



GEFI Energia

Gestió Eficient de l'Energia a l'Habitatge

Angel Navarro Betrian

ETIS Enginyeria Tècnica Informàtica de Sistemes

Jordi Bécares Ferrés

16/01/2016

Agraïments

Dedico este trabajo de final de carrera a mi mujer, por la paciencia, el apoyo y el tiempo que me ha proporcionado durante estos siete años para poder finalizar mis estudios universitarios, así como a mis dos hijos, por el tiempo que no he podido disfrutar de ellos.
Espero que en breve pueda recompensarles y por eso les digo

Muchas gracias.



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	Gestió Eficient de l'Energia a l'Habitatge
Nom de l'autor:	<i>Angel Navarro Betrian</i>
Nom del consultor:	<i>Jordi Bécares Ferrés</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>01/2016</i>
Àrea del Treball Final:	<i>TFC-Sistemes encastats</i>
Titulació:	<i>ETIS Enginyeria Tècnica Informàtica de Sistemes</i>
Resum del Treball:	
<p>Aquest projecte es troba situat al camp de la internet de les coses (IoT), que es tracta de connectar un element de la vida quotidiana, -en aquest cas un mesurador de consum elèctric-, i afegir comunicació de dades a través d'internet, per obtenir mitjançant un sensor no invasiu, les lectures del corrent elèctric que consumeix l'immoble en un determinat instant de temps.</p> <p>L'origen del projecte neix de la necessitat de conèixer l'import del consum elèctric real a l'habitatge, a causa de la inseguretat sobre les tarifes aplicades a les factures domèstiques, per part de les elèctriques, quan la contractació del subministrament elèctric (KW/h) es tarifa per fracció horària.</p> <p>El sistema desenvolupat a aquest projecte permet obtenir lectures en temps real del consum elèctric mitjançant un sensor o sonda d'efecte Hall no invasiu, ja que permet fer la mesura d'un electrodomèstic que es pot connectar a una base schuko incorporada al sistema, o bé mesurant directament sobre un cable de qualsevol instal·lació elèctrica d'una casa, sense la necessitat d'interrompre el seu funcionament.</p> <p>El projecte es troba dividit en dues parts ben diferenciades on la primera correspon al desenvolupament del firmware o programari del sistema encastat, juntament amb els circuits i elements auxiliars per obtenir les lectures de corrent, i la segona és la implementació de la interfase d'usuari per poder tractar les dades i controlar remotament el sistema.</p> <p>El prototip desenvolupat a aquest projecte té definides quatre funcionalitats que es poden</p>	

configurar remotament mitjançant una aplicació client; la primera permet activar i desactivar l'element que es vol obtenir el consum elèctric; la segona permet establir un límit de consum i, en cas de superar el nivell establert, es desconnecta l'element; la tercera funcionalitat permet seleccionar la freqüència de temps que les dades són enviades al servidor; i finalment, l'última permet sol·licitar el consum actual a petició de l'usuari.

Per desenvolupar aquestes funcionalitats, s'ha fet servir un sistema encastat LPCXpresso amb un microprocessador Cortex M3, un mòdul de comunicacions wi-fi (WiFly Rn-XV) de l'empresa Roving Networks, un convertidor de senyal USB a sèrie (CP2102) i alguns elements auxiliars per adaptar els senyals i obtenir les mesures.

Finalment, la interfase d'usuari desenvolupada, i que implementa les quatre funcionalitats bàsiques descrites, és una petita aplicació web que es troba hostejada a un servidor Apache que permet enviar les comandes al sistema encastat a través d'una connexió TCP.

Malgrat que aquesta primera versió del prototip rep les dades del consum mitjançant el servei arp@alab, el programari del sistema encastat està preparat per enviar les dades via HTML a qualsevol servidor web.

En conclusió, el sistema permet obtenir el consum d'un habitatge o un determinat electrodomèstic de forma no invasiva i remota –mitjançant wi-fi-, controlar la seva activació i desactivació, obtenir les dades amb periodicitat i conseqüentment generar estadístiques per calcular el cost del consum elèctric.

Paraules clau:

IoT, encastat, no invasiu, wi-fi, mesurador, consum, gestió, energia

Continguts

Continguts	6
Índex de figures	7
Índex de taules	9
1. Introducció	10
1.1. Justificació.....	10
1.2. Descripció	11
1.3. Objectius	11
1.4. Metodologia.....	12
1.5. Planificació	12
1.6. Recursos emprats.....	14
1.7. Productes obtinguts	16
1.8. Descripció dels altres capítols de la memòria.....	16
2. Antecedents de l'art	17
2.1. Estudi de mercat.....	18
3. Descripció funcional	19
3.1. Aplicació PC/web.....	21
3.2. Encastat	21
3.3. Elements auxiliars.....	23
4. Descripció detallada.....	23
4.1. Aplicació PC/web.....	23
4.2. Encastat	25
4.3. Elements auxiliars.....	28
4.4. Proves del sistema	32
5. Viabilitat tècnica	37
6. Valoració econòmica.....	38
7. Conclusions	39
7.1. Autoavaluació.....	40
8. Glossari	41
9. Bibliografia.....	46
10. Annexos	50
10.1. Execució i compilació	50

Índex de figures

Il·lustració 1. Proposta inicial de la fase d'implementació electrònica.....	12
Il·lustració 2. Fase d'implementació electrònica del projecte.....	13
Il·lustració 3. Proposta de la fase d'implementació interfície usuari.....	13
Il·lustració 4. Fase d'implementació interfície usuari.....	14
Il·lustració 5. Sensor SCT013-100.....	15
Il·lustració 6. Sensor ACS712.....	15
Il·lustració 7. Sensor TA12-100.....	15
Il·lustració 8. Protoboard.....	16
Il·lustració 9. Procés de recepció de missatges del sistema.....	19
Il·lustració 10. Control del relé.....	20
Il·lustració 11. Funció automàtica d'obtenció de consums i enviament al servidor.....	20
Il·lustració 12. Funció automàtica de control del llinar de consum.....	20
Il·lustració 13. Interface de proves de la part d'usuari.....	21
Il·lustració 14. Diagrama de recepció de les funcions de la web.....	21
Il·lustració 15. Diagrama de blocs que conforma el sistema GEFI Energia.....	22
Il·lustració 16. Diagrama de les funcionalitats del sistema encastat.....	22
Il·lustració 17. Diagrama de les funcionalitats auxiliars.....	23
Il·lustració 18. Diagrama de les alimentacions de les funcions auxiliars.....	23
Il·lustració 19. Recepció de la comanda OFF.....	24
Il·lustració 20. Recepció de la comanda ON.....	24
Il·lustració 21. Diagrama de blocs del sistema implementat a LPC1769.....	25
Il·lustració 22. Diagrama de blocs de la tasca <i>Amperímetre</i>	26
Il·lustració 23. Diagrama de blocs de la tasca <i>SendServer</i>	26
Il·lustració 24. Diagrama de blocs de la tasca <i>ReadCommand</i>	26
Il·lustració 25. Dades LOG del Driver Amperímetre.....	27
Il·lustració 26. Punt de mesura del senyal al canal ADC.....	28
Il·lustració 27. Senyal generada amb filtre a la sortida del rectificador.....	28
Il·lustració 28. Circuit rectificador d'ona completa.....	29
Il·lustració 29. Senyal d'entrada (blau) i senyal de sortida (groc) del rectificador.....	29
Il·lustració 30. Circuit divisor de tensió fet servir com a rectificador.....	30
Il·lustració 31. Senyal de sortida obtinguda del divisor de tensió.....	30
Il·lustració 32. Circuit i senyal de sortida d'un rectificador de mitja ona.....	30
Il·lustració 33. Circuit optoacobrador per controlar el relé.....	31
Il·lustració 34. Circuit de control del relé.....	31
Il·lustració 35. Circuit regulador de tensió.....	32
Il·lustració 36. Diagrama gràfic de les interconnexions internes del GEFI Energia.....	32

Il·lustració 37. Circuit regulador de tensió	32
Il·lustració 38. Circuit regulador de tensió	33
Il·lustració 39. Circuit regulador de tensió	33
Il·lustració 40. Sensor fent una mesura	34
Il·lustració 41. Sensor no invasiu.....	34
Il·lustració 42. Circuit regulador de tensió	34
Il·lustració 43. Conjunt dels elements del prototip GEFI Energia	35
Il·lustració 44. IDE de desenvolupament LPCXpreso.....	50
Il·lustració 45. Panell de control del servidor Apache (Xampp).....	50
Il·lustració 46. Procés de compilació del codi font.....	50
Il·lustració 47. Panell d'inici de la consola de missatges LOG	51
Il·lustració 48. Procés d'inici del sistema GEFI Energia	51
Il·lustració 49. Comanda RELE OFF rebuda.....	52
Il·lustració 50. Comanda que estableix el temps de la tasca servidor	52
Il·lustració 51. Recepció del temps de la tasca servidor	52
Il·lustració 52. Missatges d'error al enviar dada al servidor	53
Il·lustració 53. Recepció del missatge de desconnexió de la tasca servidor	53
Il·lustració 54. Comanda que estableix el consum de llindar de desconnexió.....	53
Il·lustració 55. Recepció de la comanda de llindar de consum	53
Il·lustració 56. Comanda per demanar el consum actual.....	54
Il·lustració 57. Recepció de la comanda que demana el consum actual.....	54
Il·lustració 58. Gràfica de les mesures rebudes a arp@lab	54
Il·lustració 59. Gràfica de les mesures rebudes a arp@lab d'una bombeta de 65W	54

Índex de taules

Taula 1. Mesures amb polímetre i pinça amperimètrica	36
Taula 2. Lectures obtingudes mitjançant el ADC del LPC1769	36
Taula 3. Càlcul del factor de conversió	36
Taula 4. Resultats obtinguts mitjançant SCT013-100.....	37
Taula 5. Costos del prototip GEFI Energia.....	38

1. Introducció

Aquest projecte està relacionat amb el concepte internet de les coses o IoT (Internet of Things), que a l'àmbit de la informàtica, tracta la interconnexió d'elements quotidians creant una xarxa d'objectes que poden interactuar els uns amb els altres.

En concret, es vol determinar la potència elèctrica que es consumeix, ja sigui a tot l'habitatge o a un determinat electrodomèstic, i determinar el cost que es pot arribar a generar en funció de la franja horària d'us.

Per poder assolir aquestes necessitats, el sistema llegeix el consum elèctric mitjançant un sensor no invasiu d'efecte HALL i envia les dades a un servidor remot, que permet darrerament, analitzar, generar estadístiques i, mitjançant la mesura de l'equip, la capacitat d'encendre i tancar l'aparell.

1.1. Justificació

Actualment les elèctriques apliquen la normativa de tarificació de consums elèctrics per tarificació per franja horària (preu del KW/h), on la facturació es realitza aplicant al consum real de cada franja corresponent a una hora, el preu/hora de l'energia en el mercat majorista d'electricitat.

Aquest projecte permet determinar quins són els consums dels electrodomèstics quotidians, determinar les franges horàries més òptimes per fer-los funcionar i amb quina companyia el cost elèctric és més baix.

Per desenvolupar aquest projecte s'ha escollit un sistema encastat basat en un microprocessador ARM Cortex-M3, ja que aquest tipus de sistema proporciona una arquitectura amb diferents ports, de manera que es poden controlar elements externs com pot ser convertir un senyal analògic en digital, generar un senyal PWM o bé controlar senyals d'entrada/sortida digitals.

Per complementar el desenvolupament, es fa servir un sistema operatiu determinista, de codi obert i gratuït, que fa servir poca memòria, multitasca, amb requeriments de temps real i amb una estructura del codi reutilitzable, de manera que es pugui aprofitar el codi a altres projectes.

Tanmateix, els sistemes encastats ofereixen un baix consum, cost -a l'hora de fer una producció en massa-, són de mida petita i permeten obtenir productes més compactes, assequibles i competitius.

Com a part auxiliar del projecte es fa servir un sensor d'efecte Hall no invasiu amb el que es poden fer mesures del consum elèctric que circula a través d'un determinat cable, bé sigui de l'escomesa elèctrica de l'habitatge o d'un determinat electrodomèstic, sense haver de desconnectar cap cable i consegüentment, evitar la possibilitat d'electrocució a l'hora de mesurar.

Finalment, com a valor afegit del projecte, es vol situar aquest desenvolupament en el marc de les IoT (Internet of Things), incorporant al sistema comunicació via internet, de manera que s'obtinguin les dades remotament i control remot, facilitant a l'usuari en temps real tant les dades com el control des de qualsevol lloc amb accés a internet.

1.2.Descripció

El projecte permet determinar el consum elèctric i el control d'un determinat aparell mitjançant sensors d'efecte HALL no invasius, tot i que es possible fer servir qualsevol altre sensor, encara que sigui invasiu.

Tant el sensor invasiu com el no invasiu són sensors d'efecte HALL on, el seu funcionament és el mateix, i consegüentment, el sistema és capaç de funcionar amb tots dos elements. La diferència rau en que amb el sensor invasiu és necessari intercalar el sensor en el cable a mesurar, mentre que amb el no invasiu aquesta acció no es necessària.

Per poder obtenir les lectures de consums amb qualsevol d'aquests sensors, s'ha d'adaptar la senyal –AC- per poder llegir-la i transformar-la a un tipus de senyal adequat –DC- i, un cop obtingudes les lectures, aquestes dades poden ser enviades via UART o WIFI al servidor remot, a petició de l'usuari o automàticament, on són emmagatzemades i tractades mes tard.

Així mateix el sistema és capaç, mitjançant configuració, de realitzar la connexió i desconnexió de l'aparell que es mesura en cas d'arribar a un determinat nivell de consum preestablert, a través d'un relé de 5VDC. Per poder fer servir aquesta funció és necessari intercalar a un dels cables que subministren el corrent elèctric de l'aparell al relé.

L'aplicació d'usuari és l'encarregada de mostrar les estadístiques i gràfiques de consums a partir de les dades rebudes via WIFI o USB, enviar peticions de lectura de consums i controlar l'encès i tancament de l'element que es mesura.

1.3.Objectius

L'objectiu principal d'aquest projecte és disposar d'un sistema capaç de determinar el consum elèctric d'un determinat electrodomèstic o habitatge, per poder conèixer els horaris i consums mes òptims a qualsevol franja horària del dia i poder decidir, en cas necessari, la connexió o desconnexió de l'equip per poder reduir el consum energètic i, per tant, estalviar a la factura.

A continuació es detallen els objectius principals que ha de complir el sistema:

- Mesurar el corrent elèctric mitjançant un sensor no invasiu.
- Controlar la connexió/desconnexió d'un punt de mesura remotament
- Controlar la connexió/desconnexió d'un punt per horari programat.
- Controlar la desconnexió d'un punt al superar un nivell de consum preestablert.
- Telemetria de les dades de consum en un servidor remot.
- Consultar les dades puntuals en temps real en el mateix dispositiu.
- Visualització remota de les dades.

