UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Enginyeria Técnica de Telecomunicacions especialitat Telemàtica

Disseny d'un sensor remot de senyals analògics

Memòria del projecte

16/06/2015

Alumne: Joan Rosset Verge

Dirigit per: Carlos Pacheco Navas

CURS 2015 (Febrer)

Índex

Índex 1
Índex d' il·lustracions 2
Índex de taules 3
1. AGRAÏMENTS. 4
2. INTRODUCCIÓ. 5
2.1. Introducció al projecte. 5
2.2. Objectius del TFC. 5
2.3. Disseny conceptual. 5
2.4. Tasques i fites. 6
2.5. Diagrama de Gantt. 7
2.6. Riscos i incidències. 8
3. INTRODUCCIÓ A LA NORMATIVA DE PRODUCTE. 9
3.1. Marcatge CE. 9
3.1.1. Quins aparells i/o productes estan regulats? 10
3.1.2. Quines directives afecten el producte? 10
3.1.3. Identificació dels requisits essencials de les directives de Marcatge CE. 11
3.1.4. Identificació de les normes harmonitzades de Marcatge CE. 11
3.1.5. Esquema de conformitat de Marcatge CE d'un producte electrònic. 11
3.2. Directiva de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE) 12
3.3. Directiva de Compatibilitat Electromagnètica (2004/108/CE) 14
3.4. Conclusió. 15
4. INTRODUCCIÓ A LA BANDA ISM 868 MHz. 16
4.1. La banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 16
4.2. Característiques de la banda ISM 868 MHz. 18
4.3. Modulacions Digitals. 20
4.4. Protocols de comunicació. 21
4.5. Conclusió. 24
5. DISSENY DELS CIRCUITS ANALÒGICS. 25
5.1. Circuit de mesura dels senyals analògics. 25
5.1.1. Circuit de mesura de la tensió de 0 fins a 10V. 27
5.1.2. Circuit de mesura del corrent de 4 fins a 20 mA. 28
5.2. Circuit de control de les sortides. 29

5.2.1. Esquema del circuit de control del llum d'alarma i del motor de la sirena.31
5.2.2. Determinació del circuit RC supressor de transitoris, *Snubber*.....33
6. ELECCIÓ DEL PROCESSADOR. 35
6.1. Disseny dels components del circuit del processador. 36
6.2. Disseny de l'antena a 868 MHz. 37
6.3. Implementació del programa de control. 38
6.3.1. Mòdul ADC (*Analog To Digital Converter*).....38
6.3.2. Mòdul transmissor de RF.....40
6.3.3. Diagrama de flux del programa de control i la simulació.....42
6.3.4. Programa principal de control de les alarmes.....43
7. DISSENY DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ. 44
7.1. Càlcul de consums i dimensionat de la potencia de la font d'alimentació. 45
7.2. Càlcul de la tensió i condensador de filtratge. 45
7.3. Estudi de l'aïllament de seguretat de la xarxa de BT i sistemes de protecció. .46
7.3.1. Càlcul dels sistemes de protecció per sobreintensitat. 50
7.4. Estudi del convertidor buck (*step-down*) DC/DC commutat. 51
8. DISSENY DEL *LAYOUT* DE LA PLACA PCB.....53
8.1. Disseny de l'esquemàtic. 54
8.2. Disseny de la disposició de la placa impresa. 55
8.3. Valoració econòmica del projecte. 56
9. CONCLUSIONS. 57
10. BIBLIOGRAFIA. 58
ANNEXA 1. 59
Diagrama de Gantt.....59
ANNEXA 2. 60
Gerbers de fabricació del circuit imprès.....60

Índex d' il·lustracions

Il·lustració 1. Diagrama de blocs del sensor remot de senyals analògics. 6
Il·lustració 2. Marcatge CE. 9
Il·lustració 3. Avaluació de la conformitat CE.....11
Il·lustració 4. Modulacions ASK (OOK), FSK i PSK. 21
Il·lustració 5. Modulació 8-QAM. 21
Il·lustració 6. MiWi. 22
Il·lustració 7. Pila Zigbee. 24

Il·lustració 8. Model ideal del OPAM.....25
Il·lustració 9. OPAM com a seguidor de tensió. 26
Il·lustració 10. Esquema del circuit analògic de mesura de tensió (0-10V) 27
Il·lustració 11.. Diagrama de resposta de les tensions V(vsense), V(vin) i V(vout).....28
Il·lustració 12. Esquema del circuit analògic de mesura del corrent elèctric (4-20mA) .28
Il·lustració 13. Resposta del corrent I(I1) i de les tensions V(vin) i V(out) 29
Il·lustració 14. Símbol elèctric del relé. 29
Il·lustració 15. Símbol elèctric del triac. 29
Il·lustració 16. Esquema del circuit activador. 30
Il·lustració 17. V(a), V(b) i el corrent per la carrega I(Rload) en conducció. 30
Il·lustració 18. Esquema del control dels dispositius connectats a la xarxa de 230V. 32
Il·lustració 19. Sobrevoltatge en el TRIAC en l'apagada amb i sense circuit *snubber*.....33
Il·lustració 20. Condensador (Cs) a partir del corrent de la carrega i la Rs. 34
Il·lustració 21. Gràfica per determinar el factor multiplicador de la tensió de pic.....34
Il·lustració 22. Full de característiques del processador PIC12LF1840T39A.....35
Il·lustració 23. Esquema elèctric del processador. 36
Il·lustració 24. Dimensions de l'antena. 37
Il·lustració 25. Diagrama de temps del pin DATA.....41
Il·lustració 27. Diagrama de temps. Alarma no activada. RA2 (DATA); RA4 (Bombeta); RA5 (Sirena) 42
Il·lustració 28. Diagrama de temps. Alarma activada. RA2 (DATA); RA4 (Bombeta); RA5 (Sirena) 42
Il·lustració 26. Diagrama de flux del sensor. 42
Il·lustració 29. Font d'alimentació de 230VAC a 12VDC.....45
Il·lustració 30. Exemples d'aplicació d'aïllament. 49
Il·lustració 31. Convertidor Buck (ST1S10PHR) 52
Il·lustració 32. Simulació convertidor buck DC/DC. 52
Il·lustració 33. Capacitats tècniques de fabricació. 53
Il·lustració 34. Esquema del sensor remot de senyals analògiques. 54
Il·lustració 35. Vista corresponent al disseny del circuit imprès. 55
Il·lustració 36. Vista 3D del circuit imprès. 55

Índex de taules

Taula 1. Detall de les tasques i dates. 7
Taula 2. Avaluació d'incidències i riscos. 8
Taula 3. Pla de contingències. 8
Taula 4. Rang de freqüències ISM i potència de transmissió. 17
Taula 5. Configuracions predefinides RF. 40
Taula 6. Tensió d'impuls assignada. 47
Taula 7. Distancia en l'aire mínimes. 48
Taula 8. Línies de fuga mínimes per aïllament principal. 48
Taula 9. Calculador de l'ampla de pista pel corrent circulant. 50
Taula 10. Valoració econòmica del projecte. 56

1. AGRAÏMENTS.

L'assoliment del present treball de recerca no hauria estat possible sense l'ajut i el recolzament de les persones que tinc més a prop, la meva esposa Anna Mª Vidal i la meva filla Judith Rosset, que han tingut molta paciència al llarg dels anys d'estudi.

A més, voldria agrair a tot l'equip docent de la UOC, el seu ajut i suport en tota la carrera, els meus tutors: Ferran Domínguez Gros, que em va orientar en els moments de dubtes i en Jaume Beneded, tots dos m'han acompanyat i ajudat en els moments que he necessitat de la seva assistència.

També, agrair el meu tutor del Treball de Fi de Carrera en Carles Pacheco Navas, la seva paciència, orientació i implicació en guiar-me cap a l'excel·lència.

Finalment, valorar als companys del fòrum, la seva motivació dins i fora del entorn virtual, que en moments difícils, han aportat el seu gra d'arròs per fer possible aconseguir els reptes plantejats en cada semestre.

2. INTRODUCCIÓ.

2.1. Introducció al projecte.

El projecte té com a propòsit aproximar el coneixement de les aplicacions electromagnètiques i electròniques centrades en el disseny d'un equip que per un costat utilitzi l'espectre electromagnètic corresponen a la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que ha de permetre desenvolupar productes que treballin dins del marge freqüencial sense haver de demanar permís explícit, ni pagar despeses d'explotació, i per l'altre, un equip que faci de sensor remot de senyals analògiques, avaluant el valor d'aquestes i comunicant-ho a la centraleta receptora.

2.2. Objectius del TFC.

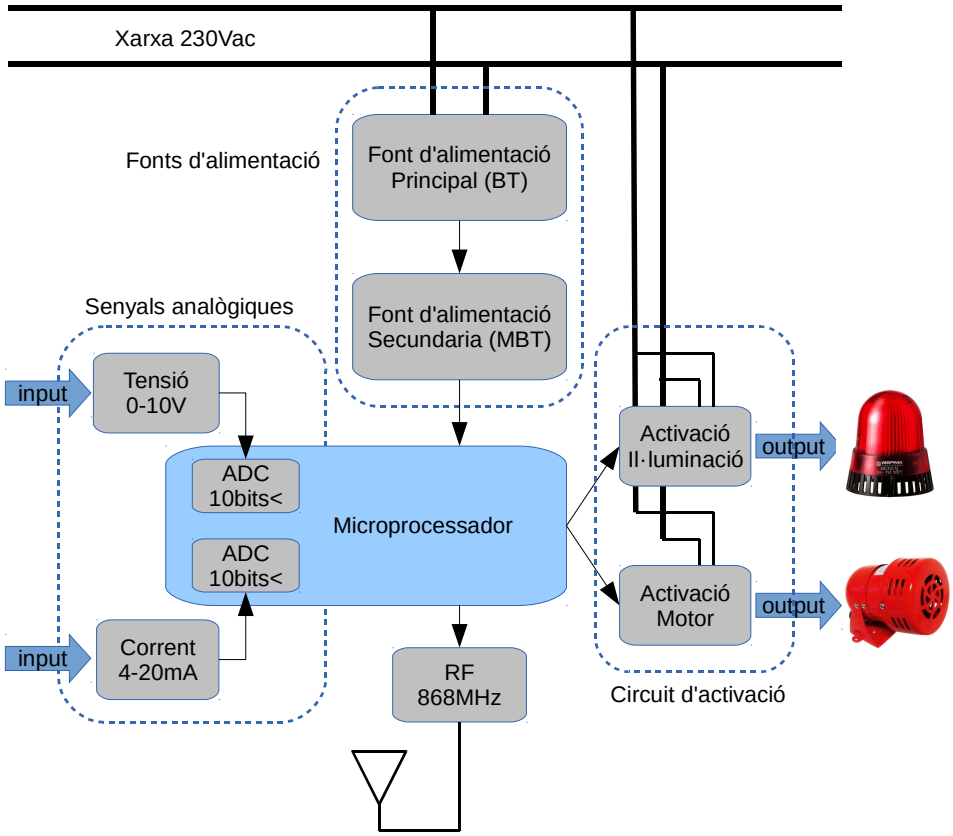
Els objectius que es volen assolir amb l'elaboració d'aquest Treball de Fi de Carrera (TFC) són d'una banda, el de la realització del projecte des de la concepció fins la finalització, i d'altra, aplicar i integrar els coneixements adquirits en les diferents matèries de la titulació. Els objectius específics a assolir seran: com dissenyar un producte comercial d'acord amb les normatives vigents; realitzar un sensor remot de senyals analògics; resoldre la font d'alimentació i els circuits d'adaptació de les entrades i sortides a nivells del microcontrolador i per últim, programar el microcontrolador segons uns requeriments de comportament indicats pel client.

2.3. Disseny conceptual.

En el disseny conceptual es descriuen els blocs de les diferents parts que componen el disseny del sensor remot de senyals analògiques, aquest blocs són:

1. **Controlador (Microprocessador).**
2. **Secció de Ràdio-Freqüència (RF).**
3. **Circuit de mesura dels senyals analògiques.**
4. **Circuit d'activació de les alarmes.**
5. **Alimentació (Fonts d'alimentació de BT i MBT).**
6. **Disseny del circuit imprès.**

Tot seguit es representa de forma gràfica els blocs indicats anteriorment,



Il·lustració 1. Diagrama de blocs del sensor remot de senyals analògics.

2.4. Tasques i fites.

En aquest apartat es mostra la taula de tasques i fites necessàries per aconseguir la finalització del TFC.

Tasques	Data Inici	Data fi
Índex.	11/03/15	11/03/15
1. Agraïment.	12/03/15	12/03/15
2. Introducció.	13/03/15	13/03/15
2.1. Introducció al projecte.	13/03/15	13/03/15
2.2. Objectius del TFC.	13/03/15	13/03/15
2.3. Disseny conceptual.	13/03/15	13/03/15
2.4. Tasques i fites.	14/03/15	14/03/15
2.5. Diagrama de Gantt.	14/03/15	14/03/15
2.6. Riscos i incidències.	14/03/15	14/03/15
3. Introducció a la normativa de producte.	15/03/15	15/03/15
3.1. Marcatge CE.	16/03/15	16/03/15
3.1.1. Quins aparells i/o productes estan regulats?	17/03/15	17/03/15
3.1.2. Quines directives afecten el producte?	17/03/15	17/03/15
3.1.3. Identificació dels requisits essencials de les directives de Marcatge CE.	18/03/15	18/03/15
3.1.4. Identificació de les normes harmonitzades de Marcatge CE.	19/03/15	19/03/15
3.1.5. Esquema de conformitat de Marcatge CE d'un producte electrònic.	19/03/15	19/03/15
3.2. Directiva de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE)	20/03/15	20/03/15

3.3. Directiva de Compatibilitat Electromagnètica (2004/108/CE)	20/03/15	20/03/15
3.4. Conclusió.	20/03/15	20/03/15
4. Introducció a la banda ISM 868 MHz.	21/03/15	22/03/15
4.1. La banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*).	23/03/15	24/03/15
4.2. Característiques de la banda ISM 868 MHz.	25/03/15	25/03/15
4.3. Modulacions Digitals.	26/03/15	27/03/15
4.4. Protocols de comunicació.	28/03/15	29/03/15
4.5. Conclusió.	28/03/15	29/03/15
Esborrany PEC2. Revisió del PEC2 en funció de les indicacions del tutor del projecte sobre l'esborrany enviat.	30/03/15	01/04/15
Lliurament PEC2. Lliurament del PEC2 a la "Bústia de Lliuraments"	02/04/15	07/04/15
5. Disseny dels circuits analògics.	08/04/15	08/04/15
5.1. Circuit de mesura dels senyals analògics.	08/04/15	08/04/15
5.1.1. Circuit de mesura de tensió de 0 fins a 10V.	08/04/15	08/04/15
5.1.2. Circuit de mesura del corrent de 4 fins a 20mA.	08/04/15	08/04/15
5.2. Circuit de control de les sortides.	09/04/15	09/04/15
5.2.1. Esquema del circuit de control del llum d'alarma i del motor sirena.	09/04/15	09/04/15
5.2.2. Determinació del circuit RC supressor de transitoris, *Snubber*.	09/04/15	09/04/15
6. Elecció del processador.	10/04/15	10/04/15
6.1. Disseny dels components del circuit del processador.	10/04/15	10/04/15
6.2. Disseny de l'antena a 868 MHz.	11/04/15	12/04/15
6.3. Implementació del programa de control.	30/04/15	03/05/15
6.3.1. Mòdul ADC (*Analog To Digital Converter*)	30/04/15	01/04/15
6.3.2. Mòdul transmissor de RF.	01/04/15	02/04/15
6.3.3. Diagrama de flux del programa de control i la simulació.	02/04/15	03/04/15
6.3.4. Programa principal de control de les alarmes.	03/05/15	03/05/15
7. Disseny de la font d'alimentació.	13/04/15	13/04/15
7.1. Càlcul de consums i dimensionat de la potencia de la font d'alimentació	13/04/15	13/04/15
7.2. Càlcul de la tensió i condensador de filtratge.	13/04/15	14/04/15
7.3. Estudi de l'aïllament de seguretat de la xarxa BT i sistemes de protecció.	14/04/15	15/04/15
7.3.1. Càlcul dels sistemes de protecció per sobreintensitat.	16/04/15	16/04/15
7.4. Estudi del convertidor buck (*step-down*) DC/DC commutat.	17/04/15	18/04/15
8. Disseny del *layout* de la placa PCB.	19/04/15	21/04/15
8.1. Disseny de l'esquemàtic.	22/04/15	24/04/15
8.2. Disseny de la disposició de la placa impresa.	25/04/15	29/04/15
8.3. Valoració econòmica del projecte.	29/04/15	29/04/15
9. Conclusions.	04/05/15	04/05/15
10. Bibliografia.	05/05/15	06/05/15
Esborrany PEC3. Revisió del PEC3 en funció de les indicacions del tutor del projecte sobre l'esborrany enviat.	07/05/15	09/05/15
Lliurament PEC3. Lliurament del PEC3 a la "Bústia de Lliuraments"	10/05/15	12/05/15
Realització de la presentació. Inici de la presentació.	13/05/15	07/06/15
Esborrany de la presentació. Revisió per part del tutor.	08/06/15	12/06/15
Lliurament de la Memòria i Presentació. Lliurament a la bústia.	13/06/15	16/06/15

Taula 1. Detall de les tasques i dates.

2.5. Diagrama de Gantt.

L'exposició de les dates previstes de dedicació per a les diferents tasques o activitats en el llarg del temps, necessari per a la finalització del TFC, s'inclou en ANNEXA 1.

2.6. Riscos i incidències.

Aquest capítol ha estat estructurat considerant inicialment una anàlisi d'incidències i riscos, que identifica primerament la influencia que aquests poden generar en el projecte i el seu impacte, a més, d'especificar un Pla de Contingències.

Codi	Descripció	Impacte	Probabilitat
R01	El fitxer del document del TFC corrupte	Alt	Mitjà
R02	El format i estructura del document malmès	Mitjà	Mitjà
R03	Utilització de nou programari (aprenentatge)	Baix	Baix
R04	Incompliment de les dates de lliurament	Alt	Baix
R05	L'ordinador deixa de funcionar	Alt	Baix
R06	Malaltia	Mitjà	Baix
R07	Imprevistos laborals (viatge, acabament de treballs, etc.)	Baix	Baix

Taula 2. Avaluació d'incidències i riscos.

Incidència	Pla de contingència
R01	Realitzar còpies periòdiques de seguretat en medis externs (Mass storage, Dropbox, etc.)
R02	Realitzar còpies periòdiques de seguretat en medis externs (Mass storage, Dropbox, etc.)
R03	Preveure incrementar el temps de dedicació en l'aprenentatge de nous programaris i cercar tutorials.
R04	Preveure incrementar el temps de realització contra el temps d'oci, amb antelació.
R05	Tenir un ordinador alternatiu amb el programari necessari disponible i restaurar les documentacions a partir de les còpies de seguretat.
R06	La necessitat de plantejar-se el requeriment de dies festius per la realització prioritària del TFC.
R07	La necessitat de plantejar-se el requeriment de dies festius per la realització prioritària del TFC.

Taula 3. Pla de contingències.

3. INTRODUCCIÓ A LA NORMATIVA DE PRODUCTE.

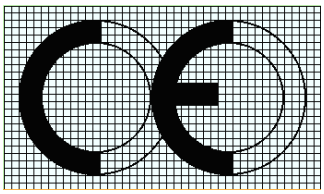
La lliure circulació de mercaderies és una de les pedres angulars del Mercat Únic. Els mecanismes establerts per aconseguir aquest objectiu es basen a evitar noves barreres al comerç, el reconeixement mutu i l'harmonització tècnica. En aquest sentit, la Resolució del Consell de 1985, relativa a un Nou Enfocament de l'harmonització i normalització tècnica, estableix una nova tècnica i estratègia de reglamentació sobre la base dels següents principis:

- L'harmonització legislativa es limita als requisits essencials que han de complir els productes comercialitzats en el mercat comunitari per poder circular lliurement dins de la Comunitat.
- Les especificacions tècniques dels productes que compleixen els requisits essencials, establerts en les directives, es fixaran en normes harmonitzades. L'aplicació de normes harmonitzades i d'un altre tipus seguirà sent voluntària, i el fabricant sempre podrà aplicar altres especificacions tècniques per complir els requisits.
- Els productes fabricats en compliment de les normes harmonitzades gaudeixen de la presumpció de conformitat amb els requisits essencials corresponents.

3.1. Marcatge CE.

La Marca CE, prové del francès i significa "*Conformité Européenne*" o de Conformitat Europea, és un logotip creat per la Comunitat Europea, que s'aplica sobre un producte i dóna lloc a una presumpció de conformitat d'aquest respecte als procediments d'avaluació establerts per la legislació comunitària que li és aplicable.

El marcatge CE no és una marca de qualitat, ja que, el principal objectiu d'aquest marcatge és demostrar la conformitat d'un producte respecte als requisits essencials establerts per la directiva o directives que l'afecten. Els requisits essencials fan referència a aspectes de seguretat, salut, defensa del medi ambient i qualsevol altre aspecte d'interès col·lectiu.



Il·lustració 2. Marcatge CE.

El marcatge CE estableix que els productes inclosos a les directives solament es poden comercialitzar si no posen en perill la salut o la

seguretat de les persones, animals o béns. Això significa que no es poden comercialitzar productes que no compleixin els requisits establerts per les directives.

3.1.1. Quins aparells i/o productes estan regulats?

La legislació europea de marcatge CE afecta un conjunt de productes i aparells des del punt de vista de la seguretat, la compatibilitat electromagnètica, el medi ambient o l'estalvi d'energia, concretament els més representatius són els següents:

- Aparells, equips, màquines i entorn laboral.
- Aparells i material elèctric, electrònic, a gas i combustibles líquids.
- Equips de radiocomunicacions i de telecomunicacions.
- Equips mèdics i productes sanitaris.
- Joguines.

3.1.2. Quines directives afecten el producte?

El primer pas per iniciar el procediment per a l'obtenció del marcatge CE és analitzar les directives aplicables al producte. No totes les Directives de Nou Enfocament imposen el marcatge CE, però, com saber si un producte està afectat pel marcatge CE?

