

Treball Fi de Grau

Grau en Enginyeria Electrònica de Telecomunicació

---

**AUGMENT DE LES PRESTACIONS D'UN LECTOR RFID**

Oriol Casas Brugués

---

Tutor: Ferran Paredes

Departament d'Enginyeria Electrònica

**Escola d'Enginyeria**

**Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)**

Juliol del 2020

## Índex de continguts

1. Motivació i objectius.....	pàg 4
2. Introducció a la RFID.....	pàg 6
2.1 Arquitectura d'un sistema RFID.....	pàg 6
2.2. Principi de funcionament.....	pàg 7
2.3. Estàndards.....	pàg 9
2.4. Aplicacions.....	pàg 13
2.5. Anàlisi de mercat.....	pàg 18
3. Metodologia i procediment.....	pàg 19
3.1. Primera etapa de familiarització amb el material.....	pàg 20
3.2. Connexions Hardware.....	pàg 21
4 Implementació del firmware i hardware.....	pàg 24
4.1. Primera configuració, per a lectura dels tags.....	pàg 24
4.2. Build del projecte.....	pàg 24
4.3. Identificació i modificació del codi per a canviar d'antena.....	pàg 25
4.4 Implementació de la part hardware.....	pàg 26
5.Conclusions.....	pàg 27
6.Referències.....	pàg 28

## **Índex de figures.**

Figura 1: Sistema RFID amb tag passiu

Figura 2: Procediments sistema RFID segons estàndards

Figura 3: Espectre regulat per a l'ús de RFID a la banda EPC Gen2 de UHF.

Figura 4: Canals de la primera banda EPC Gen2 per a l'ús de RFID a Europa

Figura 5: Passaport electrònic

Figura 6: Sistema identificació vehicles

Figura 7: Cadena de subministrament5

Figura 8: Control de producció automobolística

Figura 9. Unitats de RAIN RFID tags venudes a nivell global.

Figura 10: AS3993 Reader Suite

Figura 11: Diagrama de blocs del sistema

Figura 12: Configuració del sistema

Figura13: Interfície per a programar el lector.

Figura 14: Pins sortida del Pickit

Figura 15: Estructura del software

Figura 16: Esquemàtic disseny PCB

## 1. Motivació i objectius.

La identificació a través de l'ús d'ones de radio-freqüència RFID (de l'anglès *Radio Frequency Identification*) és una tecnologia que pretén substituir els codis de barres tradicionals, anomenats també codis UPC (*Universal Product Code*). Aquesta tecnologia ha tingut un creixement molt notable en els últims anys i el seu ús n'és cada vegada més freqüent en diferents sectors comercials. El motiu principal és que el RFID permet identificar un objecte a una distància relativament propera (de l'ordre de pocs metres), a diferència dels codis de barres, que necessiten establir una visió directa (distància de pocs centímetres) per a la correcta identificació.

Tot i que grans empreses de logística o de venda i distribució a nivell global ja han incorporat aquesta tecnologia a la totalitat de la seva cadena de producció i distribució, l'ús dels codis de barres UPC encara és bastant estès. El motiu principal és que les etiquetes (o "*tags*") RFID segueixen sent més cares de produir que els codis de barres tradicionals. De totes formes, en la última dècada, la tendència cap a l'ús del RFID ha augmentat degut a una reducció del cost i un augment de les seves prestacions. Una etiqueta RFID no només permet identificar el producte sinó que també pot incorporar informació addicional sobre aquest producte, o en alguns casos, incloure informació de l'entorn (com temperatura o humitat relativa). El desplegament dels tags RFID per a la gestió total d'inventaris i cadena de subministrament encara està en una fase molt prematura, però sembla evident que un dels catalitzadors per accelerar la transició cap a aquesta millor tecnologia és l'abaratiment dels costos de producció.

La motivació d'aquest treball sorgeix en base a l'anterior visió, ja que en cas de poder abaratir encara més el cost (o augmentar les prestacions) de la tecnologia RFID, aquest sistema es converteix en un clar guanyador de la competició amb els UPC. Per fer-ho, es pretén que, partint d'un lector RFID convencional amb una sortida per a poder connectar una única antena, es pugui connectar fins a 4 antenes, mitjançant el hardware, middleware i software adient. És a dir, l'objectiu consisteix bàsicament en modificar el middleware d'un lector RFID de manera que es poguessin augmentar les seves prestacions, passant d'una fins a 4 antenes simultàniament, utilitzant multiplexació en el temps, i tot això controlat amb el propi lector. Aquest repte tan ambiciós, no només abaratiria la solució sinó que oferiria un nou ventall de possibilitats per al sistema. Per exemple, es podria utilitzar directament per augmentar l'àrea de cobertura d'un sistema RFID, o es podria dotar d'intel·ligència el sistema, de manera que si cada antena cobreix una zona determinada, si un producte etiquetat passa d'una zona a una altra es podria anar fent el

seguiment en temps real, entre d'altres possibilitats. En l'elaboració d'aquest treball es pretén aconseguir els següents objectius:

- I. Establir una configuració inicial del lector amb una sola antena i avaluar-ne el correcte funcionament.
- II. Multiplexar de forma digital, a través de modificacions en el firmware, la sortida externa del lector per a que es pugui comunicar fins a 4 antenes diferents, en comptes d'una.
- III. Dissenyar una placa de circuit imprès PCB que contingui un switch de 1 a 4, el qual estigui controlat a través de dues entrades lògiques provinents del lector UHF-RFID.

En conclusió i com s'ha indicat prèviament, l'objectiu principal d'aquest treball radica inicialment, en ser capaços de modificar el codi font d'un lector RFID per mitjà d'un kit debbugador que farà d'interfície entre un microprocessador que controla el lector RFID i el PC.

## 2. Introducció a la RFID

A dia d'avui, les tecnologies inalàmbriques ens envolten i han penetrat profundament en la vida de la gent, fins al punt que en depenen de la seva connectivitat. En el sector de l'IOT (*Internet Of Things*), hi ha moltes tecnologies que competeixen per l'espectre de freqüències (Bluetooth, Zigbee, 5G, NFC en són alguns exemples). En aquest capítol es pretén realitzar un breu anàlisi d'on es troba la tecnologia RFID entre aquestes, quins tipus hi ha, quin és el principi de funcionament, quins són els estàndards més rellevants i algunes de les seves majors aplicacions

### 2.1 Arquitectura d'un sistema RFID

La identificació per radiofreqüència (RFID) és una tecnologia de comunicació sense fils entre un lector i un transductor anomenat etiqueta, que s'adhereix als objectes per a identificar-los o emmagatzemar-ne informació. A diferència dels seus predecessors, els codis de barres òptics, l'enllaç de comunicació no requereix visió directe i es poden llegir múltiples etiquetes al mateix instant de temps. El rang d'operació és significativament superior també. A continuació, es descriuen en detall cadascun d'aquests components que conformen un sistema RFID.

#### 2.1.1. Etiqueta (o tag) RFID

Un tag conté un microxip i una antena, i està tot encapsulat en un substrat, i pot estar recobert per un material com paper o plàstic. En el microxip trobarem un transductor i una petita memòria, no superior a l'ordre de 10 KB, que pot ser de només lectura (*read-only*), lectura i una escriptura (*WORM: write-once read-many*) o lectura i moltes escriptures (*EEPROM*). També distingim entre tags actius o passius, segons la seva font d'alimentació.

**Tags actius:** Aquest tipus d'etiquetes necessiten d'una bateria per alimentar el microxip. Degut a tenir la seva pròpia font d'alimentació, aquests tags poden transmetre una senyal més potent, treballen a freqüències més elevades i els lectors poden trobar-se a major distància (entre 20 i 100 metres). El major inconvenient és que tenen un cost notablement més elevat, una vida útil limitada per les bateries, i unes dimensions més grans per incorporar la bateria (poden ser del tamany d'una baralla de cartes). Per aquest motiu, les seves aplicacions són molt limitades, al seguiment d'objectes grans en llargues distàncies.

**Tags semi-passius:** També anomenats tags semi-actius, contenen una bateria només per alimentar el microxip. Aquestes etiquetes són similars als tags actius, però utilitzen l'energia provinent de la senyal del lector per a transmetre la senyal de resposta, com en els tags passius.