1.4. Metodologia

La metodologia de treball emprada per assolir la realització d'aquest projecte, ha anat marcada, en un principi, per les dates de les entregues de les corresponents PACs, mitjançant les quals, s'ha anat assolint els coneixements necessaris per el correcte desenvolupament del sistema.

Un cop finalitzat el període d'aprenentatge s'han analitzat els possibles problemes per poder implementar el sistema, tal com adquirir els elements auxiliars necessaris com sensors i electrònica auxiliar, així com avaluar els possibles riscos de la viabilitat del projecte.

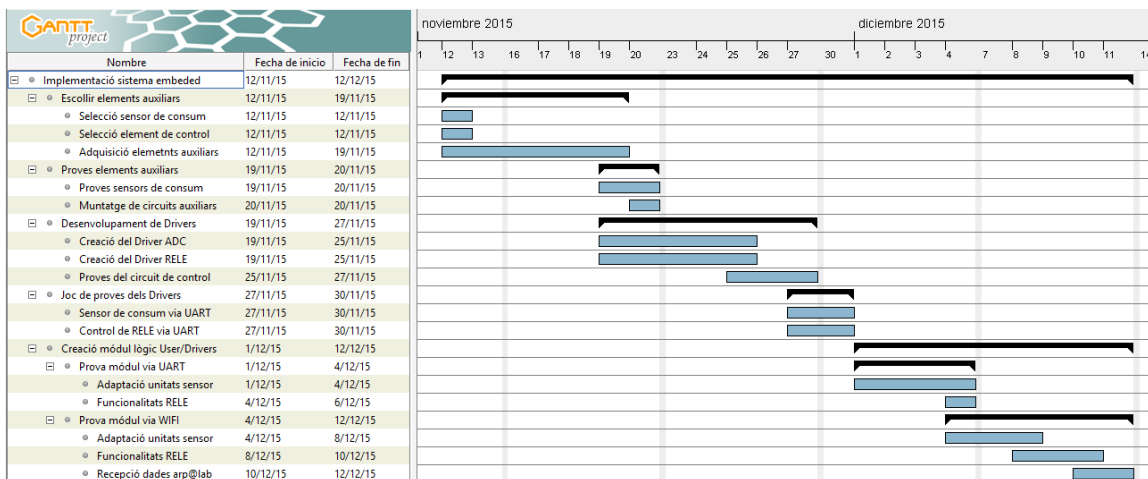
El procés d'anàlisi d'aquest riscos s'ha fonamentat prèviament en la informació cercada sobre els elements existents i la seva disponibilitat al mercat, per poder realitzar el projecte i afegir les funcionalitats descrites als objectius.

Posteriorment s'ha definit la planificació de les tasques del projecte i les fites on es poden trobar les fases de proves dels sensors, el disseny del sistema, la implementació, les proves finals de tot el conjunt i finalment la redacció de la memòria del projecte amb tota la informació obtinguda.

1.5. Planificació

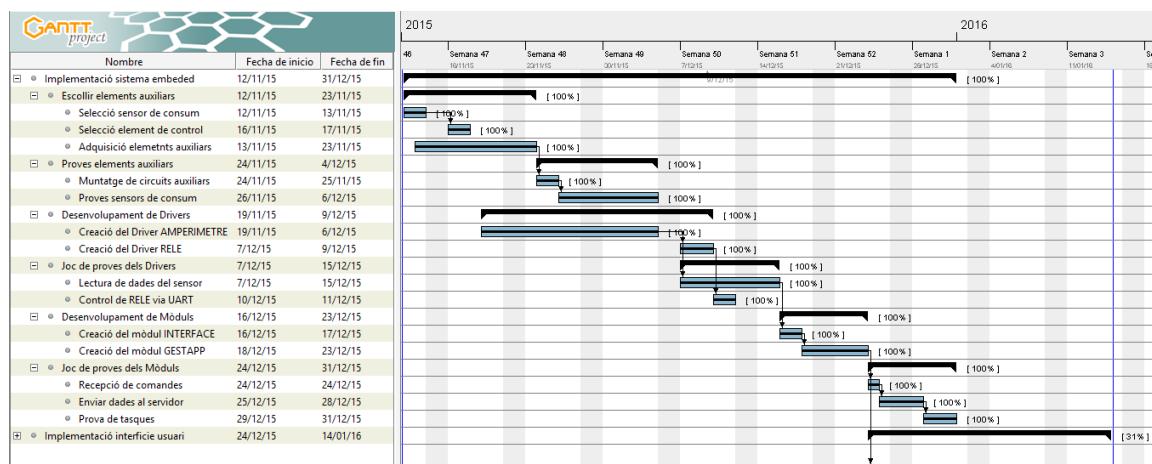
Als següents diagrames de Gantt, es pot veure la planificació prevista de les principals fites del projecte, el qual es troba dividit principalment en dues parts; la primera, que inclou el desenvolupament de la API del sistema i l'electrònica auxiliar; la segona, que inclou la implementació de la part usuari o servidor remot.

A continuació es presenta la proposta del cronograma que recull totes les fites definides al projecte i els terminis per enllestir totes les funcionalitats.



II-Iustració 1. Proposta inicial de la fase d'implementació electrònica

El següent diagrama de Gantt recull les fites i terminis reals del projecte que s'han assolit de la fase d'implementació electrònica.



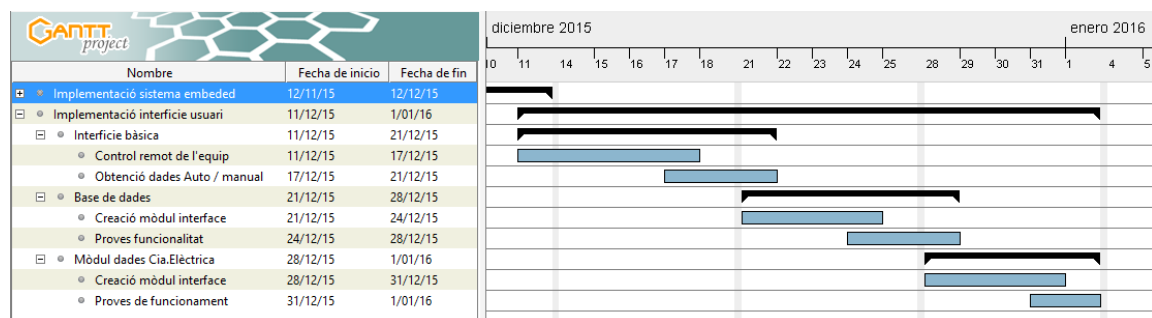
II-lustració 2. Fase d'implementació electrònica del projecte

Com es pot veure als diagrames de Gantt de la fase d'implementació electrònica del projecte, hi ha diferències notables tant en la definició de les tasques com de les dates de les fites previstes per desenvolupar cadascuna de les tasques indicades.

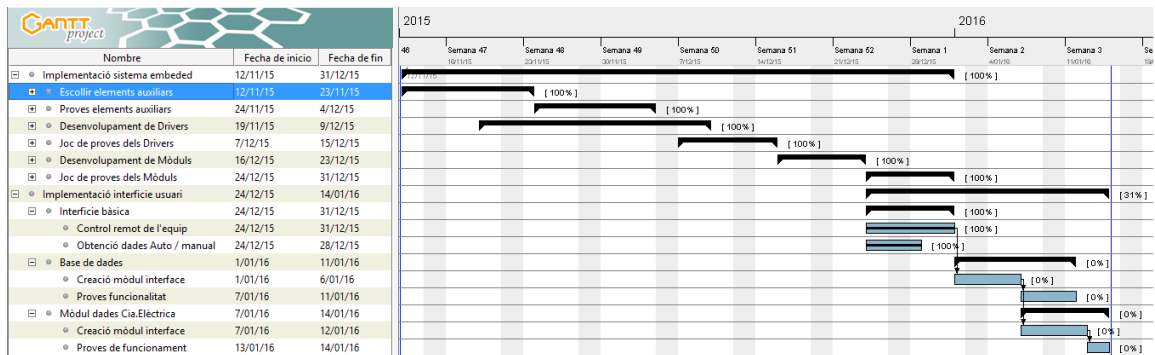
Aquest canvis han estat deguts a l'adaptació del projecte un cop analitzat en profunditat el funcionament del sensors per mesurar el corrent i l'electrònica auxiliar necessària per el correcte funcionament.

Consegüentment s'han adaptat les fites del desenvolupament dels Drivers i Mòduls, així com els percentatges que indiquen el nivell de resolució de cascuna de les tasques.

De la mateixa forma que s'ha descrit anteriorment la planificació de la part electrònica, a continuació es mostra la proposta de les fites de la implementació de la interfície d'usuari i el cronograma de les fites assolides.



II-lustració 3. Proposta de la fase d'implementació interfície usuari



II-lustració 4. Fase d'implementació interfície usuari

A diferència de la fase electrònica, s'han mantingut les fites de la implementació de la interfície d'usuari però no s'han assolit totes les tasques indicades al diagrama, donat que la part d'implementació de la fase electrònica s'ha endarrerit i, consegüentment, ha desplaçat el timing de les fites de la part usuari on es pot veure que n'hi ha fites que es troben fora de la data límit d'entrega d'aquesta part del projecte.

1.6. Recursos emprats

A aquest apartat definim els dos principals blocs que trobem a aquest projecte.

El primer bloc, recull les característiques de la part del sistema encastat (Hardware), on trobem els següents elements:

- **LPCXpresso LPC1769**

Aquest és el circuit que mitjançant una lògica de control, és capaç de rebre les dades analògiques, tractar-les i convertir-les a un format adequat per tal d'entendre-les via UART.

- **Mòdul WiFly RN-XV 802.11b/g**

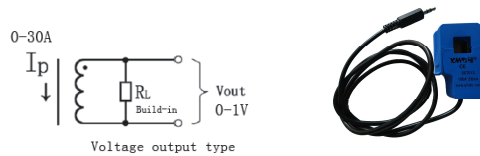
Aquest mòdul permet adaptar una comunicació sèrie a TCP/IP. Aquest mòdul, és un circuit de baix consum que incorpora un emissor 802.11 b/g i la seva pila és capaç de suportar protocols DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, client HTTP, client FTP i client TCP. A banda, aquest mòdul disposa de 8 ports E/S configurable i 3 entrades analògiques per a sensors.

- **CP2102 UART to USB converter**

El mòdul CP2102 és un convertidor de comunicacions UART a USB i a l'inrevés amb el que es pot comprovar les comunicacions amb la interfície del sistema desenvolupat.

- **Sonda Amperimètrica SCT013-xxxV**

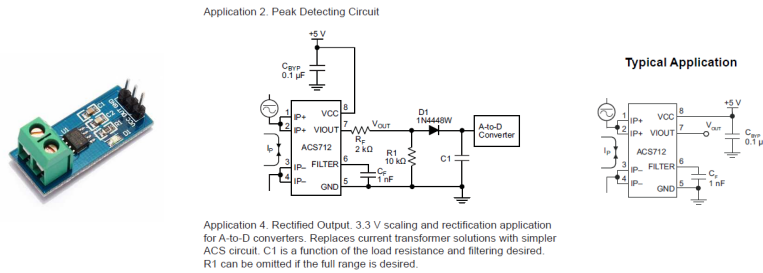
Converteix el camp magnètic, que circula per un conductor, en una cert corrent de sortida proporcional al induït per efecte HALL. Sonda no invasiva que no cal intercalar-la al cable a mesurar i per tant no es necessari interrompre el funcionament de l'electrodomèstic que es vol obtenir el consum.



II-lustració 5. Sensor SCT013-100

- **Mesurador de corrent IRMS ACS712**

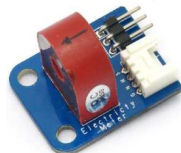
L'ACS712 és un circuit integrat que permet mesurar el corrent elèctric per efecte HALL, on el funcionament es el mateix que el de la sonda Amperimètrica, tot i que es diferencia en que s'ha de interrompre el circuit a mesurar.



II-lustració 6. Sensor ACS712

- **Mesurador de corrent TA12-100**

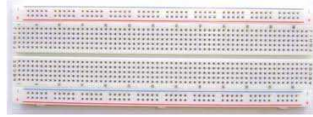
Converteix el camp magnètic, que circula per un conductor, en una certa tensió de sortida proporcional a la induïda per efecte HALL. Aquest sensor és invasiu i per consegüent, cal obrir el circuit per fer passar el cable de l'electrodomèstic que es vol mesurar.



II-lustració 7. Sensor TA12-100

- **Elements electrònics variis**

Tauler amb forats connectats elèctricament segons un patró definit amb el que es pot inserir components electrònics i cables per realitzar proves de funcionament abans d'implementar un circuit definitiu.



Il·lustració 8. Protoboard

- Software emprat per al desenvolupament del sistema
 - IDE LPCxpresso v.7.9.2
 - Sistema operatiu FreeRTOS

Finalment al segon bloc, els recursos emprats per al desenvolupament de la part d'usuari són els següents:

- PC sobretaula amb Windows 7
 - Servidor web PHP (XAMP)
 - IDE Aptana Studio (Desenvolupament de la part WEB amb PHP)
 - PutTTY (Consola de comunicacions Sèrie / Telnet)

1.7.Productes obtinguts

A continuació es detallen els productes obtinguts del sistema desenvolupat al projecte.

- Aplicació de control per obtenir les mesures de corrent elèctric, controlar l'activació i desactivació de l'equip mesurat mitjançant un relé i enviar les dades al servidor remot.
- Circuit adaptador de tensions que transforma les tensions subministrades pels transformadors que alimenten els circuit auxiliars.
- Circuit d'adaptació del senyal proporcionat pels sensors –rectificador d'ona completa-
- Circuit de control d'un relé amb acoblament òptic
- WEB de proves

1.8.Descripció dels altres capítols de la memòria

Seguidament a aquest punt, es detalla mes a fons totes les característiques i peculiaritats del desenvolupament del projecte, així com el detall de funcionament i les conclusions estretes de les proves i dissenys implementats.

El punt 2 recull una breu descripció de les característiques dels elements necessaris del GEFI Energia i un petit estudi de mercat, amb productes que tenen característiques semblants al desenvolupat.

El següent punt és l'introducció les funcionalitats incorporades al sistema d'una forma esquemàtica, és a dir, sense aprofundir gaire en el procés.

Tot seguit, el punt 4 descriu en profunditat tots els elements introduïts a l'apartat número 3 que es divideix bàsicament en quatre apartats, el primer inclou la part de funcionament entre el servidor i el GEFI energia, la segona inclou el funcionament intern del sistema encasta, el tercer descriu els elements auxiliars que aporten al sistema el seu funcionament i, darrerament, les proves realitzades amb el prototip.

Finalment a la resta de punts de la memòria, es fa una valoració del cost del sistema on s'inclou la viabilitat tècnica del projecte, les conclusions estretes del procés d'implementació del projecte i documents annexos que aporten informació afegida al projecte .

2. Antecedents de l'art

L'element principal del sistema presentat a aquest projecte és el sensor d'efecte Hall mitjançant el qual es pot transformar el camp magnètic que circula per un determinat fil conductor en corrent elèctric i posteriorment en tensió elèctrica.