Primer, cal que es tracti d'un producte destinat a comercialitzar en el territori de la UE, és a dir, un producte fabricat en un dels estats membres i introduït en el mercat comunitari per primera vegada, o bé, un producte fabricat fora de la UE, que s'introdueixi o utilitzi per primera vegada en el mercat comunitari.

Posteriorment, caldrà verificar que el producte entra dins de l'àmbit d'aplicació d'una o diverses Directives que imposen el marcatge CE. Si no és aquest el cas, el productor no podrà col·locar el marcatge CE. Per saber si un producte ha de portar el marcatge CE, el fabricant haurà de consultar les directives pròpies que imposen aquest marcatge.

El títol de la Directiva pot proporcionar informació sobre l'àmbit d'aplicació de la mateixa, però, el productor necessitarà llegir l'articulat de la mateixa per saber amb exactitud si li és d'aplicació. Cal tenir en compte, a més, que les directives no recullen una llista exhaustiva de tots els productes englobats en les mateixes, sinó que es limiten a definir les diverses categories de productes, a les quals, cal acudir per saber si un determinat producte està inclòs o no.

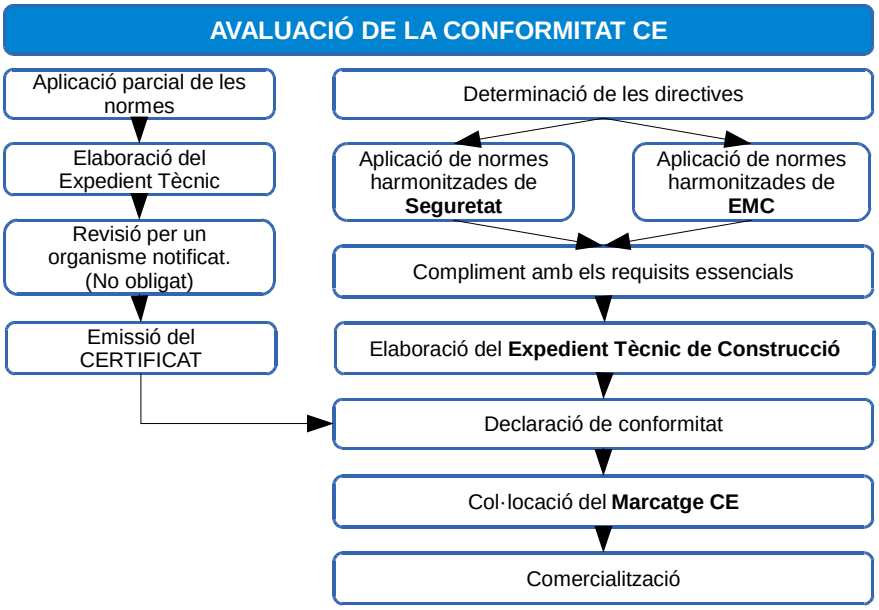
3.1.3. Identificació dels requisits essencials de les directives de Marcatge CE.

Els requisits essencials són d'obligat compliment i tenen com a finalitat oferir i garantir un alt nivell de protecció. Per tant, el productor està obligat a realitzar una anàlisi dels riscos associats als seus productes a fi d'identificar els diferents requisits essencials. Poden referir-se a persones, animals i coses (per tal de prevenir danys relacionats amb un incendi, una explosió, etc.), la salut de l'usuari del producte o d'un tercer (en el cas de risc d'infecció o malaltia), i fins i tot, el medi ambient (el producte ha de respondre especialment a determinades exigències en matèria d'estalvi d'energia).

3.1.4. Identificació de les normes harmonitzades de Marcatge CE.

Una norma harmonitzada s'ha de correspondre amb els requisits essencials de la directiva que afecti al producte. Una norma no solament pot contenir especificacions o criteris relatius aquests requisits, sinó també, a altres disposicions. En aquest cas, aquestes disposicions s'han de distingir clarament d'aquelles que abasten els requisits. A més, una norma harmonitzada no cobreix necessàriament totes les característiques que demana una directiva. Per tant, el fabricant ha d'utilitzar l'especificació tècnica de les normes pertinents, a fi de complir amb tots els requisits essencials de la directiva.

3.1.5. Esquema de conformitat de Marcatge CE d'un producte electrònic.



Il·lustració 3. Avaluació de la conformitat CE.

3.2. Directiva de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE)

La Directiva de Baixa Tensió (BT) 73/23/CEE va ser derogada i unificada per la Directiva 2006/95/CE, aquesta té vigència fins al 20/04/2016, on serà derogada per la nova Directiva 2014/35/UE.

La Directiva de Baixa Tensió s'aplica a tot material elèctric destinat a utilitzar-se amb una tensió nominal compresa entre:

- 50 i 1000 volts en corrent altern.
- 75 i 1500 volts en corrent continu.

Aquests límits de tensió es refereixen a l'alimentació o a la sortida del dispositiu, no són voltatges que poden aparèixer en l'interior del mateix. A més, els requisits essencials en què es bassa la protecció estan orientats: al xoc elèctric; el calor i el foc; a les emissions i radiacions perilloses; i els riscos mecànics.

Alhora de realitzar el disseny en seguretat elèctrica s'ha de tenir en compte els conceptes bàsics, de la norma harmonitzada, que a continuació es descriuen:

- **Equip de Classe I:** és un equip en què la protecció contra els xocs elèctrics s'aconsegueix utilitzant aïllament bàsic i mitjançant la utilització de la posada a terra de protecció.
- **Equip de Classe II:** és l'equip en què la protecció contra xocs elèctrics no es confia a un aïllament bàsic només, sinó que s'utilitzen mesures de seguretat addicionals, com és l'aïllament doble o reforçat, independentment que hi hagi connexió de terra de protecció.
- **Equip de Classe III:** l'equip en què la protecció contra xocs elèctrics es confia a la seva alimentació i amb circuits de molt baixa tensió de seguretat (MBTS) en les que no es generen tensions perilloses.

També es determinarà la connexió dels circuits elèctrics amb les diferents tensions:

- **Circuit primari:** circuit connectat directament a la xarxa d'alimentació en corrent altern.
- **Circuit secundari:** circuit que no té connexió directa amb el circuit primari i l'alimentació prové d'un transformador, convertidor, bateria o similar.

- **Circuit de corrent limitada:** circuit que està dissenyat i protegit de manera que en condicions normals de funcionament i en condicions de fallada únic, el corrent que pot extreure no és perillós.
- **Circuit MBT (ELV) o Molt Baixa Tensió:** circuit secundari amb tensions inferiors a 42,4 V de cresta o 60 VDC, en condicions normals de funcionament, separat de les tensions perilloses mitjançant un aïllament bàsic i que no compleix tots els requisits d'un circuit MTBS ni tots els d'un circuit de corrent limitada.
- **Circuit MBTS (SELV) o Molt Baixa Tensió de Seguretat:** circuit secundari que està dissenyat i protegit de manera que en condicions normals de funcionament i en condicions de fallada únic, la seva tensió no sobrepassa un valor segur (42,4 V de cresta o 60 VDC).
- **Circuit TNV (1, 2 i 3) *Telecommunications Network Voltage*:** circuit instal·lat en l'equip amb una àrea de contacte accessible limitada, que està dissenyat i protegit de manera que en condicions normals de funcionament i en condicions de fallada únic, les tensions no sobrepassen els límits especificats, per tant, es considera que un circuit TNV és un circuit secundari.

Per últim, s'indicaran el tipus d'aïllament necessari per reduir riscos de seguretat a causa del xoc elèctric:

- **Aïllament funcional:** és l'aïllament necessari només per al funcionament de l'equip. Aquest aïllament es requereix entre parts conductores de diferent potencial elèctric.
- **Aïllament bàsic:** és l'aïllament que proporciona protecció bàsica contra els xocs elèctrics. S'aplica entre parts actives i parts conductores posades a terra.
- **Aïllament suplementari:** és l'aïllament independent aplicat, a més de l'aïllament bàsic, per reduir el risc de xoc elèctric en cas d'un defecte de l'aïllament bàsic.
- **Aïllament doble:** es correspon a l'aïllament format per l'aïllament bàsic i l'aïllament suplementari.
- **Aïllament reforçat:** sistema d'aïllament únic que proporciona un grau de protecció contra els xocs elèctrics, és equivalent a l'aïllament doble.

3.3. Directiva de Compatibilitat Electromagnètica (2004/108/CE)

La nova Directiva 2004/108/CE sobre Compatibilitat Electromagnètica va entrar en vigor el 20 de juliol de 2007 i fins al 20 juliol 2009 podien aplicar indistintament tant aquesta directiva, com la Directiva 89/336/CEE a la qual ve a substituir. A partir del 20 d'abril de 2016 la nova Directiva 2014/30/UE entrarà en vigència.

La Directiva 2004/108/CE regula la compatibilitat electromagnètica dels equips elèctrics i electrònics que puguin crear pertorbacions electromagnètiques, o que el normal funcionament es pugui veure perjudicat per aquestes pertorbacions, exigint que compleixin un nivell adequat de compatibilitat electromagnètica per tal de garantir el funcionament del mercat interior. Segons els principis del Nou Enfocament, s'harmonitzen els requisits essencials relacionats amb la compatibilitat electromagnètica aplicables al disseny i fabricació dels equips elèctrics i electrònics.

La selecció de les normes europees harmonitzades pertinents, és la responsabilitat del fabricant. En molts casos és necessari aplicar diverses d'aquestes normes, per cobrir tots els requisits de protecció EMC de la Directiva. En general, s'han de tenir presents els tres principals aspectes a ser coberts:

- Les emissions d'alta freqüència (relacionada amb la protecció del ràdio espectre)
- Les emissions de baixes freqüències a la xarxa elèctrica (harmònics, fluctuacions de voltatge, etc.)
- Immunitat a fenòmens permanents i transitoris d'EMC (descàrregues electrostàtiques, camps radiats, etc.)

L'aplicació de diverses normes també pot ser necessari pels aparells de multi funció, com els que combinen un receptor de ràdio i una altra funció sense ràdio, com per exemple, una alarma.

En definitiva, el compliment de la Directiva requerirà els principis bàsics: l'equip no ha de causar interferències a altres equips, l'equip no ha de ser susceptible a emissions d'altres equips i l'equip no ha de causar interferències a si mateix.

3.4. Conclusió.

En referència el disseny del nostre producte haurem d'aplicar la Directiva de Baixa Tensió 2006/95/CE i la Directiva Compatibilitat Electromagnètica 2004/108/CE. Tant mateix, un dels principals esculls consisteix en determinar la norma harmonitzada d'un producte segons els requisits essencials de la directiva, com és el cas del disseny del sensor remot de senyals analògics, per tant, utilitzarem com a referencia l'esquema de la Il·lustració 3. Avaluació de la conformitat CE.

En primer lloc, es determinant les normes de seguretat elèctrica que afecten el nostre producte indicades en la directiva de baixa tensió:

- **UNE-EN 60335.** Equips electrodomèstics. Norma amb un àmbit d'aplicació d'us domèstic, comercial i industrial amb tensions d'alimentació de < 250V.
- **UNE-EN 60950.** Equips de tecnologia de la informació. Potencia del transmissor de Radio Freqüència (RF).

En últim lloc, s'exposen les normatives corresponents a la directiva compatibilitat electromagnètica:

- **EN 55022 i EN55014.** Normes que afecten a les emissions dels aparells que poden causar interferències amb d'altres dispositius.
- **EN 61000-4.** Noma d'immunitat dels aparells a les pertorbacions continues i transitòries, conduïdes i radiades, incloent les descarregues electrostàtiques.

4. INTRODUCCIÓ A LA BANDA ISM 868 MHz.

Les transmissions de dades entre equips electrònics sense cables s'estan aplicant cada vegada més degut als mitjans tecnològics actuals, que són els circuits integrats que permeten fer un disseny sense tenir coneixements de RF, ni disposar de cara instrumentació, ja que aquests dispositius requereixen pocs components externs i cap tipus d'ajust. La utilització de circuits transceptors completament integrats amb les funcions d'emissor i receptor, en diferents bandes de freqüència que es van anar estandarditzant en les diferents zones (Europa i USA), han permès poder-los utilitzar en els diferents camps d'aplicació industrial, comercial, i mèdic, com: el control remot, la transmissió de dades en sensors o sistemes d'adquisició de dades, en la monitorització mèdica o de la salut, etc.

4.1. La banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*).

ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) és l'acrònim del nom de les bandes de freqüències, definides per la ITU, per la utilització sense llicència, que estan reservades internacionalment per l'ús no comercial de radiofreqüència en les àrees industrial, científic i mèdic. Aquestes bandes són les utilitzades per els telèfons sense fils domèstics DECT, els forns de microones, o els dispositius *Bluetooth*, *Wi-FI* en xarxes *LAN*, entre altres tecnologies. En principi l'ús de dispositius de comunicacions en les bandes ISM està completament obert, sempre que es respectin uns límits en referència a la potència d'emissió.

La totalitat de les tecnologies WLAN i WPAN comercials s'utilitzen en les bandes ISM, tot i que, hi ha lleugeres diferències en la legislació d'alguns països, això, pot donar lloc a problemes a l'hora d'utilitzar aquesta tecnologia en certs territoris.

Les freqüències de treball estandarditzades són: 314 MHz als EUA, amb potència màxima +30 dBm; 434 MHz, amb més de 10 dBm; i 868 MHz a Europa, amb més de 14 dBm i modulació analògica AM o FM, amb un cicle de transmissió del 0.1%, 1% o 10% depenent de la banda. També, hi ha les modulacions digitals utilitzades, com: FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum*) i DSSS (*Direct-Sequence Spread Spectrum*).

Frequency Band	Application	ERP	Duty Cycle	Channel Bandwidth
402 – 405 MHz	Ultra Low Power medical Implants	–16 dBm	No limits	25 kHz(1)
868.6 – 868.7 MHz	Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz(1)
869.2 – 869.25 MHz	Social Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz
869.25 – 869.3 MHz	Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz
869.65 -869.7 MHz	Alarms	+14 dBm	< 10%	25 kHz
863 – 865 MHz	Radio Microphones	+10 dBm	No limits	200 kHz
863 -865 MHz	Wireless Audio Applications	+10 dBm	No limits	300 kHz
1785 – 1800 MHz	Radio Microphones	+7.85 dBm	No limits	200 kHz
2400 – 2483.5 MHz	Wideband data transmission	+17.85 dBm	No limits	No limits(2)
2446 – 2454 MHz	Railway applications	+24.85 dBm	No limits	No limits
2400 – 2483.5 MHz	Motion sensors	+11.85 dBm	No limits	No limits
2446 – 2454 MHz	RFID	+24.85 dBm	No limits	No limits
2446 – 2454 MHz	RFID	+33.85 dBm	< 15%	No limits

Taula 4. Rang de freqüències ISM i potència de transmissió.

En la Taula 4. Rang de freqüències ISM i potència de transmissió. El valor ERP (*Effective Radiated Power*) corresponent al límit de potència per la banda freqüencial, ve donada per la relació EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) o PIRE, en correspondència amb la quantitat de potència que emetria una antena isotròpica teòrica de potencia igual en totes les direccions , segons la formula (en logaritmes):

$$ERP = EIRP - 2.15dB$$

$$EIRP = PT + GT - LC$$

On:

- PT = Potencia de sortida del transmissor (dBm)
- GT = Guany de l'antena de transmissió (dB)
- LC = Atenuació del senyal a causa de la connexió entre el transmissor i l'antena (dB)

Els límit de potència, venent determinats per el Decret 148/2001, a Catalunya, i el Reial Decret RD 1066/2001, a Espanya, sobre "*Condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas*", on s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitària davant d'emissions radioelèctriques. Aquest decret està basat en la recomanació europea 1999/519/EC i estableix uns nivells màxims per als camps electromagnètics, així com, un protocol per a la seva mesura.

4.2. Característiques de la banda ISM 868 MHz.

IEEE 802.15.X és un grup de treball dins de IEEE 802 especialitzat en xarxes sense fils d'àrea personal (*Wireless Personal Area Networks*, WPAN) que es divideix en subgrups. Els estàndards que desenvolupa, defineixen xarxes tipus PAN (*Personal Area Network*) o HAN (*Home Area Network)*, centrades en les curtes distàncies. Igual que Bluetooth o ZigBee, el grup d'estàndards 802.15 permet que dispositius portàtils com PC, PDA, telèfons, sensors i actuadors utilitzats en domòtica, entre d'altres, puguin comunicar-se i interoperar. Com que Bluetooth no pot coexistir amb una xarxa sense fils 802.11.x, es va definir aquest estàndard per permetre la interoperabilitat de les xarxes sense fils LAN amb les xarxes tipus PAN o HAN. A continuació es descriuen els estàndards:

- **IEEE 802.15.1** estàndard basat en l'especificació 1.1 de Bluetooth i Bluetooth LE, que Inclou els nivells físic (PHY) i control d'accés al medi (MAC).
- **IEEE 802.15.2** estudia els possibles problemes derivats de la coexistència de WPAN amb altres dispositius sense fils que utilitzin les bandes de freqüència no regulades, com ara les xarxes sense fils d'àrea local (WLAN).
- **IEEE 802.15.3** és un estàndard que defineix els nivells PHY i MAC per WPAN d'alta velocitat (11-55 Mbit/s).
- **IEEE 802.15.4** (*Low Rate* WPAN) tracta les necessitats de sistemes amb poca transmissió de dades, però, vides útils molt altes amb alimentació limitada (piles, bateries ...) i una complexitat molt baixa (Zigbee). El grup 6loWPAN la *Internet Engineering Task Force* (IETF) realitza mètodes per treballar amb xarxes IPv6 sobre aquesta base.
- **IEEE 802.15.5** promoure la interoperabilitat, estabilitat i escalabilitat de xarxes WPAN.
- **IEEE 802.15.6** projecte de norma per a tecnologies *Body Area Network* (BAN)
- **IEEE 802.15.7** estàndard per a *Visible Light Communication* (VLC)

Per el nostre projecte ens centrarem amb l'estàndard IEEE 802.15.4, ja que defineix el nivell físic i el control d'accés en xarxes sense fils d'àrea personal i amb taxes baixes de transmissió de dades (*low-rate wireless personal area network, LR-WPAN*). El propòsit de l'estàndard és definir els nivells de xarxa bàsics per donar servei a un tipus específic de xarxa sense fils d'àrea personal (WPAN) centrada en l'habilitació de comunicació

entre dispositius de baix cost i velocitat. En la seva forma bàsica, l'abast és d'una àrea de comunicació de 10 metres amb una taxa de transferència de 250 kbps. Entre els aspectes més importants es troba l'adequació del seu ús, en temps real, per mitjà de ranures de temps garantits, evasió de col·lisions per CSMA / CA i suport integrat a les comunicacions segures. També, s'inclouen funcions de control del consum d'energia com qualitat de l'enllaç i detecció d'energia.

Aquests estàndards operen en una de les tres possibles bandes de freqüència d'ús no regulat:

- **868-868,8 MHz:** A Europa, permet un canal de comunicació (versió de 2003) i una ampliació fins a tres canals, en la revisió de 2006.
- **902-928 MHz:** A Nord Amèrica, fins a deu canals (2003) estesos a trenta (2006).
- **2400-2483,5 MHz:** ús a tot el món, fins a setze canals (2003, 2006).

Cadascuna de les bandes de radiofreqüència esmentades anteriorment, té una característica distintiva que la col·loca en avantatge respecte a les altres, segons les necessitats de l'aplicació final. Per exemple, la banda de 2,4 GHz que és la més utilitzada, per permetre una major taxa de dades i per ser d'ús lliure mundialment. No obstant això, per a aplicacions de baixa taxa de dades i on l'abast sigui la prioritat principal, les bandes sub-GHz semblen ser les que millor s'adaptin a aquestes condicions. És evident, que la freqüència i l'ample del canal de transmissió estan directament relacionats amb la qualitat de la comunicació sense fils. A majors freqüències, hi ha més espectre, i per tant els canals són més amples. Un altre cas és el de tenir 1000 vegades més espai d'espectre entre 1 i 2 GHz que entre 1 i 2 MHz. És per això que la banda de 2,4 GHz té capacitat per transmetre una major taxa de dades que les bandes de menor freqüència. Tanmateix, aquesta capacitat de dades porta com a conseqüència una disminució de la distància de transmissió, el que penalitza la funcionalitat de xarxes a altes freqüències en entorns d'àrees molt àmplies.

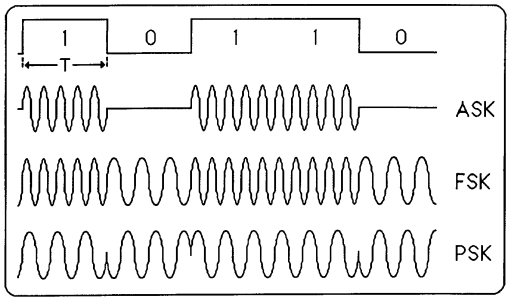
Alguns dels protocols que suporten aquest estàndard serien: Miwi (Microchip), ZigBee, WirelessHART (*Highway Addressable Remote Transducer Protocol*) i RF4CE (*Radio Frequency for Consumer Electronics*) d'entre altres possibles.