**Tags passius:** Aquest tipus no requereixen de cap tipus de font d'alimentació, sinó que aprofiten l'energia rebuda de la senyal del lector per a comunicar-se. Per aquest motiu, aquests tags necessiten d'una senyal més potent provinent del lector i transmeten una senyal més dèbil; per tant, han d'estar més propers al lector (distàncies que varien entre uns 20 centímetres a 10 metres). Però el major avantatge és que són molt més econòmics que els anteriors (unes 100 vegades menys), tenen una major vida útil i són de dimensions suficientment petites com per ser implementats en etiquetes adhesives.

Degut a l'inferior cost dels tags passius, i la constant recerca i desenvolupament per a integrar-los en materials i productes més comuns, aquests tipus de tags seran els seleccionats per aquest treball.

### **2.1.2. Lector RFID**

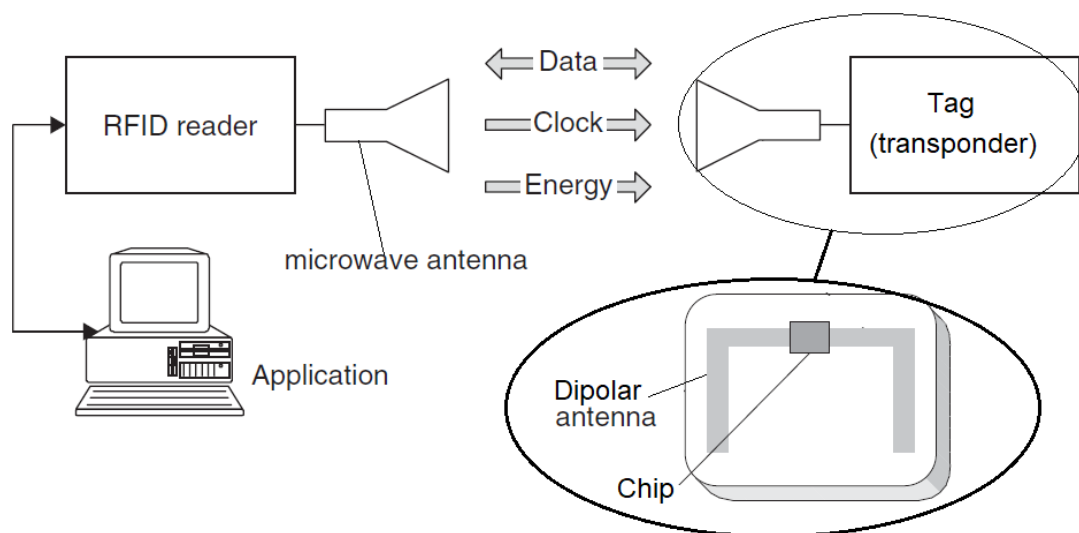
El lector de RFID és l'encarregat d'alimentar i comunicar-se amb el tag. Està compost d'un mòdul de RF (transmissor i receptor), capaç de subministrar l'energia a l'etiqueta per rebre i enviar informació; una antena per emetre i rebre la senyal; i una unitat de control (un microprocessador), per gestionar el control del sistema, així com la codificació i decodificació del senyal. A més a més, normalment els lectors solen incloure una interfície per a comunicar-se amb un altre sistema extern (PC, sistema-robot, etc).

## **2.2. Principi de funcionament**

Tal i com s'ha explicat en el capítol anterior, un sistema RFID està bàsicament compost de dos elements: la etiqueta i el lector. Abans descriure en detall el principi de funcionament dels sistemes RFID, és important remarcat que existeixen diferents freqüències d'operació i que cadascuna comporta uns avantatges i inconvenients, així com diferents prestacions. Les principals bandes de de freqüència per a les aplicacions RFID són:

- Baixes freqüències LF (Low Frequencies): 125-134 kHz és disponible per USA, Europa i Japó. Les aplicacions RFID comparteixen aquesta banda amb usos aeronàutics i de navegació marina.
- Altes freqüències HF (High Frequencies): 13.56 MHz disponibles per USA, Europa i Japó a nivells de potència similars.
- Freqüències ultra altes UHF (Ultra High Frequencies): hi ha considerables diferències entre les regulacions d'aquesta banda entre USA, Europa i Japó. UHF és de les més interessants ja que moltes aplicacions emergents de RFID es decanten per aquesta banda.
- Freqüències de microones (microwaves): molts sistemes de RFID són dissenyats per operar a la banda Industrial-Scientifico-Mèdica ISM (Industrial-Scientific-Medical) a 2.45 GHz i 5.8 GHz. Originàriament, aquestes bandes no tenien un propòsit comercial, ni científic, ni mèdic, tot i que actualment una gran varietat d'aplicacions comercials la utilitzen com la tecnologia WLAN (Wireless Local Access Network), Bluetooth i RFID.

A continuació, es mostra el principi de funcionament del sistema RFID, per a freqüències elevades (UHF), considerant el cas d'un sistema per a un tag passiu (veure Figura 1).



*Figura 1: Sistema RFID amb tag passiu<sup>1</sup>*



En primer lloc, el lector genera i transmet una senyal de pregunta cap al tag. La ona electromagnètica generada és captada per l'antena del tag, que emmagatzema l'energia de la senyal com una diferència de potencial alterna. Aquest voltatge altern és rectificat i serveix per carregar un condensador, el qual s'utilitzarà com a font d'alimentació del microxip del tag passiu. En aquest punt, la etiqueta ja està alimentada i ha rebut la pregunta del lector, pel que ara cal enviar la informació de l'etiqueta cap al lector. El tag reflecteix part de l'ona electromagnètica enviada pel lector, altra vegada cap al lector. Però el tag modifica la potència de la senyal a través de la variació d'una resistència (*load*) connectada a l'antena. Aquesta variació de la càrrega està determinada segons la informació a transmetre, pel que la potència de la senyal reflectida podrà contenir la informació de l'etiqueta. Al rebre la senyal en el lector, aquest demodularà la senyal i obtindrà la resposta del tag. Aquest mètode pel qual el microxip del tag modula el coeficient de reflexió de la seva antena i reflecteix la ona generada es coneix com *backscattering*.

### **2.2.1. ITF (*Interrogator-Talks First*) vs TOTAL (*Tag-Only-Talks-After-Listening*)**

Existeixen dos modes de funcionament clarament diferenciats en els sistemes RFID: Un sistema és ITF quan la etiqueta modula la informació just després d'haver rebut la ordre per part del lector (o interrogador). En canvi, un sistema és TOTAL quan la etiqueta modula la informació quan es troba dins del camp del lector/interrogador; és a dir, el tag primer escolta la senyal provinent del lector per determinar si el sistema és ITF o no.

En el cas del lector AS3993 per aquest projecte, tots els seus modes de funcionament són ITF.

### **2.3. Estàndards**

Existeixen diferents tipus d'estàndards en el camp de les RFID, i les seves aplicacions estan en continu debat i revisió dins de la comunitat de desenvolupadors de RFID. A més a més, existeixen diferències notables en la regulació segons en quina regió del món ens trobem. Per aquest motiu i, per reduir-ne la complexitat, en aquest treball només s'analitzarà els estàndards per a la tecnologia RFID en el rang de la Ultra High Frequency (860-960MHz), i enfocat en l'aplicació de identificació, gestió i seguiment de productes i inventari.

Aquests estàndards són imprescindibles per al correcte funcionament del sistema, ja que cobreixen els següents punts:

- Identificació de forma única per les etiquetes RFID i la seva informació.
- Protocols d'informació i sistema, que representen el middleware del sistema.
- El medi aeri, és a dir, la interfície de comunicació entre lector i tag.
- Suport a nivell d'aplicació, amb recomanacions a seguir per a implementar la tecnologia
- Normes a seguir en aspectes de seguretat, salut, tests, legals.
- Terminologia sobre el camp.

Existeixen dos grans organitzacions a nivell global, amb els seus propis estàndards.

