sot223; variant variant 1; chip AMS1117; Voltaje 3.3
C1	Ceramic Capacitor	paquete 100 mil [THT, multilayer]; capacitance 100nF; Voltaje 6.3V
D1	Diode	paquete diode-1n4148; variant 1n4148
Nano	Arduino Nano (Rev3.0)	Tipo Arduino Nano (3.0)
Power plug1	Power plug	
R1	12k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 12k Ω
R2	10k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 10k Ω
R3	10k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 10k Ω
R4	100k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 100k Ω
R5	12k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 12k Ω
R6	Trimmer Potentiometer	paquete THT; tamaño Trimmer - 12mm; máxima resistencia 20k Ω ; track Linear; Tipo Trimmer Potentiometer
R7	220 Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 220 Ω
TRS2	Audio Jack (TRS) 3.5mm	channels Stereo (TRS); paquete PG203J [THT]; tamaño 3.5 mm
U1	LM 358 Dual Op-Amp	paquete DIP8 [THT]
U2	ESP8266 WiFi Module	variant variant 1; part number ESP8266

B.2 Taula dels components del prototip 2

Bill of Materials: Circuit Prototip 2

Assembly List

Label	Part Type	Properties
3.3V-5V	Voltage Regulator AMS1117	current 1100mA; paquete sot223; variant variant 1; chip AMS1117; Voltaje 3.3
Arduino Nano	Arduino Nano (Rev3.0)	Tipo Arduino Nano (3.0)
C1	Ceramic Capacitor	paquete 100 mil [THT, multilayer]; capacitance 100nF; Voltaje 6.3V
ESP8266	ESP8266 WiFi Module	variant variant 1; part number ESP8266
Power plug1	Power plug	
R1	10k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 10k Ω
R2	10k Ω Resistor	tolerance $\pm 5\%$; paquete THT; bands 4; espacio entre pines 400 mil; Resistencia 10k Ω
TRS2	Audio Jack (TRS) 3.5mm	channels Stereo (TRS); paquete PG203J [THT]; tamaño 3.5 mm

ANNEX C: TAULA DE COMANDOS AT ESP8266 [4]

ESP8266 AT Command Set

Function	AT Command	Response
Working	AT	OK
Restart	AT+RST	OK [System Ready, Vendor:www.ai-thinker.com]
Firmware version	AT+GMR	AT+GMR 0018000902 OK
List Access Points	AT+CWLAP	AT+CWLAP +CWLAP:{4,"RocheFortSurLac",-38,"70:62:b8:6f:6d:58",1} +CWLAP:{4,"LiliPad2.4",-83,"f8:7b:8c:1e:7c:6d",1} OK
Join Access Point	AT+CWJAP? AT+CWJAP="SSID","Password"	Query AT+CWJAP? +CWJAP:"RocheFortSurLac" OK
Quit Access Point	AT+CWQAP=? AT+CWQAP	Query OK
Get IP Address	AT+CIFSR	AT+CIFSR 192.168.0.105 OK
Set Parameters of Access Point	AT+ CWSAP? AT+ CWSAP= <ssid>,<pwd>,<chl>,<ecn>	Query ssid, pwd chl = channel, ecn = encryption
WiFi Mode	AT+CWMODE? AT+CWMODE=1 AT+CWMODE=2 AT+CWMODE=3	Query STA AP BOTH
Set up TCP or UDP connection	AT+CIPSTART=? (CIPMUX=0) AT+CIPSTART = <type>,<addr>,<port> (CIPMUX=1) AT+CIPSTART= <id><type>,<addr>,<port>	Query id = 0-4, type = TCP/UDP, addr = IP address, port= port
TCP/UDP Connections	AT+ CIPMUX? AT+ CIPMUX=0 AT+ CIPMUX=1	Query Single Multiple
Check join devices' IP	AT+CWLIF	
TCP/IP Connection Status	AT+CIPSTATUS	AT+CIPSTATUS? no this fun
Send TCP/IP data	(CIPMUX=0) AT+CIPSEND=<length>; (CIPMUX=1) AT+CIPSEND= <id>,<length>	
Close TCP / UDP connection	AT+CIPCLOSE=<id> or AT+CIPCLOSE	
Set as server	AT+ CIPSERVER= <mode>[,<port>]	mode 0 to close server mode; mode 1 to open; port = port
Set the server timeout	AT+CIPSTO? AT+CIPSTO=<time>	Query <time>0~28800 in seconds
Baud Rate*	AT+CIOBAUD? Supported: 9600, 19200, 38400, 74880, 115200, 230400, 460800, 921600	Query AT+CIOBAUD? +CIOBAUD:9600 OK
Check IP address	AT+CIFSR	AT+CIFSR 192.168.0.106 OK
Firmware Upgrade (from Cloud)	AT+CIUPDATE	1. +CIPUPDATE:1 found server 2. +CIPUPDATE:2 connect server 3. +CIPUPDATE:3 got edition 4. +CIPUPDATE:4 start update
Received data	+IPD	(CIPMUX=0): + IPD, <len>: (CIPMUX=1): + IPD, <id>, <len>: <data>
Watchdog Enable*	AT+CSYSWDTENABLE	Watchdog, auto restart when program errors occur: enable
Watchdog Disable*	AT+CSYSWDTDISABLE	Watchdog, auto restart when program errors occur: disable