4.3. Modulacions Digitals.

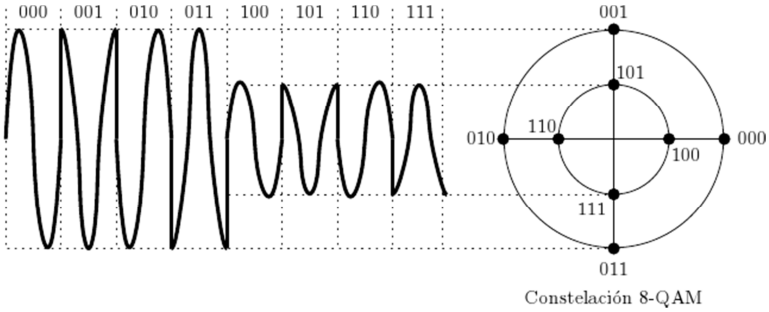
La modulació engloba el conjunt de tècniques que es fan servir per transportar informació sobre una ona portadora, típicament una ona sinusoïdal. Aquestes tècniques permeten un millor aprofitament del canal de comunicació que possibilita transmetre més informació en forma simultània, a més, de millorar la resistència contra possibles sorolls i interferències. En la modulació digital la portadora i el senyal modulat són analògiques i s'utilitzen tècniques com els senyals de modulació d'amplitud (AM), modulació de freqüència (FM) i modulació de fase (PM). A més d'aquestes tècniques tenim la modulació digital com les següents:

- **Modulació per desplaçament d'amplitud** (ASK, *Amplitude Shift Keying*). Es correspon a una forma de modulació en la qual es representen les dades digitals com variacions d'amplitud de l'ona portadora en funció de les dades a enviar. Els avantatges de la modulació per amplitud són el senzill disseny (cost més baix) i el reduït consum. A més, cal indicar que la modulació binaria senzilla (OOK, *On-Off Keying*) que és una forma de modulació que representa les dades digitals mitjançant, la presencia o absència del senyal portadora. El desavantatge d'aquesta modulació és la fragilitat en presència d'interferències pel soroll elèctric, que pot provocar errors en les dades rebudes.
- **Modulació per desplaçament de freqüència** (FSK, *Frecuency Shift Keying*). És una tècnica de modulació per a la transmissió digital d'informació utilitzant dos o més freqüències diferents per a cada símbol. L'avantatge és la millor robustesa davant la presència d'interferències, tot i que, la complexitat del sistema i l'augment del consum incrementa el cost.
- **Modulació per desplaçament de fase** (PSK, *Phase Shift Keying*). Modulació angular que consisteix a fer variar la fase de la portadora entre un nombre de valors discrets.
- **Modulació d'amplitud en quadratura** (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*). Tècnica que transporta dos senyals independents, mitjançant la modulació d'un senyal portadora, tant en amplitud com en fase.

Per tant, els avantatges de la modulació digital, serien: Immunitat enfront del soroll; fàcil de multiplicar; estar codificat i xifrat; i modulació-desmodulació amb DSPs. A continuació podem veure formes d'ona de les diferents modulacions:



Il·lustració 4. Modulacions ASK (OOK), FSK i PSK.



Il·lustració 5. Modulació 8-QAM.

Finalment, indicar que en aquest apartat s'han comentat les principals modulacions utilitzades en la transmissió de dades digitals, ja que, ens ha servit per introduir com el nostre sensor remot de senyals analògics es comunicarà amb la centraleta receptora.

4.4. Protocols de comunicació.

Un protocol de comunicació és un conjunt de regles i normes que permeten que dues o més entitats d'un sistema de comunicació es comuniquin entre ells, i transmetre informació per mitjà de qualsevol tipus de variació d'una magnitud física. Es tracta de les regles o l'estàndard que defineix la sintaxi, semàntica i sincronització de la comunicació, així com, possibles mètodes de recuperació d'errors. Els protocols poden ser implementats per maquinari, programari, o una combinació d'ambdós.

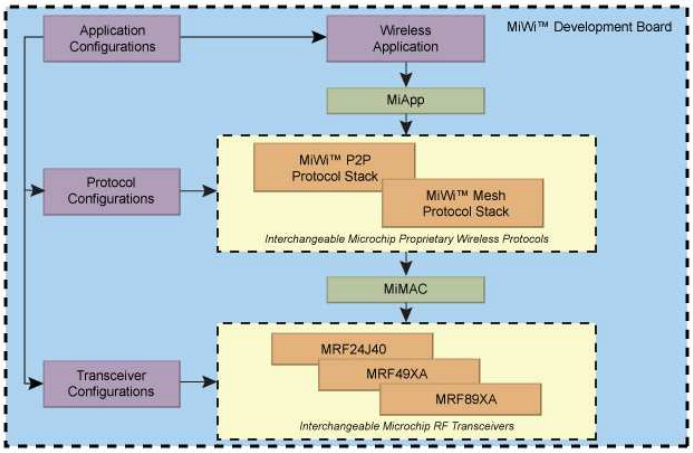
El projecta corresponent a TFC no s'implementarà cap capa de protocol de comunicació, tot i que, comentarem dos diferents protocols que ens permetrien assegurar la correcta comunicació entre els dispositius, a un cost reduït. Per tant, aquests protocols són:

- **Miwi (Microchip Wireless).** És un protocol propietari de *Microchip Technologies* que és gratuït i no requereix de la compra de llicències per al seu ús, sempre que s'utilitzin components de maquinari de Microchip Technologies. Està dirigit a dispositius i xarxes de baix cost, que no necessiten una alta transferència de dades (250Kbit/s) a curta distància (100 metres sense obstacles), i amb un consum energètic mínim. La infraestructura està limitada

en el nombre de nodes, de 1024 nodes (128 nodes en 8 sub-xarxes diferents) com a màxim per xarxa enfront dels més de 64000 (2^{16}) de ZigBee. Al protocol MiWi inclou dos protocols:

- ✓ **MiWi P2P**. Protocol simple, punt a punt, amb una xarxa de tipus estrella i una pila de pes lleuger.
- ✓ **MiWi PRO (*Mesh Protocol Stack*)**. Protocol que suporta la topologia de xarxa de malla, fins a 8.000 nodes i 64 salts.

Els principals avantatges de l'entorn de desenvolupament MiWi, són: facilitat en l'arquitectura i desplegament de xarxes sense fils; la facilitat de la portabilitat de les aplicacions utilitzant els transceptors de RF de Microchip; i facilitat en l'ampliació de les topologies de xarxa en el marc del protocol MiWi.



Il·lustració 6. MiWi.

- **ZigBee.** Especificació d'un conjunt de protocols d'alt nivell de comunicació sense fils per a la seva utilització amb radiodifusió digital de baix consum, basada en l'estàndard IEEE 802.15.4 de xarxes sense fils d'àrea personal (*wireless personal area network, WPAN*). El seu objectiu són les aplicacions que requereixen comunicacions segures amb baixa taxa d'enviament de dades i maximització de la vida útil de les seves bateries. Les característiques que el diferencien d'altres tecnologies són:
  - ✓ El seu baix consum.
  - ✓ La seva topologia de xarxa en malla.
  - ✓ La seva fàcil integració (es poden fabricar nodes amb molt poca electrònica).

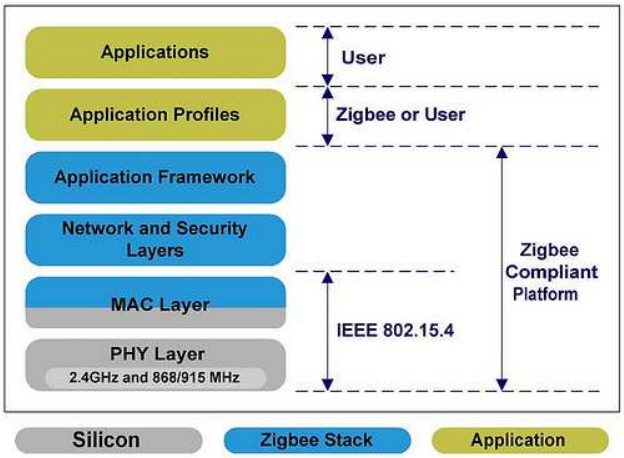
A les xarxes ZigBee trobem tres tipus de dispositius:

- ✓ ***Coordinator***: en tota xarxa sigui de dos-cents o de dos dispositius, ha d'haver-hi un coordinador, només pot haver un per xarxa i entre les seves tasques hi ha les de formar i gestionar la xarxa.
- ✓ ***Router***: són dispositius de la xarxa que tenen la capacitat d'enviar, rebre i encaminar informació. Poden actuar com a missatgers entre dispositius que estan molt allunyats per establir una comunicació directament, ja que els dispositius ZigBee no estan pensats per a comunicacions de llargues distàncies, sinó per treballar en xarxes de sensors i cobrir aquestes llargues distàncies passant la informació entre els diferents nodes.
- ✓ ***End device***: aquests serien els dispositius de baix consum. El coordinador i els *routers* han d'estar sempre encesos, ja que poden actuar com a missatgers entre altres dispositius, de manera, que la normal funcionalitat d'aquests és d'estar connectats a la xarxa elèctrica. Els *end devices* poden enviar i rebre informació però no poden actuar com a missatgers entre dos dispositius de la xarxa, és per això que l' *end device* ha d'estar en un estat de baix consum, i es desperti quan vol enviar o rebre informació, allargant la durada de les seves bateries durant molt de temps. Com els *end devices* poden estar adormits en un estat de baix consum, necessiten estar associats a un coordinador o un *router*, que gestionin els missatges que han estat enviats a ells mentre estaven adormits i se'ls faci arribar quan despertin.

Les característiques de les xarxes i dispositius ZigBee, serien les següents:

- ✓ Velocitat de transmissió entre 25-250 kbps.
- ✓ Protocol asíncron, *half duplex* i estandarditzat, que permet que productes de diferents fabricants puguin treballar junts.
- ✓ Es poden formar xarxes que continguin des de dos dispositius fins a centenars d'ells.
- ✓ Els dispositius d'aquestes xarxes poden funcionar en una manera de baix consum, fet que suposa anys de durada de les seves bateries.

- ✓ Opera a la freqüència de 2,4 GHz (16 canals) i també en les freqüències de 868 MHz i 915 MHz.
- ✓ És un protocol fiable, la xarxa s'organitza i es repara de forma automàtica, i s'encaminen els paquets de manera dinàmica.
- ✓ És un protocol segur, ja que es pot implementar l'encriptació i l'autenticació.



Il·lustració 7. Pila Zigbee.

4.5. Conclusió.

En els apartats anteriors hem introduït els diferents estàndards, les diferents freqüències, modulacions i protocols que el nostre producte pot utilitzar per comunicar-se dins de la banda ISM amb la centraleta. Tot seguit, indicarem quina seria la configuració del nostre sensor:

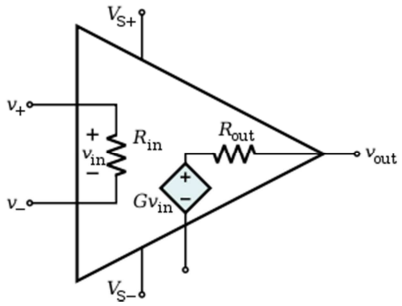
- L'estàndard que s'implementaria seria IEEE 802.15.4 (*Low Rate* WPAN) que ens permetria comunicar-nos amb els protocols ZigBee o MiWi.
- La freqüència del mòdul de transmissió ve determinada per el processador PIC12LF1840T39A que treballa amb un rang de freqüències de transmissió de 310, 433, 868 and 915 MHz. El nostre sensor aplicarà la freqüència de 868 MHz.
- La modulació està determinada per el transmissor RF del processador que pot ser de modulació per desplaçament d'amplitud (OOK, *On-Off Keying*) o de modulació per desplaçament de freqüència (FSK, *Frecuency Shift Keying*). Durant el disseny del sensor es determinarà quina de les dues modulacions s'implementarà.

5. DISSENY DELS CIRCUITS ANALÒGICS.

En aquest apartat es desenvoluparan els diferents circuits elèctrics que han de permetre la correcta adequació dels senyals analògics, per tal de poder-los controlar i mesurar utilitzant un microprocessador. També, indicar la necessitat de realitzar una electrònica de potència que ha d'actuar amb elements connectats a la xarxa elèctrica, ja que ens obliga a tenir presents els conceptes introduïts en l'apartat Directiva de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE) d'aquest mateix document, on s'indicaven el tipus d'equips, la connexió dels circuits elèctrics i l'aïllament necessari per reduir riscos de seguretat a causa del xoc elèctric. A més, en els apartats següents, es farà esmena a les consideracions tècniques requerides per posar en pràctica els conceptes introduïts en els apartats anteriors.

5.1. Circuit de mesura dels senyals analògics.

Per efectuar la mesura dels senyals analògics i el seu condicionament serà necessari utilitzar Amplificadors Operacionals (OPAM):



Il·lustració 8. Model ideal del OPAM

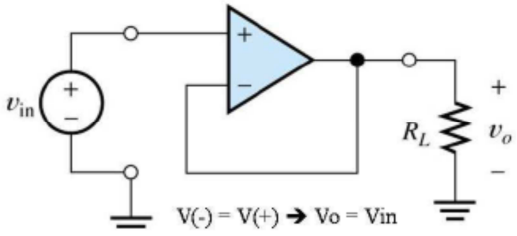
Els OPAM són dispositius que es comporten segons unes característiques que ens ha de permetre obtenir unes tensions de sortida proporcionals als senyals a mesurar. Per mitjà de xarxes de component passius (resistències, condensadors i bobines) s'aconsegueixen una gran varietat de funcionalitats (inversor, no inversor, seguidor, sumador, integrador, etc.), responent el sistema a la configuració adoptada i els valors dels components, sense que afectin les variacions a les característiques del OPAM, per tant, independentment els processos de fabricació.

Els amplificadors operacionals disposen de dues entrades (V+ i V-) que produeixen una tensió de sortida proporcional a la diferència entre les tensions d'entrada (tensió d'entrada diferencial)

Les característiques dels OPAM, amb el model ideal, són les següents:

- La impedància d'entrada infinita ($R_{in} \rightarrow \infty$).
- La impedància de sortida zero ($R_{out} = 0$).
- Un guany de tensió, amb llaç obert, infinit (A_v).
- La resposta en freqüència infinita.
- Baixa sensibilitat a la temperatura.

En el nostre cas, el model real de comportament, dependrà de les característiques de l'amplificador operacional escollit. Tot i que, les mesures de les tensions i corrents s'hauran d'adaptar a un rang de tensions correctes a les característiques elèctriques del processador. Per efectuar aquesta adaptació utilitzarem la configuració de l'amplificador operacional més adient, com la configuració de seguidor de tensió:



Il·lustració 9. OPAM com a seguidor de tensió.

Aquesta configuració ens aporta:

- El guany és la unitat.
- La tensió de sortida (V_0) segueix el valor de l'entrada (seguidor)
- Utilització com a etapa d'adaptació de l'entrada del sistema, proporcionant una impedància d'entrada elevada i impedància baixa de sortida.
- $V_o = V_{in}$

Per tant, l'OPAM escollit serà el LTC2050HV de *Linear Technology* amb les característiques següents:

- Offset en tensió de 3µV .
- Tensió d'alimentació mínim de 2.7V i màxim 5.5V.
- Consum típic de 1.3 mA.

Tot seguit s'indiquen els paràmetres inicials de funcionalitat del circuit:

- Alimentació de l'Amplificador Operacional és de 5V.

- Alimentació del processador de 3.3 V.
- Tensió de sortida del OPAM i entrada dels ADC del processador de màxim 3 V.

5.1.1. Circuit de mesura de la tensió de 0 fins a 10V.

En primer lloc, calculem el divisor de tensió R3 i R4, perquè en el punt de mesura de la tensió VOUT, aquest sigui igual a VIN i que no superi el valor de 3V quan V2 mesuri 10V. Les resistències del divisor de tensió seran altes per poder tenir un corrent relativament baix i una alta impedància d'entrada. Tots els valors resistius estaran designats en base l'estàndard E24.

$$I_{R3} = \frac{VIN}{R3} = \frac{3V}{3300\Omega} = 0.000909A = \mathbf{0.909\ mA}$$

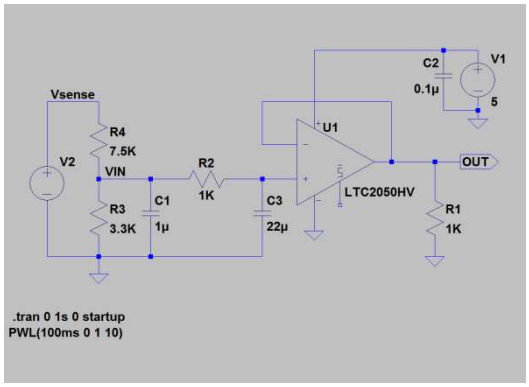
$$R4 = \frac{V2 - VIN}{I_{R3}} = \frac{(10V - 3V)}{9.09x10^{-4}} = 7700\Omega\ amb\ valors\ E24\ tenim\ \cong \mathbf{7500\Omega}$$

Si recalculem, en funció els valor obtinguts, tenim:

$$I_{R3,R4} = \frac{V2}{R3 + R4} = \frac{10V}{3300\Omega + 7500\Omega} = 0.000926A = \mathbf{0.926\ mA}$$

Per tant, el valor màxim de tensió que es mesurarà en el ADC (*Analog to Digital Converter*) del processador quan V2=10V, serà:

$$V_{ADC} = VIN = VOUT = R3 \cdot I_{R3,R4} = 3300\Omega \cdot 0.000926A = \mathbf{3.0558V}$$

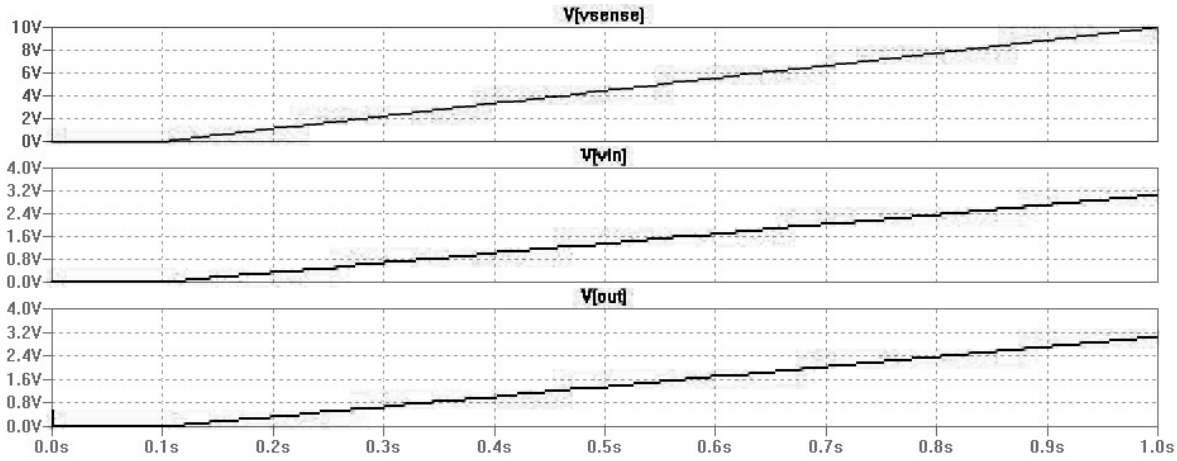


Il·lustració 10. Esquema del circuit analògic de mesura de tensió (0-10V)

Indicar, que el filtre passa baix RC (R2 i C3) necessari per reduir el soroll de la xarxa elèctrica i transitoris que puguin afectar a la mesura, tindrà un freqüència de tall de:

$$F_{tall} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1K \cdot 22\mu F} = 7.23Hz$$

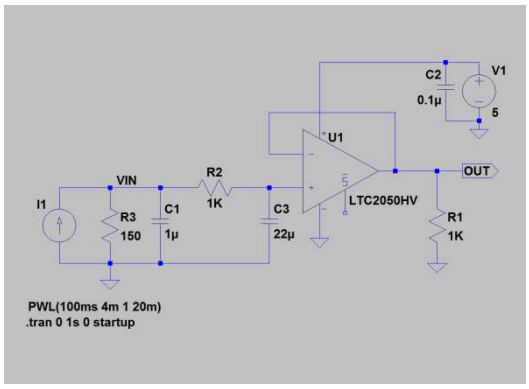
Podem veure en el diagrama de resposta de la tensió a l'entrada del sensor (V2= 0 a 10V) i la sortida del OPAM (VOUT= 0 a 3.0558V), realitzat amb el programa LTspice IV:



Il·lustració 11.. Diagrama de resposta de les tensions V(vsense), V(vin) i V(vout).

5.1.2. Circuit de mesura del corrent de 4 fins a 20 mA.

Per efectuar la mesura del corrent utilitzarem la configuració de l'OPAM com a seguidor de tensió, descrit en l'apartat anterior. Tot seguit, es fa la descripció del circuit segons l'esquema indicat:



Il·lustració 12. Esquema del circuit analògic de mesura del corrent elèctric (4-20mA)

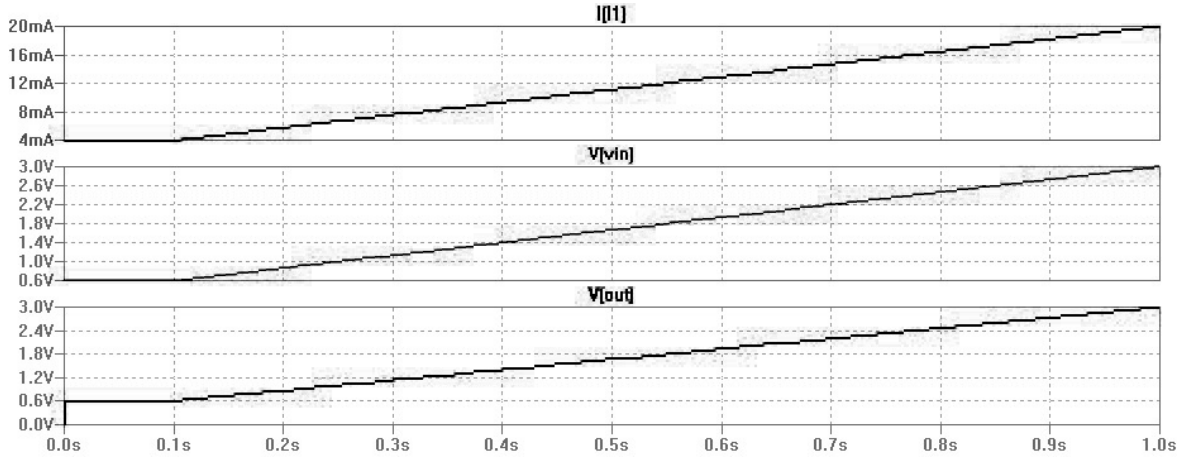
Com es pot observar en l'esquema del circuit, la mesura del corrent elèctric, s'efectua realitzant la conversió d'aquest corrent en tensió per mitjà d'un componen resistiu (R3), ja que, segons la llei d'Ohm si per un resistor (R) passa un corrent elèctric (I) en aquest apareix, en els extrems, un diferencial de potencial (V). Fent servir aquest principi podem calcular el rang de tensions que es mesurarien en el punt VIN:

$$R3 = \frac{VOUT}{I1_{max}} = \frac{3V}{20mA} = \mathbf{150}\Omega \; aquest\ valor\ forma\ part\ de\ l'estàndard\ E24$$

per tant, el rang de tensions a mesurar per l'ADC en relació als corrents serà:

$$VOUT_{mínim} = VIN_{mínim} = 4mA \cdot 150\Omega = \mathbf{0.6V}$$
$$VOUT_{màxim} = VIN_{màxim} = 20mA \cdot 150\Omega = \mathbf{3V}$$

Finalment, analitzem el comportament del senyal mesurat a la l'entrada V(vin) de la resistència R3, que és proporcional al corrent que per ella circula, i la tensió V(out):

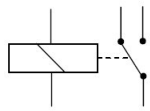


Il·lustració 13. Resposta del corrent I(I1) i de les tensions V(vin) i V(out)

5.2. Circuit de control de les sortides.

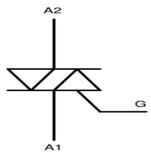
El punt següent tracta de descriure i calcular els elements necessaris per poder activar els dispositius visual i sonor corresponents a la llum d'alarma i la sirena, en tots dos casos connectats a la tensió de la xarxa elèctrica (230VAC). Per poder-los controlar necessitem una electrònica que mitjançant un corrent i una molt baixa tensió (MBT) es puguin activar sense que això comporti cap perillositat durant la manipulació per part de l'usuari. Per poder actuar sobre els dispositius connectats a la xarxa elèctrica per mitjà d'un processador necessitem una electrònica de potència com pot ser:

- **RELÉ.** Dispositiu electromecànic que funciona com un interruptor controlat per un circuit elèctric en el qual, per mitjà d'una bobina i un electroimant, acciona un joc d'un o diversos contactes que permeten obrir o tancar altres circuits elèctrics independents.