### **2.3.1. Estàndards ISO (*International Standard Organization*)**

- ISO/IEC 15961: fa referència a la tecnologia RFID per a gestió de productes: interrogador/lector; comandes per a operar amb la etiqueta, i altres aspectes de sintaxi.
- ISO/IEC 15962: fa referència explícita a la sintaxi de informació per a la gestió de productes dins la tecnologia RFID.
- ISO/IEC 18000: fa referència explícita a la interfície aèria, com el medi de comunicació entre lector i etiqueta per a la tecnologia RFID. La part 6 fa referència a la banda de freqüències UHF.

Així, quan es vol utilitzar una aplicació per a llegir un tag o escriure informació en el tag, es necessita seguir un procediment específic. La següent figura mostra un exemple d'un sistema típic RFID amb l'assignació dels diversos processos segons els anteriors estàndards (veure Figura 2).

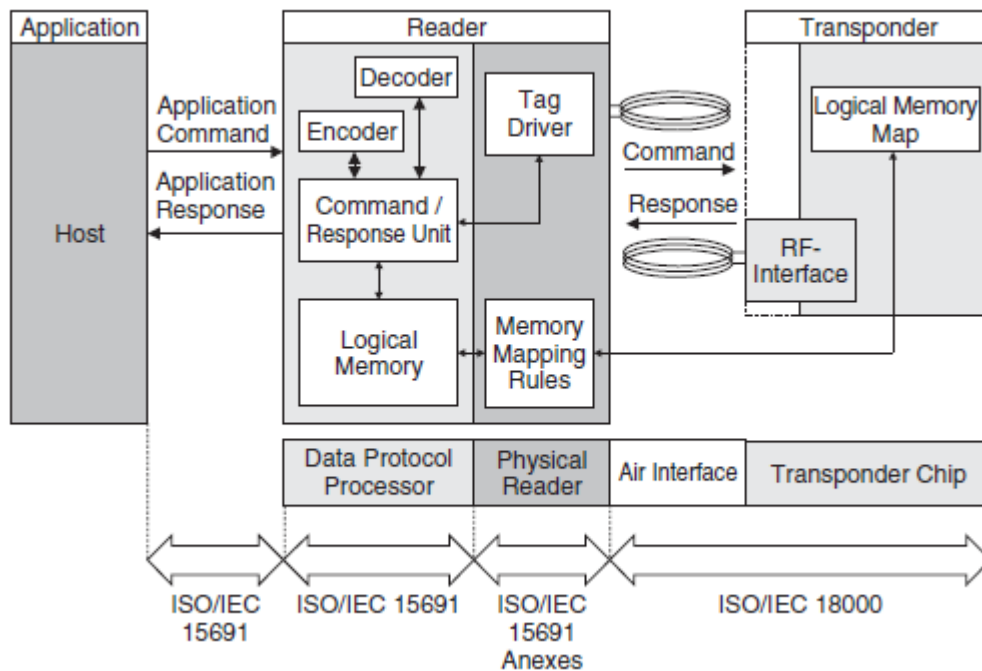


Figura 2: Procediments sistema RFID segons estàndards<sup>1</sup>

La aplicació normalment es troba en l'ordinador de control (o host), des d'on s'envien comandes cap al lector RFID. La unitat de control del lector llegirà i respondrà (amb missatge d'èxit o d'error) a les comandes, segons les especificades en el ISO 15691. Si la aplicació envia una comanda d'escriptura, per exemple, el lector escriurà la informació de forma prèvia en la memòria lògica. Llavors, seguint el protocol de "mapping" de l'ISO 15692, la informació s'enviarà en els segments adequats cap a l'etiqueta. Però aquest protocol no és l'encarregat de comunicar-se directament amb el tag, sinó que activarà el "tag driver", que convertirà la comanda d'escriptura de l'aplicació en la comanda d'escriptura específica per al tag, l'enviarà i rebrà la resposta del tag, seguint l'estàndard ISO 18000. Finalment, la resposta d'èxit del tag es retorna a la unitat de control i aquesta envia un missatge satisfactori a l'aplicació.

### 2.3.2. Estàndards EPCGlobal (*Electronic Product Code Global*)

EPCGlobal és una organització sense ànim de lucre que va desenvolupar un dels estàndards més populars per a la identificació de productes: l'EPC. Aquest estàndard és l'utilitzat en els codis de barres tradicionals. En general, consisteix en guardar la informació en una cadena de bits, on primer hi ha una capçalera, de tamany variable, i després una conjunt de segments d'informació, dels quals el tamany, l'estructura i la funcionalitat depenen del valor de la capçalera. Aquest

estàndard inclou el protocol d'interfície aèrea (medi de comunicació), la identificació del producte, la informació del tag, el middleware, i les bases de dades referents a l'etiqueta.

La EPCGlobal va desenvolupar un sistema anomenat ONS (*Object Naming Service*), que és equiparable al DNS utilitzat a Internet. L'ONS serveix com a directori per organitzacions que volen buscar un producte en concret, a través del seu EPC.

El 2003, EPCGlobal va començar a desenvolupar una nova generació d'estàndards de comunicació entre lector i tag, que s'anomena Gen2 Protocol. A dia d'avui, aquest protocol segueix sent vàlid i reconegut a nivell global. Dins d'aquesta generació s'inclou l'estàndard *Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol*, el qual fa referència a la interfície física i lògica per a un sistema backscatter passiu dins del rang de freqüències UHF.

En el cas d'aquest projecte, el lector AS3993 és un EPC Class 1 Gen 2, però que també implementa els protocols ISO 18000-6. Sobre la interfície aèrea, els estàndards ISO 18000 i el UHF Class 1 Generation 2 són compatibles. Sobre la freqüència d'operació i la potència màxima a dissipar pel lector, són els organismes reguladors de cada regió del món els que determinen aquests paràmetres. En el cas d'Europa, la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) és la que regula aquests aspectes i per sistemes en l'estat espanyol, els paràmetres són els següents:

Spain	OK	865.6 - 867.6	2 W ERP	ETSI
-------	----	---------------	---------	------

*Figura 3: Espectre regulat per a l'ús de RFID a la banda EPC Gen2 de UHF<sup>2</sup>*

Tradicionalment a la gran majoria d'Europa, l'espectre freqüencial utilitzat es troba entre els 865,6 - 867,6 MHz, però recentment s'ha afegit una banda addicional entre els 915-921 MHz, degut a la demanda per ample de banda i potència en el RFID. Els lectors que operen en la primera banda disposen de quatre canals específics, il·lustrats en la figura 4. Cal destacar que la freqüència central del canal de menor freqüència és de 865,7MHz, i l'ampla de banda de cada canal és de 200KHz. A més, els altres 3 canals estan separats per intervals de 600KHz.

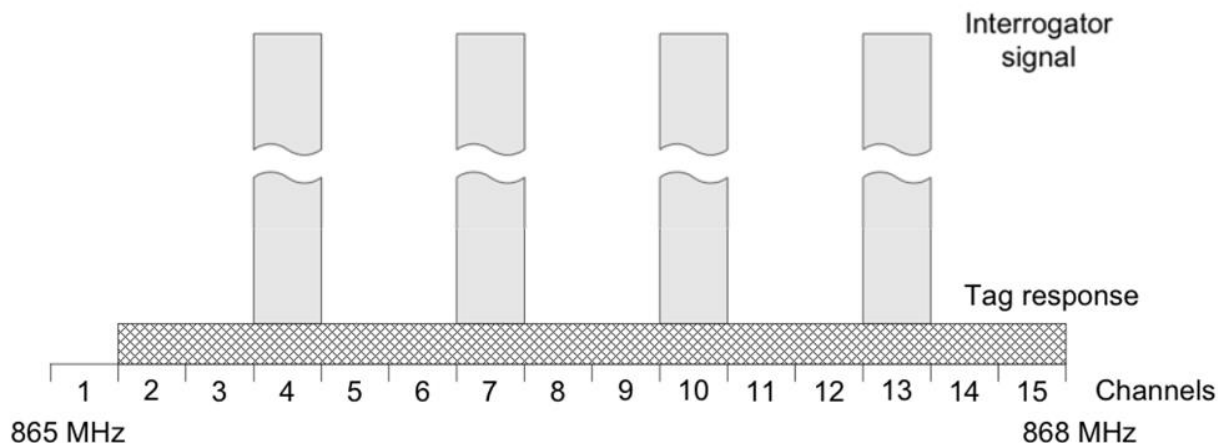


Figura 4: Canals de la primera banda EPC Gen2 per a l'ús de RFID a Europa<sup>2</sup>