ANNEX D: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS

D.1 Programació de l'Arduino prototip 1

```
#include <stdlib.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#define SSID "ROUTER2"
#define PASS "1010101010"
#define IP "80.243.190.58" //emoncms.org

const int analogInPin = A0; // analog input pin
int retardo = 5 ; // temps (segons) entre mesura
float lectura, ff, pKW, iA, vV, vS, S_Ratio;
String pKW_string;
bool enviat, rebut = false;
char res = 'iniciacio';
String GET = "GET /emoncms/input/post.json?json={Potencia_p1:";

SoftwareSerial BT1(2, 3); // RX, TX // port serie virtual

// -- inicialitza el port serie i els paràmetres -----
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  BT1.begin(9600);
```

```
S_Ratio = 36.5;          // Sensor/ratio (mV/mA ) : 36.5 ideal
vV = 230;                // valor de tension
ff = 5; // freq. factor / (50Hz -> 5 / 60Hz -> 4.15)

sendDebug("AT");
delay(1000);
if(BT1.find("OK")){
  Serial.println("RECEIVED: OK");
  connectWiFi();
}
}
// -- cos principal del programa -----
void loop(){
  lectura = smoothread (1) / 1.41;    // lectura (rms)
  iA = (lectura * S_Ratio)/1000;      // Intensitat (A)
  pKW = (vV * iA)/1000;               // Potencia (kW)

  char buffer[10];
  pKW_string= dtostrf(pKW,5,3,buffer); //conversió float - String

  enviardades(pKW_string);
  delay(10000);
}

void enviardades(String pKW_string){
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"\"";
  cmd += IP;
  cmd += "\",80\"";
  sendDebug(cmd);
  delay(2000);
  if(BT1.find("Error")){
    Serial.print("RECEIVED: Error. No s'ha pogut connectar al TCP ");
    return;
  }
  if(BT1.find("OK")){
    Serial.print("S'ha connectat al TCP cipstart");
    return;
  }
  cmd = GET;
  cmd += pKW_string;
  cmd += "&apikey=f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4"; //API servidor
emmonCMS
  cmd += "\r\n";
  BT1.print("AT+CIPSEND=");
  BT1.println(cmd.length());

  if(BT1.find(">")){
    Serial.print(">");
    Serial.print(cmd);
    BT1.println(cmd);
    delay(1500);
    enviat = true;
  }

  if (BT1.find("SEND OK")) {
    rebut = true;
  }

  if ((rebut) || (enviat)){
    Serial.println("Missatge enviat. Potencia instantania (W):" +
pKW_string);
    BT1.println("AT+CIPCLOSE");
  }
}
```

```

    } else {
        Serial.println("Potencia instantania (W):" + pKW_string);
        BT1.println("AT+CIPCLOSE");
        connectWiFi();
    }

    rebut = false;
    enviat = false;
}

void sendDebug(String cmd) {
    Serial.print("SEND: ");
    Serial.println(cmd);
    BT1.println(cmd);
}

boolean connectWiFi() {
    BT1.println("AT+CWMODE=1");
    delay(1000);
    String cmd="AT+CWJAP=\"";
    cmd+=SSID;
    cmd+="\", \"";
    cmd+=PASS;
    cmd+="\"";
    sendDebug(cmd);
    delay(5000);
    if(BT1.find("OK")) {
        Serial.println("RECEIVED: OK. Connectat al router");
        Serial.println("");
        return true;
    } else {
        Serial.println("RECEIVED: Error");
        return false;
    }
}

float smoothread(float fc) { // fc (factor corrector)
    int ni = 12; // n. d'iteracions 10-50 => smooth
    float retorno = 0.0;
    for (int x = 0; x < ni; x++) {
        do { // espero paso por cero
            delayMicroseconds(100);
        } while (analogRead(0) != 0) ;
        delay(ff); // espera centro de ciclo
        delay(10); // estabilizacion CAD
        retorno = retorno +(analogRead(0)*fc);
    }
    return retorno / ni;
}