Il·lustració 14. Símbol elèctric del relé.

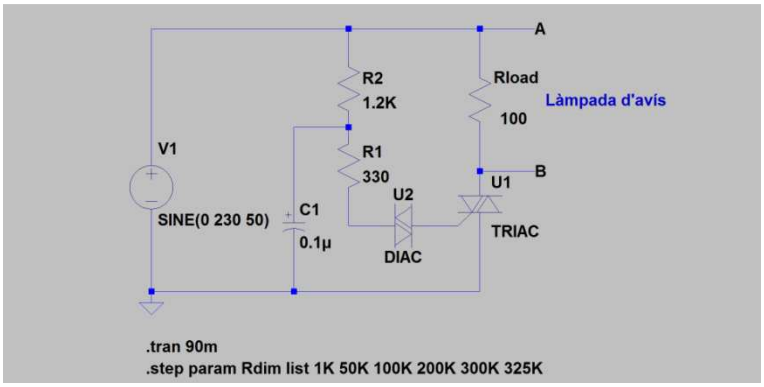
- **TRIAC (TRiode for Alternating Current).** Dispositiu semiconductor, de la família dels tiristors. La diferència amb un tiristor convencional és que aquest és unidireccional i el



Il·lustració 15. Símbol elèctric del triac.

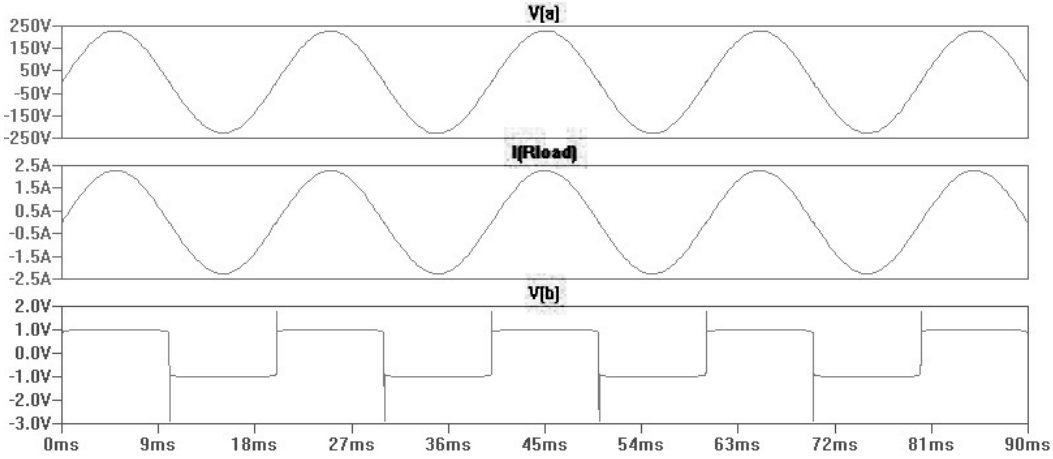
triac és bidireccional, es podria dir que el triac és un interruptor capaç de commutar el corrent altern.

Llavors en el disseny del nostre producte utilitzarem com a mecanisme d'activació, el triac, pel fet que en ser un semiconductor no té cicles d'operacions limitats com té el relé (50 operacions per segon) i no es provoca arc entre els contactes. Tot seguit, s'elabora l'esquema i la simulació del comportament del triac en conducció:



Il·lustració 16. Esquema del circuit activador.

L'anàlisi de les tensions, corrent que circula per la càrrega i la tensió durant l'activació del triac en cada pas per zero de l'ona sinusoïdal corresponent als 50 Hz de la xarxa, s'observen en la simulació, on els valor es corresponent a: V(a), tensió de la xarxa; I(Rload), el corrent que circula en la carrega; V(b), el diferencial de tensió en bornes del triac en l'activació de cada cicle de l'ona. En la Il·lustració 17 es representen aquests oscil·logrames.



Il·lustració 17. V(a), V(b) i el corrent per la carrega I(Rload) en conducció.

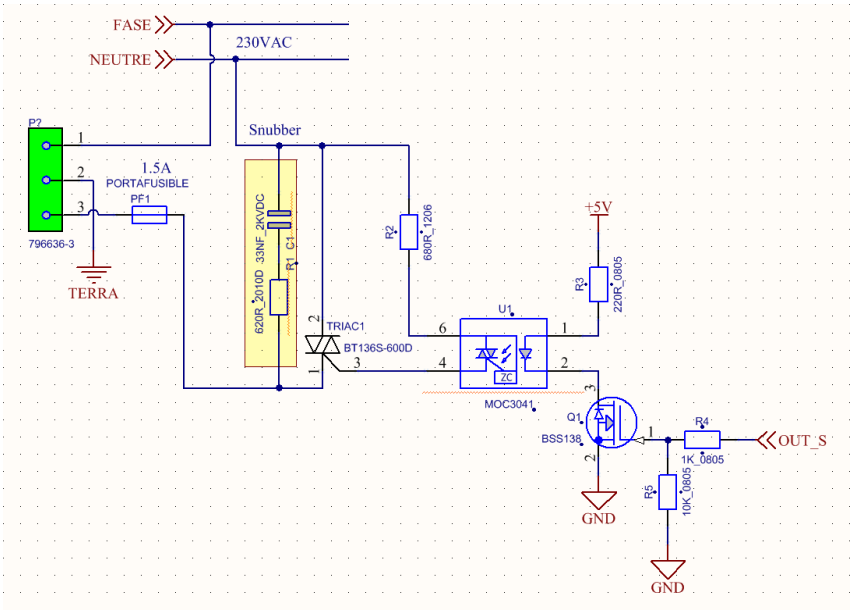
Amb la simulació del comportament del triac, es podran efectuar en el punt següent, els càlculs dels components associats, a partir de las característiques principals descrites tot seguit:

- **BT136S-600D.** El TRIAC de NXP té la funcionalitat, d'activar carregues amb un corrent de 4A ($I_{T(RMS)}$) i tensió de 600V (V_{DRM}), per mitjà d'un corrent de porta màxim de 10mA (I_{GT}) i una tensió d'activació de 1V (V_{GT}), amb una tensió de conducció entre les bornes (T1 i T2) de V_T=1.7V.
- **MOC3041M.** L'opto TRIAC de Fairchild, permet simplificar el control del TRIAC amb dispositius de baixa tensió com és el processador, a més, de tenir un detector de pas per zero que activa la càrrega controlada per el TRIAC en el moment que el cicle de l'ona sinusoïdal de la xarxa es troba en la transició de fase amb una tensió igual a zero. En referència a la seguretat en cas de mal funcionament, aquest component compleix amb un aïllament de seguretat elèctrica segons la norma IEC 60747-5-2. Les característiques a tenir present del l'emissor LED són: el corrent d'activació de 15 mA (I_{FT}) i la tensió de 1.30V (V_F) corresponents els valors de polarització del receptor (LED Trigger Current). En el cas del receptor: la tensió adequada entre terminals a de suportar serà de 400 V (V_{DRM}) amb un corrent d' 1 A (I_{TSM})

5.2.1. Esquema del circuit de control del llum d'alarma i del motor de la sirena.

L'exposició següent té l'objectiu d'analitzar i calcular els diferents component necessaris pel control dels dispositius, a més, s'ha de tenir present que quan un TRIAC controla càrregues inductives, la tensió de xarxa i el corrent de càrrega poden no estar en fase. Per limitar el pendent de la tensió aplicada i garantir que el TRIAC tingui una correcta desconnexió, s'utilitza un circuit amortidor, anomenat *snubber*, connectat en paral·lel amb el TRIAC, aquest amortidor també es pot utilitzar per millorar la immunitat davant de transitoris ràpids de tensió.

En el esquema de la Il·lustració 18, realitzat amb el programa Altium Designer 14, es pot observar la configuració del components i la seva connexió elèctrica.



Il·lustració 18. Esquema del control dels dispositius connectats a la xarxa de 230V.

En primer lloc, per calcular els requisits de conducció del TRIAC, necessitem calcular la resistència R2 que limitarà el màxim corrent en el MOC3041M, utilitzant la formula:

$$R2_{mínima} = \frac{VAC_{pk}}{I_{TSM}} = \frac{230V \cdot \sqrt{2}}{1A} = \frac{325.27V}{1A} = 325.27\ ohm\ \cong \mathbf{330\ ohm}$$

Si el triac té I_{GT} = 10mA,V_{GT} = 1V i V_T = 1.7V, llavors el voltatge VAC necessari per activar el triac vindrà donat per:

$$VAC = R2 \cdot I_{GT} + V_{GT} + V_T = 330 \cdot 10 \cdot 10^{-3} + 1 + 1.7 = \mathbf{6V}$$

El major valor de R2 es troba disponible, tenint en compte els requeriments a la porta del triac, si s'utilitza el triac NXP, BT136S-600, I_{GT} = 10mA, aquest s'ha d'activar quan VAC ≥ 6V:

$$R2 = \frac{VAC}{I_{GT}} = \frac{6V}{10 \cdot 10^{-3}} = 600\ ohm \rightarrow \mathbf{R2 \cong 680\ ohm}$$

La potencia a dissipar per les resistències R2 serà de,

$$P_{R2} = R2 \cdot (I_{GT})^2 = 680 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0.068W} \rightarrow 68mW$$

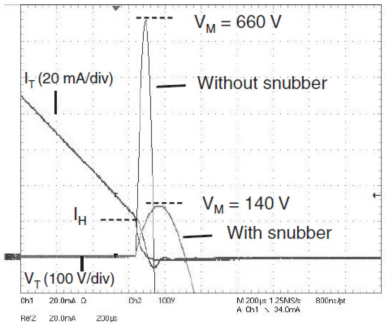
Calculem la resistència del LED (R3) del MOC3041M per un corrent (I_F) no inferior a 15mA (I_{FT}) i no superior a 60mA. Utilitzem 20mA com a valor adequat, ja que, permet una considerable degradació del LED amb el temps, i assegura una llarga vida operativa per l'optotriac. Corrents superiors a 20 mA no milloren el rendiment i poden accelerar el procés d'envelliment inherent als LEDs. Si la caiguda de tensió en el LED és de 1.25 V a 20 mA, ens permet fer una fórmula senzilla per calcular la resistència d'entrada.

$$R3 = \frac{VCC - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5V - 1.25V}{0.020A} 187.5\ ohm \rightarrow \mathbf{220\ ohm\ (88mW)}$$

Podem menysprear en el càlcul anterior el diferencial de tensió en el MOSFET BSS138 de $R_{DS(ON)}$ = 2 Ω, ja que la tensió seria de V_{DS}=0.02A·2Ω=0.04V.

5.2.2. Determinació del circuit RC supressor de transitoris, *Snubber*.

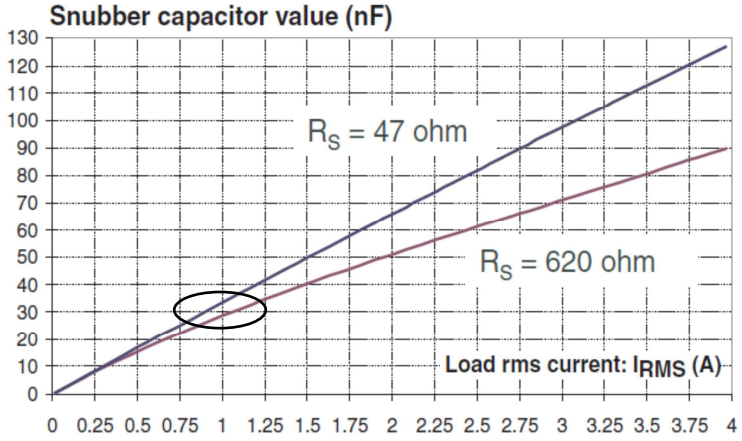
Quan un TRIAC controla càrregues inductives, una sobretensió, podria passar quan el corrent arriba al corrent de manteniment (I_H), deguda a aquesta condició en certes ocasions, el component no és capaç de bloquejar aquest voltatge, provocant l'activació espontània i en certs casos el deteriorament de la porta . Un circuit de protecció RC, *snubber*, limita el pendent de la pujada de la tensió i pot mantenir-la a un valor menor que el valor màxim permès.



Il·lustració 19. Sobrevoltatge en el TRIAC en l'apagada amb i sense circuit *snubber*.

Tot i que, el filtratge utilitzant un circuit *snubber* minimitza les EMI, és millor emprar la commutació de punt zero, que sovint és preferible, vist que aquesta commutació de punt zero és una tècnica mitjançant la qual l'element de control (en aquest cas el triac) està desactiu en l'instant en què el voltatge d'ona sinusoïdal passa per zero. Això redueix o elimina els transitoris i redueix les emissions electromagnètiques.

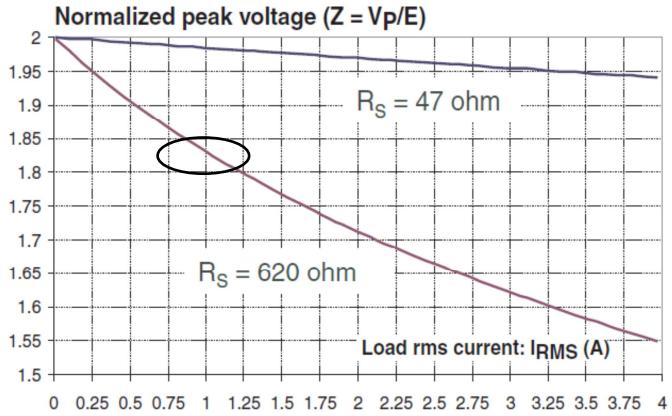
El valor del condensador, utilitzat en el circuit *snubber*, el podem determinar a partir del corrent de càrrega rms (*root mean square*), amb els requeriments d'unes càrregues inductives pures i el pendent de la tensió aplicada fixat a 2 V/ms. Per a un determinat corrent rms de càrrega i d'acord amb la resistència *snubber* utilitzada (47 Ω o 620 Ω), la relació entre el pendent de pujada de la tensió normalitzada i el corrent de càrrega (I_{RMS}), serveix per determinar el valor del condensador utilitzat. En la gràfica següent es pot seleccionar la capacitat del condensador, a partir de les dades indicades.



Il·lustració 20. Condensador (Cs) a partir del corrent de la carrega i la Rs.

Com a exemple, si es considera un corrent de càrrega de I_{RMS}=1A i es determina una resistència del circuit *snubber* de R_S=620Ω, utilitzant la Il·lustració 20, es localitza la capacitat del condensador del circuit *snubber*, aquest serà de C_S=30nF. Per tant, els valors a utilitzar seran de R_S=620Ω i C_S=30nF.

Tot seguit, podem calcular el factor multiplicador del transitori de tensió màxim teòric en el TRIAC, utilitzant la Il·lustració 21.



Il·lustració 21. Gràfica per determinar el factor multiplicador de la tensió de pic.

En definitiva, si fem valer els valors R_S=620Ω i I_{RMS}=1A obtenim un factor multiplicador de 1.83. Així doncs, es pot calcular la V_P partint de la VAC=230V,

$$Vp = 1.83 \cdot VAC \cdot \sqrt{2} = 1.83 \cdot 230 \cdot \sqrt{2} = \mathbf{595.24V}$$

Per tant, el circuit RC ens limita el transitori a una tensió inferior a la V_{DRM} (*repetitive peak off-state voltage*) del triac que és de 600V.

6. ELECCIÓ DEL PROCESSADOR.

Una de les condicions del TFC, és que, el processador integri la part de RF, on un dels fabricants que té una cartera més amplia és Microchip. S'ha triat el PIC12LF1840T39A de 8 bits i de 14 pins, perquè integra un transmissor de RF que pot operar en les bandes freqüencials de 310, 434, 868 i 915MHz. Com també és condició treballar en la banda lliure de llicència, la freqüència triada serà la de 868MHz. Les característiques d'aquest processador són:

MICROCHIP

PIC12LF1840T39A

8-Bit Flash Microcontroller with XLP Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 49 Instructions to Learn:
  - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
  - DC – 32 MHz oscillator/clock input
  - DC – 125 ns instruction cycle
- Interrupt Capability with Automatic Context Saving
- 16-Level Deep Hardware Stack with Optional Overflow/Underflow Reset
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes:
  - Two full 16-bit File Select Registers (FSRs)
  - FSRs can read program and data memory

Flexible Oscillator Structure:

- Precision 32 MHz Internal Oscillator Block:
  - Factory calibrated to ± 1%, typical
  - Software selectable frequencies range of 31 kHz to 32 MHz
- 31 kHz Low-Power Internal Oscillator
- Four Crystal modes up to 32 MHz
- Three External Clock modes up to 32 MHz
- 4X Phase Lock Loop (PLL)
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops
- Two-Speed Oscillator Start-up
- Reference Clock module:
  - Programmable clock output frequency and duty-cycle

Special Microcontroller Features:

- 1.8V-3.6V Operation
- Self-Reprogrammable under Software Control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
- Extended Watchdog Timer (WDT)
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Enhanced Low-Voltage Programming (LVP)
- Programmable Code Protection
- Power-Saving Sleep mode

Low-Power Features:

- Standby Current:
  - 170 nA @ 1.8V, typical, RF Sleep
- Operating Current:
  - 35 µA @ 1 MHz, 1.8V, RF Sleep, typical
  - 9 mA @ 1 MHz, 1.8V, RF on at 0 dBm, typical
  - 16.5 mA @ 1 MHz, 1.8V, RF on at +10 dBm, typical
- Low-Power Watchdog Timer Current:
  - 500 nA @ 3.0V, typical

RF Transmitter:

- Fully Integrated Transmitter
- FSK Operation up to 100 kbps
- OOK Operation up to 10 kbps
- Frequency-Agile Operation in 310, 433, 868 and 915 MHz Bands
- +10 dBm or 0 dBm Configurable Output Power

Analog Features:

- Analog-to-Digital Converter (ADC) module:
  - 10-bit resolution, four channels
  - Conversion available during Sleep
- Analog Comparator module:
  - One rail-to-rail analog comparator
  - Power mode control
  - Software controllable hysteresis
- Voltage Reference module:
  - Fixed Voltage Reference (FVR) with 1.024V and 2.048V output levels
  - 5-bit rail-to-rail resistive DAC with positive and negative reference selection

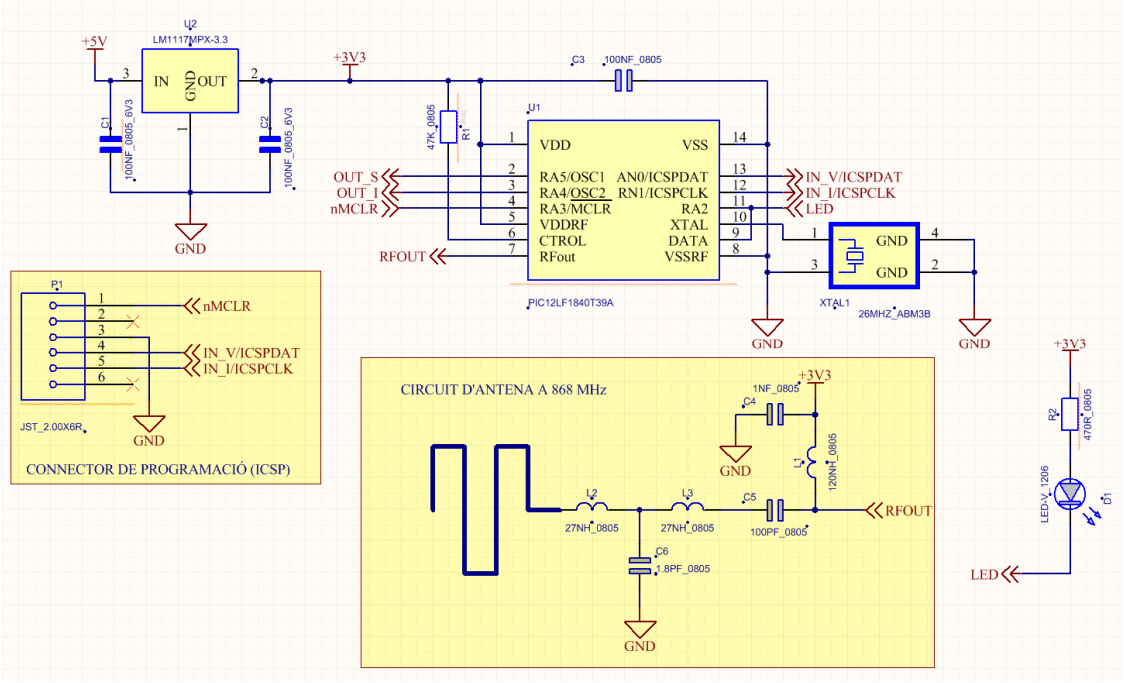
Peripheral Features:

- Five I/O Pins and one Input Only Pin:
  - High-current sink/source 25 mA/25 mA
  - Programmable weak pull-ups
  - Programmable interrupt-on-change pins
- Timer0: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Prescaler
- Enhanced Timer1:
  - 16-bit timer/counter with prescaler
  - External Gate Input mode
  - Dedicated, low-power 32 kHz oscillator driver
- Timer2: 8-Bit Timer/Counter with 8-Bit Period Register, Prescaler and Postscaler

Il·lustració 22. Full de característiques del processador PIC12LF1840T39A

6.1. Disseny dels components del circuit del processador.

En l'esquema es poden observar els components que formen part de la funcionalitat del processador. Tot seguit, es descriuen aquests components:



Il·lustració 23. Esquema elèctric del processador.