Pel que fa a la potència màxima dissipada ERP es refereix a la Effective Radiated Power, que equival a la potència total que una antena dipol de mitja ona hauria de irradiar, per obtenir la mateixa intensitat del senyal que la font real, en un receptor situat en la direcció del feix més potent. Aquesta definició està normalitzada per l'IEEE i és comparable a la potència IERP (*Effective Isotropically Radiated Power*), que és la mateixa definició que l'anterior, però en comptes d'una antena dipol, una antena isotròpica ideal. Com que una antena dipol de mitja ona té un guany de 1,64x (o 2,15dB) respecte una antena isotròpica, la relació entre les dues potències és la següent:

$$Peirp (W) = 1,64 \cdot Perp (W) \quad \text{ó} \quad Peirp (dB) = 2,15 + Perp (dB)$$

Així doncs, en el context d'aquest treball, la potència màxima dissipada pel lector no pot superar els 2W.

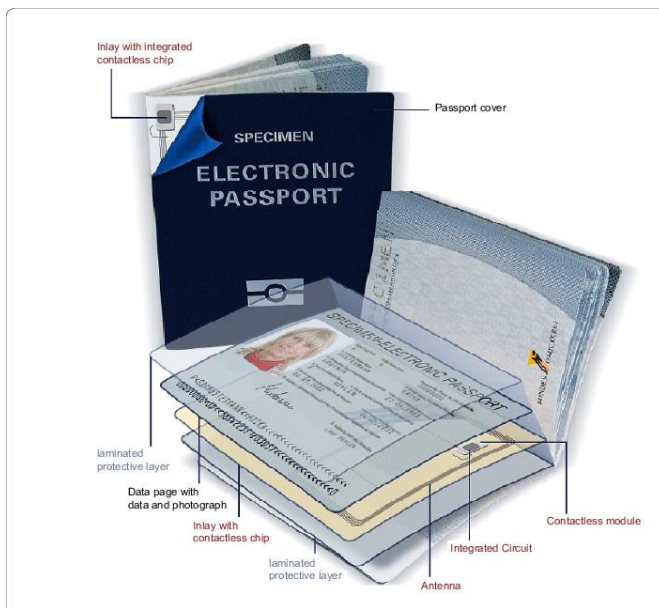
## 2.4. Aplicacions

Les aplicacions per a RFID són molt variades i extenses. Per aquest motiu, s'han seleccionat alguns dels exemples més característics i comuns del sector professional, així com algunes de les aplicacions més interessants, per a il·lustrar les potents capacitats d'aquesta tecnologia.

## 2.4.1. Identificació

- **Passaport electrònic:**

Avui dia, tots els països de la Unió Europea tramiten passaports amb tecnologia RFID: “ePassports”. Aquests passaports electrònics contenen un xip microprocessador que, juntament amb la antena, està laminat a la pàgina on es troba la informació del passaport, o bé a la funda del passaport. Des del 2008, tots els aeroports i controls de fronteres estan equipats amb lectors RFID per llegir els tags dels ePassports, que inclouen informació sobre la persona (nom, data naixement,



gènere...) i dues característiques biomètriques: la imatge digital del retrat i la empremta. Una de les funcionalitats més rellevants d'aquesta aplicació és augmentar la seguretat contra les possibles falsificacions, ja que la informació del tag està protegida per firma digital. També, per a aquest tipus d'aplicació, la tecnologia RFID utilitzada està limitada a baixes freqüències (HF o LF), ja que el protocol especifica una distància de lectura màxima de 10cm.

Figura 5: Passaport electrònic<sup>1</sup>

- **Identificació animal:**

La identificació dels animals s'utilitza en el sector primari per a identificar i rastrejar animals específics d'una granja determinada. Inicialment, les motivacions d'aquesta aplicació eren simplement la verificació del propietari dels animals, però les prestacions de la tecnologia RFID han permès augmentar l'ús al control i automatització del menjar, pes, seguiment geogràfic, control de malalties i gestió de cries. Les etiquetes solen ser implantades sota la pell de l'animal, i solen ser d'un tamany molt reduït (uns pocs mil·límetres). Tradicionalment, s'utilitzaven codis de barres o tags de LF per a la identificació animal. Però utilitzant etiquetes de UHF, s'aconsegueix una distància de lectura més gran (fins a 15metres), reduint l'estrés al que s'exposa l'animal; i una intensitat de senyal més robusta, degut a la menor interferència amb altra maquinària del camp.

- **Identificació electrònica de vehicles**

El nombre de vehicles a nivell global ha anat augmentat progressivament en les últimes dècades, i les previsions segueixen la mateixa tendència. Així doncs, un major nombre de vehicles significa un repte més gran per la planificació i el control del trànsit, així com aspectes relacionats amb la seguretat i el frau en el registre de vehicles i assegurances. Per afrontar aquests reptes, es necessita gestionar la identificació dels vehicles de manera eficient. Tradicionalment, la identificació dels vehicles s'ha realitzat mitjançant mètodes visuals, com les videocàmeres, en combinació amb mètodes alfanumèrics, com les matrícules dels vehicles. De totes formes, aquest sistema està limitat en la fiabilitat de la identificació, quan es donen casos de manipulacions il·legals de la matrícula (falsificacions), i en condicions de visibilitat difícils (mal temps, molts cotxes en moviment, etc). Per aquest motiu, la empresa alemana Tönnjes va desenvolupar l'*IdePlate*<sup>3</sup>, una matrícula d'aparença normal però amb un tag RFID integrat, que conté les claus privades utilitzades per a l'encriptació i la autenticació del número de la matrícula. Els lectors autoritzats poden realitzar les lectures d'aquestes matrícules i guardar-les de forma segura en una base de dades, tant si el lector o l'etiqueta estan estàtics o en moviment. A més a més, de forma addicional



o alternativa a l'*IdePlate*, es pot utilitzar l'IDeSTIX, que és un altre tag RFID integrat en l'adhesiu del parabrisa. Mitjançant el seu firmware, es podrien realitzar verificacions des del mòbil, cosa que podria optimitzar moltes situacions de la circulació, com peatges, accés a pàrquings, controls de fronteres, etc.

*Figura 6: Sistema identificació vehicles<sup>4</sup>*

### **2.5.2. Gestió de cadena de subministrament**

Pel que fa a la cadena de subministrament, les etiquetes RFID han transformat tots els processos de la cadena. Des de que els proveïdors tramiten el producte, passant per la logística de



l'emmagatzematge, fins a la venda al client, tota la informació del producte queda guardada en una base de dades central, on tant fabricant, comerciant com client poden consultar per la localització del producte, confirmació d'estat, o prevenció de pèrdues i robatoris.

En aquest sector, el RFID pot servir com un substitut al codi de barres tradicional, ja que a grans trets, ofereix una millora en els següents aspectes:

*Figura 7: Cadena de subministrament<sup>5</sup>*

- El RFID no requereix línia de visió directa per llegir el tag
- El rang de lectura del RFID és major que el del lector del codi de barres.
- Els lectors poden comunicar-se simultàniament amb múltiples tags. Per aquest motiu, un lector pot guardar les dades de tot una càrrega quan es disposa en magatzems o contenidors, sense haver d'escanejar producte per producte.
- Els tags RFID poden guardar més informació que els codis de barres, com per exemple, variables de l'entorn, com la temperatura.

Un exemple interessant per aquesta aplicació es troba en la producció just-in-time d'algunes empreses de venda al client. Quan tots els productes d'una botiga i els seus corresponents magatzems estan etiquetats amb tags RFID, la botiga té una base de dades molt precisa de tot el seu inventari. El sistema pot alertar automàticament quan algun producte s'està quedant sense stock a la botiga, i en el magatzem es pot localitzar el producte i preparar-lo per enviar cap a la botiga. Hi ha grans venedors a nivell global que ja utilitzen la tecnologia RFID per aquest sistema, com la cadena de moda Zara, o els grans magatzems WalMart.