Els sensor existents actualment al mercat funcionen amb el mateix principi -efecte Hall-, encara que es poden trobar petites diferències entre ells segons es pot veure a continuació.

- SCT013-100 Aquest element és un sensor d'efecte Hall no invasiu, capaç de mesurar fins a 100 ampers de corrent i no incorpora cap mena d'electrònica addicional –resistència de càrrega i rectificador d'ona- per poder transformar el corrent elèctric en tensió mesurable per un convertidor analògic a digital (ADC) com els que incorpora el circuit encastat fet servir a aquest projecte.
- TA12-100 Una de les principals diferències que es poden trobar entre aquest sensor i el SCT13-100 és que incorpora una resistència de càrrega de 60 Ohms sobre un circuit electrònic, permetent transformar el camp magnètic mesurat en tensió sense necessitat d'elements externs malgrat que també fa falta un circuit rectificador d'ona. La segona diferència rau en que aquest sensor és invasiu i consegüentment és necessari interrompre el circuit on es troba connectat l'element/equip a mesurar.
- ACS-712 Finalment aquest últim sensor és molt semblant a l'anterior però, a diferència del TA12-100, aquest incorpora electrònica addicional que permet introduir la senyal obtinguda directament al ADC doncs incorpora un díode com a rectificador de mitja ona i un condensador a la sortida com a filtre.

El segon element important del projecte és el rectificador d'ona que es fa servir per després convertir el senyal d'analògic a digital. Al mercat existeixen diferents tipus de rectificadors d'ona encara que els mes efectius són els implementats amb amplificadors operacionals.

Com a últim element important de la part del sensor del projecte es troba el ADC (Analogic Digital Converter) on es depèn del nombre de bits de resolució del convertidor per poder obtenir una mesura mes acurada, ja que mitjançant el nombre de bits s'obté el nombre de nivells en que es divideix el senyal d'entrada del convertidor ADC tenint en conte la tensió màxima de referència.

2.1. Estudi de mercat

Actualment al mercat es poden trobar algunes solucions semblants i que proporcionen totes o part de les funcionalitats descrites a aquest projecte.

El primer equip que s'ha analitzat amb unes característiques semblants al GEFI és el que ofereix l'empresa Mirubee i les funcionalitats que incorpora el Mirubox són les següents:

- Incorpora dos sensors no invasius
- Pot determinar patrons d'electrodomèstics
- Proporciona el consum en temps real
- Facilita l'energia consumida per un determinat aparell
- Registra els consums màxims i mínims
- És necessari una connexió WiFi per envia les dades al programari WEB o mòbil
- L'import de venda és de 120,00€ aproximadament

El segon equip analitzat s'anomena EFERGY E2 i les principals característiques que ofereix són les següents:

- Incorpora un sensor no invasiu
- Proporciona consum en temps real
- Incorpora monitor sense fils per la visualització
- El monitor és l'encarregat d'emmagatzemar les dades
- Té programari auxiliar per generar les gràfiques amb les dades del monitor
- Proporciona connexió a l'equip via USB
- L'import de venda és de 75,00€ aproximadament

I finalment, l'últim dels mesuradors de consum elèctrics avaluats és el Unotec EcoPlug II amb les següents característiques:

- No incorpora sensor per mesurar, es connecta l'electrodomèstic a una base Schuko
- Proporciona consum en temps real
- Incorpora pantalla tipus LCD de visualització de dades
- No disposa de cap tipus de connexió per descarregar les dades
- Emmagatzema el consum total dels últims set dies
- L'import de venda és de 35,00€ aproximadament

Com es pot veure als equips analitzats, no existeix un equip que reculli totes les característiques definides anteriorment i per tant existeix una oportunitat de negoci en aquest camp.

El GEFI Energia incorpora, de manera semblant, les principals característiques dels equips analitzats i afegeix algunes altres característiques, per exemple control de connexió de l'electrodomèstic.

El desenvolupament del GEFI Energia s'ha realitzat amb un circuit encastat LPC1769 que incorpora un processador ARM Cortex M3 encara que al mercat existeixen altres alternatives de sistemes encastats com Arduino o bé Raspberry PI.

La principal diferència, sense entrar en detall de les característiques tècniques de cadascun dels sistemes encastats, és el propòsit pel que han estat desenvolupats.

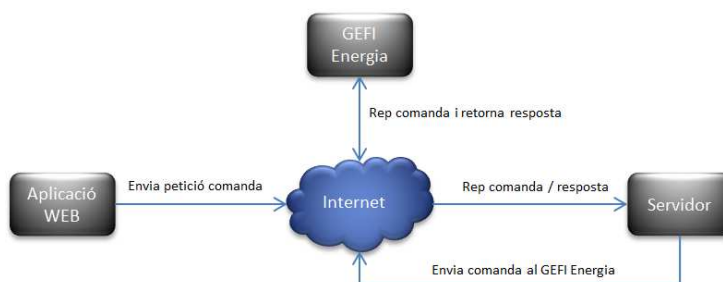
L'Arduino és un circuit amb un processador ATmega i el seu propòsit general és facilitar l'aprenentatge i la introducció al món de l'electrònica i la robòtica dels usuaris, mentre que la Raspberry PI és un sistema més focalitzat a l'aprenentatge de la programació.

En el cas de LPC1769 fet servir per desenvolupar el GEFI Energia, és un circuit de propòsit general i que fa servir un microprocessador que es s'utilitza a l'indústria, per tant es pot considerar un producte més professional.

3. Descripció funcional

El funcionament del GEFI Energia és semblant al dels equips analitzats al punt anterior tot i que s'han afegit algunes funcionalitats que donen un valor afegit al desenvolupament.

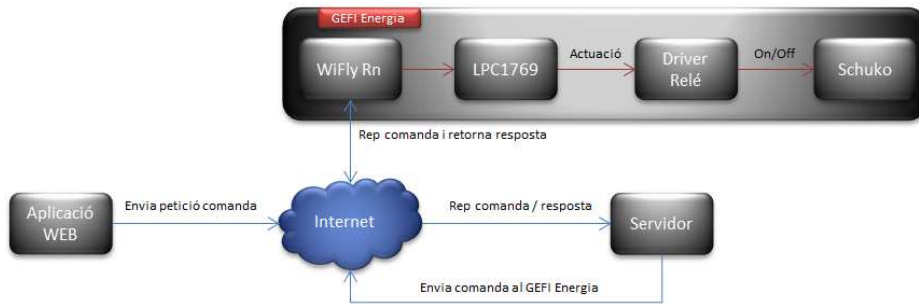
A continuació es pot veure una petita il·lustració que representa la comunicació entre la part usuari i el sistema encastat on primerament l'usuari, mitjançant l'aplicació Web, envia la petició de comanda al servidor i seguidament aquesta és processada i enviada al LPC1769 de manera que un cop verificada, es retorna missatge de recepció al servidor.



Il·lustració 9. Procés de recepció de missatges del sistema

El GEFI Energia té definides quatre funcions bàsiques, la primera permet connectar i desconnectar el relé que controla la base schuko connectada al sistema; la segona permet establir el temps que triga el sistema en enviar la potència de consum actual al servidor; la tercera permet establir el llindar de desconexió del relé en cas de superar el nivell de consum establert; i l'última funció és l'encarregada d'enviar la potència que es consumeix a l'instant de temps de la consulta.

La següent il·lustració mostra la funció d'activació i desactivació del relé partint de la interface d'usuari, un cop s'ha rebut i verificat la comanda per part del servidor i posteriorment pel GEFI Energia.



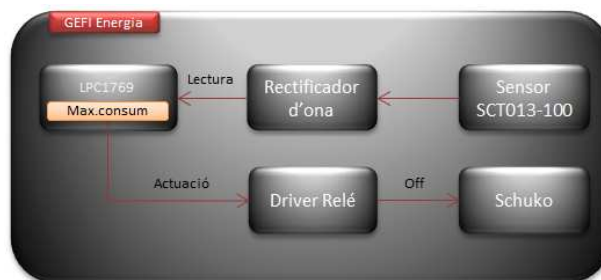
Il·lustració 10. Control del relé

La segona funció es representa mitjançant la següent il·lustració, i mostra el funcionament del procés automàtic que segueix la tasca que envia el consum al servidor, ja que s'executa cíclicament segons un temps preestablert.



Il·lustració 11. Funció automàtica d'obtenció de consums i enviament al servidor

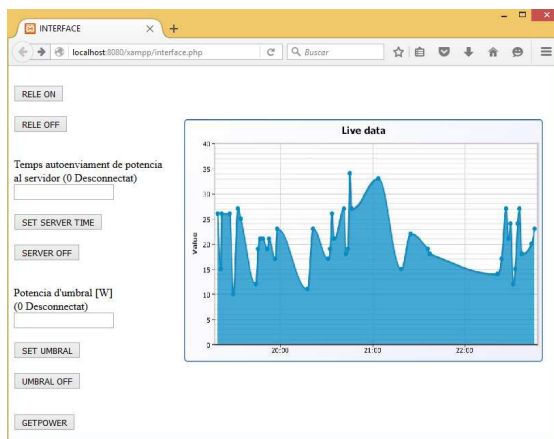
De forma semblant al procés que efectua la tasca per enviar dades automàticament al servidor, el GEFI Energia executa el procés de lectura i verificació del consum; aquest procés es pot veure a la següent il·lustració.



Il·lustració 12. Funció automàtica de control del llindar de consum

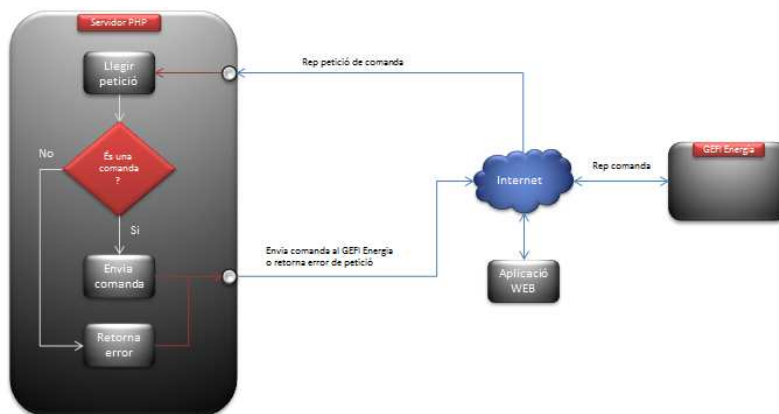
3.1. Aplicació PC/web

Per poder fer les proves del sistema, s'ha implementat una petita web amb les quatre funcionalitats introduïdes al punt anterior on, a la següent il·lustració, es pot veure la interfície generada i que implementa les quatre funcionalitats que es descriuran a continuació.



Il·lustració 13. Interface de proves de la part d'usuari

Sense introduir gaires detalls del procés, a continuació es pot veure gràficament el funcionament de la interconnexió entre l'aplicació web i el servidor encarregat d'enviar les comandes al sistema GEFI Energia.



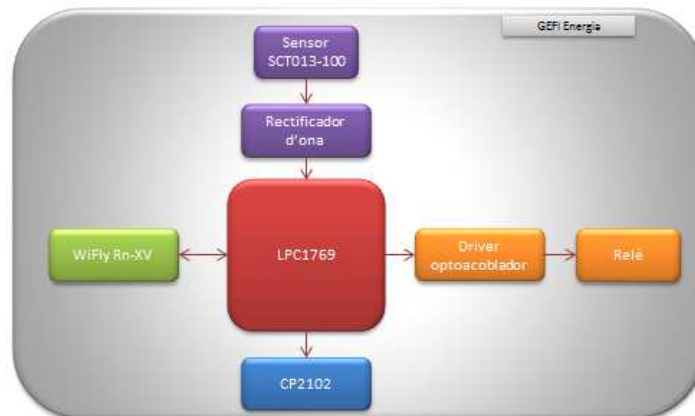
Il·lustració 14. Diagrama de recepció de les funcions de la web

3.2. Encastat

Arribats a aquest punt, s'ha introduït la idea general de les funcions bàsiques que implementa el GEFI Energia i les funcions que es manipulen des de la interfície d'usuari i consegüentment, s'introdueixen les funcionalitats que es troben implementades al sistema encastat.

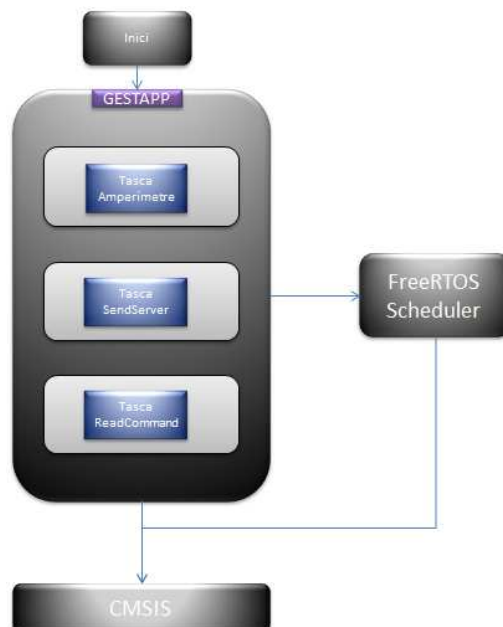
El següent diagrama mostra, diferenciat per colors, les diferents parts que conformen el sistema GEFI Energia on es poden identificar quatre grups diferenciats; el primer, amb color violeta,

conforma el bloc sensor per obtenir els consums; el segon bloc, de color carbassa, la part encarregada de controlar la connexió i desconnexió de la base schuko; el tercer, de color verd, és la part encarregada de donar connectivitat WIFI al sistema; i finalment, l'element de color blau, serveix per visualitzar les traces de l'aplicació.



II-lustració 15. Diagrama de blocs que conforma el sistema GEFI Energia

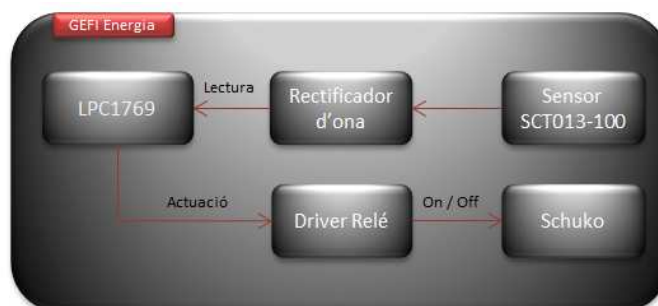
LPC1769 és el responsable de gestionar les tasques del sistema encarregades de les funcionalitats ja descrites, especialment el mòdul que es mostra a la següent il·lustració, atès que com es pot veure, incorpora la funcionalitat *amperímetre*, la *SendServer* i finalment la tasca *ReadCommand*.