En la Il·lustració 23 és necessari indicar que el regulador de voltatge LM1117-3.3 (U2) redueix la tensió d'entrada de 5V a 3.3V, necessaris per la funcionalitat del processador, també, es pot apreciar el cristall de l'oscil·lador de 26MHz (XTAL1) requerits pel transmissor de RF per operar en la banda dels 868 MHz, ja que, la freqüència de referència es generada per un oscil·lador intern. El cristall de quars extern està connectat en el pin XTAL i a GND, amb un valor de la freqüència d'aquest cristall que depèn de la banda freqüencial utilitzada.

També, en l'esquema s'ha afegit un connector (P1) per poder depurar i programar el processador utilitzant dues línies la ICSPCLK i ICSPDAT, a més, del senyal nMCLR/Vpp que té la funcionalitat de fer entrar el processador en mode de programació.

Per finalitzar, indicar que en l'apartat següent es descriuen els components utilitzats en la configuració de l'antena i disseny d'aquesta, sobre la base del circuit imprès amb les dimensions requerides per la freqüència de transmissió de 868MHz.

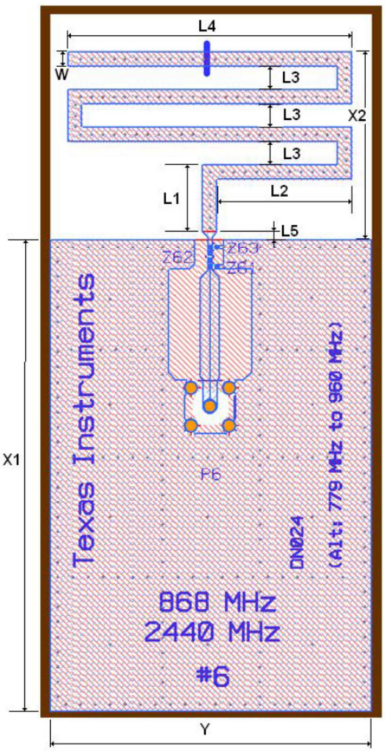
6.2. Disseny de l'antena a 868 MHz.

En aquesta part del document, es descriu l'antena de circuit imprès que es pot configurar en dos modes de funcionament diferents: l'antena es pot ajustar per a una única freqüència per a l'operació al 868 MHz (Europa), 915 MHz (EUA) i 920 MHz (Japó) de les bandes ISM; o l'antena pot ser configurada com una antena de banda dual per poder funcionar a 868 MHz i 2.440 MHz.

Els requisits generals de mida per aquesta antena són 38 x 25 mm, per tant, es tracta d'una grandària mitjana, que és una solució d'antena de baix cost. En la Il·lustració 24 es mostra una imatge del disseny utilitzat per desenvolupar-la i caracteritzar-la.

L'antena que es descriu en aquest apartat és un monopol serpentejant, que té un guany màxim d'aproximadament de 3 a 5 dB, que és típic per a una antena monopol.

Fent referència a la Il·lustració 24, si la longitud de L4 s'escurça fins a la marca de serigrafia, llavors, ens permet emetre en la banda simple (*Single Band*) dels 868 MHz. El disseny de la mateixa es realitza sobre la capa superior o inferior de la placa de circuit imprès. És important que l'àrea sota l'antena no s'utilitzi per a qualsevol altre pas de pistes de senyal o col·locació de components. Per obtenir un rendiment òptim, és important fer una còpia exacta de l'antena segons les dimensions indicades, i s'ha de implementar en un gruix del substrat FR4 1,6 mm. Tot i que, com que no hi ha pla de terra per sota de l'antena, el gruix de PCB no és crítica, però si s'utilitza un gruix diferent, serà necessari canviar la xarxa d'adaptació per obtenir un rendiment òptim. Si l'antena s'implementés en un circuit imprès que fos més ampla que l'antena, és important evitar la col·locació de components a prop o tenir un pla de terra proper a cada costat de l'antena.



L1	9.0 mm	Y	43.0 mm
L2	18.0 mm	X1	63.0 mm
L3	3.0 mm	X2	25.0 mm
L4	38.0 mm	W	2.0 mm
L5	1.0 mm		

Il·lustració 24. Dimensions de l'antena.

6.3. Implementació del programa de control.

Per poder fer efectiva la funcionalitat de l'equip necessitem realitzar el programa de control en l'entorn de programació de Microchip MPLAB X IDE 2.15, on podrem definir les accions amb el llenguatge C de programació, aquestes accions són:

- Contínuament ha de monitoritzar els senyals analògics i cada 10 segons enviar-los a la centraleta.
- Si durant 10 segons seguits els dos sensors superen un llindar definit, entra en un estat d'alarma en el que:
    - S'activa la sirena contínuament.
    - S'encén i Apaga la llum cada segon (1 segon d'encesa i 1 segon d'apagada)
- Un cop ha entrat en alarma, només sortirà de l'alarma si durant 10 segons seguits no es compleix la condició d'activació. En aquest moment bombeta i sirena quedaran apagades.

6.3.1. Mòdul ADC (*Analog To Digital Converter*).

En primer lloc, s'ha de saber el rang de nivells que el convertidor ADC (*Analog To Digital Converter*) de 10 bits haurà de mesurà i la representació binaria d'aquesta conversió que ens ha de permetre prendre les decisions i les actuacions segons les accions definides.

Tot seguit efectuem els càlculs del sensor de tensió:

1. Calculem el valor del voltatge per cada bit representat:

$$10\ bits = 2^{10} = 1024 \rightarrow V_{bit} = \frac{V_{DD}}{1024} = \frac{3.3V}{1024} = \mathbf{3.22265\ mV\ per\ bit}$$

2. Obtenim la representació binaria del rang de voltatges mesurats en el sensor analògic de tensions de 0 fins a 10V, que en el convertidor ADC les mesures han de estar adequades de 0 fins a 3V. Si efectuem els càlculs, obtenim:

$$Per\ 0V = 0\ o\ 0x0000$$

$$Per\ 3V = \frac{3V}{3.22265\ mV} = 930.9 \approx \mathbf{931d} = \mathbf{0x03A3\ hex} = \mathbf{1110100011\ b}$$

La representació decimal del rang de mesures serà: **0 fins a 931 decimal**.

Efectuem els mateixos càlculs, però, ara pel sensor de corrent:

1. Com ja sabem el valor de voltatge per bit representat, calculem el rang:

$$A\ 0.6V = \frac{0.6V}{3.22265\ mV} = \mathbf{186d = \ 0x00BAhex = 10111010b}$$

$$A\ 3V = \frac{3V}{3.22265\ mV} = 930.9 \approx \mathbf{931\ d = \ 0x03A3hex = 1110100011b}$$

La representació decimal del rang de mesures serà: **186 fins a 931 decimal**.

El mòdul ADC del PIC12LF1840T39A té quatre registres de configuració de 8 bits:

- **ADCON0**. Registre de control 0.

  bit 7. No implementat. / bit 6-2. **CHS<4:0>** Selecció del canal analògic. / bit 1. **GO/DONE**. Estat de la conversió / bit 0. **ADON**. Bit d'activació del ADC.

- **ADCON0**. Registre de control 1.

  bit 7. **ADFM**. Selecció del format de justificació. / bit 6-4. **ADCS<2:0>** Selecció del rellotge de conversió. / bit 3-2. No implementat. / bit 1-0. **ADPREF<1:0>**. Configuració del voltatge positiu de referència.

- **ADRESH**. Registre alt corresponent al resultat del ADC. **ADFM** = 1.

  bit 7-2. Reservat / bit 1-0. **ADRES<9:8>**. Registre amb el resultat dels 2 bits més alts dels 10 bits del convertidor ADC.

- **ADRESL**. Registre baix corresponent al resultat del ADC. **ADFM** = 1.

  bit 7-0. **ADRES<7:0>**. Registre amb el resultat dels 8 bits més baixos dels 10 bits del convertidor ADC.

El codi en C dels registres de configuració del convertidor A/D són:

```
ANSELAbits.ANSA0=1;          // Entrada analògica AN0 del sensor de tensió.
ANSELAbits.ANSA1=1;          // Entrada analògica AN1 del sensor de corrent.
ADCON0bits.ADON=1;           // Activació del dispositiu ADC.
ADCON1bits.ADCS=0x01;        // Selecció del rellotge de conversió as Fosc/8.
ADCON1bits.ADFM=0x01;        // El resultat es justifica a la dreta.
ADCON1bits.ADPREF=0x00;      // Referència positiva a Vdd.
```

Subrutina de conversió del ADC i retorn del resultat en format de registre de 10bits:

```
unsigned int Read_ADC_Value(void)
{
    unsigned int ADCValue;
    ADCON0bits.GO = 1;       // Inici de la conversió.
    while (ADCON0bits.GO);   // Espera fins que la conversió a finalitzat.
    ADCValue = ADRESH << 8;  // El resultat el rota 8 bits a l'esquerra.
    ADCValue = ADCValue + ADRESL;   // Afegeix els 8 bits del resultat en la variable.
    return (ADCValue);       // Retorna el resultat de 10 bits en una única variable.
}
```

Activació de la conversió ADC i emmagatzematge en la variable d'usuari:

```
ADCON0bits.CHS=0x00;         // Selecció del canal ADC AN0.
AnalogValue_V = Read_ADC_Value();   //Crida a la subrutina de conversió.
ADCON0bits.CHS=0x01;         // Selecció del canal ADC AN1.
AnalogValue_I = Read_ADC_Value();   //Crida a la subrutina de conversió.
```

6.3.2. Mòdul transmissor de RF.

El transmissor de RF integrat en el PIC12LF1840T39A té dos modes de funcionament principals. Una manera d'operació denominada *Preset*, permet a l'usuari triar entre dues formes predefinides d'operació. L'ajust d'aquestes, es realitza establint la línia CTRL a nivell baix o alt, a més, de requerir d'una connexió amb la línia DATA per enviar dades de modulació del transmissor. Les configuracions disponibles de la línia CTRL són:

CTRL = 0	Freqüència de transmissió 433MHz Modulació OOK 10 dB de potència de sortida.
CTRL = 1	Freqüència de transmissió 868.3 MHz Modulació FSK FDev = 20 kHz 10 dB de potència de sortida

Taula 5. Configuracions predefinides RF.

La selecció de les configuracions predefinides s'efectua sense la necessitat de fer servir un pin I/O addicional per controlar la línia CTRL del transmissor. Depenent de la configuració, es pot usar una resistència connectada a positiu, entre 20K Ω i 1M Ω, o connectada a terra, segons les indicacions de la Taula 5.

Per utilitzar el transmissor es requereix configurar-lo per mitjà de codis de control que determinen el seu comportament, la freqüència, la modulació i d'altres paràmetres, aquests codis s'indiquen tot seguit:

```
void sendTxWakeUp (void)
{
    sendTxCommand
    (
        T48_AUTO_WAKE_UP |   //Es desperta quan transmet una dada per DATA.
        T48_FREQ_86830 |     //Selecció de la banda freqüencial de 868 MHz.
        T48_MOD_FSK |        //Modulació FSK.
        T48_DEV_20K |        //Desviació respecta de la freqüència de transmissió.
        T48_TX_10dB |        //Potencia del senyal de sortida.
        T48_TX_20mS|         //Temps de separació entre dates.
        T48_TUNE_0PLL        //
    );
}
```

La representació binaria de cada paràmetre és:

```
#define T48_AUTO_WAKE_UP     0b0000000000000
#define T48_FREQ_86830       0b0100000000000
#define T48_MOD_FSK          0b0000000000000
#define T48_DEV_20K          0b0000001000000
#define T48_TX_10dB          0b0000000010000
#define T48_TX_20mS          0b0000000001000
#define T48_TUNE_0PLL        0b0000000000000
```

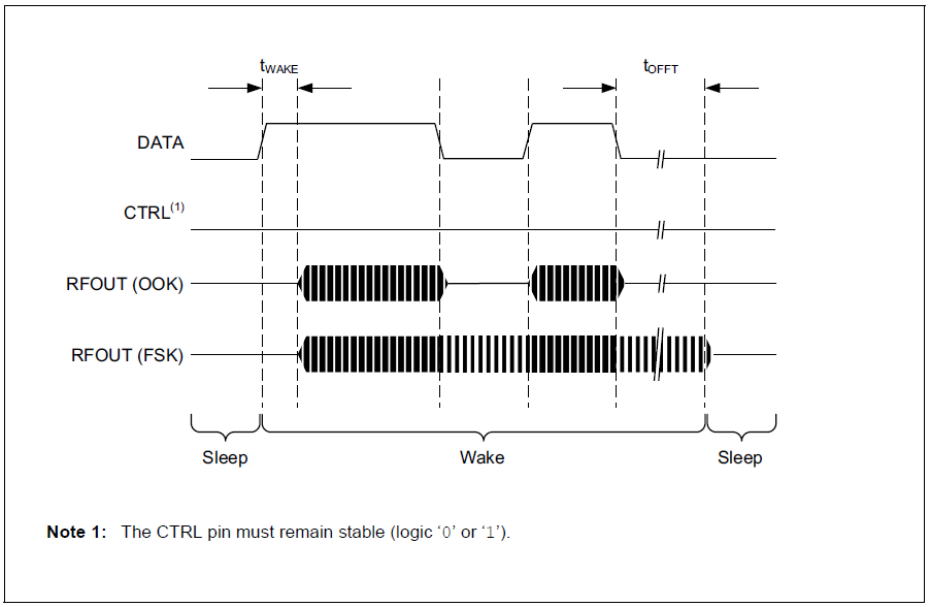
Utilitzarem la subrutina *sendTxCommand()* per enviar les comandes i les dades al mòdul de transmissió RF:

```
void sendTxCommand (int cmd)
{
    sendByteTxCommand((cmd & 0xFF00) >> 8);
    sendByteTxCommand((cmd & 0x00FF));
}
```

Subrutina de serialització de les dades:

```
void sendByteTxCommand (unsigned char cmd)
{
    unsigned char i;
    for (i=0; i<8; i++)
    {
        if (cmd & 0x80)
            DATA_OUT = 1;
        else
            DATA_OUT = 0;
        cmd = cmd << 1;
    }
}
```

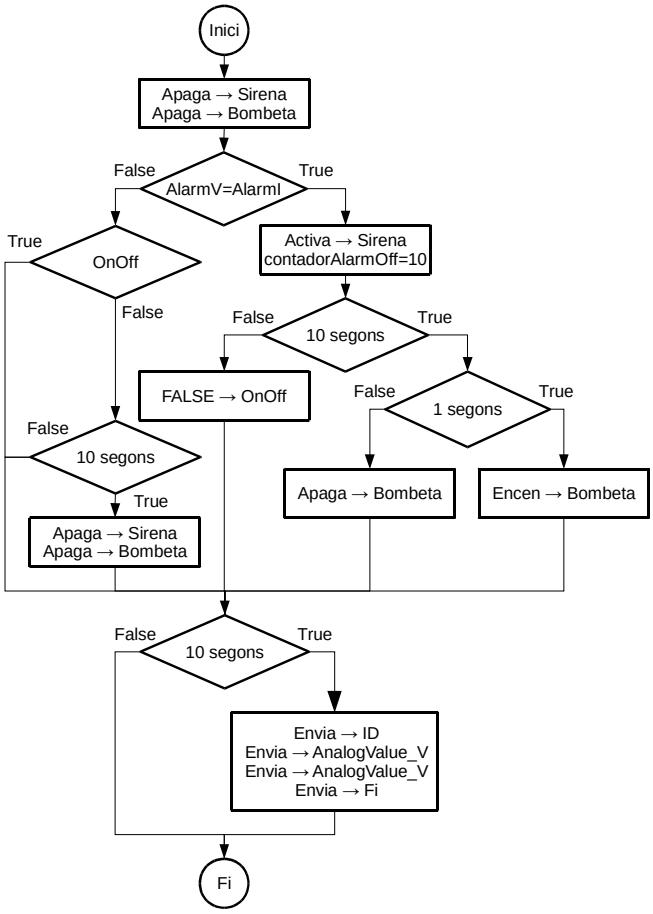
El resultat de la configuració i de les rutines exposades anteriorment es pot observar en el diagrama de temps de la Il·lustració 25.



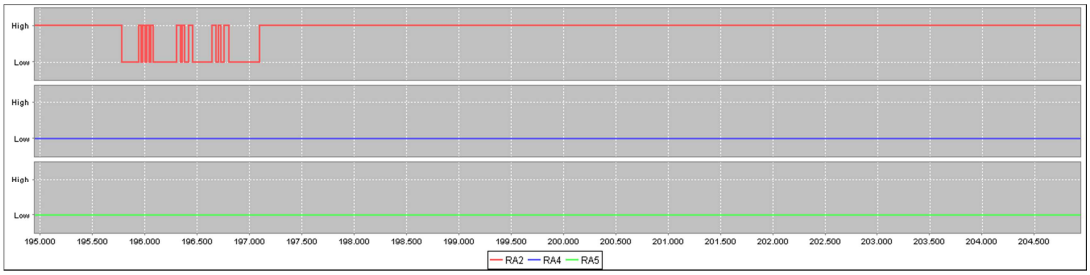
Il·lustració 25. Diagrama de temps del pin DATA.

6.3.3. Diagrama de flux del programa de control i la simulació.

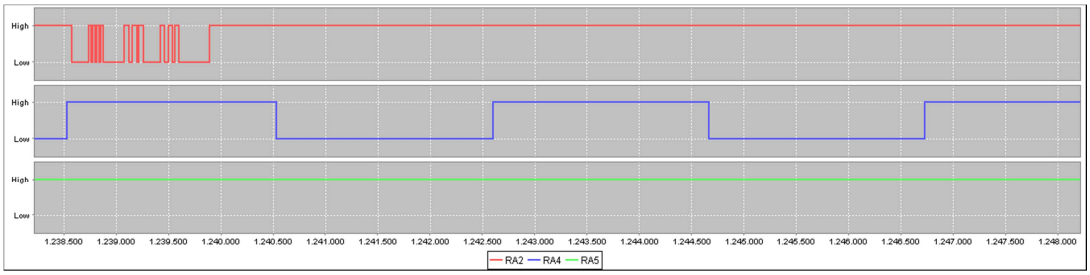
La simulació de la Il·lustració 27 i de la Il·lustració 28, realitzades amb l'analitzador lògic *Stimulus* del programa de Microchip MPLAB X IDE 2.15 ens permet observar el comportament descrit en el diagrama de flux (Il·lustració 26), també, queda reflectit l'enviament de la codificació corresponent a la identificació del dispositiu sensor i els nivells obtinguts dels sensors de tensió i corrent. Com es pot comprovar en aquestes simulacions, hi ha dues condicions essencials: el comportament quan no hi ha alarma i la condició quan l'alarma és activa.



Il·lustració 26. Diagrama de flux del sensor.



Il·lustració 27. Diagrama de temps. Alarma no activada. RA2 (DATA); RA4 (Bombeta); RA5 (Sirena)



Il·lustració 28. Diagrama de temps. Alarma activada. RA2 (DATA); RA4 (Bombeta); RA5 (Sirena)

6.3.4. Programa principal de control de les alarmes.

En els apartats anteriors hem donat a conèixer les subrutines utilitzades en la conversió dels senyals analògics a digitals i les corresponents a l'enviament de les dades pel transmissor RF, tot seguit, descriurem com es fa l'ús de les subrutines i la metodologia utilitzada en el control de les alarmes i l'activació dels dispositius.

Rutina de condició de detecció d'alarmes:

```
if (AnalogValue_V > alarma_VSUP)    /*Condició d'alarma sensor de tensió*/
       {AlarmV = TRUE;  /*Bandera d'alarma activa*/}
       else {AlarmV = FALSE; /*Bandera funcionament normal*/}
       if (AnalogValue_I > alarma_ISUP)
       {AlarmI = TRUE;  /*Bandera d'alarma activa*/}
       else {AlarmI = FALSE; /*Bandera funcionament normal*/}
```

Rutina de condició d'activació de la sirena i bombeta:

```
if (AlarmV == TRUE && AlarmI == TRUE) /*Condició d'activació d'alarmes*/{
       if (contadorAlarmON >= (TEMPS_ALARM*10))/*Espera 10 segons i activa l'alarma*/
           {OUT_S = 1;  /*Activació de la sirena*/ OnOff = TRUE;
           contadorAlarmON = TEMPS_ALARM*10;
           if (OUT_I == 1) {if (contadorTempsEspera == 0) {
           OUT_I = 0;  /*Apagat cada 1 segon de la bombeta*/
           contadorTempsEspera = TEMPS_ALARM; /*1 segon Sync*/ = FALSE; } }
           else {if (contadorTempsEspera == 0) {
           OUT_I = 1; /*Encesa cada 1 segon de la bombeta*/
           contadorTempsEspera = TEMPS_ALARM; /*1 segon*/ Sync = TRUE; } } } }
           else { contadorAlarmON = 0; if (OnOff == TRUE)contadorAlarmOFF++;
           if (contadorAlarmOFF == 0) {OnOff = FALSE;contadorAlarmOFF = 0;} }
```

Rutina de condició d'estat sense alarmes actives:

```
 if (AlarmV == FALSE && AlarmI == FALSE) /*Condició de normalitat*/{
       if ((contadorAlarmOFF >= (TEMPS_ALARM*10)) && (OnOff == FALSE)){
       OUT_S = 0; OUT_I = 0; OnOff = FALSE; contadorAlarmOFF = 0; } }
       //Espera 10 segons avanç de desactivar l'alarma
```

Rutina de condició d'enviament de dades pel transmissor de RF:

```
 if (contadorRF >= (TEMPS_ALARM) && (Sync == TRUE)) /*Condició d'enviament RF*/{
       sendTxCommand (ID_Device);  //Enviament de l'identificador de dispositiu
       sendTxCommand (AnalogValue_V); //Enviament nivell del sensor de tensió
       sendTxCommand (AnalogValue_I); //Enviament nivell del sensor de corrent
       sendTxCommand (Final_Enviament); //Fi d'enviament
       contadorTempsEspera = 3; //Ajust del temps d'encesa de la bombeta
       contadorRF = 0; Sync = TRUE;}
```

7. DISSENY DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ.

La font d'alimentació proporciona el subministrament d'energia a la circuiteria elèctrica, a més, ha de ser aïllada per poder separar la Baixa Tensió (BT) de la Molt Baixa Tensió de Seguretat (MBTS), a causa de la connexió amb la xarxa elèctrica.