### **2.5.3. Seguiment dels recursos (*Track & Trace*)**

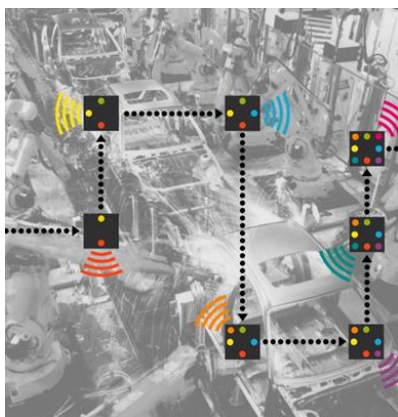
Algunes legislacions exigeixen que per determinats sectors professionals es realitzi un sistema exhaustiu de localització i seguiment dels productes per la protecció dels consumidors i el medi



ambient. La finalitat darrere aquesta regulació es fonamenta en la cadena de mercat. Posant un exemple, un producte final (com un processador) pot representar una part d'un producte final de major nivell (com un ordinador), que alhora pot acabar formant part d'un altre producte final de més nivell (com un servidor o un cluster). Per tant, és important mantenir un seguiment de la ubicació del primer producte, ja que la seva naturalesa (o funcionalitat) pot canviar en funció de la seva localització. El processador d'un ordinador ja no està sent monitoritzat de forma individual a l'empresa d'assemblatge d'ordinadors, però és necessari. Per exemple, en el cas de tenir una comanda de processadors defectuosos del proveïdor, també es podria identificar fàcilment els ordinadors defectuosos a l'empresa d'assemblatge d'ordinadors, i notificar a les botigues o clients que retornin l'ordinador per arreglar-lo.

Seguint la lògica anterior, hi ha aplicacions molt variades que han incorporat la tecnologia RFID per al seguiment de recursos<sup>6</sup>. Molts hospitals monitoritzen els equips mèdics a mesura que es mouen d'habitació a habitació, ajudant així a una millor gestió de l'inventari i assegurant el correcte manteniment d'aquests. En els EUA, els fabricants de dispositius mèdics estan legalment obligats a utilitzar identificació única i automàtica, així com sistemes d'adquisició de dades, per a la venda dels seus productes. Les biblioteques també utilitzen etiquetes RFID per als llibres, fent possible així la ràpida localització dels llibres, prevenció de furts, i automatització dels pagaments.

També s'han adoptat variacions per a les polítiques de seguiment de recursos, més orientades a reduir les falsificacions. S'utilitza aquesta tecnologia per a identificar l'origen concret i la



destinació del producte, amb la possibilitat d'invalidar-lo o retirar-lo del mercat. Una aplicació es troba en el sector recreatiu, on els casinos incorporen tags passius a les fitxes i disposen de lectors a totes les taules de joc i punts de compra/venta. D'aquesta forma, el casino pot detectar fitxes falsificades i monitoritzar el moviment de les fitxes i l'activitat dels jugadors. Altres exemples similars s'apliquen a indústries varies, com la farmacèutica, alimentària o automobilística.

*Figura 8: Control de producció automobilística.<sup>5</sup>*

## 2.5. Anàlisi del mercat

El nombre de tags RFID venuts a nivell mundial ha anat augmentant de forma progressiva al llarg de la última dècada. Segons varis estudis de mercat<sup>7</sup>, el valor del mercat total per a les etiquetes RFID de UHF (veure apartat 2.2 per classificació), ja frega els 1.000 milions de dòlars. En la següent figura, es representa el nombre de tags RFID de UHF venuts a nivell global al llarg dels anys, en bilions de unitats (un *billion* aquí equival a  $10^9$  unitats). La gràfica continua i mostra una previsió del creixement esperat per als propers 5 anys<sup>8</sup>.

Unitats de RAIN (UHF) RFID tags venudes, en bilions

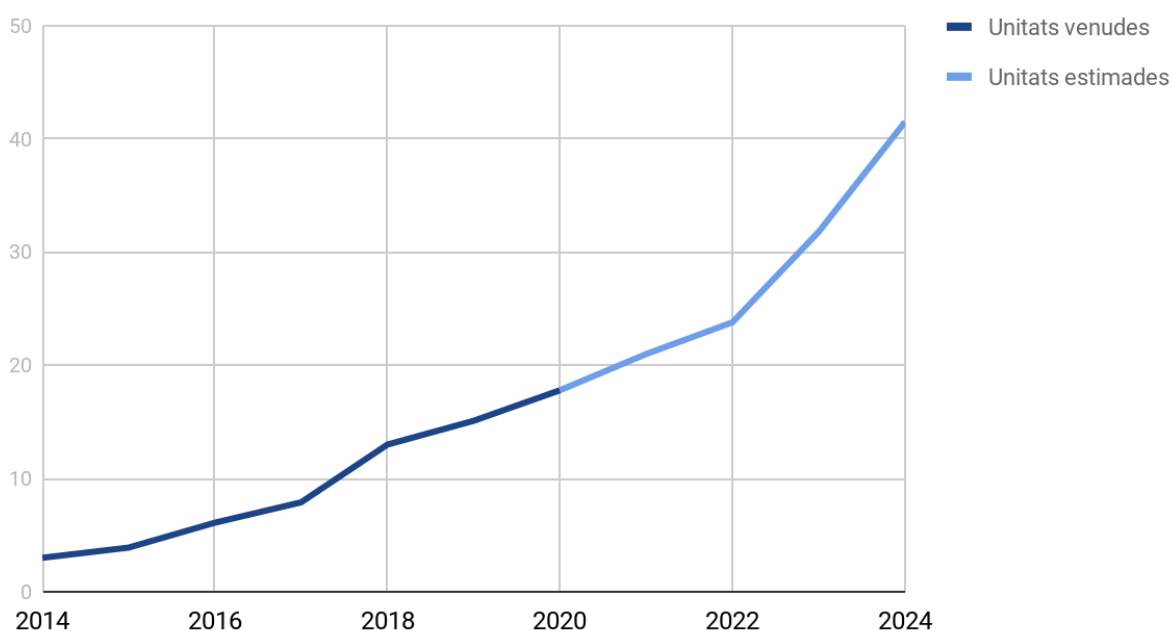


Figura 9. Unitats de RAIN RFID tags venudes a nivell global.

### 3. Metodologia i procediment

En aquest apartat, es pretén mostrar quin procediments s'ha seguit per a aconseguir els objectius anteriorment definits. El material amb el qual s'ha començat el projecte és el següent:

- Lector UHF RFID AS3993, de AMS Electronics. Aquest lector de baixa potència (1,6W) és ideal per a la realització d'aquest treball. El seu mode d'operació es troba en el rang dels 840MHz als 960MHz (UHF) i compleix amb les normatives i estàndards prèviament descrits en el capítol anterior. El lector requereix de la comunicació amb un microcontrolador de 8 bits per al correcte funcionament del sistema i s'especifica una potència màxima de 1,6W, d'acord amb els estàndards europeus.

El lector AS3993 és un EPC Class 1 Gen 2, però que també implementa els protocols ISO 18000-6. Sobre la interfície aèrea, els estàndards ISO 18000 i el UHF Class 1 Generation 2 són compatibles

- Microcontrolador PIC24FJ64GB002, de Microchip Technology Inc. Aquest microcontrolador de 16 bits es caracteritza per un consum molt baix i per les entrades i sortides disponibles UART, SPI i I2C. Per mitjà de la Uart es pot connectar al PC (cable USB).

Les dues anteriors parts estan dissenyades per a connectar-se juntes formant el lector FERMI, un sistema per a realitzar proves de lectura RFID de baix consum, ideal per a realitzar proves amb un host.

- Vàries etiquetes (o tags) RFID, amb codi d'identificació conegut.

- Antena monopòl, per a poder realitzar la lectura de les etiquetes RFID en camp llunyà, implementat en tecnologia planar. Consta d'un pla de massa i el propi braç del dipòl, grabats en la mateixa cara del substrat. El rang de lectura amb aquesta antena pot arribar fins als 6-8 metres, depenent de les característiques de les etiquetes RFID i l'entorn.