II-lustració 16. Diagrama de les funcionalitats del sistema encastat

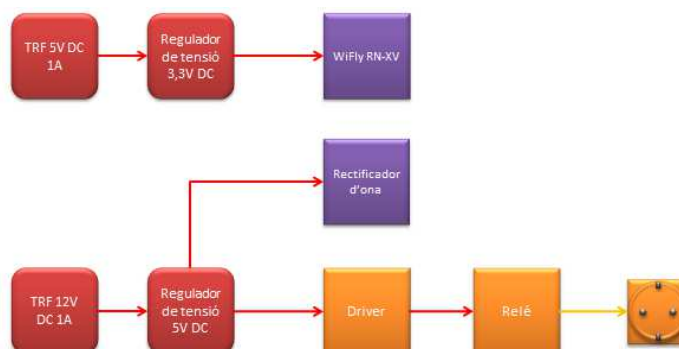
3.3. Elements auxiliars

Per finalitzar la introducció de les funcionalitats del sistema, són indispensables diversos elements auxiliars que permeten, d'una banda, mesurar el corrent que es consumeix i, d'un altre costat, el control del relé que permet activar i desactivar la base schuko on es connecta l'element a mesurar.



Il·lustració 17. Diagrama de les funcionalitats auxiliars

Per que aquests elements auxiliars funcionin, són necessaris uns altres elements auxiliars que suministrin els voltatges adequats a cadascun dels elements, com es mostra a la següent il·lustració.



Il·lustració 18. Diagrama de les alimentacions de les funcions auxiliars

4. Descripció detallada

Al punt anterior s'ha fet la introducció de les funcions de les parts que formen el GEFI Energia i, a diferència del punt 3, aquest apartat continua amb una descripció més acurada de les funcionalitats, tant la part de mesura de corrent com la interfície d'usuari.

4.1. Aplicació PC/web

A la il·lustració 14 de l'apartat 3.1 es pot veure l'esquema d'interaccions entre l'aplicació web, el servidor i el GEFI Energia, i que a continuació es detalla el seu funcionament.

La interfície d'usuari és una petita plana web desenvolupada en PHP que es troba ubicada al servidor, de manera que amb els botons i camps que es troben definits, es pot enviar les comandes per interactuar amb el sistema.

L'arxiu que conté la interfície d'usuari és *Interface.php* amb el que mitjançant els botons i camps definits, les sol·licituds de comandes són enviades amb el mètode post a l'arxiu de procés anomenat *client.php* i a continuació, ser processades i enviades al GEFI Energia.

S'ha definit, per a cadascun dels botons, una comanda que el sistema GEFI Energia es capaç d'interpretar i processar; d'altre banda, a continuació es detallen les funcionalitats implementades a la interfície d'usuari.

Les funcionalitats que es troben implementades a la web són les següents:

- Botó *Relé ON* i *Relé OFF*. Mitjançant aquests dos botons, es pot activar o desactivar el relé que controla el corrent de la base schuko del GEFI Energia. Les comandes que envia el servidor al sistema quan qualsevol dels dos botons es clica són '*RELE.ON\r\n*' i '*RELE.OFF\r\n*' respectivament, com es pot veure a les següents il·lustracions.

```
Command -> *OPEN*RELE.OFF
RELE OFF
Comanda rebuda: *OPEN*RELE.OFF
```

Il·lustració 19. Recepció de la comanda OFF

```
Command -> *OPEN*RELE.ON
RELE ON
Comanda rebuda: *OPEN*RELE.ON
```

Il·lustració 20. Recepció de la comanda ON

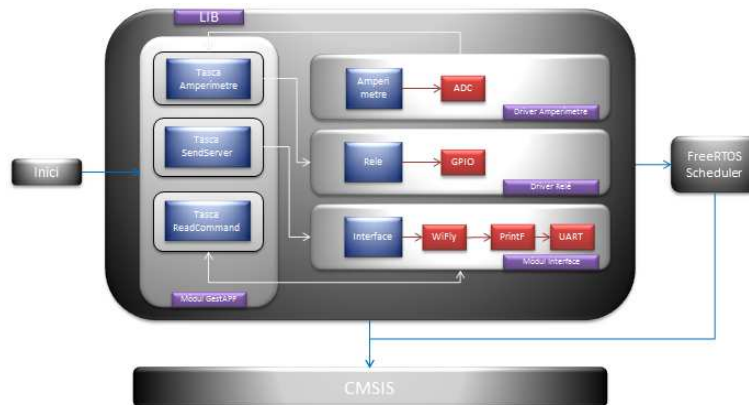
- Camp *Temps auto enviament de potencia*. Aquest camp permet seleccionar l'interval de temps (en segons), que la tasca del GEFI Energia triga en tornar a executar-se, per obtenir el consum i enviar la dada al servidor.
- Botó *Set Server Time*. Envia la comanda al servidor PHP per establir el temps indicat al camp *Temps auto enviament de potencia* però, si el temps establert és 0, es desactiva la funció automàtica. Aquesta comanda té la peculiaritat de que porta com a paràmetre el temps establert al camp d'interval i per tant, qual el servidor rep la sol·licitud, codifica la comanda incloent el temps '*SRVON.temps*'.
- Botó *Server OFF*. Envia la comanda per desconnectar la tasca automàtica encarregada d'enviar el consum al servidor. La comanda que es enviada per aquest botó és '*SRVOFF\r\n*'.
- Camp *Potència lllindar [W]*. Aquest camp permet establir el lllindar de potència màxima que es consumeix i, en cas de superar el nivell seleccionat, es tancar el relé que controla la base schuko.
- Botó *Set Lllindar*. Envia la comanda al servidor i estableix el lllindar de consum indicat al camp *Potència lllindar [W]* o bé, si el consum establert és 0, es desactiva la funció de desconnexió per lllindar de potència. De manera semblant a la funció *Set Server Time* la comanda per establir el temps de lllindar é la següent '*UMBON.potencia*'.
- Botó *Lllindar OFF*. Envia la comanda que desconnecta la funció -llindar de potència- i la comanda que envia el servidor al sistema és '*UMBOFF\r\n*'.

- Botó *GETPOWER*. Mitjançant aquest botó, l'usuari demana al sistema GEFI Energia que llegeixi el consum actual i seguidament retorni la dada obtinguda al servidor. La comanda que envia el servidor al sistema és '*GETPOWER\r\n*'.

4.2. Encastat

Començant amb la il·lustració 16 de l'apartat anterior, mostra la tasca principal que gestiona el funcionament de tot el sistema anomenada *GESTAPP*, de manera que hi ha representades les tres tasques que el mòdul del sistema gestiona.

Com es pot veure al següent diagrama de blocs del sistema, es mostra la interconnexió entre els diferents Drivers, mòduls, gestor de tasques del FreeRTOS i finalment LPC1769, de manera que tot el conjunt funciona com es detalla a continuació.

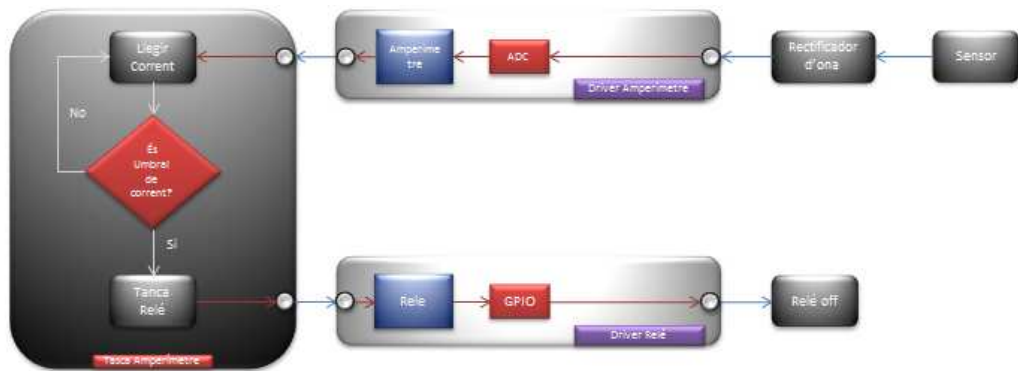


Il·lustració 21. Diagrama de blocs del sistema implementat a LPC1769

Primerament quan s'inicia el sistema, es crida al mòdul GestAPP i es configuren tots els paràmetres necessaris dels Drivers de control i els mòduls de gestió i, un cop finalitzada la inicialització es generen les tres tasques que controlen les funcionalitats del sistema.

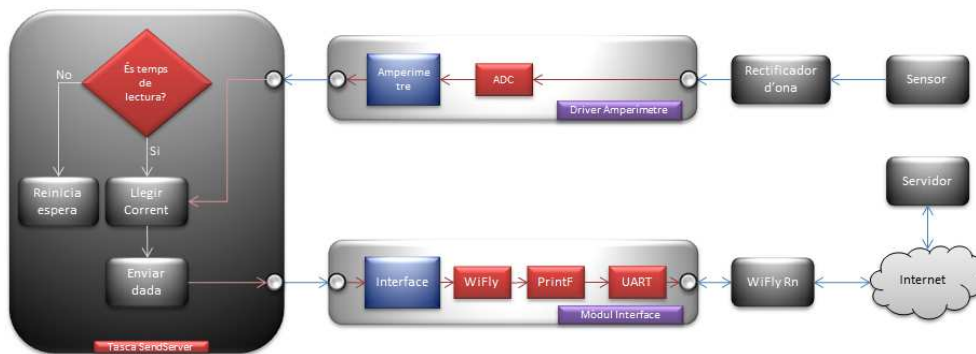
El funcionament de cadascuna de les tasques que mostra la il·lustració anterior, es descriu a continuació:

- Tasca *Amperímetre*. Aquesta funcionalitat és l'encarregada d'obtenir el consum de l'element que mesura el sistema i en cas d'estar activa la funció llindar, verificar que cada vegada que es executa la tasca, el consum no supera el màxim permès.



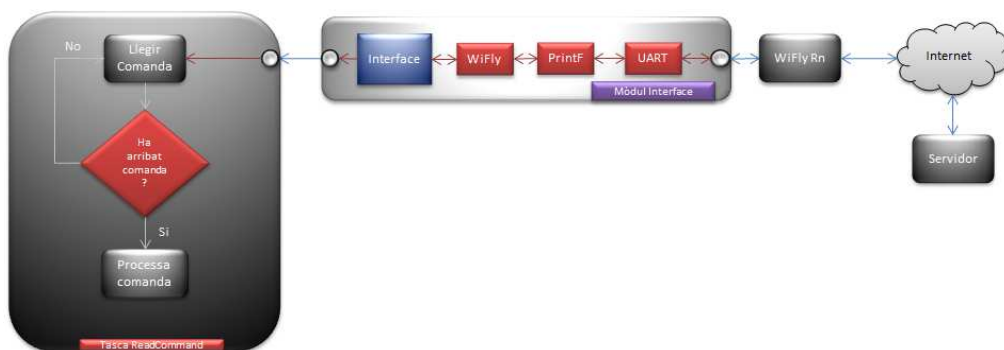
II-lustració 22. Diagrama de blocs de la tasca *Amperímetre*

- Tasca *SendServer*. Mitjançant aquesta funcionalitat, que s'executa cíclicament en funció del temps prèviament establert, s'obté el consum en el moment d'execució i s'envia al servidor.



II-lustració 23. Diagrama de blocs de la tasca *SendServer*

- Tasca *ReadCommand*. Aquesta tasca és una funció automàtica que s'encarrega de llegir el buffer de recepció de dades i verificar si s'ha rebut una comanda per part del servidor i, en cas de rebre una comanda vàlida, executar les accions associades.



II-lustració 24. Diagrama de blocs de la tasca *ReadCommand*

Com es pot observar als gràfics que mostren el funcionament de les tasques anteriorment definides, cadascuna implementa un conjunt de Drivers i mòduls que tot seguit es descriu el seu funcionament.

- Driver Amperímetre. És l'encarregat de retornar la potència mesurada, mitjançant les funcionalitats que incorpora el Driver ADC, amb les crides a la API del CMSIS.

El Driver Amperímetre incorpora una funcionalitat LOG que serveix per visualitzar per pantalla la tensió de sortida del rectificador, la tensió d'entrada, el valor digital de la lectura obtinguda i el corrent que es consumeix a l'instant de realitzar la mesura.

Al següent apartat d'elements auxiliars es detalla tant el funcionament del circuit amplificador com els valors obtinguts que es mostren a la següent imatge.

```
----- vTaskAmperimetre -----
ADC Mostra 0
ADC min Sample 0
ADC max Sample 0

*****

- Tensió vivenda [V] --> 230
- Lectura del ADC [bits] --> 19
- Tensió de sortida al OPAM [V] --> 0.015311
- Tensió d'entrada al OPAM [V] --> 0.004400
- Corrent d'entrada al OPAM [A] --> 0.000044
- Tensió RMS d'entrada al OPAM [V] --> 0.003111
- Corrent RMS d'entrada al OPAM [A] --> 0.000031
- Corrent consumida [A] --> 0.087996
- Potència calculada [W] --> 20.239147
```

Il·lustració 25. Dades LOG del Driver Amperimetre

El ADC conté les funcions de parametrització i lectura que criden al API del LPC1769 per obtenir el valor de la tensió de l'entrada analògica indicada, mitjançant un seguit d'adreces i registres.

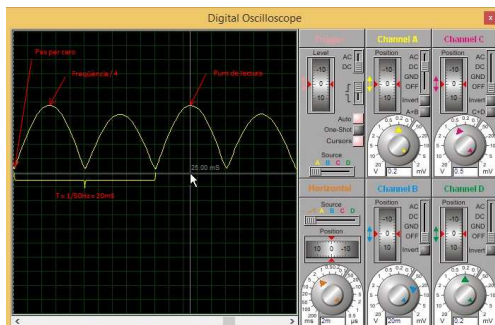
Els 8 canals ADC de LPC1769 permeten obtenir una lectura de 12bits, es a dir, es pot obtenir una lectura de 4096 nivells en funció de la tensió de referència. El GEFI Energia fa servir 3.3Vref i per tant, el valor mínim que es pot llegir a qualsevol canal ADC és 0,8mV/bit.

El següent paràmetre dels canals ADC amb rellevància, és la freqüència de mostreig necessària per obtenir un valor, ja que aquesta ha de ser com a mínim el doble_{T1} de la freqüència de la senyal mesurada. En el cas del GEFI Energia fa servir una freqüència de 1MHz per mesurar un senyal generat a una freqüència de 50Hz –subministrament elèctric d'un habitatge-.

Un cop introduït el mètode de funcionament del Driver, només resta explicar els dos processos implementats al Driver per obtenir una lectura.