```

D.2 Programació de l'Arduino prototip 2

```

#include "EmonLib.h" //Inclou la llibreria Emon (EmonLib)
EnergyMonitor emon1; //Crea una entrada a la llibreria
#include <stdlib.h>
#include <SoftwareSerial.h>
String pKW_string;
bool enviat, rebut = false;
float pKW;
int cont = 1;

```

```
#define SSID "ROUTER2"
#define PASS "1010101010"

#define IP "80.243.190.58" //emoncms.org
String GET = "GET /emoncms/input/post.json?json={Potencia_p2:";

SoftwareSerial BT1(3,2); // RX, TX //port serie virtual
//inicialització del port serie i els paràmetres
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Obre un port sèrie i estableix la velocitat de
dades a 9600 bps
  emon1.current(1, 29); // Corrent: (Pin d'entrada, Calibració).
  //Pin d'entrada = 1, Calibració=Ratio/BurdenR -> 1800/62 = 29.
  BT1.begin(9600);

  sendDebug("AT");
  delay(1000);
  if(BT1.find("OK")){
    Serial.println("RECEIVED: OK");
    connectWiFi();
  }
}
//cos principal del programa
void loop() {
  double Irms = emon1.calcIrms(1480); //Càlcul Irms
  pKW=(Irms*230.0*0.97)/1000;
  if (pKW < 0.033) {
    pKW = 0.000;
  }
  char buffer[10];
  pKW_string=dtostrf(pKW, 5, 3,buffer);

  if (cont >1 ){
    enviardades(pKW_string);
  }
  else{
    Serial.println("Inicialitzant ...");
  }
  cont=cont+1;
  delay(14000);
}

void enviardades(String pKW_string){
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
  cmd += IP;
  cmd += "\",80";
  sendDebug(cmd);
  delay(2000);
  if(BT1.find("Error")){
    Serial.print("RECEIVED: Error. No s'ha pogut connectar al TCP ");
    return;
  }
  if(BT1.find("OK")){ //AFEGIT PER MI
    Serial.print("s'ha connectat al tcp cipstart");
    return;
  }
  cmd = GET;
  cmd += pKW_string;
  cmd += "&apikey=f182217cc2c0f2dfb7f9ea738956afb4";
  cmd += "\r\n";
  BT1.print("AT+CIPSEND=");
  BT1.println(cmd.length());
}
```

```

if(BT1.find(">")){
    Serial.print(">");
    Serial.print(cmd);
    BT1.println(cmd);
    delay(1500);
    enviat = true;
}
if (BT1.find("SEND OK")) {
    rebut = true;
}
if ((rebut) || (enviat)){
    Serial.println("Missatge enviat. Potencia instantania (kW):" +
pKW_string);
    BT1.println("AT+CIPCLOSE");
} else {
    Serial.println("Potencia instantania (kW)...:" + pKW_string);
    BT1.println("AT+CIPCLOSE");
    connectWiFi();
}
rebut = false;
enviat = false;
}

void sendDebug(String cmd) {
    Serial.print("SEND: ");
    Serial.println(cmd);
    BT1.println(cmd);
}

boolean connectWiFi() {
    BT1.println("AT+CWMODE=1");
    delay(1000);
    String cmd="AT+CWJAP=\"";
    cmd+="SSID;
    cmd+="\", \"";
    cmd+="PASS;
    cmd+="\"";
    sendDebug(cmd);
    delay(5000);
    if(BT1.find("OK")) {
        Serial.println("RECEIVED: OK. Connectat al router");
        Serial.println("");
        return true;
    }else{
        Serial.println("RECEIVED: Error");
        return false;
    }
}
}