-Antena tipus espira (*loop antenna*) que s'utilitza per a poder realitzar la lectura de les etiquetes en una zona molt més reduïda (de pocs centímetres) que pel cas del monopòl

Ambdues antenes consisteixen en una fina capa de conductor (normalment anomenat "parche"), impresa sobre un substrat dielèctric, i una altra capa metàl·lica (el pla de massa) a la cara contrària.

Es poden connectar al lector mitjançant un cable UFL, que és un cable coaxial molt prim amb impedància de 50Ω. Ambdues són fabricades per AMS Electronics, i la diferència principal entre les dues serà la distància màxima a la que poden rebre el senyal. L'antena espira treballa en una zona de camp molt més propera (de l'ordre dels 50cm), ja que el seu camp s'atenua més ràpidament amb la distància.

- PICKit 3 In-Circuit Debugger/Programmer, de Microchip Technology Inc. El PICKit 3 és un placa de desenvolupament de hardware, simple i de baix cost, que es pot utilitzar tant per a integrar hardware com per programar software. Microchip també inclou el MPLAB X IDE com a entorn de desenvolupament per a debugar el PICKit3.

- Cablejat variat, com cables USB, UFL i cables plans, per a realitzar totes les connexions.

- Documentació del material anterior i arxius per a la descàrrega del firmware i el codi d'aquest.

### **3.1. Primera etapa de familiarització amb el material**

En primer lloc, cal descarregar i instal·lar el software d'AMS, que és l'AS3993 Reader Suite. Aquest software ofereix una interfície gràfica d'usuari (GUI) funcional per a realitzar proves de lectura amb el lector AS3993. A nivell hardware, només cal connectar l'antena amb el lector, i connectar el lector a un ordinador a través d'USB (alimentant-lo així també).

Un cop detectat el port del lector, ja es pot configurar un primer scan. Com a paràmetres destacats, s'ha especificat un escombrat de freqüències des de 865,7MHz fins a 867,5 MHz, seguint els estàndards europeus (veure capítol 2.3) i amb un increment de 0,6MHz cada 1 ms (veure Figura4). D'aquesta forma, i durant un temps màxim de dos minuts, el lector buscarà etiquetes RFID en els canals indicats.

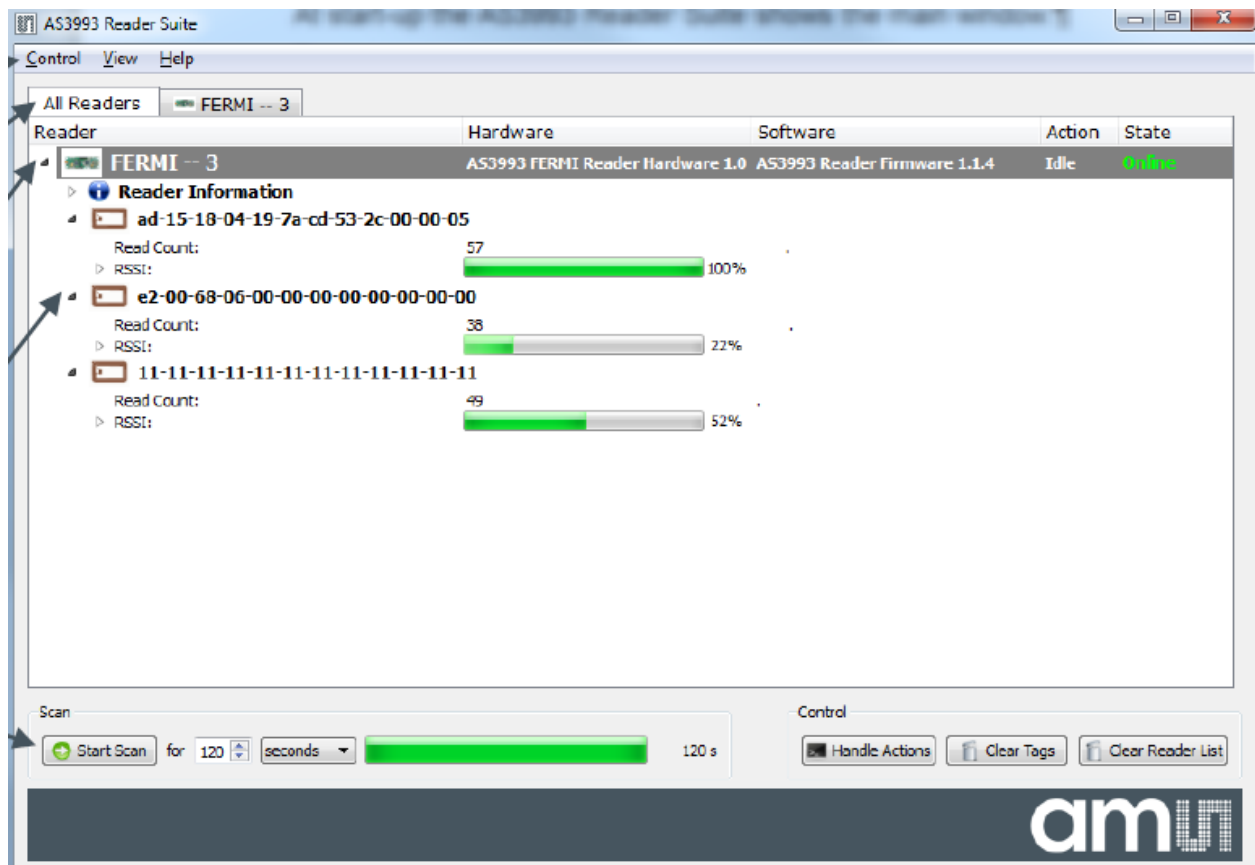


Figura 10: AS3993 Reader Suite

Aquesta figura exemplifica els resultats que es poden obtenir amb el software. Al apropar les etiquetes a una distància suficientment propera al lector (uns pocs centímetres), la etiqueta i el lector estableixen protocol de comunicació. Per cada tag, es pot observar el seu codi d'identificació (en negreta a la figura), i el nombre de lectures amb èxit que es van realitzant cada 4 ms. A més, també es pot observar com varia la intensitat de la senyal rebuda RSSI.

### 3.2. Connexions Hardware

Un cop s'ha realitzat la primera demo del sistema, cal introduir el Pickit en la configuració per a poder debugar el codi del firmware. A grans trets, el PICKit és l'element central de la configuració. Aquest microcontrolador es comunica amb l'ordinador a través de cable USB, i s'utilitza el MPLAB X IDE com a entorn de desenvolupament per a configurar i debugar el projecte. I alhora, el PICKit es comunica amb el lector a través de 5 pins ICSP (veure Figura 11). Aquesta interfície és molt útil, ja que és la que permet modificar el programa del lector RFID a través del PICKit.