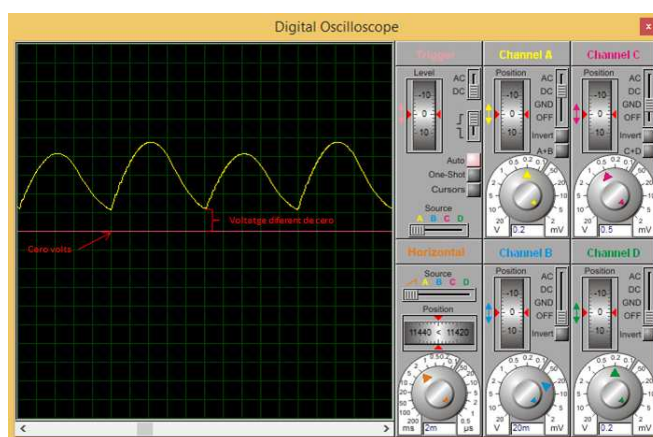
- Procés sense filtre. Es llegeix l'entrada del ADC fins obtenir el valor zero –pas per zero d'un senyal sinusoïdal-, i a continuació es fa una temporització per llegir del primer semicicle del següent període el valor de l'entrada del canal del ADC. La

següent il·lustració mostra coma a exemple, el punt de lectura d'un senyal sinusoidal qualsevol.



II-lustració 26. Punt de mesura del senyal al canal ADC

- o Procés amb filtre. En el cas que el rectificador fet servir incorpori un condensador com a filtre a la sortida, es necessari anular la detecció de pas per zero, ja que no es detectarà a causa del procés de càrrega i descàrrega del condensador.



II-lustració 27. Senyal generada amb filtre a la sortida del rectificador

4.3. Elements auxiliars

Finalment, a la il·lustració 17, es detalla el funcionament dels elements auxiliars que conformen el conjunt sensor de consum i la part de control de la base schuko del sistema GEFI Energia.

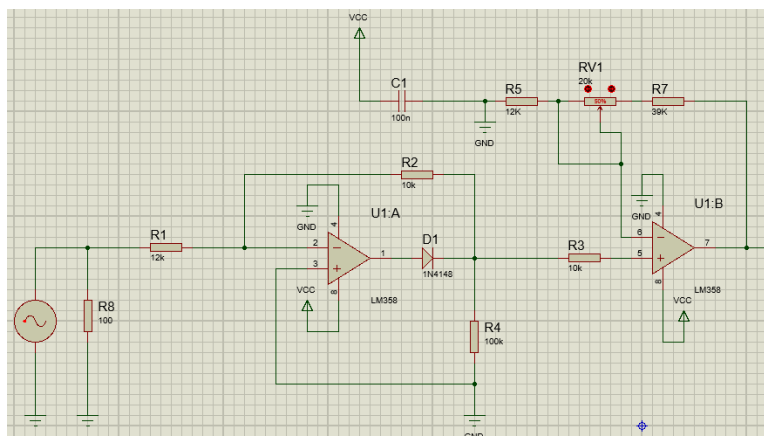
El conjunt sensor està format de dos parts ben diferenciades, a la primera es troba la sonda amperimètrica SCT013-100 d'efecte Hall i posteriorment, un circuit rectificador d'ona completa.

Per poder entendre el funcionament del sensor de corrent, primer és necessari introduir el concepte d'efecte Hall que consisteix en transformar el camp magnètic que es genera sobre un fil conductor quan un corrent elèctric altern el travessa.

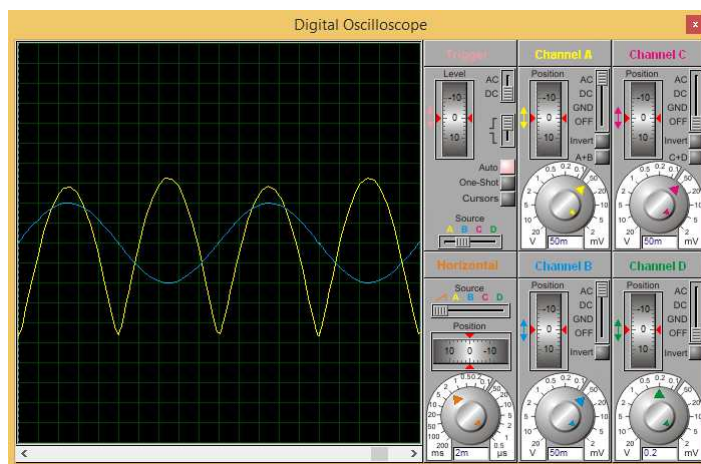
Si es té present la definició anterior, el sensor SCT013-100 està format per un bobinat de coure amb un determinat nombre d'espores que genera un corrent equivalent a l'induït, quan es fa passar

el fil conductor a través del sensor, i conseqüentment el camp magnètic induït sobre el debanat – quan el camp varia-, genera un corrent elèctric altern.

Per poder obtenir la lectura del consum generat pel sensor, és necessari transformar el corrent altern en corrent continu i per efectuar aquest canvi, és necessari un circuit auxiliar capaç de rectificar el senyal.



Il·lustració 28. Circuit rectificador d'ona completa



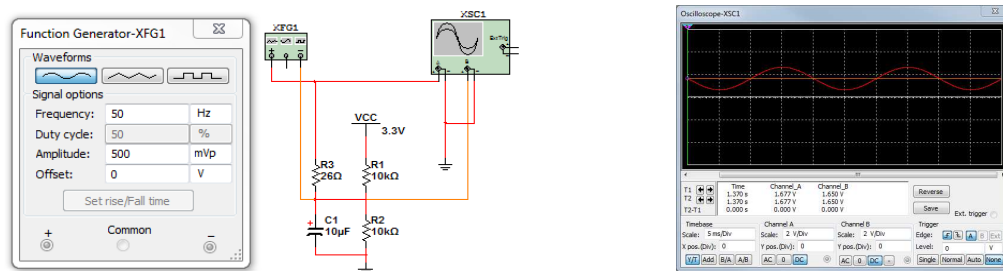
Il·lustració 29. Senyal d'entrada (blau) i senyal de sortida (groc) del rectificador

Sense donar gaires detalls, el circuit rectificador és una part vital del sistema, doncs part de la precisió de la lectura escau en la transformació del corrent altern en corrent continu, ja que el sensor genera corrents petits, de l'ordre de micro ampers a mili ampers, i per tant és necessari un circuit de precisió que no es pot aconseguir amb simples díodes funcionant com a rectificadors.

A banda dels rectificadors d'ona completa, també es pot fer servir un divisor de tensió o bé una rectificador de mitja ona però amb aquests circuit s'hauria de reajustar el codi per poder obtenir una lectura.

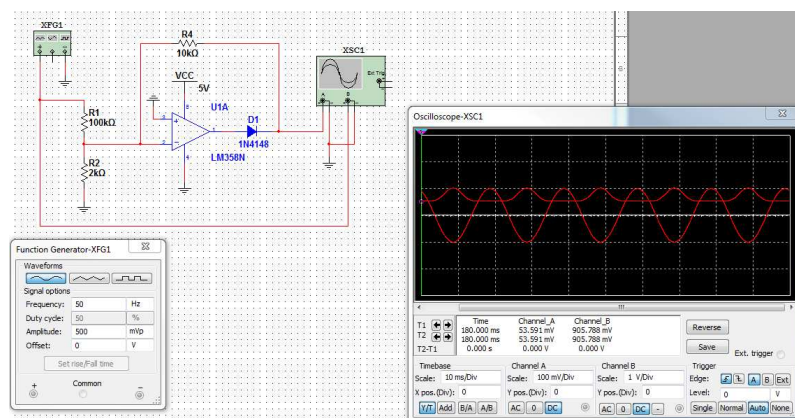
El circuit divisor de tensió funciona de forma que divideix la tensió continua subministrada per la meitat –en cas de que el valor de les resistències siguin del mateix valor-, i sobre aquesta continua, es modula el senyal altern que genera la sonda amperimètrica evitant que es generi tensió negativa a la sortida del circuit.

La il·lustració 28 mostra un circuit divisor de tensió característic, amb un condensador com a filtre per formar un arrissat a la sortida, de forma que hi hagi poca variació a la part positiva del senyal generat.



Il·lustració 30. Circuit divisor de tensió fet servir com a rectificador **Il·lustració 31. Senyal de sortida obtinguda del divisor de tensió**

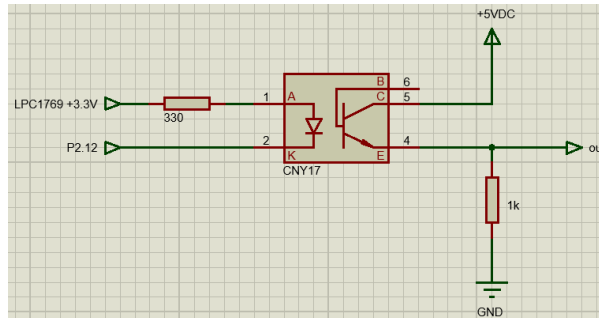
Finalment, l'últim dels circuits rectificadors que es pot fer servir per obtenir una lectura dintre d'uns valors acceptables, és el de mitja ona que a la seva sortida, en comptes de tenir l'ona completa a la part positiva, només s'obté la meitat del semicicle negatiu ja que a causa de la configuració de l'amplificador, la sortida es inverteix com es pot comprovar a la següent imatge.



Il·lustració 32. Circuit i senyal de sortida d'un rectificador de mitja ona

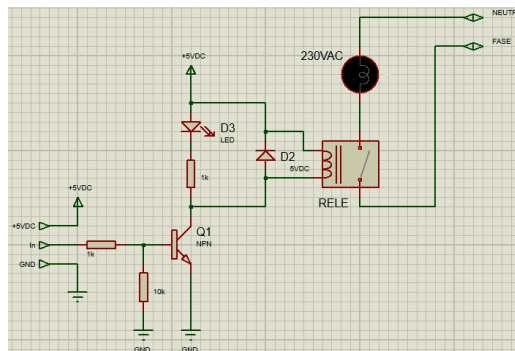
El segon element auxiliar del sistema permet el control de la base schuko i està format principalment per dos circuits; el primer és l'encarregat de la connexió i desconnexió del relé i el segon és l'encarregat de protegir l'electrònica principal amb un circuit optoacoblador, evitant en cas de curtcircuit de la bobina del relé, que es faci malbé la sortida de LPC1769.

La següent figura representa l'esquema del circuit que actua de protecció, entre la part de potència o relé, i la part de control que gestiona el sistema encastat o LPC1769 on, com s'ha esmentat amb anterioritat, el forma bàsicament un optoacoblador i un parell de resistències a la entrada i la sortida.



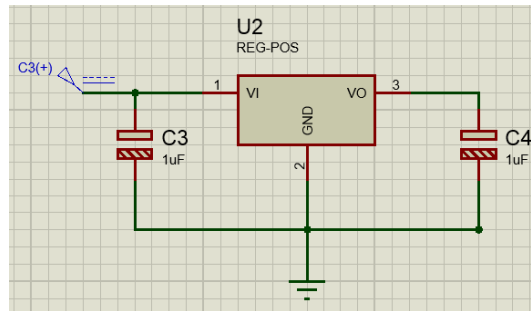
Il·lustració 33. Circuit optoacoblador per controlar el relé

I com ja s'ha indicat amb anterioritat, aquest és el circuit que permet l'activació i desactivació del relé on, quan rep 5VDC al pin *In*, per part del circuit optoacoblador anterior, el relé passa a un estat d'activació que, consegüentment, permet que l'element que es troba connectat a la base schuko passa a un estat actiu.



Il·lustració 34. Circuit de control del relé

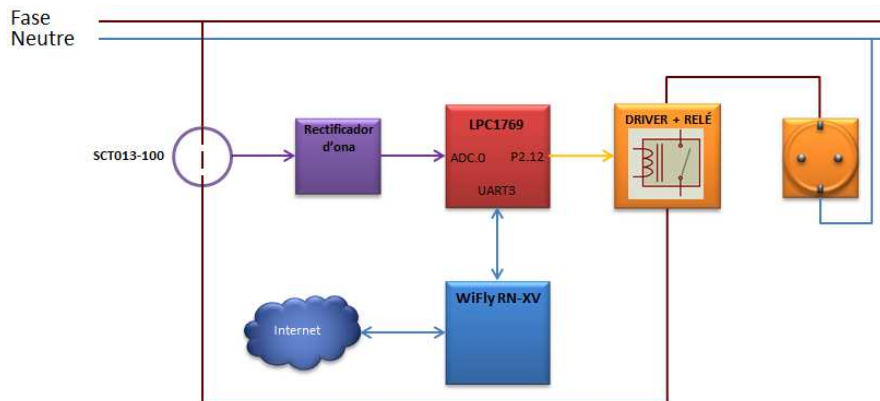
Finalment l'últim dels elements auxiliars que resta esmentar del sistema GEFI Energia és el circuit regulador de tensió, encarregat d'adaptar la tensió provinent del transformador de 12VDC a 3,3VDC i 5VDC respectivament.



Il·lustració 35. Circuit regulador de tensió

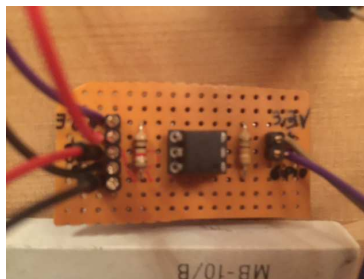
4.4. Proves del sistema

La finalitat d'aquest apartat és mostrar el prototip final d'una forma més pràctica, mitjançant els desenvolupaments implementats i les proves realitzades on, a la següent il·lustració, es pot veure un diagrama que conforma el sistema.



Il·lustració 36. Diagrama gràfic de les interconnexions internes del GEFI Energia

Primerament es mostra a continuació el circuit del Driver del relé amb el que es protegeix a LPC1769 d'una possible sobretensió en cas de creuament de la bobina del relé on, a la dreta del circuit es troba l'entrada del senyal procedent del sistema encastat i a la part esquerre, la sortida cap al mòdul del relé.



Il·lustració 37. Circuit regulador de tensió

Ja s'ha explicat amb anterioritat que la part de control del relé està formada per dos circuits, de manera que la segona part, és el mòdul que es mostra a continuació i que, a la dreta del mòdul, es troba l'entrada de 5VDC que alimenta el relé i el pin d'entrada on es connecta la sortida del circuit optoacoblador.

Al costat contrari es troben les tres bornes dels contactes del relé –normalment obert, normalment tancat i el comú-, i que proporcionen el control d'encendre i tancar l'element que es vol mesurar el seu consum.

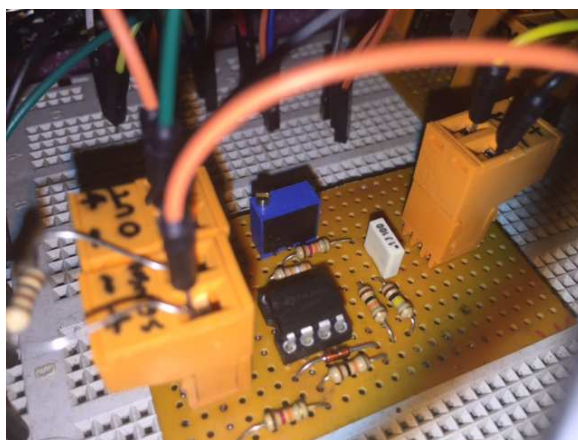


Il·lustració 38. Circuit regulador de tensió

El següent circuit desenvolupat i que es mostra a continuació indicant les entrades i sortides, és potser el més important del sistema, ja que permet obtenir a partir d'un corrent petit, un senyal mesurable per part del sistema encastat LPC1769.