Per aconseguir la separació galvànica es poden utilitzar fonts commutades aïllades o fonts lineals, a continuació es tractaran els dos tipus de fonts d'alimentació:

- **Fonts d'alimentació commutades.** Una font commutada és un dispositiu electrònic que transforma l'energia elèctrica mitjançant transistors en commutació. Mentre que un regulador de tensió utilitza transistors polaritzats en la seva regió activa d'amplificació, les fonts commutades utilitzen els mateixos, commutant-los activament a altes freqüències (20-100 kHz típicament) entre tall (oberts) i saturació (tancats). La forma d'ona quadrada resultant s'aplica a transformadors amb nucli de ferrita, atès que, els nuclis de ferro no són adequats per a aquestes altes freqüències, per obtenir un o diversos voltatges de sortida de corrent altern (CA) que després són rectificats (amb díodes ràpids) i filtrats (inductors i condensadors) per obtenir els voltatges de sortida de corrent continu (CC).
- **Fonts d'alimentació lineals.** Les fonts lineals segueixen l'esquema següent: transformador, rectificador, filtre, regulació i sortida. En primer lloc el transformador adapta els nivells de tensió i proporciona aïllament galvànic. El circuit que converteix el corrent altern en corrent continu polsant es diu rectificador, aquests solen portar un circuit que disminueix l'arrissat com un filtre de condensador. La regulació o estabilització de la tensió a un valor establert s'aconsegueix amb un component anomenat regulador de voltatge.

En el disseny del projecte utilitzarem la font lineal, per la simplicitat del disseny, facilitat d'implantació i la reducció de component necessaris per a la posada en marxa, tenint en compte que el consum de tot l'equip serà reduït.

7.1. Càlcul de consums i dimensionat de la potencia de la font d'alimentació.

Per a calcular el consum general, hem d'analitzar punt per punt el consum de cadascun dels components i preveure l'activació simultània dels dispositius implementats en el circuit elèctric. Analitzem cadascun d'aquests dispositius:

1. Circuits d'adequació del senyal analògic. 10mA x 2 = 20mA.
2. Circuits de comandament de potència. 25mA x 2 = 50mA.
3. Convertidor DC/DC. 3mA.
4. Microprocessador + RF. 25mA.
5. LED indicador. 10mA.
6. Possibilitat d'alimentació externa. 100mA.

Total consum: 208mA.

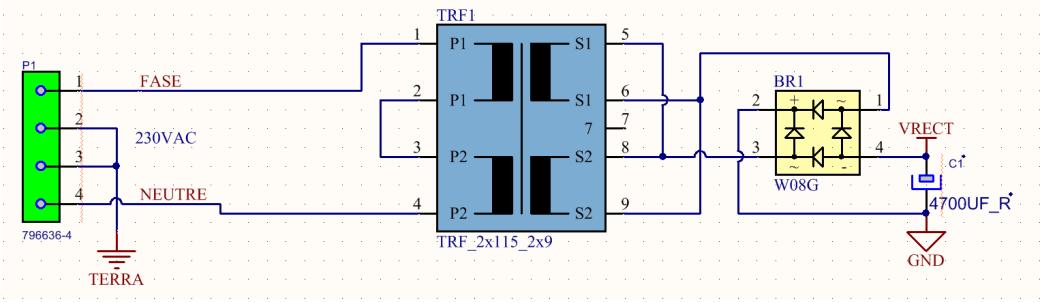
Podem seleccionar la font d'alimentació amb una potència de:

$$Potencia = VAC_{secundari} \cdot I_{Consumida} = 9VAC \cdot 0.208A = \mathbf{1.872VA}$$

La utilització d'un transformador de la família de producte AVB (BLOCK TRANSFORMATOREN ELEKTRONIK GMBH) amb un rang de potències de 1.0VA/1.5VA/2.3VA/3.2VA, amb el mateix encapsulat i connexió, ens permet ajustar el projecta a les diferents necessitats de consum. En particular en el disseny s'ha utilitzat el transformador de potència 3.2VA a 9VAC i amb un consum de 13.9 mA de la xarxa.

7.2. Càlcul de la tensió i condensador de filtratge.

En referència a l'alimentació, es muntarà una font lineal i un convertidor *buck* DC/DC, amb la funció d'adaptar les diferents tensions requerides, als nivell correctes dels components electrònics. En l'esquema de la Il·lustració 29 s'observen els components associats a la font d'alimentació com són: el transformador (TRF1), el pont rectificador (BR1) i filtratge de sortida (C1)



Il·lustració 29. Font d'alimentació de 230VAC a 12VDC.

Calculem la tensió VRECT sabent que el transformador té com a característiques una potència nominal de 3.2VA i la tensió de 9VAC, per tant, el voltatge que obtindrem després del rectificador d'ona completa amb ponts de díodes (BR1) del component W08G de General Semiconductor I_F=1.5A i V_F=1V, serà de:

$$VRECT = (Vtransformador - V_F) \cdot \sqrt{2} = (9V - 1V) \cdot \sqrt{2} = \mathbf{11.31V}$$

El càlcul de la capacitat del condensador, com a filtra passa baix, ens indicarà el màxim rissat de la tensió VRECT:

$$Vrissat = \frac{I_{font}}{f \cdot C} = \frac{0.354A}{50Hz \cdot 0.0047F} = \mathbf{1.506V}$$

La tensió mínima de VRECT serà de: 11.31V – 1.506V = **9.804V** aquesta serà la tensió d'entrada en el convertidor *buck* DC/DC.

7.3. Estudi de l'aïllament de seguretat de la xarxa de BT i sistemes de protecció.

En aquest apartat determinarem el tipus de protecció del nostre producte i com s'ha de dissenyar el circuit imprès, que durant la manipulació de l'equip per part de l'usuari o instal·lador, es pugui reduir al màxim qualsevol possibilitat de xoc elèctric. La classificació de protecció es fixarà del tipus: **Classe II**, ja comentat en l'apartat 3.2 Directiva de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE), a més, s'haurà de tenir present tres tipus d'equips afectats per aquesta classe: els que incorporen una cobertura aïllant, el de coberta metàl·lica i els mixtos.

En el procés del disseny del circuit imprès s'hauran de tenir present els conceptes següents:

- **Línies de fuga.** Camí més curt entre dos punts, mesurats al llarg de la superfície d'aïllament.
- **Distancia en l'aire.** Distancia més curta entre dos punts, mesurat a través de l'aire.
- **Graus de contaminació.** Establir el nivell de contaminació que pot aparèixer en el micro-ambient del producte (interior de l'equip).

  Amb el propòsit d'avaluar les línies de fuga s'estableixen els següents 4 graus de contaminació:

1. **Grau de contaminació 1.** Sense contaminació o solament amb contaminació seca, no conductora, per tant, la contaminació no influeix.
2. **Grau de contaminació 2.** Solament té efecte amb contaminació no conductora, excepte que es pugui esperar ocasionalment una conductivitat temporal causada per condensació.
3. **Grau de contaminació 3.** Pot existir contaminació conductora o no conductora seca, que pot arribar a conduir per culpa de la condensació que es pugui esperar.
4. **Grau de contaminació 4.** La contaminació genera conductivitat persistent causada per pols conductor o per pluja o neu.

Una vegada presentats els conceptes necessaris a tenir en compte per determinar la distància d'aïllament mínima entre parts actives (connectades a tensió) i altres zones del circuit a protegir, indicarem les pautes a seguir mitjançant les diferents taules i il·lustracions extretes de les normatives que afecten el producte. Per decidir els valors de la taula, s'ha de fixar que el grau de contaminació del nostre equip serà: **Grau de contaminació 2**.

En primer lloc, determinem la tensió d'impuls assignada, a partir de la tensió de xarxa definida corresponent als 230VAC, en la Taula 6:

Tensión asignada V	Tensión de impulso asignada V Categoría de sobretensión		
	I	II	III
≤ 50	330	500	800
>50 y ≤ 150	800	1 500	2 500
>150 y ≤ 300	1 500	2 500	4 000

NOTA 1 – Para aparatos polifásicos, la tensión línea – neutro o línea – tierra se utiliza para la **tensión asignada**.

NOTA 2 – Los valores se basan sobre la asunción de que el aparato no generará sobretensiones superiores a las especificadas. Si se generan sobretensiones superiores, se deben incrementar las **distancias en el aire** consecuentemente.

Taula 6. Tensió d'impuls assignada.

Com s'ha fixat la classe de protecció II, la tensió d'impuls assignada serà: **2.500V.**

En segon lloc, obtenim per mitjà de la Taula 7, la distancia en l'aire mínima entre parts conductores. En el nostre producte aquesta distancia, no pot ser inferior a: **2.0 mm.**

Tensión de impulso asignada V	Distancia en el aire mínima[a] mm
330	0,5[b]
500	0,5[b]
800	0,5[b]
1 500	1,0[c]
2 500	2,0[c]
4 000	3,5[c]
6 000	6,0[c]
8 000	8,5[c]
10 000	11,5[c]

a Las distancias especificadas sólo se aplican a **distancias en el aire**.

b Las **distancias en el aire** más pequeñas especificadas en la Norma CEI 60664-1 no se han adoptado por razones prácticas, tales como las tolerancias de la producción en masa.

c Los valores de la Norma CEI 60664-1 se han incrementado en 0,5 mm para permitir cualquier reducción posible durante el periodo de vida del aparato.

Taula 7. Distancia en l'aire mínimes.

En tercer lloc, se selecciona la línia de fuga de l'aïllament principal, en la Taula 8:

Tensión de trabajo V	Líneas de fuga mm Grado de contaminación						
	1	2			3		
		Grupo de material			Grupo de material		
		I	II	IIIa/IIIb	I	II	IIIa/IIIb
≤ 50	0,2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	1,9[a]
>50 y ≤ 125	0,3	0,8	1,1	1,5	1,9	2,1	2,4
>125 y ≤ 250	0,6	1,3	1,8	2,5	3,2	3,6	4,0
>250 y ≤ 400	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3
>400 y ≤ 500	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0
>500 y ≤ 800	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0	9,0	10,0
>800 y ≤ 1 000	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0	11,0	12,5
>1 000 y ≤ 1 250	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5	14,0	16,0
>1 250 y ≤ 1 600	4,2	6,3	9,0	12,5	16,0	18,0	20,0
>1 600 y ≤ 2 000	5,6	8,0	11,0	16,0	20,0	22,0	25,0
>2 000 y ≤ 2 500	7,5	10,0	14,0	20,0	25,0	28,0	32,0
>2 500 y ≤ 3 200	10,0	12,5	18,0	25,0	32,0	36,0	40,0
>3 200 y ≤ 4 000	12,5	16,0	22,0	32,0	40,0	45,0	50,0
>4 000 y ≤ 5 000	16,0	20,0	28,0	40,0	50,0	56,0	63,0
>5 000 y ≤ 6 300	20,0	25,0	36,0	50,0	63,0	71,0	80,0
>6 300 y ≤ 8 000	25,0	32,0	45,0	63,0	80,0	90,0	100,0
>8 000 y ≤ 10 000	32,0	40,0	56,0	80,0	100,0	110,0	125,0
>10 000 y ≤ 12 500	40,0	50,0	71,0	100,0	125,0	140,0	160,0

NOTA 1 – Los conductores barnizados de cableados son considerados como conductores desnudos, aunque las **líneas de fuga** no necesitan ser superiores a la **distancia en el aire** asociada especificada en la tabla 16, teniendo en cuenta el apartado 29.1.1.

NOTA 2 – Para vidrio, cerámica y otros materiales aislantes inorgánicos que no crean caminos, las **líneas de fuga** no necesitan ser superiores a la **distancia en el aire** asociada.

NOTA 3 – Excepto para circuitos del lado secundario de un transformador seccionador, la **tensión de trabajo** se considera como no inferior a la **tensión asignada** del aparato.

[a] El grupo de material IIIb se permite si la **tensión de trabajo** no excede de 50 V.

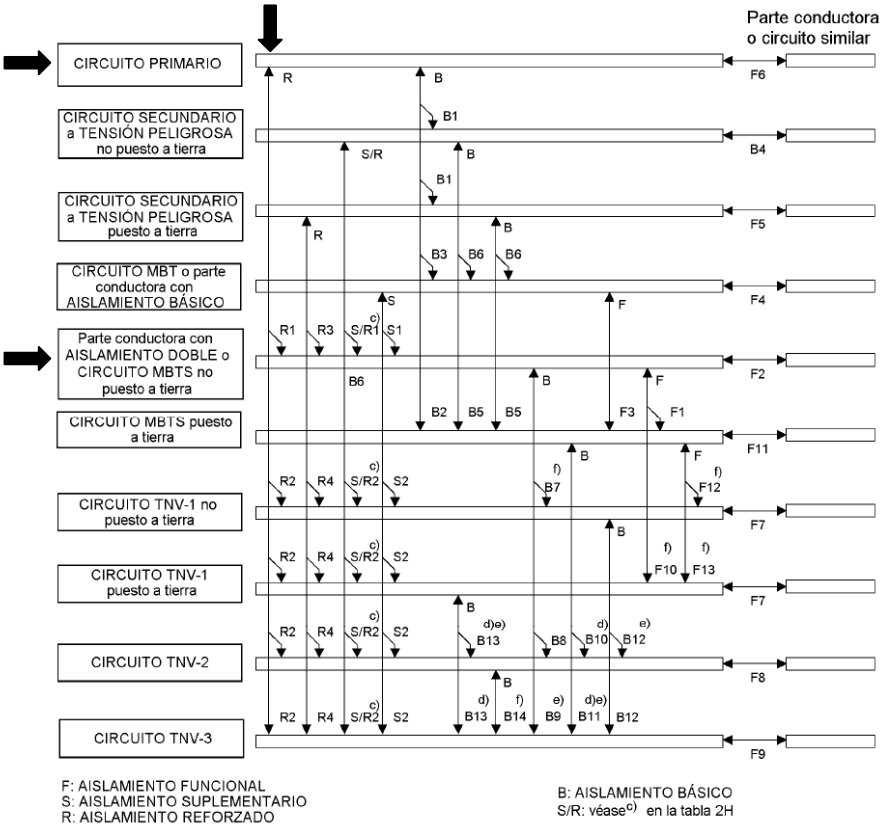
Taula 8. Línies de fuga mínimes per aïllament principal.

De la Taula 8 obtenim el valor de: **1.8 mm.**

En últim lloc, ja podem aconseguir les distàncies mínimes de seguretat, segons les característiques del producte i la classe de l'equip, que estaran determinades per:

- Les línies de fuga de l'aïllament suplementari que ha de ser de com a mínim les especificades per l'aïllament principal, indicat en la Taula 8.
- Les línies de fuga de l'aïllament reforçat que ha de ser almenys del doble de les especificacions utilitzades en l'aïllament principal, indicat en la Taula 8.

El grau d'aïllament vindrà determinat per la Il·lustració 30:



Il·lustració 30. Exemples d'aplicació d'aïllament.

De la Il·lustració 30 s'extreu que entre circuit primari (BT) i el circuit secundari (MBTS) ha d'haver un aïllament reforçat (R).

En conclusió, per determinar la distància de separació mínima entre les parts actives i tenint en compte el grau d'aïllament necessari entre el circuit primari alimentat a la tensió de 230VAC (BT) i la corresponent al circuit secundari (MBTS), haurem d'utilitzar la Il·lustració 30 on s'indica amb fletxes l'aïllament utilitzat en el nostre equip, que s'haurà de tenir en compte a l'hora de la realització del disseny del circuit imprès. Per tant, aquest serà:

- Circuit primari connectat a la tensió de 230VAC i altres parts actives de diferent potencial, el tipus d'aïllament serà principal o bàsic amb una distància de separació de 2 mm, si és en l'aire i de 1.8 mm si és de línia de fuga.
- Entre el circuit primari a 230VAC i el secundari a 5V tenim un aïllament principal o bàsic més el reforçat, això ens dóna una distància de separació, en el cas d'aire de 2 mm + 2 mm ·2 = 6 mm i en el cas de línia de fuga de 1.8 mm + 1.8 mm ·2 = 5.4 mm.

Per assegurar la seguretat de l'usuari utilitzarem la més restrictiva que es correspon amb la de l'aire de 6 mm. També, utilitzarem un transformador amb la característica d'aïllament entre el primari i el secundari de 5KV i amb protecció de Classe 2.

Un càlcul de la distància d'aïllament principal, orientatiu, es pot realitzar amb:

$$Distancia\ d'aïllament = 0.5842 + (0.00508 \cdot VAC_{pk})$$

7.3.1. Càlcul dels sistemes de protecció per sobreintensitat.

Després de determinar la distancia entre parts conductores del circuit, hem de determinar els corrents màxims que ens ha de permetre dimensionar els dispositius de seguretat, com són els fusibles i les PPTC (*Polymeric Positive Temperature Coefficient*) que són fusibles rearmables. Així doncs, en el nostre disseny incorporarem dos fusibles de protecció que segons la norma UNE-EN60950 indica que: els valors del corrent assignat els dispositius de protecció contra sobreintensitats han d'obrir el circuit en 120s amb un corrent igual al 210% del valor de corrent especificat.

El càlcul l'efectuem analitzant el corrent màxim que és capaç de suportar les pistes de coure del circuit imprès, en el nostre cas, l'amplada mínima de la pista és de 1.7 mm, que es correspon en el control dels dispositius d'alarma sonora i lluminosa. Els càlculs són:

$$I_{Linies\ externes} = 0.024 \cdot dT^{0.44} \cdot A^{0.725}$$

A=àrea de la secció (mil^2); dT=Increment de temperatura (ºC); I= corrent màxima (A)

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
				Internal Traces		External Traces	
Field	Value	Units	Trace Data	Value	Units	Value	Units
Current (max. 35A)	3.51	Amps	Required Trace Width	4.42	mm	1.7	mm
Temperature Rise (max. 100°C)	10	°C	Cross-section Area	0.15	mm²	0.06	mm²
Cu thickness	35	µm	Resistance	0	Ω Ohms	0	Ω Ohms
Ambient Temperature	40	°C	Voltage Drop	0.01	Volts	0.02	Volts
Conductor Length	15	mm	Loss	0.02	Watts	0.06	Watts
Peak Voltage	326	Volts	Required Track Clearance	2.24	mm		

Taula 9. Calculador de l'ampla de pista pel corrent circulant.

El màxim corrent per l'ampla de pista de 1.7mm i gruix de 35 µc és de 3.51 A, si dividim per 2.1 obtenim un corrent limitat del fusible a 1.67 A. Per tant, el fusible serà de 1.5 A per assegurar que les pistes no es trenquen per excés de temperatura. En el cas transformador, no es requereix de protecció externa, degut a la seva construcció.

7.4. Estudi del convertidor buck (*step-down*) DC/DC commutat.

El ST1S10 (STMicroelectronics) és un convertidor buck (*step-down*) DC-DC que proporciona un corrent de fins a 3 A en un rang de voltatge d'entrada de 2,5 V a 18 V, i la tensió de sortida es pot ajustar des de 0,8 V fins al 85% del nivell de tensió d'entrada. Una freqüència de commutació interna alta (0,9 MHz) permet l'ús de petits components de muntatge en superfície, així com, un divisor de resistències per establir el valor de la tensió de sortida. El dispositiu pot funcionar en mode PWM amb una freqüència fixa que permet obtenir uns resultats de baix arrissat de sortida. El ST1S10 està equipat amb protecció tèrmica d'apagada activada a 150 °C. La cobertura contra curtcircuits proporciona protecció a les sortides de l'aplicació i al propi regulador. Una arrencada suau limita la potència amb un retard de la connexió de 275 ms, això, ajuda a reduir el corrent d'entrada durant l'arrencada.

En el desenvolupament del convertidor s'ha utilitzat l'entorn de simulació, càlcul i disseny d'esquemàtic del fabricant ST Microelectronics de fonts commutades DC/DC. El resultat de l'esquemàtic i el valor dels components resistius no sempre s'ajusta l'estàndard E24, com és el cas de les resistències de selecció del voltatge de sortida, a continuació s'indiquen les equacions per a realitzar el càlcul:

$$R1 = \frac{R2 \cdot (V_{OUT} - V_{FB})}{V_{FB}} \; per\ un\ V_{FB} = \mathbf{0.8V}$$

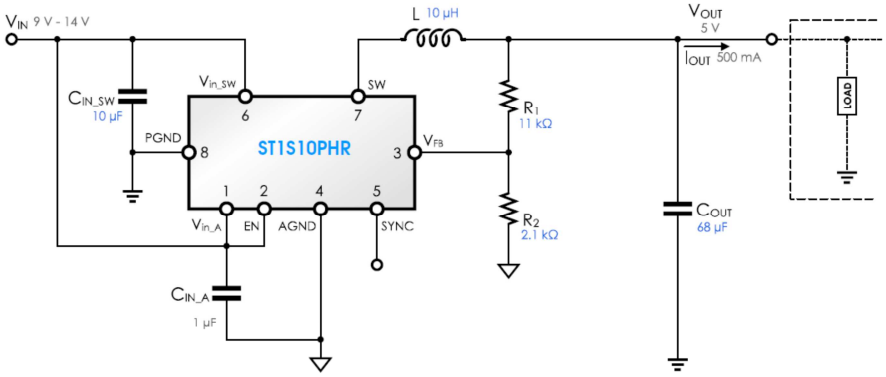
Si fixem R2 utilitzant el resultat de la simulació a 2KΩ tenim:

$$R1 = \frac{2K \cdot (5V - 0.8V)}{0.8V} = 10K5\Omega \rightarrow ajustat\ a\ E24 \rightarrow \mathbf{11K\Omega}$$

Ajustem els valors resistius a l'estàndard E24 i calculem la V_{OUT}:

$$V_{OUT} = \frac{R1 \cdot V_{FB}}{R2} + V_{FB} = \frac{11K\Omega \cdot 0.8V}{2K\Omega} + 0.8V = \mathbf{5.2V}$$

La simulació s'ha efectuat amb una tensió d'entrada dins del rang de 9V fins a 14V i un corrent de sortida de 500mA a 5V.