Les comunicacions es poden representar segons el següent diagrama de blocs:

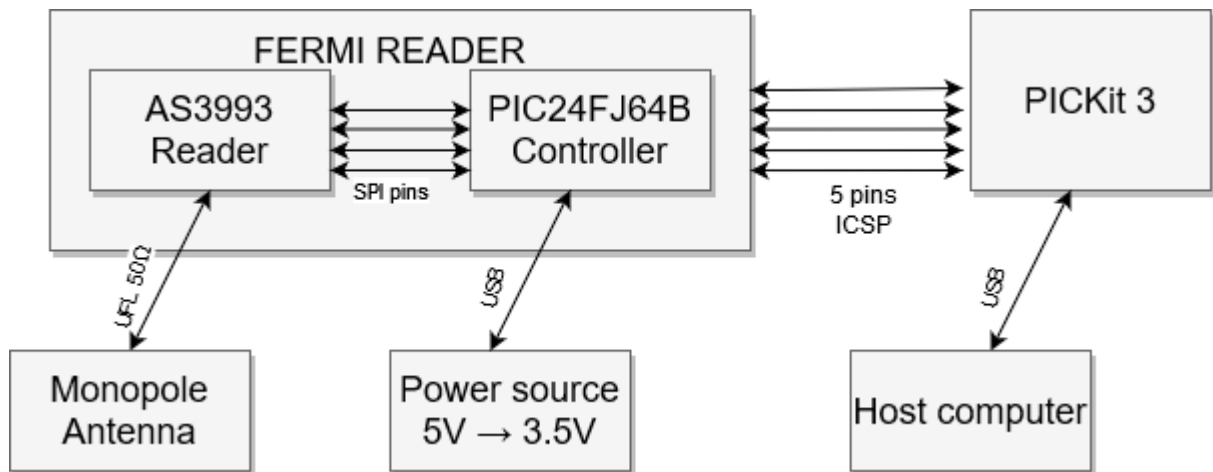


Figura 11: diagrama de blocs del sistema

La configuració de les comunicacions dels diferents dispositius queda de la següent manera:

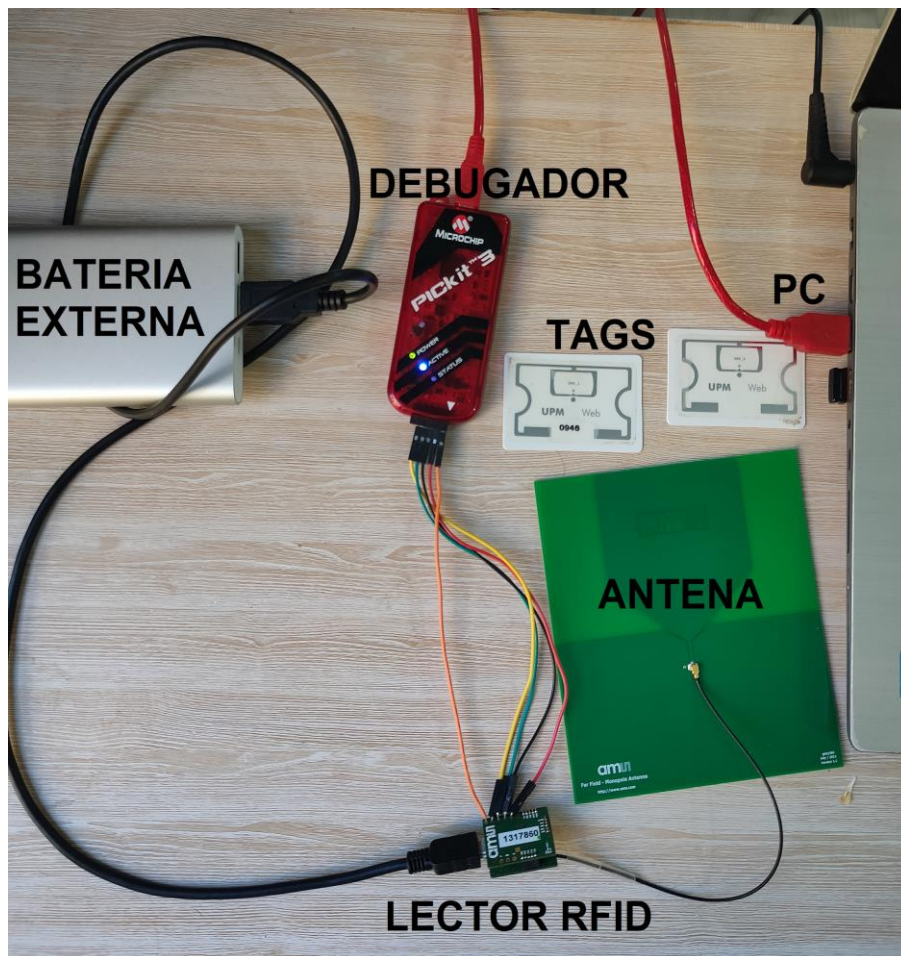


Figura 12: configuració del sistema

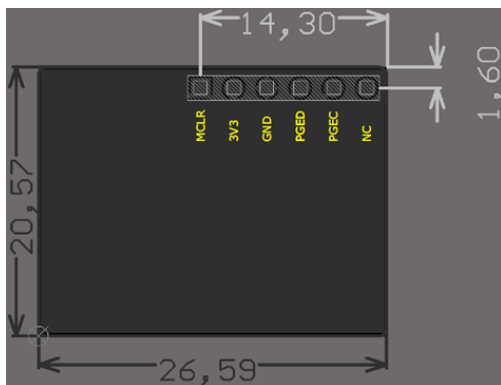


Figura13: Interfície per a programar el lector.

Connector Pin	Microcontroller Pin
1	$\overline{\text{MCLR/VPP}}$
2	VDD
3	Ground
4	PDG (ICSPDAT)
5	PGC (ICSPCLK)
6	PGM (LVP)

Figura 14: Pins sortida del Pickit

Els pins ICSP són els següents:

1.  $V_{PP}$ : Aquest és la tensió que s'utilitza per programar en el PICKit, que en aquest cas és de 5V.
2.  $V_{DD}$ : Aquesta és la tensió que alimenta el PICKit, subministrada pel lector, que és de 3,3V.
3. GND: Tensió de referència de terra, normalment de 0V.
4. PDG: Port sèrie bidireccional per la informació (Program Data). Tensió entre  $V_{DD}$  i GND.
5. PGC: Port sèrie, per la senyal del rellotge (Programming Clock). Tensió entre  $V_{DD}$  i GND.
6. PGM: Pin auxiliar per programació de baixa tensió (LVP). En aquest cas, sense connexió (NC).

Així, un cop establert aquesta configuració, ja es pot realitzar la build del projecte, a partir del codi del firmware. Des del MPLAB, cal seleccionar un nou projecte, especificar la família del dispositiu "target" (el microcontrolador PIC24FJ64GB002), quin dispositiu s'utilitza per a debugar (el microcontrolador PICKit 3), i el compilador que s'utilitzarà (en aquest cas, el compilador C30).

Els arxius del firmware contenen la build del codi en un arxiu tipus Makefile. Un cop executat (es pot utilitzar el Cygwin per a entorns Windows), es generen tots els arxius necessaris i s'aconsegueix la build del projecte en el MPLAB.

## 4. Implementació del firmware i hardware

En aquest apartat es pretén mostrar alguns dels resultats més rellevants per als objectius del projecte, obtinguts durant el procediment del treball. També s'inclouen alguns dels problemes i dificultats trobades, i com s'han resolt.

### 4.1. Primera configuració del sistema, per a la lectura dels tags.

En la configuració del lector sense utilitzar el PICKit, i referent al primer objectiu definit, s'han pogut identificar la majoria de les etiquetes amb èxit. S'ha assumit que aquelles etiquetes que no eren identificables estaven malmeses o defectuoses. A més, representaven una mostra molt petita respecte tot el conjunt de tags dels que es disposava (menys d'un 10%).

A través del software AS3993 Reader Suite, s'han observat captacions de senyal màximes, que oscil·laven entre els -35dBm i -50dBm de nivells de potència (RSSI). Aquest indicador és útil per a comparar com responen diferents etiquetes dins del mateix entorn. De totes formes, també s'han tingut en compte altres paràmetres, com el nombre de lectures d'un mateix tag per segon (read rate), per seleccionar les etiquetes més adequades.

En alguns casos, s'han experimentat problemes de captació de la senyal, degut al contacte, o la proximitat, amb alguna superfície metàl·lica. La presència de superfícies metàl·liques properes a l'etiqueta causa problemes d'interferència del senyal, degut al fenomen de la reflexió de les ones electromagnètiques. Si la ona es reflecteix, es pot donar la situació de crear interferència destructiva i obtenir zones de l'espai sense senyal.

### 4.2. Build del projecte

Una de les dificultats majors per a aconseguir una build amb èxit del firmware, ha estat el compilador seleccionat. Aquesta versió del firmware està preparada per a ser compilada mitjançant el Microchip C30 Compiler v3.31. De totes formes, aquest compilador està desfasat i Microchip ja no l'ofereix en el seu arxiu històric de descàrregues.

Com a alternativa i solució trobada, es va seleccionar el compilador de Microchip XC16, ja que es descriu com una versió millorada de l'anterior compilador<sup>9</sup>. Aquest canvi ha representat alguns problemes de compatibilitat i s'han hagut de realitzar canvis menors en el codi dels arxius Makefile del firmware.