A la part dreta del circuit es troba l'entrada d'alimentació del circuit 5VDC, mentre que a la part esquerra hi ha dos bornes; la inferior correspon a l'entrada del sensor amperimètrica i la superior a la sortida que es connecta a l'entrada del ADC de LPC1769.

Una curiositat de l'entrada del sensor, és la resistència de càrrega connectada en paral·lel, que es fa servir per poder calcular el consum mitjançant l'aplicació de la llei de Ohm.

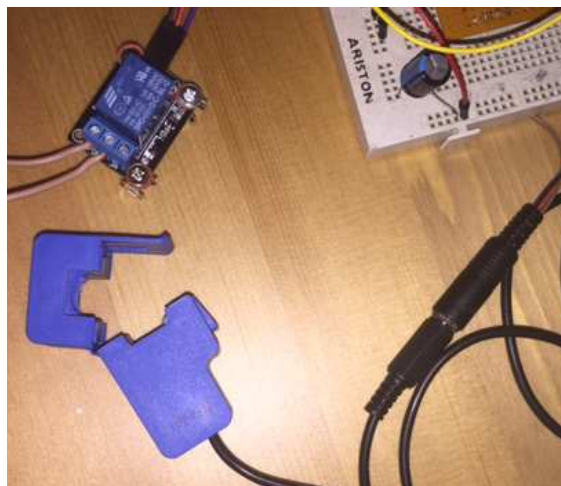


Il·lustració 39. Circuit regulador de tensió

La sonda amperimètrica, que és un sensor no invasiu, es pot posar i treure en qualsevol moment com es mostra a les següents dos imatges. La imatge de l'esquerra mostra un fil passant a través del sensor per fer mesures, mentre que la imatge de la dreta el sensor es troba obert i no hi ha cap fil que passi a través, és a dir, no es pot obtenir una lectura del consum.



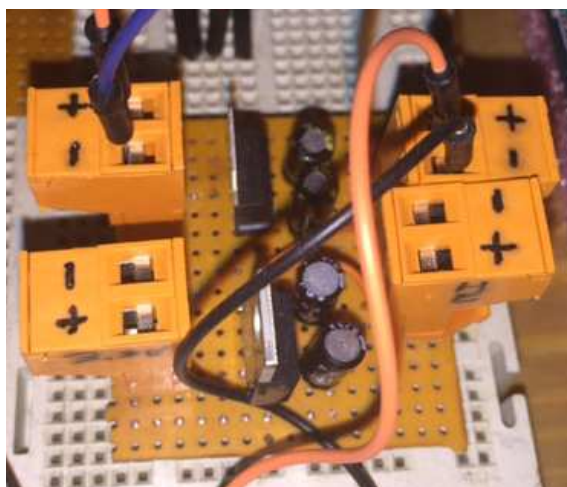
Il·lustració 40. Sensor fent una mesura



Il·lustració 41. Sensor no invasiu

Finalment, l'últim dels circuits implementats que resta per descriure, és el circuit regulador de tensions, mitjançant el que es proporciona els nivells adequats de tensió, per fer funcionar els circuits auxiliars.

A aquesta placa s'ha implementat dos reguladors, el primer a la part inferior i el segon a la part superior. L'entrada de 12VDC procedent dels transformadors, es troba situada a la dreta i les sortides dels reguladors a la banda esquerra on el regulador inferior anivella a una tensió de 3,3VDC i el superior proporciona una tensió de sortida de 5VDC i un màxim d'un amper.



Il·lustració 42. Circuit regulador de tensió

Una dada important, del conjunt de circuits auxiliars i elements que conformen el GEFI Energia, és que totes les terres de tots els circuits han d'estar unides per el correcte funcionament, ja que en cas contrari, els circuit es poden fer malbé.

A la següent figura es pot veure el conjunt de tots els elements que formen el sistema GEFI Energia i com a exemple, una bombeta connectada a la base schuko, per poder mesurar el consum, quan el sistema es troba connectat.

Els dos transformadors que es mostres a la següent imatge són necessaris, ja que durant el procés de proves es va detectar, durant l'activació del relé, una caiguda de tensió que provocava lectures incorrectes per part del sistema i, per aquest motiu, es va decidir separar els circuits de lectura i control de relé amb alimentacions independents.



Il·lustració 43. Conjunt dels elements del prototip GEFI Energia

Un cop presentats tots els elements del GEFI Energia, només resta començar a descriure les proves realitzades per arribar al disseny presentat a aquest document i on, a la següent taula, es mostra les mesures obtingudes d'un conjunt d'electrodomèstics, fetes amb un tester o polímetre i amb una pinça amperimètrica.

	Fabricant				Tester		Pinça	
	P (W)	VAC (V)	Corrent eficaç Calculada (A)	P calc. (W)	Corrent eficaç Mesurada (A)	P (W)	Corrent eficaç Mesurada (A)	P (W)
BOMBETA	65	236	0,28	68,44	0,29	68,44	0,10	23,60
CALEFACTOR P1	1000	236	4,24	991,20	4,20	991,20	3,40	802,40
CALEFACTOR P2	2000	236	8,47	1923,40	8,15	1923,40	7,10	1675,60
Assecador P1	500	236	2,12	502,68	2,13	502,68	1,60	377,60

Assecador P2	1000	236	4,24	946,36	4,01	946,36	3,20	755,20
Assecador P3	285	236	1,21	295,00	1,25	295,00	0,80	188,80

Taula 1. Mesures amb polímetre i pinça amperimètrica

Tot seguit es mostra els nivells de tensions d'entrada i sortida del circuit rectificador d'ona, ja que amb aquestes mesures es coneix el guany de la tensió de sortida respecte l'entrada del rectificador, el càlcul s'ha de fer amb la següent equació ($AV = V_{out} / V_{in}$).

	TESTER						OPAM	ADC		
	POTENCIA (W)	VAC (V)	(I) eficaç Calc (A)	P calc. (W)	Vo OPAM (Vef)	Vi OPAM (Vef)	FC OPAM Vo/Vi	ADC LLEGIT (bits)	Vref ADC (V)	bits ADC (bits)
BOMBETA	65	236	0,28	68,44	0,10	0,03	3,40	118	3,30	4096
CALEFACTOR P1	1000	236	4,24	991,20	1,46	0,43	3,40	1815	3,30	4096
CALEFACTOR P2	2000	236	8,47	1923,40	2,75	0,81	3,40	3418	3,30	4096
Assecador P1	500	236	2,12	502,68	0,75	0,22	3,40	928	3,30	4096
Assecador P2	1000	236	4,24	946,36	1,46	0,43	3,40	1815	3,30	4096
Assecador P3	285	236	1,21	295,00	0,41	0,12	3,40	506	3,30	4096

Taula 2. Lectures obtingudes mitjançant el ADC del LPC1769

A mode d'exemple, si s'agafa el valor de la mesura de la bombeta de la taula 2, s'obté que el guany de tensió a la sortida del regulador és $AV = V_{ef} (V_o \text{ OPAM}) / V_{in} (V_{ef} \text{ OPAM}) = 0,1 / 0,03 = 3,40$; el valor obtingut, anomenat factor de conversió, es fa servir per convertir el senyal que llegeix el ADC de LPC1769 en corrent i finalment en potència de consum.

Per conèixer el factor de conversió calculat del circuit rectificador d'ona completa, s'ha de determinar mitjançant l'equació $AV = 1 + (R_f / R_i)$ on R_f és la resistència R6 mes el valor de la resistència del potenciòmetre variable del circuit de la il·lustració 26 i R_i es correspon a la resistència R5 mes el valor residual del potenciòmetre. La següent taula mostra el càlcul amb els valors del circuit ja presentat.

	R5 Ohm	R6 Ohm	R6 (a) Ohm	R6 (b) Ohm	R7 Ohm	Rf=R7+R6(a) Ohm	Ri=R5+R6(b) Ohm	Gain AV= 1 + (Rf / Ri)
OPAM Factor Conversió	12000	0 - 20000	10000	10000	39000	49000	22000	3,227272727

Taula 3. Càlcul del factor de conversió

Finalment, la següent taula mostra els valors de les proves realitzades amb el sensor SCT013-100 quan es troba connectat al circuit rectificador de senyal on, mitjançant el valor llegit pel ADC, s'obté el consum del sistema encastat.

	RESULTAT					ADC		
	FC OPAM Vo/Vi	RL	I OPAM (A)	I CONSUM (A)	(W)	ADC LLEGIT (bits)	Vref ADC (V)	bits ADC (bits)
BOMBETA	3,40	100,00	0,00028	0,28	66,08	118	3,30	4096
CALEFACTOR P1	3,40	100,00	0,00430	4,30	1014,80	1815	3,30	4096
CALEFACTOR P2	3,40	100,00	0,00810	8,10	1911,60	3418	3,30	4096
Assecador P1	3,40	100,00	0,00220	2,20	519,20	928	3,30	4096
Assecador P2	3,40	100,00	0,00430	4,30	1014,80	1815	3,30	4096
Assecador P3	3,40	100,00	0,00120	1,20	283,20	506	3,30	4096

Taula 4. Resultats obtinguts mitjançant SCT013-100

5. Viabilitat tècnica

Actualment ja existeix al mercat productes semblants que ofereixen la possibilitat d'obtenir el consum elèctric d'un determinat aparell a un cost baix, entre 30€ i 160€, tot i que els aparells de menor import, són incapaços de generar estadístics a partir de les mesures obtingudes.

Per el desenvolupament d'aquest projecte, tècnicament parlant, hi existeixen al mercat tots els elements necessaris per poder desenvolupar totes les funcionalitats descrites a aquest document i posar-les en pràctica a un sistema totalment operatiu.

Es pot considerar com a punts forts del sistema, la capacitat de controlar remotament via internet, l'element que es troba connectat a la base schuko del sistema i conèixer el seu consum en temps real.

Per poder disposar d'un producte mes eficient, és necessari reforçar els missatges de comunicació de retorn entre el sistema i el servidor, de manera que es pugui confirmar que l'ordre s'ha executat correctament.

Els riscos que es poden trobar en el desenvolupament del GEFI Energia, recau en el conjunt del sensor de consum, ja que al mercat hi existeixen múltiples tipus sensors amb característiques diferents i per altre costat és vital fer servir el millor rectificador d'ona possible per poder obtenir una mesura mes acurada.

6. Valoració econòmica

A la següent taula es pot veure el cost del desenvolupament inicial del projecte, sense tenir contemplats els costos d'immobilitzat i de personal d'una empresa.

Referència	quantitat	preu	import
LPC1769	1	27,83	27,83 €
WiFi RN-XV	1	38,66	38,66 €
CP2102 USB-to-Serial Bridge	1	2,93	2,93 €
MODULO RELE 5V	1	2,46	2,46 €
SCT013-100	1	7,59	7,59 €
TA12-100	1	3,68	3,68 €
ACS712	1	4,81	4,81 €
CNY17/2/optoac.tr 70v 60-120% 4400v	2	0,24	0,48 €
LM358N CI OPAMP	1	0,15	0,15 €
TS1117CZ33 3.3V 1A LDO TO-220	1	0,55	0,55 €
REGULADOR TENSION 5V 1A TO220	1	0,18	0,18 €
DIODO 1N4148	1	0,01	0,01 €
RESISTENCIA 330 OHM 1/4w 1%	1	0,02	0,02 €
RESISTENCIA 100 OHM 1/4w 1%	1	0,02	0,02 €
RESISTENCIA 1K 1/4w 1%	1	0,02	0,02 €
RESISTENCIA 10K 1/4w 1%	2	0,02	0,04 €
RESISTENCIA 12K 1/4w 1%	2	0,02	0,04 €
RESISTENCIA 39K 1/4w 1%	1	0,02	0,02 €
RESISTENCIA 100K 1/4w 1%	1	0,02	0,02 €
POT. AJUS. 25VUEL. VER. 20K	1	0,52	0,52 €
COND. B32529 100NF 100V R=5	1	0,08	0,08 €
ELR10025/con.el.rad.10uf 25v 105§ 5x11	2	0,03	0,06 €
zocal 8 pins tornead.sol.	1	0,15	0,15 €
zocal 6 pins tornead.sol.	1	0,15	0,15 €
PCB PERFORADA	1	1,95	1,95 €
Base Schuko	1	2,50	2,50 €
HORAS DESARROLLO	300	26,00	7.800,00 €
SUMA IMPORTES			7.894,92 €
IVA			1.657,93 €
TOTAL			9.552,85 €

Taula 5. Costos del prototip GEFI Energia

7. Conclusions

Es pot concloure que les principals funcionalitats definides inicialment al projecte a la part del sistema encastat, han estat implementades i són totalment funcionals, malgrat que es possible trobar algun bug al a les comunicacions via WIFI.

El GEFI Energia com a primera versió de prototip ha assolit les expectatives esperades amb les funcionalitats, per contra els processos de comunicació de missatgeria entre el sistema i la part del servidor és millorable.

No ha estat possible implementar la totalitat de les funcionalitats de la interfície d'usuari; per exemple l'emmagatzematge de les dades a una base de dades; la gestió remota via web amb un dispositiu mòbil; l'obtenció automàtica de les tarifes de les companyies elèctriques o la part de gràfics estadístics, ja que el temps previst de proves, amb els circuits rectificadors, ha estat mes llarg del previst i les tasques previstes resten fora de termini.

La part positiva del projecte escau en l'aprofitament del codi generat per implementar noves funcionalitats d'ampliació del sistema; per exemple obtenir la lectura d'un sensor de temperatura a través d'un canal ADC i consegüentment implementar un termòstat per controlar una caldera o un aire condicionat; mesurar el nivell de llum amb un canal ADC per encendre i tancar els llums si s'arriba al llindar definit prèviament –efecte crepuscle-; mesurar el nivell d'humitat mitjançant un sensor connectat a un canal analògic i controlar el reg automàtic d'un jardí.

En definitiva, les llibreries implementades permeten desenvolupar el control d'altres funcionalitats facilitant la manipulació remotament via WIFI, per tant es pot situar el projecte en el marc de la internet de les coses (IoT).

Com a conclusió personal, el projecte ha estat mol lucratiu i és una utilitat que es pot implementar a l'habitatge de manera pràctica per poder controlar el consum o si mes no, controlar qualsevol electrodomèstic remotament.

La part negativa del projecte ha estat el temps empleat per fer el desenvolupament, ja que en un principi, estava previst moltes menys hores de formació, sobrepassant les expectatives inicials previstes.

7.1. Autoavaluació

El procés d'aprenentatge per poder desenvolupament aquest projecte ha estat molt llarg i tediós doncs, he hagut de refrescar els coneixements del llenguatge de programació que s'ha fet servir i paral·lelament aprendre el funcionament del LPC1769 i les possibilitats que ofereix el sistema operatiu FreeRTOS.

La part més complicada del projecte ha sigut ajustar els càlculs de les lectures procedents dels circuits rectificadors provats, ja que primerament, per simplificar el sistema, es va escollir un divisor de tensió que no proporcionava lectures estables dels consums i, per això, vaig decidir de modificar el desenvolupament per un circuit rectificador implementat amb un circuit operacional que ha retornat lectures més acurades.