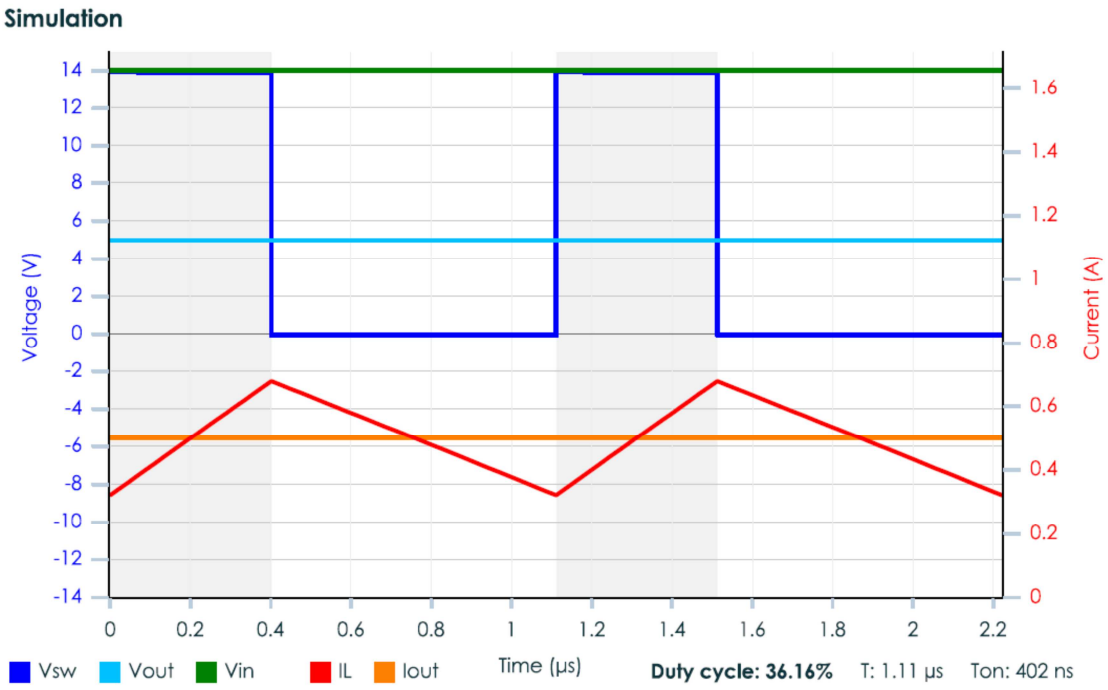


Bill of Materials

Type	Reference	Value	Description
IC	IC	ST1S10PHR	ST1S10PHR - Power SO 8
Capacitor	Cin_SW	10 µF	25 V - 10% - muRata - GRM31CR61E106KA12L
Capacitor	Cout	68 µF	10 V - 20% - TDK - C5750X5R1A686M
Inductor	L	10 µH	4.5 A - Wurth Elektronik - 7447452100
Resistor	R1	11 kΩ	11 kΩ
Resistor	R2	2.1 kΩ	2.1 kΩ
Capacitor	Cin_A	1 µF	25 V - 10% - muRata - GRM188R61E105KE12D

Il·lustració 31. Convertidor Buck (ST1S10PHR)

La simulació del comportament del convertidor i de la càrrega de la inductància:



Il·lustració 32. Simulació convertidor buck DC/DC.

8. DISSENY DEL *LAYOUT* DE LA PLACA PCB.

El disseny del circuit imprès s'ha realitzat amb el programa Altium Designer 14 que ens ha de permetre la implementació física del projecte desenvolupat en aquest TFC del sensor remot de senyals analògics. Els paràmetres necessaris per a la realització del PCB, els subministra el mateix fabricant de circuits impresos, ja que, les limitacions de fabricació, del tipus de material (CEM3, FR4, etc..) i la capacitat pròpia del procés depèn d'ell, a més, aquests paràmetres tenen com a base les normes IPC (*Association Connecting Electronics Industries*) que utilitzen les empreses de fabricació com a referent.

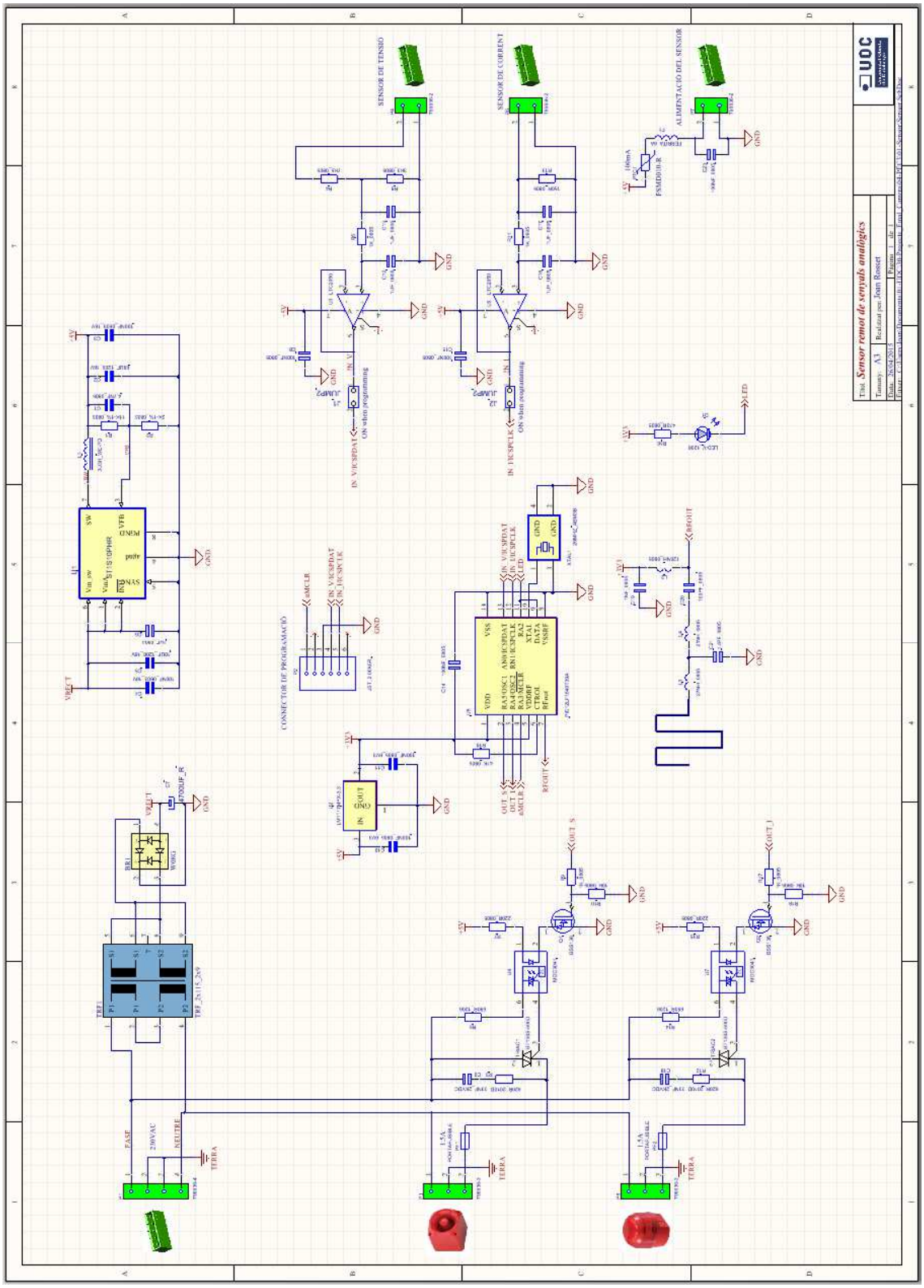
En el disseny del circuit imprès s'ha tingut present les diferents regles indicades a continuació:

	DIAMETRO MÍNIMO DE TALADRO PARA: Espesor 1.6 mm ϕ final (ϕ inicial)	CORONA MÍNIMA Capas externas mm (mils)	CORONA MÍNIMA Capas internas mm (mils)	AISLAMIENTO MÍNIMO PARA Capas internas de masa mm (mils)	MARGEN MÍNIMO DE LA MÁSCARA CON EL PAD DE COBRE mm (mils)	ANCHURA MÍNIMA DEL CONDUCTOR Capas externas (Cu base) / mm	ANCHURA MÍNIMA DEL CONDUCTOR Capas internas (Cu base) / mm	ESPACIO MÍNIMO ENTRE CONDUCTORES Capas externas (Cu base) / mm	ESPACIO MÍNIMO ENTRE CONDUCTORES Capas internas (Cu base) / mm	SEPARACIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR AL BORDE C.I. mm (mils)	
										Scoring	Fresado
CLASE IV	0.40 (0.55)	0.20 (8)	0.30 (12)	0.40 (16)	0.15 (6)	0.20 (8)	0.25 (10)	0.20 (8)	0.25 (10)	0.50 (20)	0.30 (12)
CLASE V	0.25 (0.40)	0.20 (8)	0.25 (10)	0.30 (12)	0.10 (4)	18 µm 0.15 35 µm 0.18 70 µm 0.21	18 µm 0.14 35 µm 0.17 70 µm 0.20	18 µm 0.15 35 µm 0.18 70 µm 0.21	18 µm 0.14 35 µm 0.17 70 µm 0.20	0.50 (20)	0.30 (12)
CLASE VI	0.15 (0.30)	0.19 (7.6)	0.20 (8)	0.20 (8)	0.075 (3)	18 µm 0.12 35 µm 0.17 70 µm 0.20	18 µm 0.11 35 µm 0.16 70 µm 0.18	18 µm 0.12 35 µm 0.17 70 µm 0.20	18 µm 0.11 35 µm 0.16 70 µm 0.18	0.45 (18)	0.25 (10)
CLASE VII	0.10 (0.20)	0.18 (7.2)	0.20 (8)	0.20 (8)	0.075 (3)	18 µm 0.10 35 µm 0.15 70 µm 0.19	18 µm 0.10 35 µm 0.13 70 µm 0.16	18 µm 0.11 35 µm 0.15 70 µm 0.19	18 µm 0.10 35 µm 0.13 70 µm 0.16	0.40 (16)	0.20 (8)
ESQUEMA											

Il·lustració 33. Capacitats tècniques de fabricació.

En conclusió, Les classes IV fins a VII indicant el grau de densitat i complexitat del disseny, a mesura que la classe s'incrementa també s'incrementa el cost de producció del circuit imprès, serà convenient intentar realitzar el disseny partint de la classe més inferior i incrementar la complexitat a mesura que el disseny es compliqui. En l'annexa 2. Gerbers de fabricació del circuit imprès. s'inclou la documentació requerida en la fabricació del circuit on s'han utilitzat els paràmetres indicats en la Il·lustració 33. Capacitats tècniques de fabricació.

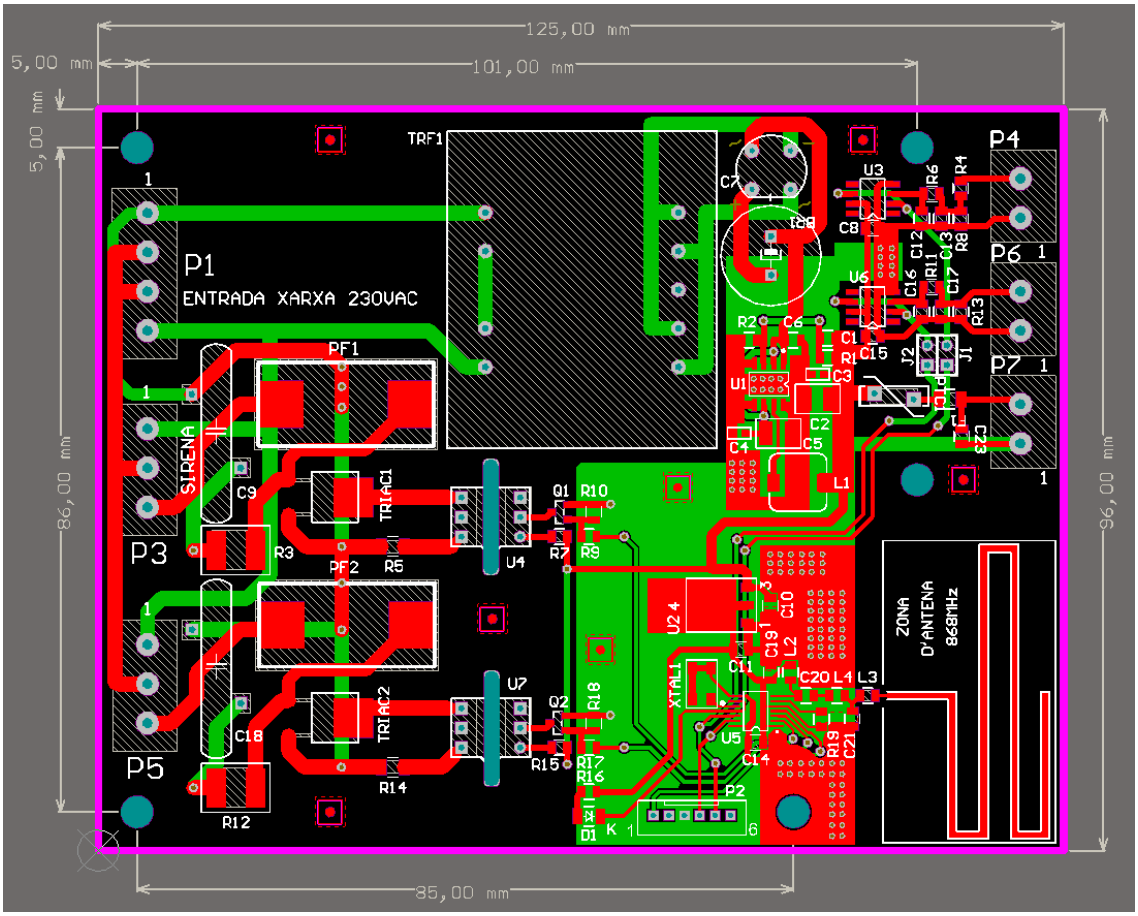
8.1. Disseny de l'esquemàtic.



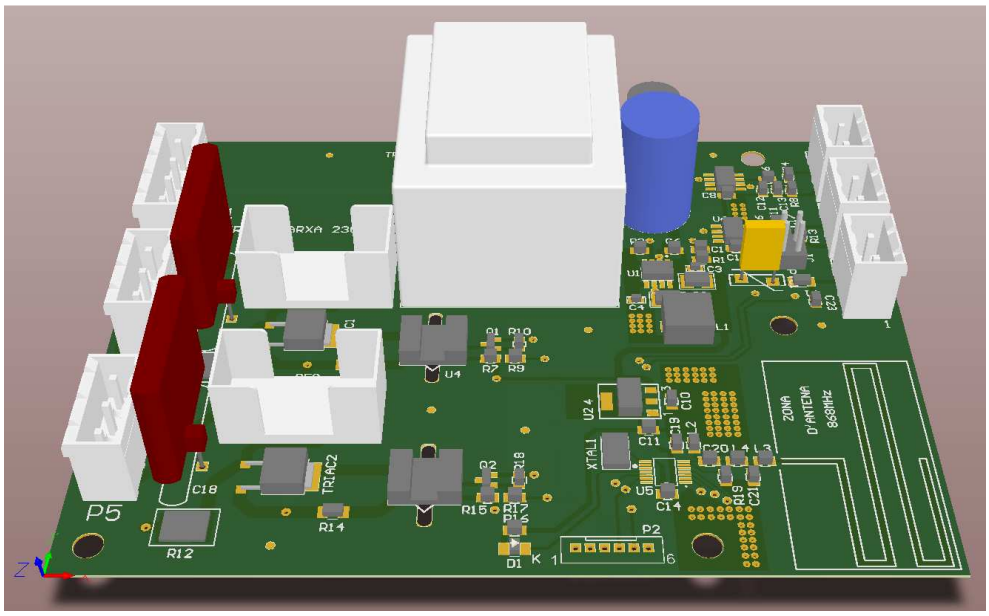
Il·lustració 34. Esquema del sensor remot de senyals analògiques.

8.2. Disseny de la disposició de la placa impresa.

Vista del disseny del circuit imprès i del muntatge dels components en 3D.



Il·lustració 35. Vista corresponent al disseny del circuit imprès.



Il·lustració 36. Vista 3D del circuit imprès.

8.3. Valoració econòmica del projecte.

La realització del disseny amb un programa de CAD, ens permet obtenir el llistat de materials i els costos dels components que es requereixen en la realització del producte. També, s'ha afegit el cost de muntatge dels components que realitzaria una empresa externa.

Comentari	Encapsulat	Cuantitat	Components		Preu unitari	Preu
1.8PF_0805	0805	1	C21	SMD MULTIC.1.8PF/50V 0805	0,02 €	**0,02 €**
100NF_0805_16V	0805	2	C3, C4	SMD CERAMIC0 100NF X7R 16V 0805	0,02 €	**0,04 €**
100NF_0805_6V3	0805	2	C10, C11	SMD MULTICAPA 100NF/6V3 X7R 0805	0,02 €	**0,04 €**
100NF_0805	0805	4	C8, C14, C15, C23	SMD MULTIC.100NF/50V 0805	0,02 €	**0,08 €**
100PF_0805	0805	1	C20	SMD MULTIC.100PF/50V 0805	0,02 €	**0,02 €**
10K_0805	0805	2	R10, R18	SMD RES 10K 1/4W 0,05	0,02 €	**0,04 €**
10UF_1206_16V	1210	1	C5	SMD MULTICAPA 4.7UF/16V X5R 1206	0,02 €	**0,02 €**
11K-1%_0805	0805	1	R1	SMD RES. 4K3 1/8W 0.01 0805	0,02 €	**0,02 €**
120NH_0805	0805	1	L2	INDUCTOR DE 120 nH	0,32 €	**0,32 €**
150R_0805	0805	1	R13	SMD RES 470R 1/4W 0,05	0,02 €	**0,02 €**
1K_0805	0805	4	R6, R9, R11, R17	SMD RES 1K 1/4W 0,05	0,02 €	**0,08 €**
1NF_0805	0805	1	C19	SMD MULTIC.1NF/50V 0805	0,02 €	**0,02 €**
1UF_0805	0805	5	C6, C12, C13, C16, C17	SMD MULTIC.150NF/50V 0805	0,02 €	**0,10 €**
220R_0805	0805	2	R7, R15	SMD RES 220R 1/8W 0,05	0,02 €	**0,04 €**
26MHZ_ABM3B	ABM3B	1	XTAL1	SMD CRISTAL 26MHZ 30PPM ABM3B 5X3.2 ABR.	0,95 €	**0,95 €**
27NH_0805	0805	2	L3, L4	INDUCTOR DE 27 nH	0,29 €	**0,58 €**
2K-1%_0805	0805	1	R2	SMD RES. 820R 1/8W 0.01 0805	0,02 €	**0,02 €**
33NF_2KVDC	CER375	2	C9, C18	33NF 2KVDC a 7K5VDC	1,22 €	**2,43 €**
3K3_0805	0805	1	R8	SMD RES 3k3 1/4W 0,05	0,02 €	**0,02 €**
3U3H_WE-PD	WURTH_WE-PDM	1	L1	INDUCTANCIA 3u3H WURTH 744777003	2,42 €	**2,42 €**
4.7NF_0805	0805	1	C1	SMD CERAMICO 4.7NF/50V 0805	0,02 €	**0,02 €**
4700UF_R	CER2D12.5	1	C7	C.ELTICO.RAD.4700MF/10VR2	0,91 €	**0,91 €**
470R_0805	0805	1	R16	SMD RES 470R 1/4W 0,05	0,02 €	**0,02 €**
47K_0805	0805	1	R19	SMD RES 47K 1/4W 0,05	0,02 €	**0,02 €**
620R_2010D	2010D_Primary	2	R3, R12	SMD RES.620R 1/2W 5% 2010	0,02 €	**0,04 €**
680R_1206	1206	2	R5, R14	SMD RES 680R 1/4W 0,05	0,02 €	**0,04 €**
22UF_1206_16V	1210	1	C2	SMD MULTICAPA 22UF/16V X5R 1206	1,20 €	**1,20 €**
796636-2	Conector_2v	3	P4, P6, P7	Conector Block 5.08 de 2v	0,29 €	**0,86 €**
796636-3	Conector_3v	2	P3, P5	Conector Block 5.08 de 3v	0,74 €	**1,48 €**
796636-4	Conector_4v	1	P1	Conector Block 5.08 de 4v	0,92 €	**0,92 €**
7K5_0805	0805	1	R4	SMD RES 7k5 1/4W 0,05	0,02 €	**0,02 €**
BSS138	SOT23	2	Q1, Q2	SMD TRANSISTOR MOSFET BSS138 CH-N SOT23	0,15 €	**0,30 €**
BT136S-600D	DPACK	2	TRIAC1, TRIAC2	TRIAC 600V 25A	0,37 €	**0,74 €**
FERRITA_6A	1206	1	F1	SMD FERRITA 6A MLB-321611-0120PW	0,50 €	**0,50 €**
JST_2.00X6R.	B6B-PH-K-S	1	P2	CTOR POS.JST.B7B-PH-K-S 6V.P2.00 RECT	0,29 €	**0,29 €**
JUMP2	JUMP2	2	J1, J2	CONECTOR POSTE 2V.RECTO P2.54	0,13 €	**0,26 €**
LED-V_1206	1206_LED	1	D1	SMD LED VERDE 1206	0,10 €	**0,10 €**
LM1117MPX-3.3	DSO-G3/X1.1	1	U2	SMD INTEGRADO LM1117MP 3.3V SOT223	0,50 €	**0,50 €**
LTC2050	SO8	2	U3, U6	Operational Amplifier Zero-Drift	3,03 €	**6,05 €**
MOC3041	DIL6	2	U4, U7	Optocoupler/Optoisolator	0,65 €	**1,30 €**
PIC12LF1840T39A	TSSOP14	1	U5	PIC12LF1840T39A 14 Pins 8 bits 868MHz	1,83 €	**1,83 €**
PORTAFUSIBLE	FUSEHOLDER	2	PF1, PF2	Porta Fusible	0,83 €	**1,66 €**
RUE090	PTC_R2	1	PTC1	PTC POLYSWITCH 0.9A/30V RUE090 RAYCHEM	0,36 €	**0,36 €**
ST1S10PHR	SOIC8_EPD	1	U1	SMD INTEGRADO ST1S10 PSOP-8	1,78 €	**1,78 €**
TRF_2x115_2x9	Transformador	1	TRF1	Transformador	5,10 €	**5,10 €**
W08G	Bridge	1	BR1	Bridge Rectifier	0,39 €	**0,39 €**
Circuit imprés	http://be.eurocircuit	1	FR4 Doble cara 125x86mm		29,56 €	**29,56 €**
		74			**Cost prototipus**	**63,52 €**

Descripció de l'operació	Cuantitat	Preu unitari	Preu
Montatge SMD (1-3 soldadures)	45	0,03 €	**1,44 €**
Montatge SMD (4-32 soldadures)	12	0,08 €	**0,96 €**
Montatge convencional (1-2 soldadures)	11	0,10 €	**1,10 €**
Montatge convencional (3-16 soldadures)	6	0,18 €	**1,08 €**
		Cost muntatge	**4,58 €**
		Cost total del prototipus	**68,10 €**

Taula 10. Valoració econòmica del projecte.