Finalment, es va aconseguir una build del projecte amb èxit a partir de l'arxiu de projecte de MPLAB "AS3993.X", que està inclòs en el firmware. Només és necessari incloure algunes



llibreries addicionals, que el compilador XC16 no inclou (i el C30 sí), i eliminar les declaracions d'algunes funcions que són prescindibles per al funcionament i la comunicació amb el lector.

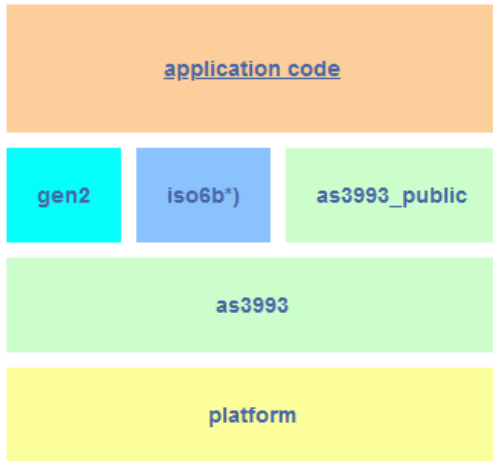
En aquest punt del procediment, el lector RFID va deixar de funcionar. Al connectar-lo a una font d'alimentació, el LED d'estat (que normalment està de color verd intermitent) es mantenia apagat. Al tractar-se d'un lector de "low-cost", la hipòtesi principal és que algun dels ports sèrie no estan degudament protegits i, en cas de curtcircuit o sobrecàrrega, la tensió pot malmetre els components, deixant el lector inutilitzable. Per aquest motiu, a partir d'aquest punt, es va procedir en la realització del treball, sense tenir el lector operatiu, de manera similar a la de disseny d'un plan de contingència.

#### **4.3. Identificació i modificació del codi per a canviar d'antena.**

El software està estructurat seguint el model de capes de la figura següent (figura X). En el nivell superior trobem la capa d'aplicació, que contindrà totes les funcions encarregades de processar comandes rebudes per USB o UART. En els nivell intermedis, trobem la capa per a la gestió dels protocols, i també funcions específiques del lector, per accedir als registres, gestionar rutines, missatges d'error, etc. I en el nivell inferior, trobem la capa per a la comunicació lector-microcontrolador, mitjançant SPI.

El programa principal `main.c` realitza unes inicialitzacions prèvies i procedeix en un bucle constant, on cada determinat nombre de iteracions es realitza una comprovació d'estat i s'actualitza aquest si hi ha algun error. Però si no hi ha cap error, la única instrucció que es repeteix és tractar la comanda que arribi (*void ProcessIO*). És a dir, el programa principal està la majoria del temps esperant a que arribi una interrupció de tipus entrada/sortida.

L'estratègia consistiria en primer lloc, localitzar els pins de sortida GP1 i GP2 del microcontrolador. Per aquest motiu, caldria buscar en les capes de nivell més baix, i en aquest cas concret, en `platform.c`. Segons el datasheet del microcontrolador PIC24FJ64B, els pins assignats a GP1 i GP2 corresponen als ports físics RP4, RA4 respectivament. En la implementació del procediment d'inici per la placa Fermi (*static void initFermi*) es configuren els ports físics RP4 i RA4 com a ports de sortida, amb l'assignació dels pins lògics 8 i 9 respectivament.



Així doncs, i gràcies a la independència entre capes, caldria modificar la comanda de lectura a nivell de la capa d'aplicació, per a que en comptes de utilitzar el port per defecte, utilitzi els pins GP1 i GP2. Aquesta modificació caldria realitzar-la en alguna de les funcions de `appl_comands.c`.

Figura 15: Estructura del software

#### 4.4 Implementació de la part hardware

Degut a la situació actual, que ha perjudicat en part la realització del projecte, tampoc s'ha pogut implementar la part del hardware referent al multiplexor. A continuació es mostra un esquemàtic (veure Figura 16) del que seria un possible disseny PCB que es connectaria directament al lector Fermi, i que el mateix lector en gestionaria les connexions. Com es pot veure el multiplexor consta d'un interruptor (switch central) amb dues alimentacions A i B, a part de la pròpia alimentació (+5V) i el terra (GND). Les tensions A i B s'utilitzen per anar commutant les diferents sortides (RF1, RF2, RF3 i RF4) per a la mateixa entrada RF0. L'objectiu és que, aquestes tensions de control A i B, fossin gestionades pel propi lector mitjançant el GP1 i el GP2.

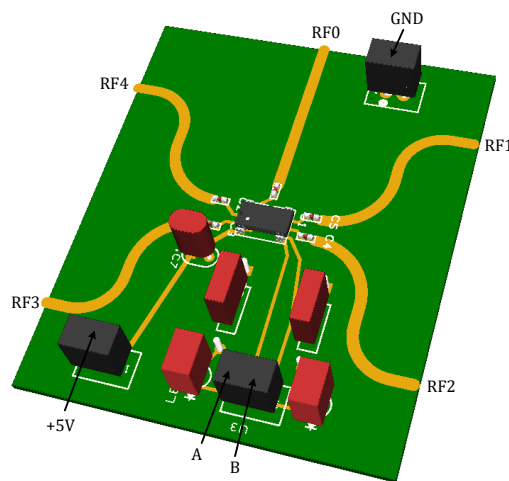


Figura 16: Esquemàtic disseny PCB

## 5. Conclusions

A través de la realització d'aquest treball, s'han pogut extreure les següents conclusions:

- En un projecte com aquest, les condicions de l'entorn poden representar un factor determinant per al correcte desenvolupament d'aquest. La tecnologia RFID és susceptible a interferències segons quins materials es trobin en l'entorn. Per això, cal assegurar d'estar en un lloc de treball separat de superfícies metàl·liques, líquids o altres ones de radiofreqüència addicionals.
- La importància del disseny d'un pla de contingència per a garantir el desenvolupament i el progrés d'un projecte. Especialment al utilitzar prototips de baix cost o de test, existeix la possibilitat de que alguns components quedin malmesos o, fins i tot siguin defectuosos. Aquests inconvenients poden causar errors en el procediment del treball que poden portar a resultats errònis o nuls. Per això, cal realitzar les comprovacions adequades de la configuració dels dispositius, i també cal dissenyar un plan de contingència en cas de quedar totalment inutilitzables.

La tecnologia RFID és una tecnologia extremadament prometedora, que pot ser utilitzada en una gran varietat d'aplicacions. Les seves prestacions la converteixen en una solució clarament guanyadora en moltes indústries i sectors. De totes formes, un dels reptes principals que caldrà superar per a esdevenir la més predominant del mercat és la reducció de costos. I una possible estratègia per aconseguir aquest pas, passa per l'augment de prestacions, en concret l'augment de l'àrea de cobertura del sistema, a través de la multiplexació en el temps de vàries antenes.

## 6. Referències

1. Klaus Finkenzeller, “*RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*”, 3rd Edition, 2010.
2. [www.gs1.org](http://www.gs1.org), “Regulatory status for using RFID in the EPC Gen2 (860 to 960 MHz) band of the UHF spectrum”, Febrer 2020.
3. [www.toennjes.com](http://www.toennjes.com), “*IDEPLATE, The RFID License Plate*”,
4. <https://rainrfid.org/> “*What is RAIN RFID? Detailed information about the technology, markets using RAIN RFID, and the Alliance*”, Gener 2020.
5. [www.ams.com](http://www.ams.com) “*Smart Sensory Tag Chip for Monitoring and Data Logging*”, Juny 2013.
6. Ron Wenstein, “*RFID: A Technical Overview and Its Application to the Enterprise*”, IEEE Computer Society, Juny 2005.
7. Justin Fox, “*Your clothes will be on the radio*”, Bloomberg, Gener 2017.
8. Raghu Das, “*RFID Forecasts, Players and Opportunities 2019-2029*”, IdTechEx, Gener 2020.
9. <https://microchipdeveloper.com/>, MPLABX: XC16.