```

ANNEX E: TAULA DE VALORS DE LA COMPARATIVA DELS DOS PROTOTIPS

Prototip 2	
Hora	Potència (kW)
16:19:31	132
16:19:52	140
16:20:13	166
16:20:34	130
16:20:55	165
16:21:16	282
16:21:37	282
16:21:58	282
16:22:19	291
16:22:40	276
16:23:01	284
16:23:22	467
16:23:43	454
16:24:04	460
16:24:26	456
16:24:46	449

Prototip 1	
Hora	Potència (kW)
16:19:33	25
16:19:50	24
16:20:07	23
16:20:25	21
16:20:42	25
16:20:59	25
16:21:16	191
16:21:33	217
16:21:50	217
16:22:07	219
16:22:24	214
16:22:41	210
16:22:59	220
16:23:16	517
16:23:33	541
16:23:51	464

16:25:07	453
16:25:29	463
16:25:50	1050
16:26:11	1033
16:26:32	1042
16:26:53	1069
16:27:14	1035
16:27:35	1165
16:27:56	1397
16:28:17	1384
16:28:38	1354
16:28:59	1365
16:29:20	1408
16:29:41	1389
16:30:02	1960
16:30:23	1938
16:30:44	1936
16:31:05	1943
16:31:26	1950
16:31:47	1938
16:32:08	1957
16:32:29	2284
16:32:50	2316
16:33:11	2291
16:33:32	2289
16:33:53	2311
16:34:14	2296
16:34:35	2449
16:34:56	2825
16:35:17	2899
16:35:38	3087
16:36:00	3212
16:36:21	3270
16:36:42	3206
16:37:03	3304
16:37:24	3449
16:37:45	3448
16:38:06	3472
16:38:27	3484
16:38:48	1699
16:39:09	258

16:24:07	547
16:24:23	460
16:24:40	453
16:24:57	461
16:25:15	470
16:25:32	430
16:25:49	1115
16:26:06	1113
16:26:25	1116
16:26:41	1115
16:26:57	1115
16:27:15	1112
16:27:31	1110
16:27:49	1457
16:28:06	1453
16:28:23	1451
16:28:41	1452
16:28:58	1453
16:29:16	1449
16:29:33	1395
16:29:51	1965
16:30:08	1961
16:30:26	1970
16:30:43	1969
16:31:01	1969
16:31:19	1966
16:31:36	1972
16:31:53	1971
16:32:11	1969
16:32:28	2307
16:32:45	2297
16:33:04	2304
16:33:20	2302
16:33:37	2298
16:33:54	2305
16:34:12	2300
16:34:30	2467
16:34:47	2733
16:35:05	2814
16:35:22	2904
16:35:40	3004
16:35:57	3074
16:36:15	3106
16:36:33	3092
16:36:50	3122
16:37:08	3212

16:37:27	3255
16:37:42	3244
16:38:00	3256
16:38:18	3271
16:38:35	3266
16:38:52	701
16:39:10	180

ANNEX F: PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO DELS PROTOTIPS

Els arxius del codi de programació de l'aplicació es pot veure a la carpeta del CD del TFG.