Com es pot apreciar el cost de realització del prototip ascendeix a la quantia de **68,10€** per unitat muntada. Per produccions superiors a 25 unitats, el cost del material es pot arribar a reduir en un 10% o més.

9. CONCLUSIONS.

El present Treball de fi de carrera, planteja l'avaluació de quines són les pautes requerides en la realització d'un producte que ha de complir amb els requeriments de seguretat indicats pels organismes oficials. Per arribar fins aquest punt s'ha necessitat de l'anàlisi de les normes harmonitzades del producte i de la posada en pràctica d'aquestes normes en el disseny del circuit imprès. El disseny d'un producte connectat a la xarxa elèctrica requereix del compliment obligatori de les directrius que les directives ens proporcionen, juntament amb els seus requisits.

Encara que la realització del nostre producte podria semblar senzill, ha servit per observar que tot dispositiu requereix d'unes pautes, descrites en el treball, que ha representat la necessitat d'adquirir un coneixement previ del producte, dels seus requeriments i de les adaptacions que el disseny mateix podria requerir per a la seva fabricació, a més, del càlcul dels valors dels components utilitzats en la funcionalitat de l'aparell. Les simulacions realitzades amb programes CAE (*Computer Aided Engineering*) utilitzant els models IBIS del comportament dels dispositius, ens ha orientat sobre la correcta funcionalitat dels càlculs realitzats.

Finalment, remarcar que la realització del sensor ha comportat la utilització d'eines CAD i CAE que sense elles no s'hagués pogut realitzar en el temps indicat del projecte. En conseqüència, un enginyer no hagués pogut tenir la certesa de funcionalitat sense realitzar assajos empírics de cadascuna de les parts del disseny indicats en l'esquema electrònic. Es pot dir com a conclusió que aquest treball ens ubica a les necessitats que qualsevol empresa del sector de l'àmbit d'aquesta carrera requereix dels enginyers en el moment de la realització de productes amb un *Time to Market* curt, com l'única esperança de sobreviure en el mercat.

10.BIBLIOGRAFIA.

InfoNORMA. *Normativa legal de seguretat industrial.* http://infonorma.gencat.cat/

AT4 Wireless. *Marcado CE.* http://www.marcado-ce.com/

Ministerio de Industria, Energia y Turismo. *Legislación sobre Seguridad Industrial.* http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/default.aspx

European Commission. *Electrical engineering.* http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/index_en.htm

Viquipèdia. *Banda ISM.* http://es.wikipedia.org/wiki/Banda_ISM

ITU. *Committed to connecting the world*. http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx

Viquipèdia. *IEEE 802.15*. http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15

ZigBee Alliance. http://www.zigbee.org/

MiWi. *Embedded Wireless*. http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/technology/personalareanetworks/technology/home.html

MAYNÉ, Jordi (2009). *Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia.* http://www.bairesrobotics.com.ar/data/estado_actual_de_las_comunicaciones_por_radiofrecuencia.pdf

Mar Roselló Canal. (). *Aplicacions electromagnètiques i electròniques*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya, Estudis de Telecomunicacions.

LTspice IV. http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice

ST1S10 simulador. http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM142/CL1456/SC355/PF188180

ANSI PCB Trace Width Calculator. http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html

RS Components. Tenda online de components. http://es.rs-online.com

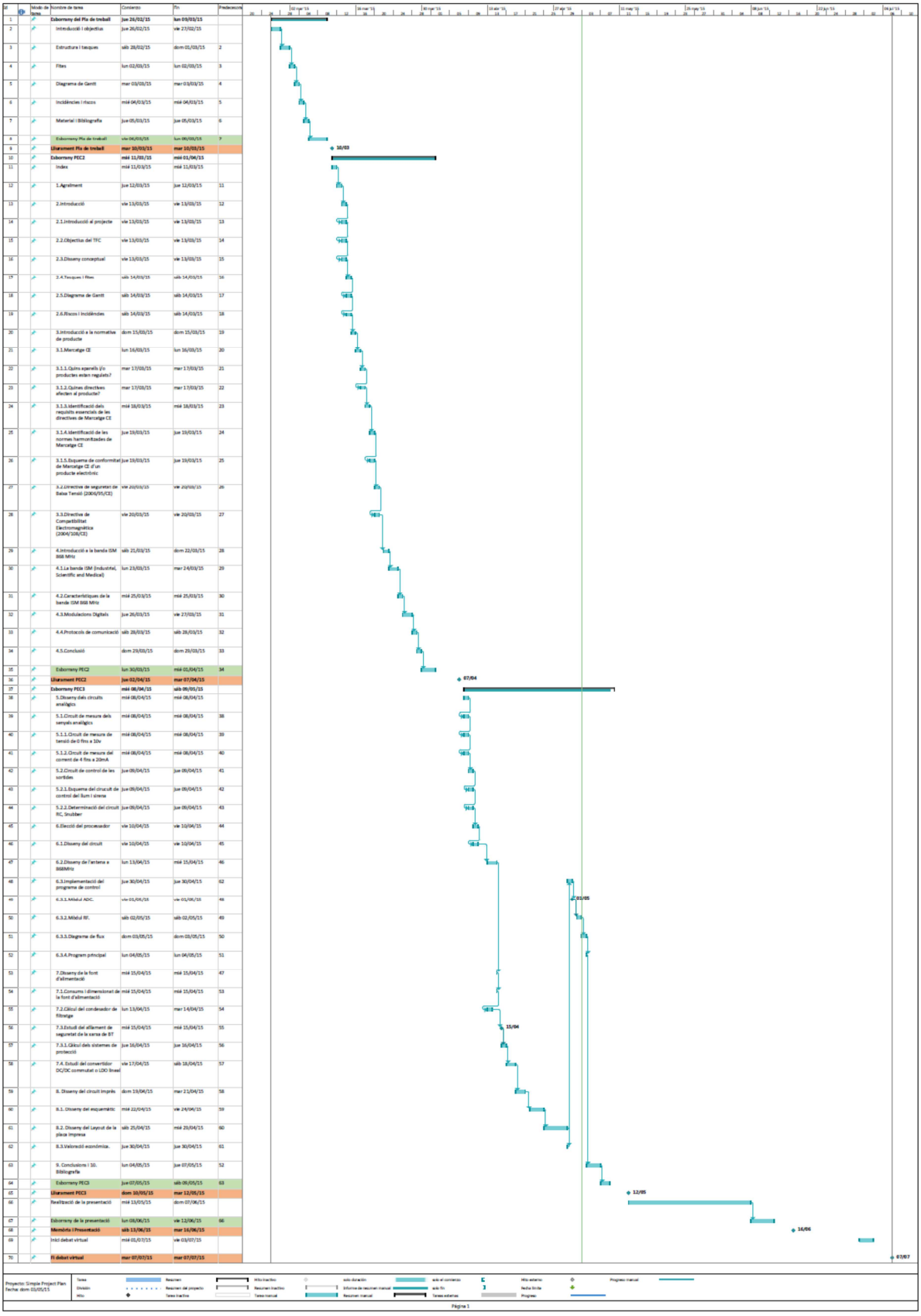
EUROCIRCUITS. Fabricant de circuits impresos. http://www.eurocircuits.com

Microchip. Fabricant de microprocessadors. http://www.microchip.com/

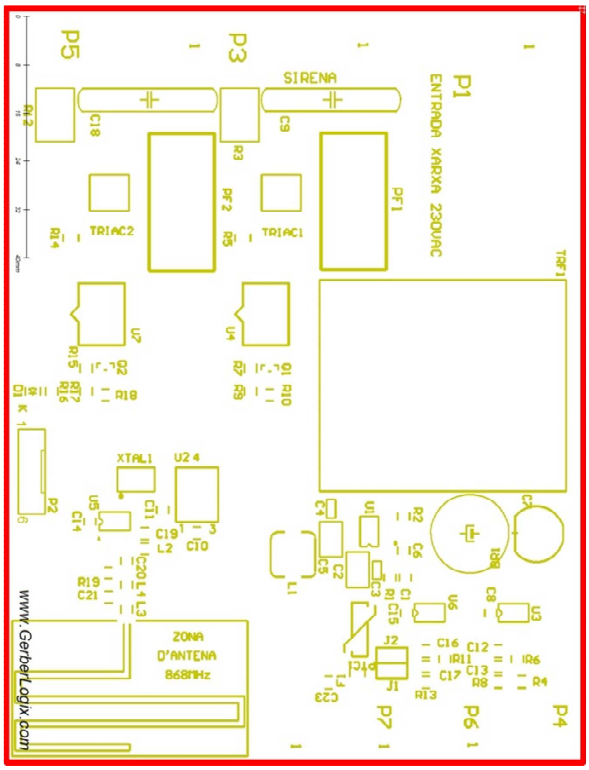
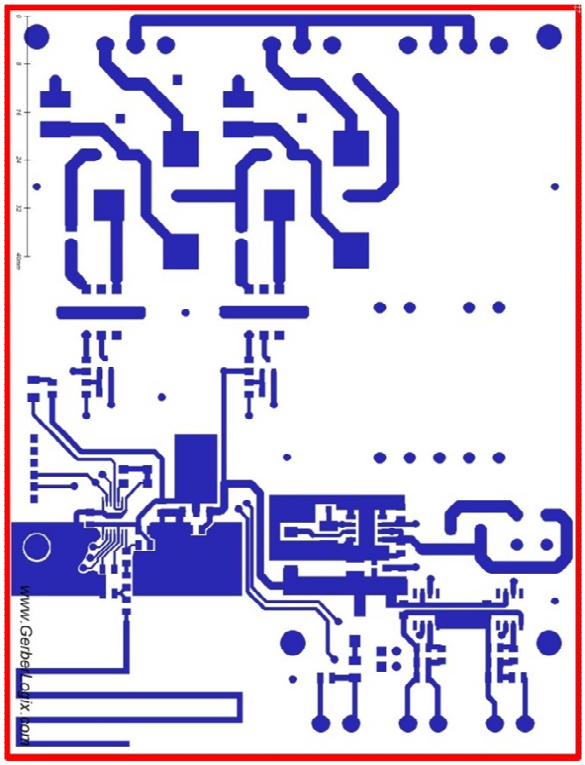
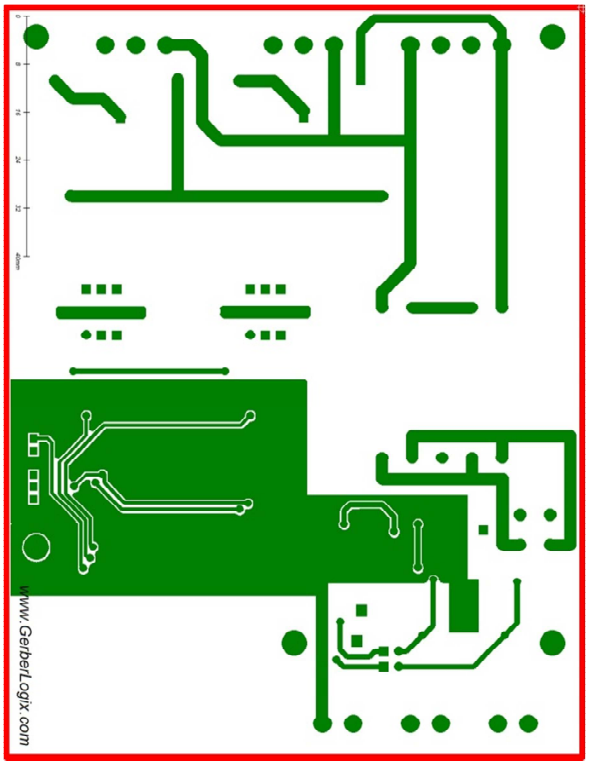
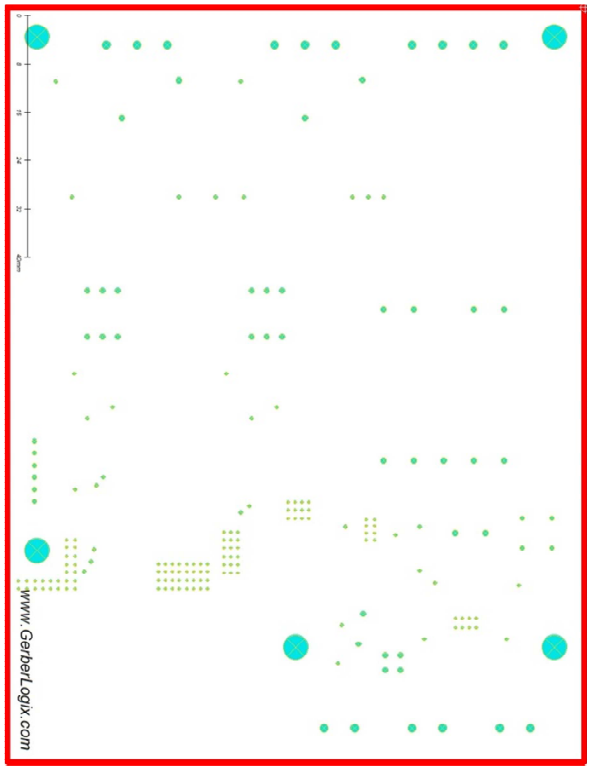
MPLAB X IDE. Entorn de programació i simulació de microprocessador del fabricant Microchip. http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/

ANNEXA 1.

Diagrama de Gantt.



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		**Esborrany del Pla de treball**	**jue 26/02/15**	**lun 09/03/15**	
2		Introducció i objectius	jue 26/02/15	vie 27/02/15	
3		Estructura i tasques	sáb 28/02/15	dom 01/03/15	2
4		Fites	lun 02/03/15	lun 02/03/15	3
5		Diagrama de Gantt	mar 03/03/15	mar 03/03/15	4
6		Incidències i riscos	mié 04/03/15	mié 04/03/15	5
7		Material i Bibliografia	jue 05/03/15	jue 05/03/15	6
8		Esborrany Pla de treball	vie 06/03/15	lun 09/03/15	7
9		**Lliurament Pla de treball**	**mar 10/03/15**	**mar 10/03/15**	
10		**Esborrany PEC2**	**mié 11/03/15**	**mié 01/04/15**	
11		Index	mié 11/03/15	mié 11/03/15	
12		1.Agraïment	jue 12/03/15	jue 12/03/15	11
13		2.Introducció	vie 13/03/15	vie 13/03/15	12
14		2.1.Introducció al projecte	vie 13/03/15	vie 13/03/15	13
15		2.2.Objectius del TFC	vie 13/03/15	vie 13/03/15	14
16		2.3.Disseny conceptual	vie 13/03/15	vie 13/03/15	15
17		2.4.Tasques i Fites	sáb 14/03/15	sáb 14/03/15	16
18		2.5.Diagrama de Gantt	sáb 14/03/15	sáb 14/03/15	17
19		2.6.Riscos i Incidències	sáb 14/03/15	sáb 14/03/15	18
20		3.Introducció a la normative de producte	dom 15/03/15	dom 15/03/15	19
21		3.1.Marcatge CE	lun 16/03/15	lun 16/03/15	20
22		3.1.1.Quins aparells i/o productes estan regulats?	mar 17/03/15	mar 17/03/15	21
23		3.1.2.Quines directives afecten al producte?	mar 17/03/15	mar 17/03/15	22
24		3.1.3.Identificació dels requisits essencials de les directives de Marcatge CE	mié 18/03/15	mié 18/03/15	23
25		3.1.4.Identificació de les normes harmonitzades de Marcatge CE	jue 19/03/15	jue 19/03/15	24
26		3.1.5.Esquema de conformitat de Marcatge CE d'un producte electrònic	jue 19/03/15	jue 19/03/15	25
27		3.2.Directive de seguretat de Baixa Tensió (2006/95/CE)	vie 20/03/15	vie 20/03/15	26
28		3.3.Directive de Compatibilitat Electromagnètica (2004/108/CE)	vie 20/03/15	vie 20/03/15	27
29		4.Introducció a la banda ISM 868 MHz	sáb 21/03/15	dom 22/03/15	28
30		4.1.La banda ISM (Industrial, Scientific and Medical)	lun 23/03/15	mar 24/03/15	29
31		4.2.Característiques de la banda ISM 868 MHz	mié 25/03/15	mié 25/03/15	30
32		4.3.Modulacions Digitals	jue 26/03/15	vie 27/03/15	31
33		4.4.Protocols de comunicació	sáb 28/03/15	sáb 28/03/15	32
34		4.5.Conclusió	dom 29/03/15	dom 29/03/15	33
35		Esborrany PEC2	lun 30/03/15	mié 01/04/15	34
36		**Lliurament PEC2**	**jue 02/04/15**	**mar 07/04/15**	
37		**Esborrany PEC3**	**mié 08/04/15**	**sáb 09/05/15**	
38		5.Disseny dels circuits analògics	mié 08/04/15	mié 08/04/15	
39		5.1.Circuit de mesura dels senyals analògics	mié 08/04/15	mié 08/04/15	38
40		5.1.1.Circuit de mesura de tensió de 0 fins a 10v	mié 08/04/15	mié 08/04/15	39
41		5.1.2.Circuit de mesura del corrent de 4 fins a 20mA	mié 08/04/15	mié 08/04/15	40
42		5.2.Circuit de control de les sortides	jue 09/04/15	jue 09/04/15	41
43		5.2.1.Esquema del circuit de control del llum i sirena	jue 09/04/15	jue 09/04/15	42
44		5.2.2.Determinació del circuit RC, Snubber	jue 09/04/15	jue 09/04/15	43
45		6.Elecció del processador	vie 10/04/15	vie 10/04/15	44
46		6.1.Disseny del circuit	vie 10/04/15	vie 10/04/15	45
47		6.2.Disseny de l'antena a 868MHz	lun 13/04/15	mié 15/04/15	46
48		6.3.Implementació del programa de control	jue 30/04/15	jue 30/04/15	62
49		6.3.1.Mòdul ADC.	vie 01/05/15	vie 01/05/15	48
50		6.3.2.Mòdul RF.	sáb 02/05/15	sáb 02/05/15	49
51		6.3.3.Diagrama de flux	dom 03/05/15	dom 03/05/15	50
52		6.3.4.Program principal	lun 04/05/15	lun 04/05/15	51
53		7.Disseny de la font d'alimentació	mié 15/04/15	mié 15/04/15	47
54		7.1.Consums i dimensionat de la font d'alimentació	mié 15/04/15	mié 15/04/15	53
55		7.2.Càlcul del condensador de filtratge	lun 13/04/15	mar 14/04/15	54
56		7.3.Estudi del allament de seguretat de la xarxa de BT	mié 15/04/15	mié 15/04/15	55
57		7.3.1.Càlcul dels sistemes de protecció	jue 16/04/15	jue 16/04/15	56
58		7.4. Estudi del convertidor DC/DC commutat o LDO lineal	vie 17/04/15	sáb 18/04/15	57
59		8. Disseny del circuit imprès	dom 19/04/15	mar 21/04/15	58
60		8.1. Disseny del esquemàtic	mié 22/04/15	vie 24/04/15	59
61		8.2. Disseny del Layout de la placa impresa	sáb 25/04/15	mié 29/04/15	60
62		8.3.Valoració econòmica.	jue 30/04/15	jue 30/04/15	61
63		9. Conclusions i 10. Bibliografia	lun 04/05/15	jue 07/05/15	52
64		Esborrany PEC3	jue 07/05/15	sáb 09/05/15	63
65		**Lliurament PEC3**	**dom 10/05/15**	**mar 12/05/15**	
66		Realització de la presentació	mié 13/05/15	dom 07/06/15	
67		Esborrany de la presentació	lun 08/06/15	vie 12/06/15	66
68		**Memòria i Presentació**	**sáb 13/06/15**	**mar 16/06/15**	
69		Inici debat virtual	mié 01/07/15	vie 03/07/15	
70		**Fi debat virtual**	**mar 07/07/15**	**mar 07/07/15**	

ANNEXA 2.

Gerbers de fabricació del circuit imprès.