Finalment, el nombre d'hores necessàries per finalitzar el projecte ha estat molt elevat, al voltant de 300, i si no hagués tingut formació electrònica és possible que no hi hagués arribat a finalitzar-lo. Cal tenir en compte que gran part del desenvolupament del projecte correspon a la implementació dels circuits electrònics externs que afegeixen les funcionalitats descrites a la memòria.

8. Glossari

IoT (Internet of Things) La internet de les coses es refereix, en termes informàtics, a una xarxa d'objectes quotidians i que es troben interconnectats.

Efecte Hall consisteix en transformar el camp magnètic que es genera sobre un fil conductor quan un corrent elèctric altern el travessa.

Sensor no invasiu Sensor que no requereix interrompre el funcionament de l'element que ha de supervisar.

Sistema encastat és un sistema informàtic dissenyat per realitzar una o poques funcions específiques normalment en un sistema de computació en temps real i que, és encapsulat totalment pel dispositiu que controla.

KW/h És la unitat de mesura del consum que es produeix en una hora.

ARM (Advanced RISC Machines) és una família de microprocessadors RISC dissenyats per l'empresa Acorn Computers i desenvolupats per Advanced RISC Machines Ltd.

Senyal PWM (Pulse-Width Modulation) La modulació per ample de pols d'un senyal o font d'energia és una tècnica per modificar el cicle de treball d'un senyal periòdic i permet transmetre informació o controlar la quantitat d'energia que es subministra.

Multitasca és un mètode on múltiples tasques o processos s'executen durant un mateix període de temps.

FreeRTOS és un sistema operatiu de temps real (RTOS: sigles de Real-Time Operating System) de petita mida, portable, preferent i de codi obert per a sistemes encastats. Està dissenyat per a ser lo suficientment petit per a funcionar en un microcontrolador, tot i que el seu ús no només es limita a aplicacions de microcontroladors.

AC (Altern Current) Són les sigles que identifiquen el corrent altern.

DC (Direct Current) Sigles que identifiquen el corrent continu, també es pot trobar abreujat com cc.

UART (Universal Asynchronous Read/Transmitter) Un transmissor/receptor asíncron universal és una peça de maquinari que tradueix dades entre formes paral·leles i serials. Les UARTs s'utilitzen normalment en conjunt amb altres estàndards de comunicació com RS-232 o RS422/485.

WIFI és una tecnologia sense fils que permet a un dispositiu electrònic, a través d'una xarxa local, intercanviar dades i connectar amb internet.

RELE és un mecanisme elèctric que permet modificar l'estat d'un commutador elèctric gràcies a l'electricitat. A grans trets és un commutador elèctric que és accionat per un electroimant que obre o tanca un o diversos contactes. Una característica important d'aquest component és que permet controlar circuits elèctrics de voltatge o intensitat molt superior al d'entrada.

Driver és un programa informàtic o controlador de dispositiu que permet al sistema operatiu interaccionar amb un perifèric, fent una abstracció del maquinari i proporcionant una interfície - possiblement estandarditzada- per a poder-lo utilitzar.

Interfície és la connexió entre dos ordinadors o màquines de qualsevol tipus donant una comunicació entre diferents nivells.

LPC1769 és un circuit microcontrolador amb un processador Cortex-M3 que es fa servir a multitud de dispositius encastats, gracies al seu baix consum i que permet un alt nivell d'abstracció.

WiFi Rn-XV és un mòdul que proporciona connectivitat Wi-Fi i permet la connectivitat amb altres elements via UART.

Sonda amperimètrica és un sensor que serveix per mesura el corrent elèctric generalment per efecte Hall.

SCT013-100 és un sensor o sonda amperimètrica que serveix per mesurar el corrent elèctric de forma no invasiva.

ACS712 és un sensor o sonda amperimètrica que serveix per mesurar el corrent elèctric de forma invasiva i es caracteritza perquè incorpora un petit rectificador a la sortida de mesura.

TA12-100 és un sensor o sonda amperimètrica que serveix per mesurar el corrent elèctric de forma no invasiva.

Corrent RMS o **Corrent eficaç** és l'equivalent del corrent altern necessari per produir la mateixa caiguda de tensió que produeix el corrent continu sobre una resistència.

Protoboard és un tauler amb forats connectats elèctricament, segons un patró definit, amb el que es pot inserir components electrònics i cables per realitzar proves de funcionament abans d'implementar un circuit definitiu.

IDE (Integrated development environment) és un entorn integrat de desenvolupament que agrupa diferents funcions en un sol programa, habitualment: editor de codi, compilador, depurador i un programa de disseny d'interfície gràfica.

PHP és un llenguatge de programació interpretat que s'utilitza per a generar pàgines web de forma dinàmica. S'executa al cantó del servidor, per aquest motiu al navegador web ja l'hi arriba la pàgina en format HTML, no podent visualitzar-ne el codi php.

Telnet és un protocol que emula un terminal remot per a connectar-se a una màquina multiusuari.

PuTTY és un emulador de terminal que serveix per poder connectar remotament via Telnet o sèrie.

Optoacoblador o **Acoblament òptic** és un component electrònic que aïlla elèctricament el circuits al que està connectat.

ADC (Analog-to-Digital Converter) és un convertidor analògic-digital que té la capacitat de convertir un senyal analògic en un altre de digital, és a dir, un voltatge en un senyal binari.

Ohm és la unitat del SI per a la resistència elèctrica. El seu símbol és la lletra grega omega majúscula (Ω).

Schuko és un sistema d'endoll i presa de corrent

LCD (Liquid Crystal Display) La pantalla de cristall líquid és l'aplicació més comuna de la tecnologia del cristall líquid consisteix en una agrupació de petits segments (anomenats píxels) que poden ser manipulats per presentar informació.

Arduino és una placa de circuit imprès simple basada en el microcontrolador de codi obert provinent de la plataforma de codi obert Wiring amb l'objectiu de fer més simple i accessible el disseny de circuits electrònics amb microcontroladors.

Raspberry Pi és un ordinador de baix cost on el seu objectiu és estimular l'ensenyança de les ciències de la computació, però també s'ha popularitzat com a plataforma per a dissenys d'aficionats i per a usos informàtics generals.

ATMega és una família de microcontroladors RISC del fabricant ATMEL i que fan servir els sistemes encastats arduino.

Amperímetre és un instrument de mesura que es fa servir per quantificar el flux de corrent elèctric en un circuit. Els corrents elèctrics són mesurats en ampers, d'aquí el seu nom.

Voltatge o **tensió** és la diferència en el potencial entre dos punts en un camp conservatiu. En enginyeria, de vegades es descriu com una variable dependent d'un altre punt.

API (Application Programming Interface) és una interfície de programació d'aplicacions que especifica com diferents components de programes informàtics haurien d'interaccionar. Dit d'una altra manera, és un conjunt d'indicacions, quant a funcions i procediments, ofert per una biblioteca informàtica per ser utilitzat per un altre programa per interaccionar amb el programa en qüestió.

CMSIS (Cortex Microcontroller Software Interface Standard) és una capa d'abstracció del maquinari independent del proveïdor ARM per a la sèrie de processadors Cortex-M i que especifica les interfícies del depurador.

Bit (Binary dígit) és la unitat d'informació mínima utilitzada en Informàtica i en Teoria de la Informació.[28]

Vref és la nomenclatura per indicar una dada numèrica és una tensió de referència o tensió RMS.

mV/bit és la nomenclatura que indica els mili volts per bit d'una dada.

Hz és la nomenclatura feta servir per mesurar la freqüència, dit d'una altra manera, és el número de cops que es repeteix un determinat senyal per segons.

Senyal sinusoidal és un tipus de senyal que es pot representar mitjançant la funció sinus i que varia en el temps. És el tipus de senyal elèctric que hi arriba als habitatges.

Divisor de tensió és un conjunt de resistències que permeten reduir la tensió d'entrada a una mes petita i que el valor del corrent que els hi travessa és el mateix per a totes les resistències del divisor.

Bobina és un component electrònic passiu dels circuits elèctrics que, a causa del fenomen de l'autoinducció, emmagatzema energia en forma de camp magnètic creat pel pas del corrent elèctric.

Regulador de tensió és un circuit electrònic que permet reduir el seu senyal d'entrada a la sortida.

A O Amper és la unitat que es fa servir per mesurar el corrent elèctric.

Tester o **polímetre** és un instrument que serveix per mesurar; per exemple el corrent elèctric, la tensió o fins i tot el valor d'una resistència.

Pinça amperimètrica és un instrument que es fa servir al camp de l'electricitat per mesurar el corrent que travessa un corrent altern per un determinat fil conductor de forma no invasiva. Aquest tipus d'instruments també permeten mesurar la tensió o diferencial de potencial entre dos punts.

VAC són les sigles que es fan servir per indicar que es tracta de tensió alterna.

OPAM (Operational Amplifier) són les sigles d'abreujament d'amplificador operacional, que és un circuit electrònic capaç d'amplificar el seu senyal d'entrada a la seva sortida.

AV o **Gain** són les sigles que es fan servir per indica increment de tensió o guany de tensió típicament en circuits electrònics que incorporen amplificadors operacionals.

Vout són les sigles fetes servir en un circuit electrònic per indicar que es tracta d'una tensió o voltatge de sortida.

Vin són les sigles fetes servir en un circuit electrònic per indicar que es tracta d'una tensió o voltatge d'entrada.

Efecte crepuscle és l'efecte que es produeix quan el nivell de llum es redueix.

9. Bibliografia

Merkasol energies renovables. Empresa dedicada a la venda de material industrial. <http://www.merkasol.com/> [consulta: 10 de novembre de 2015].

mirubee.com. Empresa que ofereix productes de monitorització energètica. <http://www.mirubee.com/> [consulta: 10 de novembre de 2015].

miniinthebox.com. Empresa de venda de productes electrònics per sistemes encastats. http://www.miniinthebox.com/es/arduino-modulo-de-rele-de-5v-para-smc-desarrollo-home-appliance-control-negro-azul_p990873.html?currency=EUR&litb_from=paid_adwords_shopping&litb_from=&adword_mt=&adword_ct=49426301234&adword_kw=&adword_pos=1o4&adword_pl=&adword [consulta: 10 de novembre de 2015]

Amazon.es. Consulta de les característiques de productes encastats. <http://www.amazon.es/Raspberry-Pi-Model-Placa-Quad-Core/dp/B00T2U7R7I> [consulta: 10 de novembre de 2015]

dx.com. Empresa de venda de productes i gadgets <http://www.dx.com/es/s/sct013-100> [consulta: 16 de setembre de 2015].

Google.es. Consulta sobre el Unotec Ecoplug II. https://www.google.es/shopping/product/968649099600192298?q=medidor+consumo+electrico&biw=1366&bih=657&sqi=2&prds=paur:ClkAsKraX8wHQTz7-oskf6BVVx8pgZeo5AGYQJq-yGXpJLYnTWAKIMk5_PW14Am5BxBsdGF8Ssy-7zmXLJ02iYsuirVLNJouodCB7TRnq6AxmX8o2CqSnILvxIZAFPVH70GOBOw3Sg7 [consulta: 16 de setembre de 2015].

NXP LPCXpresso Platform. Software i suport de l'empresa NXP. <http://www.lpcware.com/lpcxpresso> [consulta: 16 de setembre de 2015].

NXP datasheet. Document PDF que inclou les característiques de la família LPC176x. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf [consulta: 20 de setembre de 2015].

Roving Networks. Document PDF que inclou les funcionalitats i característiques del mòdul de comunicació WiFly Rn-XV <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Wireless/WiFi/WiFly-RN-UM.pdf> [consulta: 20 de setembre de 2015].

BRC-Electronics. Exemples de codi i documentació de Simplecortex. <http://www.brc-electronics.nl> [consulta: 20 de setembre de 2015].

UOC. Wiki de la UOC per iniciar el sistema còrtex M3. http://cv.uoc.edu/webapps/xwiki/wiki/matembeddedsystems/home/view/Material/IniciCortexM3?sr_id=cObRQd9t [consulta: 01 de octubre de 2015].

FreeRTOS.org. Sistema operatiu en temps real. Documentació i exemples. <http://www.freertos.org/> [consulta: 10 de octubre de 2015].

Diotronic.com. Empresa de venda de components electrònics. www.diotronic.com [consulta: 10 de octubre de 2015].

Explore Embedded. Exemples de funcionament de tasques sobre FreeRTOS. http://exploreembedded.com/wiki/6_Use_of_vTaskSuspend%28%29_and_vTaskResume%28%29_functions [consulta: 10 de octubre de 2015].

Diverteka.com. Exemple de sistema encastat per mesurar el corrent mitjançant arduino. <http://www.diverteka.com/?p=1966> [consulta: 10 de octubre de 2015].

Rincondelvago.com. Circuits rectificadors amb operacionals, mitja ona i ona completa. <http://html.rincondelvago.com/rectificador-media-onda-y-doble-onda.html> [consulta: 26 de octubre de 2015].

Geocities.com. Document PDF que inclou explicacions del funcionament del rectificadors d'ona amb amplificadors operacionals. http://www.geocities.ws/raguma_006/descargas/rectificador_de_presicion.pdf [consulta: 26 de octubre de 2015].

Wikipedia.org. Diverses consultes a la Viquipèdia sobre conceptes.

Freqüència de mostreig. https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_de_muestreo [consulta: 13 de desembre de 2015].

lot. https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas [consulta: 13 de desembre de 2015].

Sistema encastat. https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_incrustat [consulta: 13 de desembre de 2015].

ARM. https://ca.wikipedia.org/wiki/Advanced_RISC_Machines [consulta: 13 de desembre de 2015].

PWM.

https://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Modulaci%C3%B3_per_ampI%C3%A0ria_d%27impuls&action=edit&redlink=1 [consulta: 13 de desembre de 2015].

Multitasca. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Multitasca> [consulta: 13 de desembre de 2015].

FreeRTOS. <https://ca.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS> [consulta: 13 de desembre de 2015].

UART. <https://ca.wikipedia.org/wiki/UART> [consulta: 13 de desembre de 2015].

WiFi. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Relé. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Driver. https://ca.wikipedia.org/wiki/Controlador_de_dispositiu [consulta: 13 de desembre de 2015].

Interfície. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%ADcie> [consulta: 13 de desembre de 2015].

IDE. <https://ca.wikipedia.org/wiki/IDE> [consulta: 13 de desembre de 2015].

PHP. <https://ca.wikipedia.org/wiki/PHP> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Telnet. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Telnet> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Optoacoblador. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Optoacoblador> [consulta: 13 de desembre de 2015].

ADC. https://ca.wikipedia.org/wiki/Convertidor_anal%C3%B2gic-digital [consulta: 13 de desembre de 2015].

Ohm. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Ohm> [consulta: 13 de desembre de 2015].

LCD. https://ca.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristall_L%C3%ADquid [consulta: 13 de desembre de 2015].

Arduino. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Arduino> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Raspberry Pi. https://ca.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi [consulta: 13 de desembre de 2015].

ATMega. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Arduino> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Amperímetre. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Amper%C3%ADmetre> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Voltatge. https://ca.wikipedia.org/wiki/Difer%C3%A8ncia_de_potencial [consulta: 13 de desembre de 2015].

API. https://ca.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%ADcie_de_programaci%C3%B3_d'aplicacions [consulta: 13 de desembre de 2015].

Bit. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Bit> [consulta: 13 de desembre de 2015].

Bobina. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Inductor> [consulta: 13 de desembre de 2015].

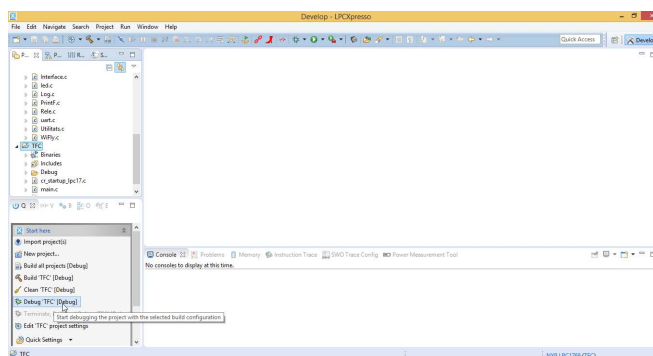
ARM. Empresa que desenvolupa processadors. <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-microcontroller-software-interface-standard.php> [consulta: 16 de novembre de 2015].

10. Annexos

Descripció de com fer servir el sistema implementat

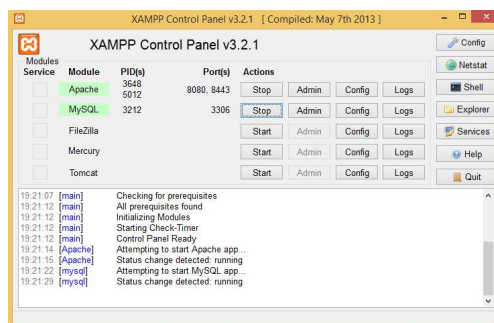
10.1. Execució i compilació

A aquest apartat es mostra el procés de compilació i execució del GEFI Energia de manera pràctica, on el codi font és compilat i posteriorment carregat en el sistema encastat, de manera que es pugui verificar el seu funcionament. La següent imatge mostra l'IDE de LPCXpresso i el cursor a la posició d'inici de depuració.



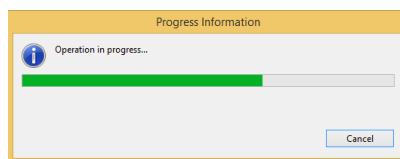
II-l·lustració 44. IDE de desenvolupament LPCXpresso

Avans de començar es comprova que el servidor PHP es troba funcionant i es verifica que el port de comunicació configurat per rebre les dades que es reben del GEFI Energia. La següent imatge il·lustra l'estat i els ports configurats.



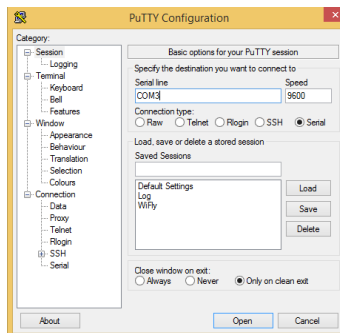
II-l·lustració 45. Panell de control del servidor Apache (Xampp)

Quan el procés s'inicia, apareix una finestra de progrés que indica la situació del procés de compilació i càrrega del codi compilat al circuit encastat on, un cop finalitzada la càrrega es pot començar amb el procés de depuració.



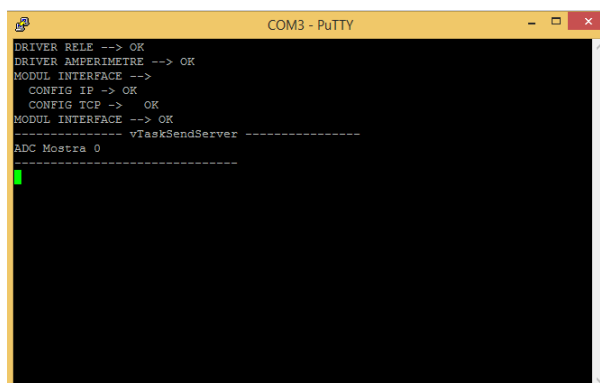
II-l·lustració 46. Procés de compilació del codi font

Arribats a aquest punt, l'IDE LPCXpresso espera que inicialitzem el procés d'execució però, avans de començar, inicialitzem la consola de visualització dels missatges generats pel GEFI Energia, de forma que es pot visualitzar el procés que es troba en execució i les dades retornades per cadascuna de les tasques executades.



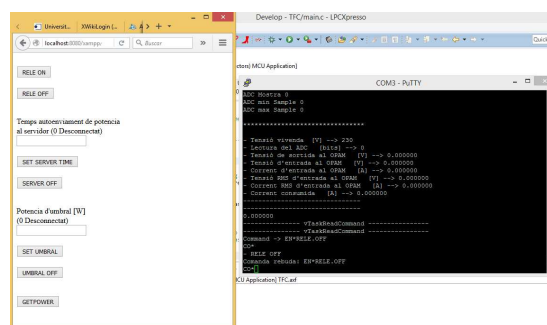
Il·lustració 47. Panell d'inici de la consola de missatges LOG

Un cop ja es troba tot el sistema preparat s'inicia l'aplicació de depuració on, a la següent imatge, es pot veure els missatges d'inicialització de cadascun dels Drivers i mòduls esmentats a aquesta memòria, s'ha finalitzat el procés d'inicialització correctament.



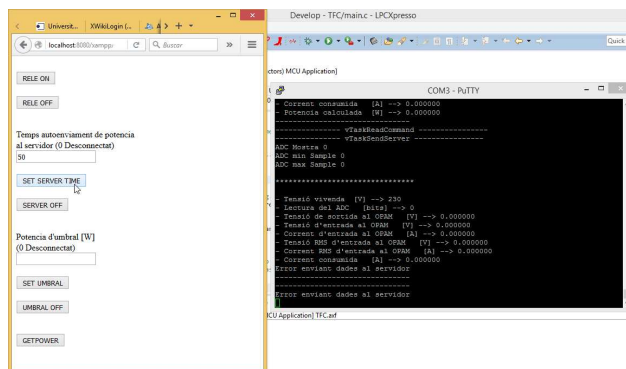
Il·lustració 48. Procés d'inici del sistema GEFI Energia

Donat que el sistema ja es troba en funcionament, primerament es comprova les funcionalitats del relé, enviant les comandes ON i OFF, comprovant que tant el servidor com el GEFI Energia funcionen correctament. La següent imatge mostra la dada rebuda per part del sistema quan es pulsa el botó RELE OFF.



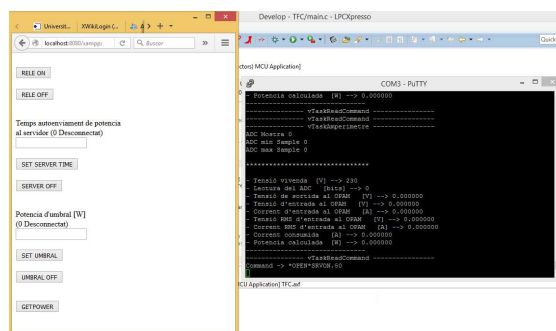
II-lustració 49. Comanda RELE OFF rebuda

Continuant amb la comprovació de les funcionalitats, la següent és establir un temps d'execució de la tasca que envia les dades al servidor on, en aquest cas, s'estableix un temps de 50 segons, com es pot veure al camp previst avans d'enviar la dada.



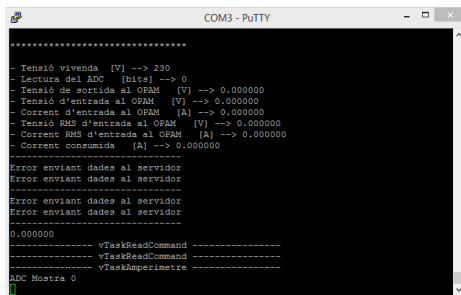
II-lustració 50. Comanda que estableix el temps de la tasca servidor

Un cop s'ha enviat la dada, el servidor ha rebut la sol·licitud de comanda i la comanda ha estat processada, el servidor definitivament envia la comanda al GEFI Energia i aquest, un cop rebuda, verificada i processada mostra el missatge del procés realitzat, segons es pot veure a la següent imatge.



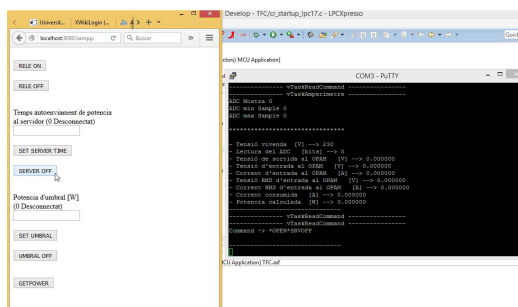
II-lustració 51. Recepció del temps de la tasca servidor

Es possible que en el procés que en el procés que el sistema dades al servidor es pugui produir un error a l'hora de enviar les dades, tot i això, el sistema fa diversos intents i en cas de no poder enviar la dada, reinicia les comunicacions i ho torna a provar al següent cicle. La següent captura mostra una falla en el procés d'enviar les dades al servidor.

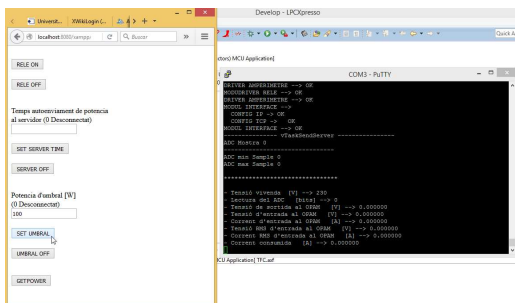


II-lustració 52. Missatges d'error al enviar dada al servidor

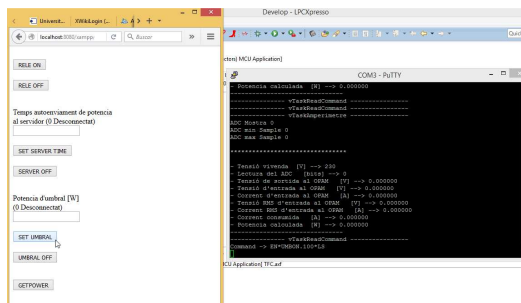
De manera semblant al les anteriors captures, les següents il·lustracions mostren el procés i missatges rebuts quan, es pulsa el botó per aturar la tasca que envia automàticament les mesures al servidor i quan s'estableix un llindar de potència màxima per poder tancar automàticament el relé.



II-lustració 53. Recepció del missatge de desconnexió de la tasca servidor

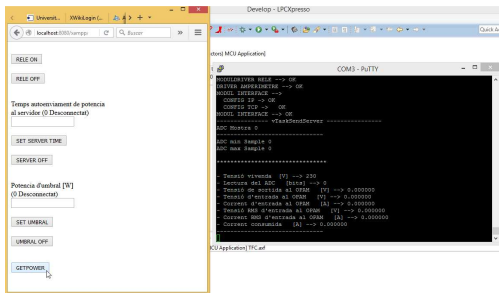


II-lustració 54. Comanda que estableix el consum de llindar de desconnexió

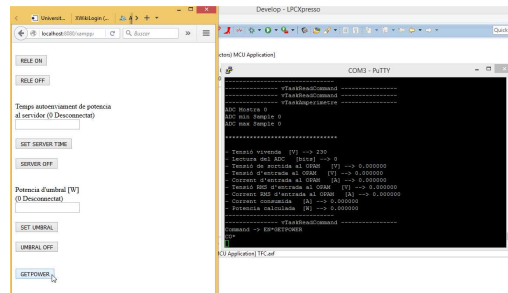


II-lustració 55. Recepció de la comanda de llindar de consum

Finalment, les dues imatges següents, mostren la última de les funcionalitats implementades al sistema, que consisteix en demanar al GEFI Energia el consum actual.

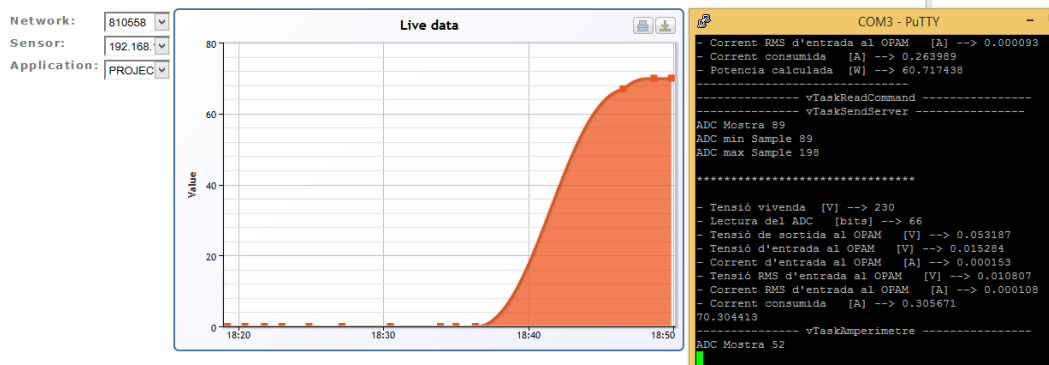


II-lustració 56. Comanda per demanar el consum actual



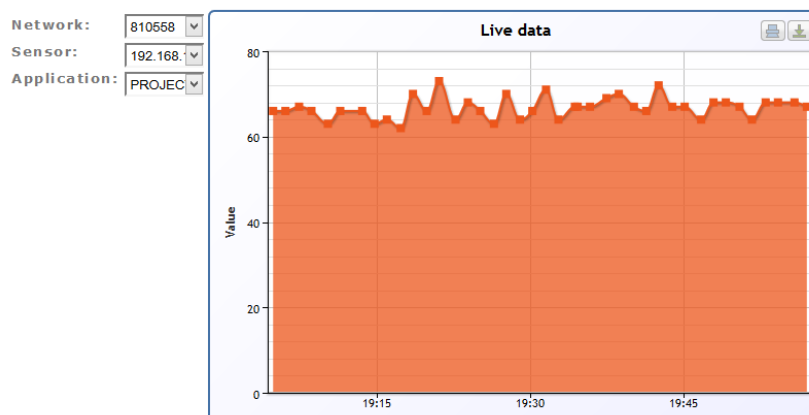
II-lustració 57. Recepció de la comanda que demana el consum actual

L'últim que resta per veure del sistema són les dades rebudes, a forma de gràfica, que arriben en aquest cas a arp@lab, mostrant els consums rebuts del GEFI Energia i els intervals de temps que les dades han estat enviades.



II-lustració 58. Gràfica de les mesures rebudes a arp@lab

Arp@ Network Stats



II-lustració 59. Gràfica de les mesures rebudes a arp@lab d'una bombeta de 65W